

# Externe Effekte des Verkehrs 2010

Monetarisierung von Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekten

**Schlussbericht**

**18. Juni 2014**

zuhanden des Bundesamts für Raumentwicklung



# Impressum

## Empfohlene Zitierweise

Autor: Ecoplan / Infrac  
Titel: Externe Effekte des Verkehrs 2010  
Untertitel: Monetarisierung von Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekten  
Auftraggeber: Bundesamt für Raumentwicklung  
Ort: Bern, Zürich und Altdorf  
Datum: 18. Juni 2014  
Bezug: [www.ecoplan.ch](http://www.ecoplan.ch)

## Begleitgruppe

Christina Hürzeler (ARE, Leitung)  
Franziska Borer Blindenbacher (ARE)  
Oberauner Iris Maria (BAFU)  
Zbinden Manfred (ASTRA)  
Roman Rosenfellner (ASTRA)  
Schreyer Christoph (BAV)  
Quandt Alexandra (BFS)  
Rindlisbacher Theo (BAZL)

## Projektteam

Heini Sommer (Ecoplan, Projektleitung)  
Christoph Lieb (Ecoplan)  
Matthias Amacher (Ecoplan)  
Markus Maibach (Infrac, stv. Projektleitung)  
Daniel Sutter (Infrac)  
Cuno Bieler (Infrac)  
Remo Zandonella (Infrac)  
Jürg Heldstab (Infrac)  
Martin Rösli (Swiss TPH)  
Danielle Vienneau (Swiss TPH)  
Laura Perez (Swiss TPH)  
Hans Buser (nateco)  
Thomas Künzle (Meteotest)

## Anpassung vom 9.Dezember 2014

Korrektur der pkm für Personenwagen. Dies betrifft die Seiten 21-22, 25-26, 37-38, 41-42, 53-54, 58, 69-70, 73-74, 535-537, 541-542.

Der Bericht gibt die Auffassung des Projektteams wieder, die nicht notwendigerweise mit derjenigen des Auftraggebers bzw. der Auftraggeberin oder der Begleitorgane übereinstimmen muss.

### Ecoplan AG

Forschung und Beratung  
in Wirtschaft und Politik

[www.ecoplan.ch](http://www.ecoplan.ch)

Monbijoustrasse 14  
CH - 3011 Bern  
Tel +41 31 356 61 61  
[bern@ecoplan.ch](mailto:bern@ecoplan.ch)

Schützengasse 1  
Postfach  
CH - 6460 Altdorf  
Tel +41 41 870 90 60  
[altdorf@ecoplan.ch](mailto:altdorf@ecoplan.ch)

### Infrac AG

Forschung und Beratung

[www.infrac.ch](http://www.infrac.ch)

Binzstrasse 23  
Postfach  
CH-8045 Zürich  
Tel: ++41 44 205 95 95  
Fax: ++41 44 205 95 99  
[zuerich@infrac.ch](mailto:zuerich@infrac.ch)

## Inhaltsübersicht

	<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>3</b>
	<b>Abstract.....</b>	<b>12</b>
	<b>Condensé .....</b>	<b>13</b>
	<b>Riassunto .....</b>	<b>14</b>
	<b>Abstract.....</b>	<b>15</b>
	<b>Kurzfassung.....</b>	<b>16</b>
	<b>Résumé .....</b>	<b>31</b>
	<b>Versione breve .....</b>	<b>48</b>
	<b>Summarised Version .....</b>	<b>64</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>80</b>
<b>2</b>	<b>Methodisches Vorgehen.....</b>	<b>87</b>
<b>3</b>	<b>Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung .....</b>	<b>117</b>
<b>4</b>	<b>Gebäudeschäden durch Luftverschmutzung.....</b>	<b>169</b>
<b>5</b>	<b>Ernteaufälle durch Luftverschmutzung .....</b>	<b>185</b>
<b>6</b>	<b>Waldschäden durch Luftverschmutzung .....</b>	<b>200</b>
<b>7</b>	<b>Biodiversitätsverluste durch Luftverschmutzung .....</b>	<b>222</b>
<b>8</b>	<b>Lärm.....</b>	<b>235</b>
<b>9</b>	<b>Klima.....</b>	<b>293</b>
<b>10</b>	<b>Natur und Landschaft.....</b>	<b>325</b>
<b>11</b>	<b>Bodenschäden durch toxische Stoffe .....</b>	<b>353</b>
<b>12</b>	<b>Kosten vor- und nachgelagerter Prozesse .....</b>	<b>366</b>
<b>13</b>	<b>Unfälle .....</b>	<b>385</b>

---

<b>14</b>	<b>Zusatzkosten in städtischen Räumen.....</b>	<b>471</b>
<b>15</b>	<b>Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr.....</b>	<b>492</b>
<b>16</b>	<b>Übersicht über die Ergebnisse .....</b>	<b>514</b>
	<b>Anhang A: Nicht berücksichtigte Kostenbereiche .....</b>	<b>551</b>
	<b>Anhang B: Ermittlung der Faktorpreise.....</b>	<b>558</b>
	<b>Anhang C: PM10-Emissionen .....</b>	<b>562</b>
	<b>Anhang D: Lärmdaten Strassen- und Schienenverkehr .....</b>	<b>563</b>
	<b>Anhang E: Aufteilung auf die Kostenträger .....</b>	<b>568</b>
	<b>Anhang F: Detailliertes Vorgehen Ermittlung Mengengerüst Verkehrsinfrastruktur Natur und Landschaft (GIS-Analyse) .....</b>	<b>573</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>575</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>578</b>

## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>3</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>12</b>
<b>Condensé</b> .....	<b>13</b>
<b>Riassunto</b> .....	<b>14</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>15</b>
<b>Kurzfassung</b> .....	<b>16</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>31</b>
<b>Versione breve</b> .....	<b>48</b>
<b>Summarised Version</b> .....	<b>64</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>80</b>
1.1 Ausgangslage .....	80
1.2 Zielsetzung .....	80
1.3 Abgrenzungen .....	81
1.4 Stand der Forschung im europäischen Raum .....	82
1.5 Aufbau des Berichtes .....	84
1.6 Dank .....	86
<b>2 Methodisches Vorgehen</b> .....	<b>87</b>
2.1 Soziale, interne und externe Kosten .....	87
2.1.1 Begrifflichkeiten .....	87
2.1.2 Exkurs: Definition der externen Kosten, Verursacherprinzip und Eigentumsrechte .....	88
2.1.3 Die drei Sichtweisen der externen Kosten .....	91
2.2 Auswirkungen des Verkehrs und Erfassung in Kostenbereichen .....	94
2.3 Generelles Konzept zur Ermittlung der externen Kosten .....	99
2.3.1 Grundkonzept .....	99
2.3.2 Territorialprinzip .....	103
2.3.3 Methodisches Vorgehen bei der Aktualisierung der Kosten .....	106
2.4 Umgang mit Unsicherheiten .....	106
2.4.1 Einleitung .....	106
2.4.2 Vorgehenskonzept zum Ausweis der Unsicherheiten pro Kostenbereich .....	108

2.5	Abgrenzung der Verkehrsträger.....	109
2.5.1	Vorgaben der Transportrechnung.....	109
2.5.2	Abgrenzung der einzelnen Verkehrsträger .....	110
2.6	Weitere methodische Fragen .....	113
2.6.1	Durchschnittskosten versus Grenzkosten.....	113
2.6.2	Umgang mit Internalisierungsbeiträgen .....	114
<b>3</b>	<b>Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung .....</b>	<b>117</b>
3.1	Berechnungsgegenstand .....	117
3.2	Bewertungsmethodik und wichtigste neue Erkenntnisse.....	117
3.2.1	Verkehrsbedingte Schadstoffbelastung der Bevölkerung.....	117
3.2.2	Epidemiologie.....	119
3.2.3	Wertgerüst.....	120
3.2.4	Verwendete Bewertungsmethodik .....	120
3.3	Mengengerüst .....	122
3.3.1	Verkehrsbedingte Schadstoffbelastung der Bevölkerung.....	122
3.3.2	Luftverschmutzungsbedingte Krankheits- und Todesfälle .....	130
3.4	Wertgerüst.....	140
3.4.1	Einleitung.....	140
3.4.2	Medizinische Heilungskosten.....	142
3.4.3	Produktionsausfall.....	144
3.4.4	Wiederbesetzungskosten.....	146
3.4.5	Immaterielle Kosten .....	146
3.4.6	Zusammenfassung der verwendeten Kostensätze.....	149
3.4.7	Internalisierungsbeiträge.....	150
3.5	Ergebnisse .....	150
3.5.1	Externe Kosten.....	150
3.6	Sensitivitätsanalyse.....	155
3.6.1	Zusammenfassung der Annahmen und Unsicherheiten.....	155
3.6.2	Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse .....	158
3.6.3	Zusätzliche Unter- oder Überschätzungen .....	161
3.7	Vergleich zu den bisherigen Berechnungen .....	163
<b>4</b>	<b>Gebäudeschäden durch Luftverschmutzung.....</b>	<b>169</b>
4.1	Berechnungsgegenstand .....	169
4.2	Bewertungsmethodik und wichtigste neue Erkenntnisse.....	169
4.2.1	Wichtige methodische Entwicklungen.....	169
4.2.2	Bewertungsmethodik.....	170
4.3	Mengengerüst .....	172
4.3.1	PM10-Immissionen .....	172
4.3.2	Fassadenflächen.....	173
4.4	Wertgerüst.....	173
4.4.1	Renovationskosten.....	174

4.4.2	Kosten durch verkürzte Lebensdauer (Gebäudehülle) .....	174
4.4.3	Reinigungskosten.....	175
4.5	Ergebnisse .....	175
4.5.1	Externe Kosten.....	175
4.6	Sensitivitätsanalyse.....	179
4.6.1	Zusammenfassung der Annahmen und Unsicherheiten.....	179
4.6.2	Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse .....	180
4.6.3	Zusätzliche Unter- oder Überschätzungen .....	181
4.7	Vergleich zu den bisherigen Berechnungen .....	182
<b>5</b>	<b>Ernteauffälle durch Luftverschmutzung .....</b>	<b>185</b>
5.1	Berechnungsgegenstand .....	185
5.2	Bewertungsmethodik und wichtigste neue Erkenntnisse.....	185
5.2.1	Wichtige methodische Entwicklungen.....	185
5.2.2	Bewertungsmethodik.....	185
5.3	Mengengerüst .....	188
5.3.1	Ozonimmissionen.....	188
5.3.2	Expositions-Wirkungs-Beziehungen .....	188
5.3.3	Ernteerträge .....	189
5.3.4	Verkehrsanteil an Ozonbelastung.....	190
5.4	Wertgerüst.....	190
5.4.1	Produzentenpreise von Nutzpflanzen .....	190
5.5	Ergebnisse .....	191
5.5.1	Externe Kosten.....	191
5.6	Sensitivitätsanalyse.....	194
5.6.1	Zusammenfassung der Annahmen und Unsicherheiten.....	194
5.6.2	Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse .....	195
5.7	Vergleich zu den bisherigen Berechnungen .....	197
<b>6</b>	<b>Waldschäden durch Luftverschmutzung .....</b>	<b>200</b>
6.1	Berechnungsgegenstand .....	200
6.2	Bewertungsmethodik und wichtigste neue Erkenntnisse.....	201
6.2.1	Wichtige methodische Entwicklungen.....	201
6.2.2	Bewertungsmethodik.....	203
6.3	Mengengerüst .....	206
6.3.1	Vermindertes Holzwachstum .....	206
6.3.2	Verstärkter Windwurf.....	210
6.4	Wertgerüst.....	211
6.4.1	Vermindertes Holzwachstum .....	211
6.4.2	Verstärkter Windwurf.....	212
6.5	Ergebnisse .....	212
6.5.1	Externe Kosten.....	212

6.6	Sensitivitätsanalyse.....	216
6.6.1	Zusammenfassung der Annahmen und Unsicherheiten.....	216
6.6.2	Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse .....	217
6.6.3	Zusätzliche Unter- oder Überschätzungen .....	218
6.7	Vergleich zu den bisherigen Berechnungen .....	219
<b>7</b>	<b>Biodiversitätsverluste durch Luftverschmutzung .....</b>	<b>222</b>
7.1	Berechnungsgegenstand .....	222
7.2	Bewertungsmethodik.....	222
7.2.1	Methodischer Ansatz, Erkenntnisse aus der Forschung .....	222
7.2.2	Bewertungsmethodik.....	224
7.3	Mengengerüst .....	225
7.3.1	Emission von versauernden und eutrophierenden Luftschadstoffen.....	225
7.4	Wertgerüst.....	228
7.4.1	Kostensätze pro Tonne Luftschadstoff .....	228
7.5	Ergebnisse .....	229
7.5.1	Externe Kosten.....	229
7.6	Sensitivitätsanalyse.....	233
7.6.1	Zusammenfassung der Annahmen und Unsicherheiten.....	233
7.6.2	Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse .....	233
7.7	Vergleich zu den bisherigen Berechnungen .....	234
<b>8</b>	<b>Lärm.....</b>	<b>235</b>
8.1	Berechnungsgegenstand .....	235
8.2	Bewertungsmethodik und wichtigste neue Erkenntnisse.....	237
8.2.1	Belästigungen.....	237
8.2.2	Gesundheitskosten .....	243
8.3	Mengengerüst .....	246
8.3.1	Lärmbelastung.....	246
8.3.2	Gesundheitskosten .....	258
8.4	Wertgerüst.....	266
8.4.1	Belästigungen.....	266
8.4.2	Gesundheitskosten .....	274
8.4.3	Internalisierungsbeiträge.....	276
8.5	Ergebnisse .....	277
8.5.1	Externe Kosten.....	277
8.6	Sensitivitätsanalyse.....	282
8.6.1	Zusammenfassung der Annahmen und Unsicherheiten.....	282
8.6.2	Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse .....	283
8.6.3	Zusätzliche Unter- oder Überschätzungen .....	285
8.7	Vergleich zu den bisherigen Berechnungen .....	287



<b>9</b>	<b>Klima</b> .....	<b>293</b>
9.1	Berechnungsgegenstand .....	293
9.2	Bewertungsmethodik und wichtigste neue Erkenntnisse.....	294
9.2.1	Wichtige methodische Entwicklungen.....	294
9.2.2	Bewertungsmethodik.....	304
9.3	Mengengerüst .....	307
9.3.1	Allgemeines.....	307
9.3.2	Treibhausgasemissionen der einzelnen Verkehrsträger .....	308
9.4	Wertgerüst.....	311
9.4.1	CO <sub>2</sub> -Kostensatz.....	311
9.4.2	Internalisierungsbeiträge.....	313
9.5	Ergebnisse .....	314
9.5.1	Externe Kosten.....	314
9.6	Sensitivitätsanalyse.....	320
9.6.1	Zusammenfassung der Annahmen und Unsicherheiten.....	320
9.6.2	Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse .....	320
9.6.3	Zusätzliche Unter- oder Überschätzungen .....	322
9.7	Vergleich zu den bisherigen Berechnungen .....	322
<b>10</b>	<b>Natur und Landschaft</b> .....	<b>325</b>
10.1	Berechnungsgegenstand .....	325
10.1.1	Einleitung und Begriffe .....	325
10.1.2	Betrachtungsrahmen.....	326
10.2	Bewertungsmethodik und wichtigste neue Erkenntnisse.....	327
10.2.1	Relevante Ursache-Wirkungsketten und methodische Entwicklungen.....	327
10.2.2	Bewertungsmethodik.....	332
10.3	Mengengerüst .....	337
10.3.1	Länge (Fläche) Verkehrsinfrastrukturen .....	337
10.3.2	Allokation auf die Fahrzeugkategorien.....	339
10.3.3	Anrechnung von Ersatzmassnahmen .....	340
10.4	Wertgerüst.....	341
10.4.1	Kostensätze.....	341
10.5	Ergebnisse .....	343
10.5.1	Externe Kosten.....	343
10.6	Sensitivitätsanalyse.....	346
10.6.1	Zusammenfassung der Annahmen und Unsicherheiten.....	346
10.6.2	Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse .....	347
10.6.3	Zusätzliche Unter- oder Überschätzungen .....	349
10.7	Vergleich zu den bisherigen Berechnungen .....	349
<b>11</b>	<b>Bodenschäden durch toxische Stoffe</b> .....	<b>353</b>
11.1	Berechnungsgegenstand .....	353

11.2	Bewertungsmethodik und wichtigste neue Erkenntnisse.....	353
11.2.1	Wichtige methodische Entwicklungen.....	353
11.2.2	Bewertungsmethodik.....	353
11.3	Mengengerüst.....	355
11.3.1	Emissionen von Schwermetallen und PAK.....	355
11.3.2	Grenzwerte.....	356
11.4	Wertgerüst.....	357
11.5	Ergebnisse.....	358
11.5.1	Externe Kosten.....	358
11.6	Sensitivitätsanalyse.....	361
11.6.1	Zusammenfassung der Annahmen und Unsicherheiten.....	361
11.6.2	Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse.....	361
11.7	Vergleich zu den bisherigen Berechnungen.....	363
<b>12</b>	<b>Kosten vor- und nachgelagerter Prozesse.....</b>	<b>366</b>
12.1	Berechnungsgegenstand.....	366
12.2	Bewertungsmethodik und wichtigste neue Erkenntnisse.....	366
12.2.1	Wichtige methodische Entwicklungen.....	366
12.2.2	Bewertungsmethodik.....	367
12.3	Mengengerüst.....	371
a)	Gesamtemissionen.....	371
b)	Verkehrsmittel: Produktion, Unterhalt und Entsorgung.....	371
c)	Infrastruktur: Produktion, Unterhalt und Entsorgung.....	373
d)	Energiebereitstellung.....	373
12.4	Wertgerüst.....	374
12.5	Ergebnisse.....	375
12.5.1	Externe Kosten.....	375
12.6	Sensitivitätsanalyse.....	379
12.6.1	Zusammenfassung der Annahmen und Unsicherheiten.....	379
12.6.2	Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse.....	380
12.6.3	Zusätzliche Unter- oder Überschätzungen.....	381
12.7	Vergleich zu den bisherigen Berechnungen.....	382
<b>13</b>	<b>Unfälle.....</b>	<b>385</b>
13.1	Berechnungsgegenstand.....	385
13.2	Bewertungsmethodik und wichtigste neue Erkenntnisse.....	389
13.2.1	Mengengerüst.....	390
13.2.2	Personenschäden.....	390
13.2.3	Sachschäden.....	392
13.2.4	Polizei- und Rechtsfolgekosten.....	393
13.3	Mengengerüst.....	394
13.3.1	Strassenverkehr.....	394
13.3.2	Schienenverkehr.....	403

13.3.3	Luftverkehr .....	405
13.3.4	Schiffsverkehr.....	408
13.4	Wertgerüst.....	409
13.4.1	Soziale Kostensätze für Personenschäden .....	409
13.4.2	Externe immaterielle Kosten .....	413
13.4.3	Externe Kosten übrige Personenschäden .....	431
13.4.4	Sachschäden.....	433
13.4.5	Polizeikosten .....	436
13.4.6	Rechtsfolgekosten.....	437
13.4.7	Administrativkosten der Versicherungen .....	439
13.4.8	Zusammenfassung der Kostensätze .....	441
13.4.9	Internalisierungsbeiträge.....	445
13.5	Ergebnisse .....	445
13.5.1	Soziale Kosten .....	446
13.5.2	Externe Kosten aus Sicht Verkehrsträger.....	451
13.5.3	Externe Kosten aus Sicht Verkehrsart Schwerverkehr .....	455
13.5.4	Externe Kosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende.....	456
13.6	Sensitivitätsanalyse.....	459
13.6.1	Zusammenfassung der Annahmen und Unsicherheiten.....	459
13.6.2	Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse .....	460
13.6.3	Zusätzliche Unter- oder Überschätzungen .....	463
13.7	Vergleich zu den bisherigen Berechnungen .....	465
<b>14</b>	<b>Zusatzkosten in städtischen Räumen.....</b>	<b>471</b>
14.1	Berechnungsgegenstand .....	471
14.2	Bewertungsmethodik und wichtigste neue Erkenntnisse.....	471
14.2.1	Wichtige methodische Entwicklungen und Empfehlungen .....	471
14.2.2	Bewertungsmethodik.....	474
14.3	Mengengerüst .....	478
14.3.1	Räumliche Trenneffekte.....	478
14.3.2	Beeinträchtigung Ortsbild und Aufenthaltsqualität.....	479
14.4	Wertgerüst.....	480
14.4.1	Räumliche Trenneffekte.....	480
14.4.2	Beeinträchtigung Ortsbild und Aufenthaltsqualität.....	481
14.5	Ergebnisse .....	482
14.5.1	Externe Kosten aus Sicht Verkehrsträger.....	482
14.5.2	Externe Kosten aus Sicht Verkehrsteilnehmenden und Verkehrsart Schwerverkehr.....	485
14.6	Sensitivitätsanalyse.....	487
14.6.1	Zusammenfassung der Annahmen und Unsicherheiten.....	487
14.6.2	Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse .....	487
14.7	Vergleich zu den bisherigen Berechnungen .....	489
<b>15</b>	<b>Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr.....</b>	<b>492</b>
15.1	Berechnungsgegenstand .....	492

15.2	Bewertungsmethodik.....	493
15.3	Mengengerüst .....	494
15.4	Wertgerüst.....	496
15.4.1	Allgemeines.....	496
15.4.2	Eingesparte medizinische Heilungskosten .....	498
15.4.3	Eingesparter Produktionsausfall .....	499
15.4.4	Eingesparte Wiederbesetzungskosten .....	500
15.4.5	Immaterielle Nutzen .....	501
15.4.6	Zusammenfassung der verwendeten Kostensätze zur Bewertung der Nutzen.....	504
15.4.7	Internalisierungsbeiträge.....	505
15.5	Ergebnisse .....	505
15.5.1	Soziale Nutzen .....	505
15.5.2	Externe Nutzen.....	507
15.6	Sensitivitätsanalyse.....	509
15.6.1	Zusammenfassung der Annahmen und Unsicherheiten.....	509
15.6.2	Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse .....	510
15.6.3	Zusätzliche Unter- oder Überschätzungen .....	512
15.7	Vergleich zu den bisherigen Berechnungen .....	513
<b>16</b>	<b>Übersicht über die Ergebnisse .....</b>	<b>514</b>
16.1	Externe Effekte aus Sicht Verkehrsträger.....	514
16.1.1	Überblick Gesamtverkehr.....	514
16.1.2	Strassenverkehr .....	518
16.1.3	Schienenverkehr .....	520
16.1.4	Luftverkehr .....	521
16.1.5	Schiffsverkehr.....	522
16.2	Externe Effekte aus Sicht Verkehrsart Schwerverkehr .....	522
16.3	Externe Effekte aus Sicht Verkehrsteilnehmende.....	524
16.3.1	Überblick Gesamtverkehr.....	524
16.3.2	Strassenverkehr .....	524
16.3.3	Schienenverkehr .....	525
16.3.4	Luftverkehr .....	525
16.3.5	Schiffsverkehr.....	526
16.4	Soziale Effekte .....	526
16.4.1	Überblick Gesamtverkehr.....	526
16.4.2	Strassenverkehr .....	529
16.4.3	Schienenverkehr .....	530
16.4.4	Luftverkehr .....	531
16.4.5	Schiffsverkehr.....	532
16.5	Externe und soziale Effekte pro Leistungseinheit.....	532
16.5.1	Datengrundlagen.....	532
16.5.2	Strassenverkehr .....	533
16.5.3	Schienenverkehr .....	538
16.5.4	Luftverkehr .....	539

---

16.5.5	Schiffsverkehr.....	539
16.5.6	Vergleich der Verkehrsträger .....	540
16.6	Unsicherheiten .....	544
16.7	Vergleich zu den bisherigen Berechnungen .....	546
	<b>Anhang A: Nicht berücksichtigte Kostenbereiche .....</b>	<b>551</b>
	<b>Anhang B: Ermittlung der Faktorpreise.....</b>	<b>558</b>
	<b>Anhang C: PM10-Emissionen .....</b>	<b>562</b>
	<b>Anhang D: Lärmdaten Strassen- und Schienenverkehr .....</b>	<b>563</b>
	<b>Anhang E: Aufteilung auf die Kostenträger .....</b>	<b>568</b>
	<b>Anhang F: Detailliertes Vorgehen Ermittlung Mengengerüst Verkehrsinfrastruktur Natur und Landschaft (GIS-Analyse) .....</b>	<b>573</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>575</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>578</b>

## Abstract

In der Studie werden die externen und sozialen (volkswirtschaftlichen) Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekte des Verkehrs in der Schweiz im Jahr 2010 ermittelt. Hierzu werden die bisherigen Berechnungen zum Strassen- und Schienenverkehr einer methodischen Überprüfung unterzogen und für das Jahr 2010 mit vollständig aktualisierten Datengrundlagen für die folgenden zwölf Kostenbereiche neu berechnet: Luftverschmutzungsbedingte Gesundheitsschäden, Gebäudeschäden, Ernteauffälle, Waldschäden, Biodiversitätsverluste, Lärm, Klima, Natur und Landschaft, Bodenschäden, vor- und nachgelagerte Prozesse, Unfälle und Zusatzkosten in städtischen Räumen. Erstmals für die Schweiz werden für diese Kostenbereiche auch die externen Kosten im Luft- und Schiffsverkehr ermittelt und der Strassenverkehr wird um den Langsamverkehr (Fuss- und Veloverkehr) ergänzt. Zudem werden die positiven Auswirkungen der körperlichen Betätigung im Langsamverkehr auf die Gesundheit berechnet.

Die gesamten externen Kosten summieren sich über die vier Verkehrsträger auf gut 9'400 Mio. CHF im Jahr 2010. Hauptverursacher der externen Kosten ist der motorisierte private Personenverkehr auf der Strasse mit Kosten von 5'500 Mio. CHF, gefolgt vom Strassengüterverkehr mit 1'000 Mio. CHF (ein Teil der LSVA wurde als Internalisierung angerechnet) und dem öffentlichen Strassenverkehr mit 190 Mio. CHF. Der Luftverkehr verursacht externe Kosten von 920 Mio. CHF und auf den Schienenverkehr entfallen 740 Mio. CHF. Der Schiffsverkehr verursacht externe Kosten von 57 Mio. CHF. Im Langsamverkehr entstehen neben externen Kosten von 900 Mio. CHF auch externe Gesundheitsnutzen von 1'300 Mio. CHF. Beim Vergleich dieser absoluten Zahlen ist zu beachten, dass die Verkehrsleistungen der einzelnen Verkehrsträger sehr unterschiedlich sind. Auf der Strasse werden deutlich mehr Personen- und Tonnenkilometer zurückgelegt als auf den anderen Verkehrsträgern, im Schiffsverkehr deutlich weniger.

## Condensé

Cette étude présente les effets externes et sociaux (économiques) sur l'environnement, les accidents et la santé des transports en Suisse pour l'année 2010. Les calculs effectués jusqu'à présent pour les transports par la route et le rail ont été soumis à un contrôle méthodique et mis à jour pour l'année 2010 compte tenu de bases de données complètement réactualisées pour les douze domaines suivants: coûts de la santé, dégâts aux bâtiments, pertes agricoles, dégâts aux forêts et pertes de biodiversité dus à la pollution de l'air, bruit, climat, nature et paysage, dégâts aux sols, processus en amont et en aval, accidents et coûts supplémentaires dans les espaces urbains. Pour la première fois en Suisse, les coûts externes des transports par avion et par bateau ont été également déterminés dans chacun de ces domaines. Le transport routier a été complété des données relatives à la mobilité douce (déplacements à pied et à vélo). De plus, les effets positifs sur la santé de l'activité physique liée à la mobilité douce ont été pris en compte.

Au total, les coûts externes des quatre modes de transport se chiffrent à 9'400 millions de francs pour l'année 2010. Le principal responsable des coûts externes est le transport routier privé et motorisé de personnes dont les coûts atteignent 5'500 millions de francs, suivi du transport routier de marchandises qui génère des coûts évalués à 1'000 millions de francs (une partie des recettes de la RPLP a été internalisée), puis des transports publics routiers dont les coûts se montent à 190 millions de francs. Le transport aérien engendre des coûts externes de 920 millions de francs et le transport ferroviaire de 740 millions de francs. Le transport par bateau occasionne des coûts externes de 57 millions de francs. La mobilité douce génère des coûts externes de 900 millions de francs, mais aussi des bénéfices externes en matière de santé évalués à 1'300 millions de francs. En comparant les valeurs absolues présentées, il ne faut toutefois pas oublier de considérer que les prestations de transport des divers modes de transport sont très différentes les unes des autres. Les personnes-kilomètres et les tonnes-kilomètres parcourus par la route sont nettement plus élevés que par les autres modes de transport alors qu'ils sont nettement plus bas pour le transport par bateau.

## Riassunto

Lo studio illustra gli effetti esterni e sociali (dal punto di vista dell'economia pubblica) causati dal traffico in Svizzera nel corso del 2010, a livello di ambiente, salute e incidenti. I calcoli effettuati negli scorsi anni per il traffico stradale e ferroviario sono stati sottoposti a un riesame metodologico e riproposti per l'anno 2010 sulla base di dati completamente aggiornati, che contemplano dodici settori di costo, ossia: danni alla salute dovuti all'inquinamento atmosferico, danni agli edifici, perdite di raccolto, danni alle foreste, perdita di biodiversità, rumore, clima, natura e paesaggio, danni al suolo, processi a monte e a valle, incidenti e costi supplementari nelle aree urbane. Per la prima volta in Svizzera, in questi settori di costo si considerano anche i costi esterni del traffico aereo e di quello navale, mentre i dati concernenti il traffico stradale sono integrati con quelli riguardanti il traffico lento (ossia pedoni e biciclette). Per concludere, lo studio ha misurato anche gli effetti positivi sulla salute derivati dall'esercizio fisico legato al traffico lento.

I costi esterni complessivi registrati dai quattro vettori di trasporto ammontano a ben 9400 milioni di franchi per l'anno 2010. In testa si situa il traffico stradale motorizzato: innanzitutto quello privato, con costi pari a 5500 mio., seguito dal traffico merci, con 1000 mio. (una parte della TTPCP è stata conteggiata come internalizzazione), e dai trasporti pubblici, con 190 mio.. Il traffico aereo comporta costi esterni per 920 mio., contro i 740 mio. di quello ferroviario e i 57 mio. di quello navale. I costi esterni del traffico lento ammontano a 900 mio., controbilanciate tuttavia da benefici esterni per la salute pari a 1300 mio.. Paragonando queste cifre assolute, non bisogna dimenticare che i singoli vettori di trasporto presentano prestazioni affatto disparate. Rispetto all'aviazione e alla ferrovia, ad esempio, su strada si percorre un numero nettamente maggiore di persone-chilometri (pkm) e tonnellate-chilometri (tkm), mentre nel traffico navale le cifre sono di molto inferiori.



## Abstract

The study calculates the external and social (national economic) environmental, accident and health-related effects of transport in Switzerland in 2010. In doing so, previous calculations relating to road and rail transport are subject to a methodological review, and recalculated for 2010 using fully updated data sources for the following 12 cost areas: air pollution-related damage to health, damage to buildings, crop shortfalls, forest degradation, loss of biodiversity, noise, climate change, nature and the landscape, soil degradation, upstream and downstream processes, accidents, and additional costs in urban areas. In these cost categories, the external costs of air and waterborne transport in Switzerland are calculated for the first time, and the road transport section of the study has been extended to include non-motorised transport (pedestrian and cycle traffic). The positive effects on health of the physical exercise involved in non-motorised transport are also quantified.

Aggregated across the four modes of transport, total external costs come to over CHF 9,400 million for 2010. At CHF 5,500 million, private motorised road transport is the main originator of these external costs, followed by road freight transport at CHF 1,00 million (a share of the HVF has been factored in as an internalisation measure), and by public road transport, with a contribution of CHF 190 million. Air transport resulted in external costs of CHF 920 million, while rail transport accounts for CHF 740 million. Waterborne transport generated external costs of CHF 57 million. In addition to external costs of CHF 900 million, non-motorised transport generates external health benefits worth CHF 1,300 million. The significant differences in distances travelled using the individual modes of transport must be remembered when comparing these absolute figures. Considerably more person and tonne kilometres are travelled by road than by other modes of transport, while figures for waterborne transport are much lower.

## Kurzfassung

### Ausgangslage und Ziel

Das Bundesamt für Statistik (BFS) und das Bundesamt für Raumentwicklung (ARE) erstellen für das Jahr 2010 eine Transportrechnung zum Verkehr in der Schweiz. Diese aktualisiert die bisherige Rechnung aus dem Jahr 2005 (BFS 2009) und soll neben dem Strassen- und Schienenverkehr erstmals auch den Luftverkehr und teilweise den Schiffsverkehr beinhalten.

Als Input für diese Gesamtrechnung konzentriert sich der vorliegende Bericht auf die Ermittlung der externen Kosten, welche von diesen Verkehrsträgern im Jahr 2010 verursacht wurden. Für den Verkehrsträger Strasse wird gegenüber den bisherigen Berechnungen neu der Langsamverkehr (Fuss- und Veloverkehr) einbezogen – sowohl dessen externe Kosten als auch dessen externe Nutzen in Form von positiven Auswirkungen auf die Gesundheit.

### Methodisches Vorgehen

Die Berechnungen der externen Kosten konzentrieren sich auf die **Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekte**. Sie basieren auf nachstehenden Festlegungen:

#### a) Definitionen und Preisbasis

Es werden sowohl die sozialen als auch die externen Kosten bestimmt:

- Die **sozialen** (oder volkswirtschaftlichen) **Kosten** des Verkehrs umfassen die gesellschaftlichen Kosten, die durch die Verkehrsaktivität entstehen. Sie setzen sich aus den internen und externen Kosten zusammen.
- Die **internen Kosten** sind jene Kosten, welche die Verkehrsteilnehmenden selbst für ihre Fahrten auf sich nehmen (z.B. Prämien der Motorfahrzeug-Haftpflichtversicherungen).
- Als **externe Kosten** wird jener Teil der sozialen Kosten bezeichnet, für den nicht die Verursachenden der Verkehrsaktivität aufkommen. Typisches Beispiel ist etwa der Lärm, welcher durch die Verkehrsaktivität verursacht wird, sich jedoch im Preis für die Fahrt nicht widerspiegelt.

Die Ergebnisse werden auf der Preisbasis 2010 zu **Faktorpreisen** ermittelt, d.h. die indirekten Steuern (z.B. MWST) werden nicht berücksichtigt bzw. herausgerechnet.

#### b) Externe Kosten aus unterschiedlichen Sichtweisen

Die externen Effekte können aus verschiedenen Sichtweisen bestimmt werden:

- **Sicht Verkehrsträger:** Der gesamte Verkehrsträger wird als Einheit betrachtet. Innerhalb des Verkehrsträgers werden alle Kosten, welche von den Benutzern dieses Verkehrsträgers selber getragen werden, als intern angesehen (z.B. diejenigen Unfallkosten, die ein Personenwagen einem Velofahrenden verursacht). Externe Kosten ergeben sich bei dieser Sicht nur, wenn sie ausserhalb des Verkehrsträgers anfallen. Bei der Sicht Verkehrs-

träger geht es um die Frage, welcher Verkehrsträger welche Kosten verursacht und bis zu welchem Grad diese Kosten innerhalb des Verkehrsträgers gedeckt werden (Kostendeckungsgrad). Die Sicht Verkehrsträger bildet die Basis für die Transportrechnung und steht im Zentrum dieses Berichtes.

- **Sicht Verkehrsart Schwerverkehr:** Diese Sichtweise wurde vom Bundesgericht für die Berechnung der Höhe der leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe (LSVA) für die Fahrzeugkategorien Gesellschaftswagen, Lieferwagen und Lastwagen vorgeschrieben. Als extern gelten bei dieser Sicht alle Kosten, die nicht innerhalb des Schwerverkehrs anfallen. Im Gegensatz zur Sicht Verkehrsträger werden also Kosten, die ein Lastwagen z.B. einem Personenwagen verursacht, als extern betrachtet.
- **Sicht Verkehrsteilnehmende:** Als dritte Sichtweise wird im Bericht auch die Sicht Verkehrsteilnehmende berechnet (in der Kurzfassung nicht dargestellt, vgl. Kapitel 16.3): Bei dieser Sicht wird für die Abgrenzung der externen Kosten vom einzelnen Verkehrsteilnehmenden ausgegangen. Alle Kosten, die der Verursacher einer der Verkehrsaktivität nicht selbst trägt, werden als extern betrachtet. Bei der Sicht Verkehrsteilnehmende steht die volkswirtschaftlich effiziente Nutzung der Verkehrsinfrastruktur im Zentrum. Die ermittelten Kostensätze dienen als Informationen zur Ermittlung von Internalisierungsbeiträgen.

### c) Abgrenzung der Verkehrsträger und des Untersuchungsraums

Zur **Abgrenzung** der Verkehrsträger werden die Definitionen der Transportrechnung übernommen.

- Zum Strassenverkehr gehören der gesamte Verkehr (inkl. Langsamverkehr) auf Autobahnen bis 3.-Klass-Strassen.
- Im Schienenverkehr werden alle Verkehre auf dem gesamten Schienennetz (ohne Zahnrad- und Seilbahnen) berücksichtigt.
- Im Luftverkehr werden alle Flüge von / nach Landesflughäfen und Regionalflughäfen miteinbezogen. Ausgeschlossen werden Flugfelder, Heliports sowie die militärische Aviatik.
- Im Schiffsverkehr werden die Rheinhäfen in Basel sowie die Anlegestellen der öffentlichen Personenschiffahrt und des Güterverkehrs berücksichtigt.

Die Berechnung der Kosten erfolgt in den Bereichen **Strassen- und Schienenverkehr** grundsätzlich nach dem **Territorialprinzip**: Es erfasst diejenigen Kosten, welche durch den Verkehr in der Schweiz verursacht werden. Im **Luft- und Schiffsverkehr** hingegen wird das **Halbstreckenprinzip** verwendet, d.h. alle Verkehre werden je hälftig dem Quell- und Zielort des Verkehrs zugeordnet (Binnenverkehre sind voll abgedeckt, Verkehre ins / vom Ausland bis zur / ab der Hälfte der Strecke). Das Halbstreckenprinzip dient zur Abgrenzung des internationalen Verkehrs (Luftverkehr und Rheinschiffahrt).

### d) Berücksichtigte Kosten- und Nutzenbereiche sowie Berechnungsansätze

Die vorliegende Untersuchung konzentriert sich auf die Ermittlung der externen Kosten des Verkehrs in 12 ausgewählten Bereichen. Die folgende Tabelle zeigt die wichtigsten methodischen Elemente nach Kostenart.

Abbildung K-1: Methodische Ansätze zur Ermittlung der externen Kosten nach Kostenart

Kostenart	Methodischer Ansatz
Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung	Medizinische Behandlungskosten, Nettoproduktionsausfall, Wiederbesetzungskosten, immaterielle Kosten infolge Verkürzung der Lebenserwartung und Krankheitsfälle (alles Schadenskosten)
Gebäudeschäden durch Luftverschmutzung	a. Kosten für zusätzliche Renovationen (verkehrsexponierte Standorte); b. Kosten durch verkürzte Lebensdauer der Fassade (nicht verkehrsexponierte Standorte); c. Zusätzliche Reinigungskosten (alles Schadenskosten)
Ernteauffälle durch Luftverschmutzung	Verminderung von landwirtschaftlichen Erträgen infolge Ozonbelastung (Schadenskosten)
Waldschäden durch Luftverschmutzung	a. Verminderung von Holzernteerträgen infolge Ozonbelastung; b. Verminderung von Holzernteerträgen infolge Bodenversauerung; c. Kosten durch verstärkten Windwurf als Folge der Bodenversauerung (alles Schadenskosten)
Biodiversitätsverluste durch Luftverschmutzung	Kosten für (virtuelle) Massnahmen zur Wiederherstellung von artenreichen Ökosystemen (Ersatzkostenansatz)
Lärm	Belästigungen (über Abnahme der Wohnungspreise) und Gesundheitskosten (analog zu Gesundheitsschäden durch Luftverschmutzung – alles Schadenskosten)
Klima	Kosten für Vermeidungsmassnahmen zur Erreichung eines langfristigen globalen Klimaziels (Vermeidungskostenansatz)
Natur und Landschaft	Ersatzkostenansatz: a. Habitatverluste: Kosten für (virtuelle) Wiederherstellung von verlorenen Biotop- bzw. Ökosystemflächen (Habitate) b. Habitatfragmentierung: Kosten für (virtuelle) Erstellung von Defragmentierungsbauwerken
Bodenschäden durch toxische Stoffe	Kosten für (virtuelle) Sanierung der durch toxische Stoffe verschmutzten Böden (Reparaturkostenansatz)
Kosten vor- und nachgelagerter Prozesse	Klima- und Luftverschmutzungskosten für Herstellung, Unterhalt und Entsorgung von Fahrzeugen (Verkehrsmitteln), Energieträgern (Treibstoffe, Strom) und Infrastrukturen
Unfälle	Medizinische Behandlungskosten, Nettoproduktionsausfall, Wiederbesetzungskosten, immaterielle Kosten, Administrativkosten, Sachschäden, Polizei- und Rechtsfolgekosten (alles Schadenskosten)
Zusatzkosten in städtischen Räumen	a. Zeitkosten infolge räumlicher Trenneffekte für den Langsamverkehr (Schadenskosten); b. Beeinträchtigung Ortsbild und Aufenthaltsqualität: Kosten für die Aufwertung stark belasteter Ortsdurchfahrten (Reparaturkosten)

Die Nutzen des Verkehrs, welche zweifellos gross sind und mehrheitlich intern anfallen, sind mit einer Ausnahme nicht Gegenstand der vorliegenden Studie. Einzig beim Langsamverkehr werden erstmals für die Schweiz interne und externe Nutzen (höhere Lebenserwartung und weniger Spitalaufenthalte dank physischer Aktivität – methodisch analog bestimmt wie die Gesundheitsschäden durch Luftverschmutzung in Abbildung K-1) ermittelt. Auf andere Nutzenbereiche und deren möglicher externer Anteil wird im Rahmen dieser Studie auftragsgemäss nicht eingegangen (siehe Exkurs in Kapitel 2.2).

#### e) Umgang mit Internalisierungsbeiträgen

**Internalisierungsbeiträge**, die direkt einem Kostenbereich zugeordnet werden können (z.B. lärmabhängige Landegebühren, Klimarappen), werden von den Kosten direkt abgezogen.

Die LSVA – konzipiert zur Internalisierung der externen Kosten des Strassenschwerverkehrs – wird hingegen in einer separaten Schlussbetrachtung den externen Kosten des Schwerverkehrs gegenübergestellt. Die Mineralölsteuer wird hingegen nicht als Internalisierungsbeitrag behandelt, da diese bereits in der Infrastrukturrechnung angerechnet wird.

#### f) Umgang mit Unsicherheiten

Die Berechnung der externen Effekte kann nicht ohne Annahmen und Vereinfachungen vorgenommen werden. Mit diesen **Unsicherheiten** wird wie folgt umgegangen: Falls ein wissenschaftlich fundierter „**best guess**“ vorliegt, wird dieser Wert verwendet. Ansonsten beruht die Berechnung auf einer **vorsichtigen Schätzung** („**at least Ansatz**“), d.h. überall, wo Annahmen und Vereinfachungen vorgenommen werden, werden diese „**so realistisch wie möglich, im Zweifelsfall jedoch konservativ**“ getroffen. Konkret bedeutet dies, dass bei Unsicherheiten vorsichtige Annahmen verwendet werden, die eher zu einer Unter- als einer Überschätzung der tatsächlichen Kosten und Nutzen führen.

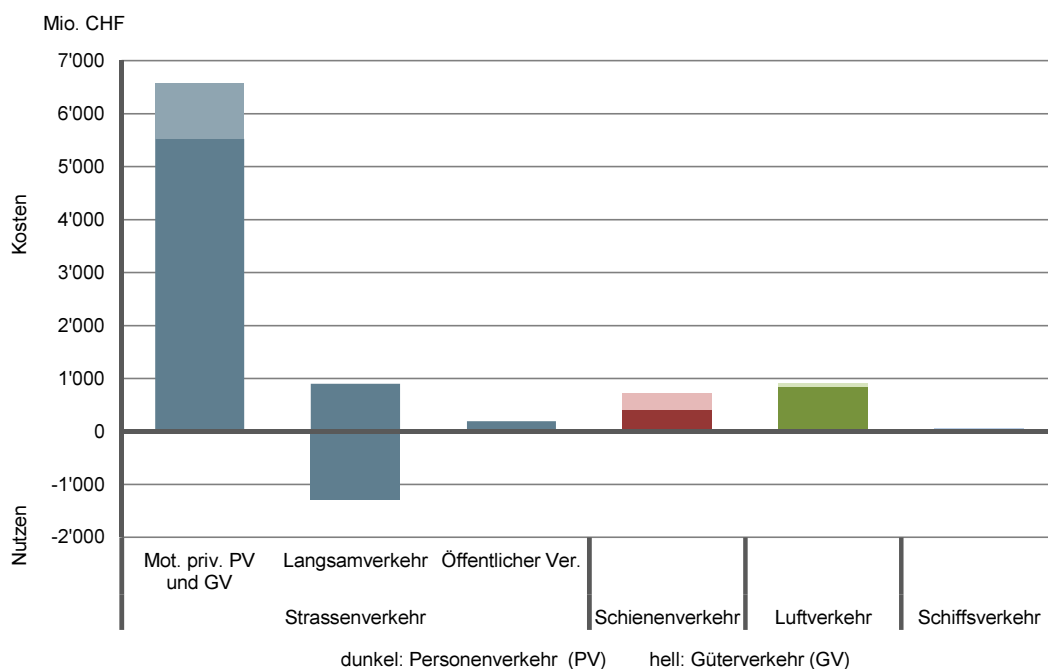
### Ergebnisse zu den externen Effekten

#### a) Externe Effekte Gesamtverkehr

Die Abbildung K-2 und Abbildung K-3 zeigen, dass aus der Sicht Verkehrsträger externe Kosten von insgesamt 9'400 Mio. CHF im Jahr 2010 entstehen. Der Strassenverkehr verursacht den Grossteil dieser Kosten (82% oder 7'700 Mio. CHF – davon motorisierter privater Personenverkehr 5'500 Mio. CHF, Güterverkehr 1'000 Mio. CHF (ein Teil der LSVA wurde als Internalisierung angerechnet), Langsamverkehr 900 Mio. CHF und öffentlicher Strassenverkehr 190 Mio. CHF). An zweiter Stelle folgt der Luftverkehr mit 10% oder 920 Mio. CHF. Der Schienenverkehr verursacht Kosten von 730 Mio. CHF (oder 8%). Der Schiffsverkehr weist externe Kosten von 57 Mio. CHF (0.6%) aus. Insgesamt werden 84% der externen Kosten durch den Personenverkehr verursacht und 16% durch den Güterverkehr. Im Langsamverkehr entstehen ausserdem externe Gesundheitsnutzen von 1'300 Mio. CHF. Zu beachten ist, dass die Verkehrsleistungen der einzelnen Verkehrsträger sehr unterschiedlich sind. Auf der Strasse werden deutlich mehr Personen- und Tonnenkilometer zurückgelegt als auf den anderen Verkehrsträgern, im Schiffsverkehr deutlich weniger.

Es zeigt sich, dass vier Kostenbereiche massgeblich zum Total beitragen: Die Klimakosten, die Unfallkosten, der Lärm und die Gesundheitskosten der Luftverschmutzung verursachen je Kosten von 1'750 bis 2'000 Mio. CHF. Durch vor- und nachgelagerte Prozesse sowie den Bereich Natur und Landschaft entstehen weitere Kosten von je ca. 900 Mio. CHF. Auf die Gebäudeschäden entfallen noch ca. 350 Mio. CHF, alle übrigen Kostenbereiche liegen je unter 150 Mio. CHF. Von diesen Kosten abzuziehen ist ein Teil der LSVA-Einnahmen von gut 700 Mio. (der nicht auf die einzelnen Kostenbereiche aufgeteilt wird). Zudem fallen im Langsamverkehr externe Gesundheitsnutzen von 1'300 Mio. CHF an.

**Abbildung K-2: Überblick über die externen Effekte aus Sicht Verkehrsträger 2010**  
 Strassen- / Schienenverkehr: Territorialprinzip\*, Luft- / Schiffsverkehr: Halbstreckenprinzip\*\*



\* Territorialprinzip : Verkehr innerhalb Schweizer Grenzen

\*\* Halbstreckenprinzip: Verkehr innerhalb Schweizer Grenzen und halbe Flug- / Schiffstrecke von der Schweiz in die Auslandsdestination und umgekehrt (vgl. Kapitel 2.3.2)

**Abbildung K-3: Überblick über die externen Effekte aus Sicht Verkehrsträger 2010**  
 Strassen- / Schienenverkehr: Territorialprinzip, Luft- / Schiffsverkehr: Halbstreckenprinzip

in Mio. CHF	Strassenverkehr			Schienenverkehr	Luftverkehr	Schiffsverkehr	Total
	Mot. priv. PV und GV	Langsamverkehr	Öffentlicher Verkehr				
Gesundheit Luft	1'444	-	60	185	37	29	<b>1'756</b>
Gebäude Luft	297	-	12	38	8	6	<b>362</b>
Ernteaussfälle Luft	52	-	4	1	2	1	<b>59</b>
Waldschäden Luft	45	-	3	1	1	1	<b>51</b>
Biodiversitätsverluste Luft	134	-	7	2	3	3	<b>148</b>
Lärm	1'427	-	37	269	66	-	<b>1'799</b>
Klima	1'234	-	26	4	686	8	<b>1'959</b>
Natur und Landschaft	750	10	10	119	6	5	<b>900</b>
Bodenschäden	113	-	5	24	-	-	<b>142</b>
Vor- und nachgelagerte Prozesse	704	34	20	48	108	3	<b>917</b>
Unfälle	980	856	7	4	2	0	<b>1'850</b>
Städtische Räume	109	-	3	32	-	-	<b>144</b>
Abzug LSVA-Anteil	-720	-	-	-	-	-	<b>-720</b>
<b>Total</b>	<b>6'570</b>	<b>900</b>	<b>194</b>	<b>727</b>	<b>919</b>	<b>57</b>	<b>9'367</b>
<b>Gesundheitsnutzen Langsamverkehr</b>	-	<b>-1'281</b>	-	-	-	-	<b>-1'281</b>

In dieser und allen nachfolgenden Abbildungen können sich Rundungsdifferenzen in den Totalen ergeben.

## b) Externe Effekte Strassenverkehr

Im Strassenverkehr sind die Personenwagen für den Grossteil (63%) der externen Kosten verantwortlich (vgl. Abbildung K-4). Motorräder und Lieferwagen tragen je 7.3% zum Total bei, Lastwagen und Sattelschlepper zusammen 6.1% (ein Teil der LSVA wurde als Internalisierung angerechnet). Im Fussverkehr resultiert ein externer Nutzenüberschuss von gut 500 Mio. CHF: Die Gesundheitsnutzen von 890 Mio. CHF sind deutlich höher als die vom Langsamverkehr verursachten Unfallkosten von 360 Mio. CHF (sowie die geringen übrigen externen Kosten). Trolleybusse und Trams weisen nur sehr geringe externe Kosten auf.

**Abbildung K-4: Externe Effekte aus Sicht Verkehrsträger im Strassenverkehr 2010 nach Kostenbestandteilen und Fahrzeugkategorien sowie Kosten pro pkm bzw. tkm**

Externe Kosten Strassenverkehr in Mio. CHF	Personenverkehr									Güterverkehr				Gesamt- total	
	Motorisierter privater Personenverkehr				Langsamverkehr			Öffentlicher Personenverkehr			Li	LW	SS		Tr/Arbm
	PW	GW	MR	Mofa	Velo	fäG	Fuss	Bus	Trolley	Tram					
Gesundheit Luft	1'019.2	22.7	8.3	0.6	-	-	-	60.2	n.a.	n.a.	129.3	169.4	94.9	n.a.	1'504.6
Gebäude Luft	209.8	4.7	1.7	0.1	-	-	-	12.4	n.a.	n.a.	26.6	34.9	19.5	n.a.	309.7
Ernteaussfälle Luft	27.0	1.2	0.6	0.0	-	-	-	3.7	-	-	6.1	10.0	6.9	n.a.	55.5
Waldschäden Luft	25.0	1.0	0.5	0.0	-	-	-	2.9	-	-	4.9	8.0	5.5	n.a.	47.9
Biodiversitätsverluste Luft	86.5	2.3	1.1	0.0	-	-	-	6.8	-	-	12.3	18.8	13.0	n.a.	140.8
Lärm	644.1	17.2	249.7	1.7	-	-	-	35.4	0.3	1.1	142.6	233.6	137.8	n.a.	1'463.5
Klima	956.2	9.5	17.9	0.8	-	-	-	26.1	-	-	86.5	94.8	68.6	n.a.	1'260.6
Natur und Landschaft	601.1	4.0	9.0	0.5	4.2	0.1	5.9	9.3	0.1	0.1	45.9	53.5	36.1	n.a.	769.7
Bodenschäden	56.8	2.2	1.2	0.1	-	-	-	4.6	0.5	0.0	10.9	26.2	15.5	n.a.	117.9
Vor- und nachgelagerte Prozesse	537.3	4.8	8.7	0.5	12.3	0.5	21.6	11.5	1.9	6.2	49.7	56.4	46.8	n.a.	758.1
Unfälle	590.7	1.7	257.7	59.0	449.7	45.9	360.0	3.1	2.6	1.5	34.2	13.9	6.6	16.6	1'843.3
Städtische Räume	90.6	0.3	1.9	0.1	-	-	-	2.2	0.4	0.6	9.3	3.5	2.9	n.a.	111.8
Abzug LSVA-Anteil	-	-12.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-375.1	-332.1	-	-719.7
<b>Total</b>	<b>4'844.2</b>	<b>58.9</b>	<b>558.1</b>	<b>63.6</b>	<b>466.2</b>	<b>46.5</b>	<b>387.5</b>	<b>178.2</b>	<b>5.8</b>	<b>9.5</b>	<b>558.3</b>	<b>348.0</b>	<b>122.2</b>	<b>16.6</b>	<b>7'663.8</b>
in % des Gesamttotals	63.2%	0.8%	7.3%	0.8%	6.1%	0.6%	5.1%	2.3%	0.1%	0.1%	7.3%	4.5%	1.6%	0.2%	100.0%
<b>Total Sicht Verkehrsart</b>		<b>64.0</b>									<b>372.2</b>	<b>136.7</b>			<b>572.9</b>
Gesundheitsnutzen Langsamverkehr	-	-	-	-	-388.5	n.a.	-892.2	-	-	-	-	-	-	-	-1'280.7
Kosten in Rp/pkm (PV) bzw. Rp/tkm (GV)	5.6	2.3	23.8	47.9	3.7	40.9	-10.3	7.0	1.1	1.0	52.6	4.4	1.2	n.a.	

PW = Personenwagen, GW = Gesellschaftswagen, MR = Motorrad, fäG = fahrzeugähnliches Gerät, Fuss = Fussverkehr, Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper, Tr = Traktor, Arbm = Arbeitsmaschine, n.a. = not available (nicht verfügbar)

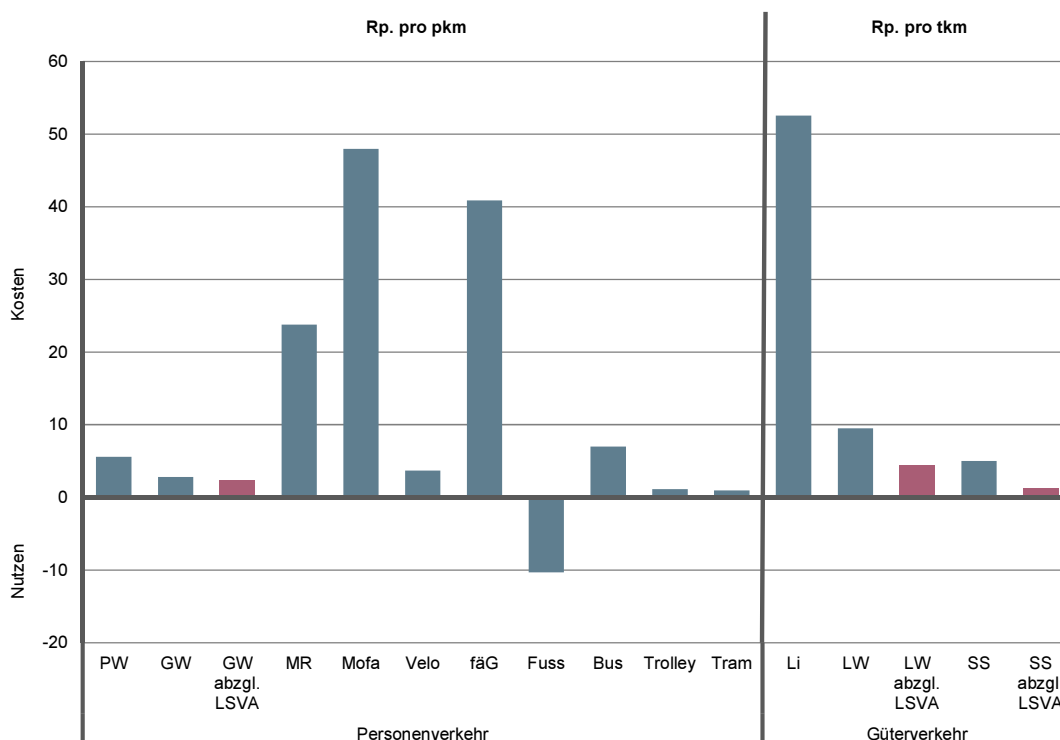
Aus Sicht Verkehrsart liegen die externen Kosten des Schwerverkehrs um 8% höher als aus Sicht Verkehrsträger. Obwohl ein Teil der LSVA-Einnahmen als Internalisierung angerechnet wird, verbleiben im Schwerverkehr in den untersuchten Bereichen externe Kosten von 570 Mio. CHF im Jahr 2010. Dieser Betrag lässt jedoch keine Rückschlüsse zu, ob die Höhe der LSVA richtig bemessen wurde, um die Kosten des Schwerverkehrs gegenüber der Allgemeinheit abdecken zu können. Diese Frage lässt sich nur unter Einbezug der Infrastrukturkosten (bzw. der Über- oder Unterdeckung des Schwerverkehrs in der Kategorienrechnung der Strassenrechnung) klären (vgl. den Exkurs in Kapitel 16.1.1).

Im Personenverkehr verursachen Mofas und fäG (fahrzeugähnliche Geräte) aufgrund der hohen von ihnen verursachten Unfallkosten aus Sicht Verkehrsträger die höchsten externen Kosten pro Personenkilometer (48 bzw. 41 Rp / pkm; vgl. letzte Zeile in Abbildung K-4 bzw. Abbildung K-5), die fäG allerdings nur, weil die Gesundheitsnutzen der fäG nicht bestimmt

werden konnten. Auch Motorräder führen zu Kosten von 24 Rp / pkm (vor allem wegen hoher Unfall- und Lärmkosten), Personenwagen zu solchen von 5.6 Rp / pkm. Der öffentliche Strassenverkehr verursacht durchschnittlich 4.8 Rp / pkm, was aufgrund der relativ hohen Kosten der Luftverschmutzung und des Lärms nur wenig unterhalb der Personenwagen liegt. Bei den Bussen kann aber aufgrund der Datengrundlagen nicht zwischen städtischen Bussen und Regionalbussen unterschieden werden, wobei die städtischen Busse aufgrund der höheren Auslastung besser abschneiden würden. Zudem führen die Personenwagen in Städten zu höheren Kosten als auf Autobahnen – im innerstädtischen Verkehr dürfte deshalb der Bus klar tiefere externe Kosten pro pkm aufweisen als die Personenwagen. Ausserdem hat der Bus oft eine Zubringerfunktion und ist Teil einer möglicherweise langen ÖV-Wegekette mit weiteren Teilstücken im Zug (2.3 Rp / pkm). Der Fussverkehr generiert externe Nutzen von 10 Rp / pkm, im Veloverkehr hingegen sind die von Velofahrenden verursachten Unfallkosten höher als die Gesundheitsnutzen (insgesamt Kosten von 4 Rp / pkm).

Pro Tonnenkilometer verursachen die Lieferwagen aufgrund der geringen Transportmengen mit 53 Rp / tkm die höchsten externen Kosten. Lastwagen bzw. Sattelschlepper sind für Kosten von 4.4 bzw. 1.2 Rp / tkm verantwortlich.

**Abbildung K-5: Externe Effekte aus Sicht Verkehrsträger im Strassenverkehr 2010 pro pkm bzw. tkm**





### c) Externe Effekte Schienenverkehr

Im Schienenverkehr entstehen insgesamt externe Kosten von 727 Mio. CHF. Der Personenverkehr ist für 410 Mio. CHF (oder 56%) verantwortlich, auf den Güterverkehr entfallen 317 Mio. CHF. Bezogen auf die Verkehrsleistung ergibt dies im Personenverkehr 2.3 Rp / pkm und im Güterverkehr 2.8 Rp / tkm.

Im Schienenverkehr sind die Lärmkosten mit 36% des Totals am bedeutsamsten, gefolgt von den Gesundheitskosten der Luftbelastung mit 25% sowie Natur und Landschaft mit 16%. Die übrigen Kostenbereiche tragen einzeln nur je 6% oder weniger zum Total bei.

**Abbildung K-6: Externe Effekte aus Sicht Verkehrsträger im Schienenverkehr 2010 nach Kostenbestandteilen**

Externe Kosten in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
<b>Schieneverkehr</b>			
Gesundheit Luft	116.0	69.1	<b>185.0</b>
Gebäude Luft	23.8	14.2	<b>38.0</b>
Ernteauffälle Luft	0.1	0.7	<b>0.8</b>
Waldschäden Luft	0.1	0.6	<b>0.7</b>
Biodiversitätsverluste Luft	0.2	1.3	<b>1.5</b>
Lärm	101.0	168.1	<b>269.1</b>
Klima	0.6	3.2	<b>3.8</b>
Natur und Landschaft	87.9	31.1	<b>119.0</b>
Bodenschäden	21.1	3.1	<b>24.3</b>
Vor- und nachgelagerte Prozesse	29.2	18.8	<b>48.0</b>
Unfälle	2.0	2.4	<b>4.4</b>
Städtische Räume	28.3	4.2	<b>32.5</b>
<b>Total</b>	<b>410.3</b>	<b>316.7</b>	<b>727.0</b>

### d) Externe Effekte Luftverkehr

Im Luftverkehr betragen die externen Kosten insgesamt 919 Mio. CHF, wobei 92% oder 842 Mio. CHF vom Personenverkehr verursacht werden und 77 Mio. CHF vom Güterverkehr (vgl. Abbildung K-7). Dies ergibt 2.7 Rp / pkm bzw. 7.6 Rp / tkm. Im Luftverkehr sind die Klimakosten mit 75% des Totals der klar dominierende Kostenbereich. Daneben resultieren 12% von vor- und nachgelagerten Prozessen, 7% vom Lärm und 4% von den Gesundheitskosten der Luftverschmutzung. Die übrigen Kostenbereiche tragen je weniger als 1% zum Total bei (bzw. zusammen 2.4%). Verwendet man als Sensitivitätsrechnung den minimalen bzw. maximalen CO<sub>2</sub>-Kostensatz für die Klimakosten und die vor- und nachgelagerten Prozesse, schwanken die Gesamtkosten des Luftverkehrs zwischen 580 und 1'515 Mio. CHF.

Zudem werden 95% dieser Kosten oder 875 Mio. CHF durch Flüge ab / nach Landesflughäfen verursacht und nur 5% oder 44 Mio. CHF durch Flüge ab / nach Regionalflugplätzen (Flugfelder und Heliports werden hier nicht betrachtet). Der Linien- und Charterverkehr ist für

90% der Kosten verantwortlich, je hälftig verteilt auf den interkontinentalen bzw. europäischen Linien- und Charterverkehr. Helikopter verursachen 0.3% der Kosten, die übrige General Aviation ist für die verbleibenden 9% der Kosten verantwortlich.

**Abbildung K-7: Externe Effekte aus Sicht Verkehrsträger im Luftverkehr 2010 nach Kostenbestandteilen**

Externe Kosten in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
<b>Luftverkehr</b>			
Gesundheit Luft	33.8	3.3	<b>37.1</b>
Gebäude Luft	7.6	0.8	<b>8.4</b>
Ernteauffälle Luft	1.4	0.1	<b>1.6</b>
Waldschäden Luft	1.2	0.1	<b>1.3</b>
Biodiversitätsverluste Luft	2.7	0.3	<b>3.0</b>
Lärm	62.4	3.8	<b>66.2</b>
Klima	627.1	59.0	<b>686.1</b>
Natur und Landschaft	5.4	0.5	<b>6.0</b>
Bodenschäden	-	-	-
Vor- und nachgelagerte Prozesse	98.3	9.3	<b>107.6</b>
Unfälle	1.7	0.0	<b>1.8</b>
Städtische Räume	-	-	-
<b>Total</b>	<b>841.8</b>	<b>77.3</b>	<b>919.0</b>

#### e) Externe Effekte Schiffsverkehr

Im Schiffsverkehr entstehen insgesamt externe Kosten (aus Sicht Verkehrsträger) von 57 Mio. CHF (vgl. Abbildung K-8). Dabei entfallen 53% oder 31 Mio. CHF auf den Personenverkehr auf den Schweizer Seen und 47% oder 27 Mio. CHF auf den Güterverkehr. Umgerechnet auf die Verkehrsleistungen ergibt dies 19 Rp / pkm bzw. 1.3 Rp / tkm. Im Güterverkehr bestehen allerdings bedeutende Unterschiede zwischen dem Schiffsverkehr auf dem Rhein (unterhalb Basel nach dem Halbstreckenprinzip) und dem Güterverkehr auf den Schweizer Seen: Unterhalb Basel belaufen sich die Kosten lediglich auf 0.5 Rp / tkm, auf den Seen hingegen auf 46 Rp / tkm (also 95-mal mehr). Dies ist eine Folge der deutlich kleineren Tonnagen und kürzeren Strecken auf den Seen sowie der höheren Schadstoffemissionen (zudem schätzen wir die Datenlage im Schiffsverkehr als vergleichsweise unsicher ein).

Im Schiffsverkehr führen die PM10-Emissionen zu den höchsten Kosten, nämlich zu 51% durch Gesundheitskosten und 11% durch Gebäudeschäden. Das Klima trägt 14% zum Total bei, Natur und Landschaft 9%. Die übrigen Kostenbereiche führen jeweils nur zu 6% der Kosten oder weniger (zusammen 15%).

**Abbildung K-8: Externe Effekte aus Sicht Verkehrsträger im Schiffsverkehr 2010 nach Kostenbestandteilen**

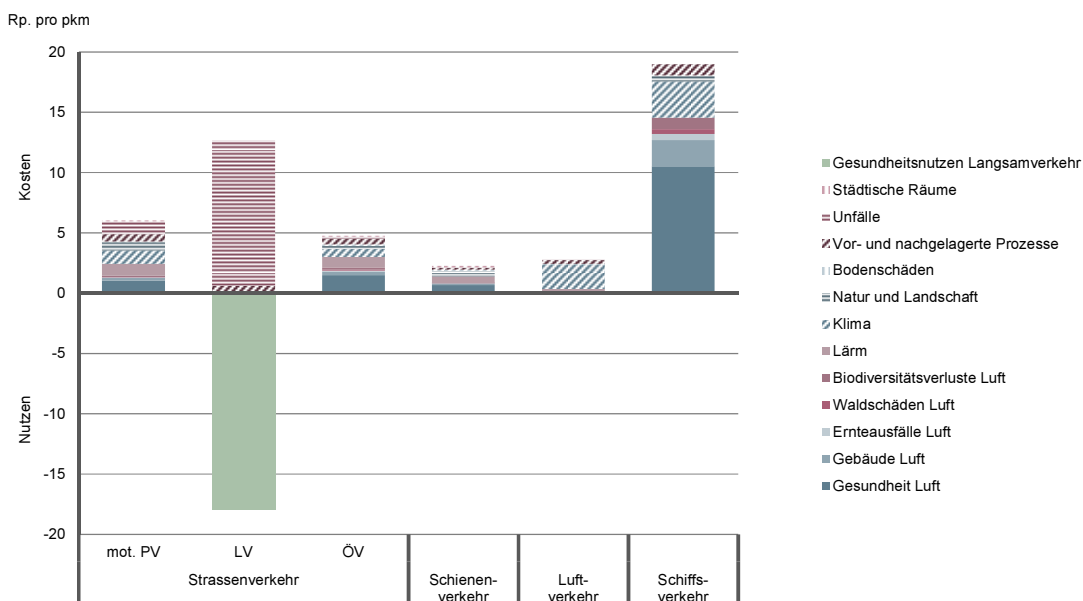
Externe Kosten in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
<b>Schiffsverkehr</b>			
Gesundheit Luft	17.0	12.5	<b>29.4</b>
Gebäude Luft	3.5	2.6	<b>6.1</b>
Ernteausfälle Luft	0.8	0.6	<b>1.4</b>
Waldschäden Luft	0.7	0.5	<b>1.2</b>
Biodiversitätsverluste Luft	1.6	1.1	<b>2.7</b>
Lärm	-	-	-
Klima	4.8	3.3	<b>8.1</b>
Natur und Landschaft	0.8	4.2	<b>5.0</b>
Bodenschäden	-	-	-
Vor- und nachgelagerte Prozesse	1.5	1.9	<b>3.4</b>
Unfälle	0.0	0.1	<b>0.1</b>
Städtische Räume	-	-	-
<b>Total</b>	<b>30.6</b>	<b>26.8</b>	<b>57.5</b>

#### f) Vergleich der externen Effekte der vier Verkehrsträger

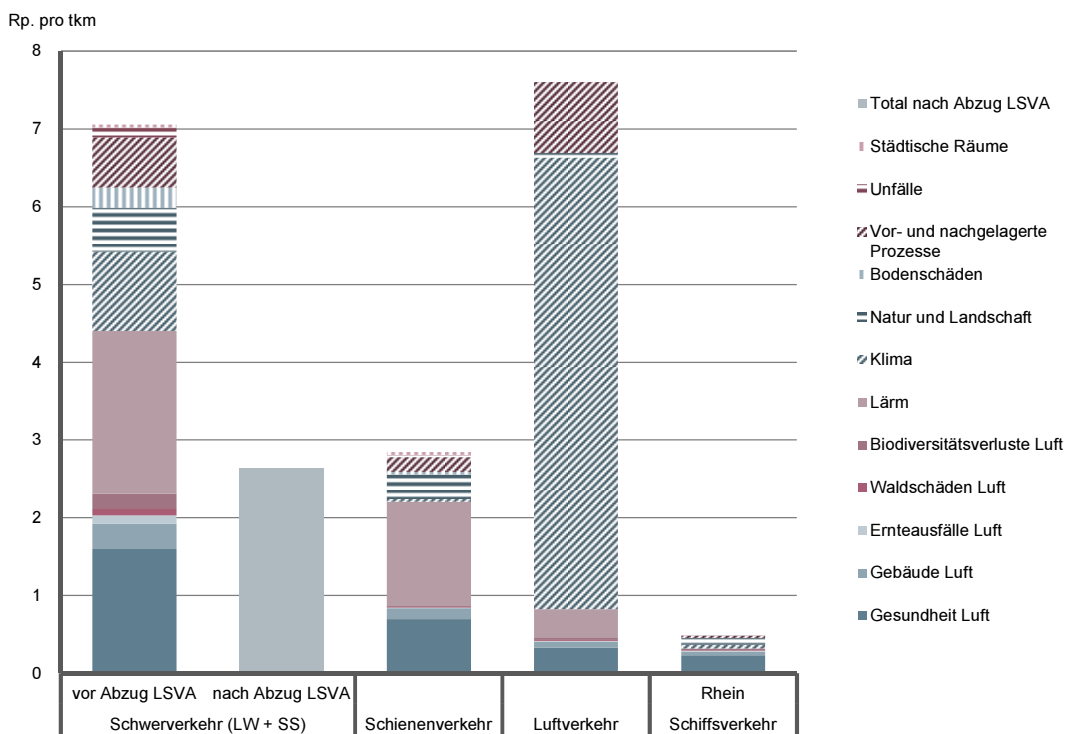
Im **Personenverkehr** verursacht der motorisierte Privatverkehr externe Kosten von 6.0 Rp / pkm, was etwas höher liegt als der öffentliche Strassenverkehr mit 4.8 Rp / pkm (vgl. Abbildung K-9). Der Schienenverkehr verursacht mit 2.3 Rp / pkm die tiefsten Kosten pro pkm. Der Luftverkehr liegt aufgrund der grossen Distanzen und der hohen Auslastung bei 2.7 Rp / pkm. Die höchsten Kosten verzeichnet der Schiffsverkehr mit 19 Rp / pkm, dies aufgrund der sehr hohen Emissionen von Luftschadstoffen und Klimagasen. Ebenfalls hohe Kosten pro pkm verursacht der Langsamverkehr (vor allem selbst verursachte Unfallkosten) – er kann diese aber durch die noch höheren externen Gesundheitsnutzen mehr als kompensieren, so dass sich ein Nutzenüberschuss von 5.3 Rp / pkm ergibt. Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass die einzelnen Verkehrsträger und Fahrzeugkategorien nur bedingt vergleichbar sind bzw. dass der Vergleich vor allem für Verkehre mit ähnlichen Streckenlängen sinnvoll ist (z.B. Vergleich verschiedener städtischer Fahrzeugkategorien oder Vergleich von Verkehrsträgern für Langstrecken).

Im **Güterverkehr** verursacht der Strassenverkehr Kosten von 7.1 Rp / tkm (Durchschnitt Lastwagen und Sattelschlepper, vgl. Abbildung K-10). Davon werden aber 4.4 Rp / tkm durch die LSVA internalisiert, so dass nur noch 2.6 Rp / tkm extern sind. Die Nettokosten sind tiefer als die Kosten des Schienenverkehrs (2.8 Rp / tkm). Im Luftverkehr resultieren externe Kosten von 7.6 Rp / tkm und im Schiffsverkehr auf dem Rhein 0.5 Rp / tkm (der Güterverkehr auf Seen mit 46 Rp / tkm wird in der Abbildung K-10 nicht dargestellt, da nur 2% der tkm im Schiffsverkehr auf Seen erfolgt). Beim Vergleich der Verkehrsträger ist zu beachten, dass die Wertigkeit der Güter pro Tonne sehr unterschiedlich ist (z.B. Massengüter im Schiffsverkehr, hochwertige Güter im Luftverkehr).

**Abbildung K-9: Vergleich der Verkehrsträger im Personenverkehr 2010: Externe Kosten pro pkm (Sicht Verkehrsträger)**  
 Strassen- / Schienenverkehr: Territorialprinzip, Luft- / Schiffsverkehr: Halbstreckenprinzip



**Abbildung K-10: Vergleich der Verkehrsträger im Güterverkehr 2010: Externe Kosten pro tkm (Sicht Verkehrsträger)**  
 Strassen- / Schienenverkehr: Territorialprinzip, Luft- / Schiffsverkehr: Halbstreckenprinzip



## g) Unsicherheiten

Die Berechnungen der externen und sozialen Kosten unterliegen teilweise erheblichen Unsicherheiten. Diese wurden im Rahmen von Sensitivitätsanalysen untersucht. Dabei wurden einzelne wesentliche Annahmen verändert und analysiert, wie sich das Ergebnis dadurch verändert. Die Abbildung K-11 fasst die Ergebnisse zusammen und zeigt pro Kostenbereich die Schwankungsbreiten der externen Kosten für jeweils die Summe der vier Verkehrsträger (Sicht Verkehrsträger). Die Schwankungsbreiten variieren je nach Kostenbereich zwischen  $-11\%$  /  $+11\%$  und  $-50\%$  /  $+80\%$ :

- **Gesundheit Luft:** Die Bewertung der immateriellen Kosten der verlorenen Lebensjahre mit dem VLYL (value of life year lost) ist unsicher, da dieser eine Schwankungsbreite von  $-50\%$  bis  $+100\%$  hat. Die Gesundheitskosten schwanken dadurch um  $-35\%$  bis  $+71\%$ .
- **Lärm:** Obwohl grosse Anstrengungen unternommen wurden, zuverlässige Lärmmodelle zu entwickeln, führen die Unsicherheiten in der Lärmberechnung zu einer Schwankungsbreite von  $-37\%$  bis  $+44\%$ .
- **Klima:** Bei den Klimakosten führt vor allem die Unsicherheit bei der Höhe des CO<sub>2</sub>-Kostensatzes zu Schwankungen um  $-45\%$  bis  $+80\%$ .
- **Natur und Landschaft:** Hier führt die unsichere Höhe des Kostensatzes für Habitatfragmentierungen zu Schwankungen von  $-22\%$  bis  $+27\%$ .
- **Unfälle:** Die externen Unfallkosten können relativ genau bestimmt werden ( $\pm 11\%$ ), wobei die Schwankungen vor allem auf die unsichere Höhe der Transferleistungen und der Regressanteile zurückzuführen ist.
- **Gesundheitsnutzen Langsamverkehr:** Die Gesundheitsnutzen schwanken lediglich um  $\pm 15\%$ . Die Unsicherheit beim Zusammenhang zwischen Bewegungsaktivität und Gesundheitsnutzen konnte jedoch nicht quantifiziert werden.

Abbildung K-11: Schwankungsbreiten in den Sensitivitätsanalysen

in Mio. CHF	Basisresultat	Minimaler Wert	Maximaler Wert	Schwankungsbreite
Gesundheit Luft	1'756	1'133	3'002	-35% bis +71%
Gebäude Luft	362	272	453	-25% bis +25%
Ernteauffälle Luft	59	43	76	-27% bis +29%
Waldschäden Luft	51	35	66	-32% bis +30%
Biodiversitätsverluste Luft	148	118	178	-20% bis +20%
Lärm	1'799	1'136	2'593	-37% bis +44%
Klima	1'959	1'069	3'528	-45% bis +80%
Natur und Landschaft	900	703	1'140	-22% bis +27%
Bodenschäden	142	71	213	-50% bis +50%
Vor- und nachgelagerte Prozesse	917	551	1'562	-40% bis +70%
Unfälle	1'850	1'649	2'056	-11% bis +11%
Städtische Räume	144	116	256	-19% bis +77%
Gesundheitsnutzen Langsamverkehr	-1'281	-1'092	-1'446	-15% bis +13%

Viele dieser Unsicherheiten sind jedoch unabhängig voneinander, so dass sich die Schwankungsbreiten bei einer Aufsummierung über alle Kostenbereiche vermindern bzw. teilweise kompensieren. Zudem gilt es zu beachten, dass in zahlreichen Einzelentscheiden die Annahmen so getroffen wurden, dass die ausgewiesenen Kosten unterschätzt werden.

#### h) Vergleich externe Effekte mit bisherigen Ergebnissen

In diesem Abschnitt werden die neuen Ergebnisse für das Jahr 2010 mit den Resultaten für das Jahr 2005 verglichen (vgl. Ecoplan, Infras 2008). Der Vergleich beschränkt sich hierbei auf den Strassen- und Schienenverkehr, da zu den anderen Verkehrsträgern keine offiziellen Berechnungen für das Jahr 2005 vorliegen.

Im **Strassenverkehr** sind die Kosten gemäss neuester Berechnung für 2010 praktisch gleich hoch wie 2005 (beim Strassenverkehr wurde für die Vergleichbarkeit der Ergebnisse der Langsamverkehr aus den Berechnungen 2010 entfernt). Real, d.h. um die Teuerung bereinigt, kann somit eine Abnahme festgestellt werden. Die Konstanz ist auf gegenläufige Effekte in verschiedenen Kostenbereichen zurückzuführen, die sich gegenseitig praktisch ausgleichen:

- Abnahme der Gesundheitskosten der Luftbelastung um 330 Mio. CHF aufgrund neuer Erkenntnisse zur Belastungs-Wirkungs-Beziehung zwischen Luftbelastung und verlorenen Lebensjahren.
- Abnahme der Unfälle um 450 Mio. CHF, vor allem weil die Häufigkeit und die Schwere der Unfälle deutlich abgenommen haben.
- Zunahme der Lärmkosten um 360 Mio. CHF aufgrund steigender Preise, wachsender Bevölkerung, zunehmender Zahl der Wohnungen sowie tieferer Lärmschwellenwerte bei der Ermittlung der Gesundheitskosten.

**Abbildung K-12: Vergleich der Berechnungen für die Jahre 2005 und 2010 (externe Kosten Sicht Verkehrsträger)**

in Mio. CHF	Strassenverkehr (ohne LV)			Schienenverkehr		
	2005	2010	Differenz	2005	2010	Differenz
Gesundheit Luft	1'834	1'505	-329	120	185	65
Gebäude Luft	274	310	36	15	38	23
Ernteauffälle Luft	63	55	-8	2	1	-1
Waldschäden Luft	64	48	-16	2	1	-1
Biodiversitätsverluste Luft	n.a.	141	141	n.a.	2	2
Lärm	1'101	1'463	363	74	269	195
Klima	1'256	1'261	4	7	4	-3
Natur und Landschaft	687	760	72	110	119	9
Bodenschäden	107	118	11	33	24	-9
Vor- und nachgelagerte Prozesse	593	724	131	41	48	7
Unfälle	1'435	988	-447	4	4	0
Städtische Räume	78	112	34	20	32	12
<b>Total</b>	<b>7'492</b>	<b>7'483</b>	<b>-9</b>	<b>429</b>	<b>727</b>	<b>298</b>

- Biodiversitätsverluste durch Luftbelastung (140 Mio. CHF) werden erstmals berücksichtigt.
- Zunahme der vor- und nachgelagerten Prozesse um 130 Mio. CHF aufgrund der neu berücksichtigten indirekten Luftschadstoffemissionen (bisher nur Klimagase miteinbezogen) sowie des höheren Klimakostensatzes.
- Zunahme mehrerer anderer Kostenbereiche, vorwiegend aufgrund der steigenden Preise.

Im **Schieneverkehr** nehmen die Kosten zwischen 2005 und 2010 um 69% oder 298 Mio. CHF zu. Davon können ca. 60 Mio. CHF wie im Strassenverkehr durch Preissteigerungen, Bevölkerungswachstum etc. erklärt werden. Der Rest ist mehrheitlich auf den Lärmbereich zurückzuführen: Einerseits basiert die Bewertung der Lärmauswirkungen neu hauptsächlich auf dem Nachtlärm (anstatt dem Taglärm), der im Schienenverkehr nur unbedeutend unter dem Taglärm liegt. Andererseits werden die Schwellenwerte reduziert, ab denen die Lärmauswirkungen berücksichtigt werden. Wichtig sind zudem auch die höheren PM10-Immissionen, die zu höheren Gesundheitskosten und Gebäudeschäden führen.

## Ergebnisse zu den sozialen Effekten

Die Abbildung K-13 zeigt die gesamten sozialen Kosten und Nutzen für die untersuchten Bereiche. Zusätzlich zu den bisherigen externen Effekten sind folgende (interne) Kosten und Nutzen zu berücksichtigen:

- **Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr:** Dank der Bewegung im Langsamverkehr erhöht sich die Lebenserwartung und die Anzahl Spitalaufenthalte verringert sich. Zusätzlich zu den ausgewiesenen 1'281 Mio. CHF externe Nutzen beträgt die interne Zahlungsbereitschaft für diesen immateriellen Nutzen (Vermeidung von Leid, Schmerz, Schock und Gewinn an Lebensfreude) ca. 11'000 Mio. CHF.
- **Unfallkosten:** Die internen Unfallkosten belaufen sich auf 10'300 Mio. CHF (davon 10'200 Mio. CHF im Strassenverkehr) und bestehen zu ca. drei Vierteln ebenfalls aus immateriellen Kosten. Ein grosser Kostenblock stellen auch die Sachschäden dar, welche von den Unfallverursachern bzw. von ihren Haftpflichtversicherungen bezahlt werden.
- **Trenneffekte:** Die Wartezeiten im Langsamverkehr aufgrund des motorisierten Verkehrs (158 Mio. CHF) fallen innerhalb des Verkehrsträgers Strasse an.
- **Internalisierungsbeiträge:** Bei der Ermittlung der externen Kosten wurden Internalisierungsbeiträge abgezogen. Für die Ermittlung der sozialen Kosten sind diese nun wieder hinzuzurechnen. Sie bestehen aus dem LSVA-Anteil (720 Mio. CHF), den Einnahmen aus dem Klimarappen (106 Mio. CHF, davon 105 Mio. CHF im Strassenverkehr) sowie den lärm- bzw. emissionsabhängigen Landegebühren (34 bzw. 4 Mio. CHF).

Das Total der sozialen Effekte liegt somit bei 20'700 Mio. CHF im Jahr 2010. Der Strassenverkehr ist unter anderem aufgrund der hohen Verkehrsleistungen und der hohen Unfallkosten für 91% dieser Kosten verantwortlich (18'800 Mio. CHF). Allerdings muss der Strassenverkehr differenziert betrachtet werden: Der motorisierte Privatverkehr verursacht soziale Kosten von 11'700 Mio. CHF, der Güterverkehr 2'400 Mio. CHF und der öffentliche Strassenverkehr 340 Mio. CHF. Im Langsamverkehr entstehen einerseits Kosten von 4'400 Mio. CHF

und andererseits Nutzen von 12'300 Mio. CHF, so dass ein sozialer Nutzenüberschuss von 8'000 Mio. CHF resultiert. Der Luftverkehr verursacht soziale Kosten von 985 Mio. CHF (5%), der Schienenverkehr solche von 800 Mio. CHF (4%) und der Schiffsverkehr lediglich 60 Mio. CHF (0.3%).

### Abbildung K-13: Überblick über die sozialen Effekte 2010

Strassen- / Schienenverkehr: Territorialprinzip, Luft- / Schiffsverkehr: Halbstreckenprinzip

in Mio. CHF	Mot. priv. PV und GV	Langsam- verkehr	Öffentlicher Verkehr	Schiene- verkehr	Luft- verkehr	Schiffs- verkehr	Total
Gesundheit Luft	1'444	-	60	185	41	29	<b>1'760</b>
Gebäude Luft	297	-	12	38	8	6	<b>362</b>
Ernteauffälle Luft	52	-	4	1	2	1	<b>59</b>
Waldschäden Luft	45	-	3	1	1	1	<b>51</b>
Biodiversitätsverluste Luft	134	-	7	2	3	3	<b>148</b>
Lärm	1'427	-	37	269	100	-	<b>1'833</b>
Klima	1'337	-	28	4	686	9	<b>2'064</b>
Natur und Landschaft	750	10	10	119	6	5	<b>900</b>
Bodenschäden	113	-	5	24	-	-	<b>142</b>
Vor- und nachgelagerte Prozesse	704	34	20	48	108	3	<b>917</b>
Unfälle	7'542	4'315	148	76	30	2	<b>12'113</b>
Städtische Räume	262	-	8	32	-	-	<b>302</b>
<b>Total soziale Kosten</b>	<b>14'107</b>	<b>4'359</b>	<b>341</b>	<b>799</b>	<b>985</b>	<b>60</b>	<b>20'651</b>
<b>Gesundheitsnutzen Langsamverkehr</b>	-	<b>-12'314</b>	-	-	-	-	<b>-12'314</b>
<b>Externe Effekte Sicht Verkehrsträger</b>							
Totale externe Kosten	6'570	900	194	727	919	57	<b>9'367</b>
Gesundheitsnutzen Langsamverkehr	-	-1'281	-	-	-	-	<b>-1'281</b>
<b>Differenz soziale - externe Effekte</b>							
Total soziale - externe Kosten	7'537	3'459	148	72	66	2	<b>11'284</b>
Soziale - externe Gesundheitsnutzen LV	-	-11'034	-	-	-	-	<b>-11'034</b>

Insgesamt werden 86% der sozialen Kosten durch den Personenverkehr verursacht und 14% durch den Güterverkehr. Der Anteil des Personenverkehrs liegt damit leicht höher als bei den externen Kosten, weil im Strassenverkehr die Unfallkosten vor allem durch den Personenverkehr verursacht werden. Zudem fallen die Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr im Personenverkehr an.

Betrachtet man die Beiträge der einzelnen Kosten- und Nutzenbereiche, fallen die beiden Haupteffekte Unfälle und Gesundheitsnutzen Langsamverkehr mit gut +12 bzw. -12 Mrd. CHF sofort auf. Die Klimakosten, der Lärm und die Gesundheitskosten der Luftverschmutzung verursachen soziale Kosten von je 1'750 bis 2'100 Mio. CHF. Durch vor- und nachgelagerten Prozesse sowie den Bereich Natur und Landschaft entstehen weitere Kosten von je ca. 900 Mio. CHF.



## Résumé

### Contexte et but

L'Office fédéral de la statistique (OFS) et l'Office fédéral du développement territorial (ARE) établissent le compte des transports de la Suisse pour l'année 2010. Cette analyse réactualise le compte des transports pour l'année 2005 (OFS 2009) et, pour la première fois, prend en considération non seulement les transports par la route et le rail, mais également le trafic aérien et une partie du transport par bateau.

Le présent rapport est une contribution à l'établissement du compte global des transports. Il porte principalement sur l'évaluation des coûts externes engendrés par les modes de transport en 2010. Pour la première fois, tant les coûts que les bénéfices externes sous forme d'effets positifs sur la santé générés par la mobilité douce (déplacements à pied et à vélo) ont été inclus dans les calculs relatifs au mode de transport « route ».

### Méthodologie

Les calculs des coûts externes sont focalisés sur les **effets sur l'environnement, les accidents et la santé**. Ils se basent sur les observations suivantes:

#### a) Définitions et base de prix

Les calculs prennent en compte les coûts tant sociaux qu'externes:

- Les **coûts sociaux** (ou économiques) des transports désignent les coûts sociaux qui résultent des activités liées aux transports. Ils sont composés de coûts internes et externes.
- Les **coûts internes** sont les coûts des déplacements assumés directement par les usagers des transports (par ex. primes d'assurance responsabilité civile des voitures automobiles).
- Les **coûts externes** désignent la part des coûts sociaux qui n'est pas directement couverte par les usagers des transports. L'exemple-type est le bruit occasionné par les transports qui n'est pas pris en considération dans le prix des billets de transport.

Les résultats des calculs effectués sur la base des prix 2010 sont présentés sous la forme de **coûts des facteurs**, c'est-à-dire que la fiscalité indirecte en a été déduite (par ex. la TVA).

#### b) Les coûts externes selon différents points de vue

Les effets externes peuvent être considérés de différents points de vue:

- **Approche « mode de transport »**: l'intégralité d'un mode de transport est considérée comme une unité. Selon cette approche, tous les coûts directement couverts par les usagers de ce mode de transport sont considérés comme internes (par ex. les coûts liés à un accident provoqué par une voiture ayant percuté un cycliste). Les coûts externes sont les

coûts qui ne sont pas imputés au mode de transport concerné. Il importe par conséquent de disposer de données permettant de savoir quel mode de transport engendre quels coûts et jusqu'à quel taux ces coûts sont couverts par chaque mode de transport (taux de couverture des coûts). L'approche par « mode de transport » fournit les données de référence pour l'établissement du compte des transports et constitue par conséquent le principal sujet du présent rapport.

- **Approche « catégorie trafic poids lourds »**: Cette approche a été imposée par le Tribunal fédéral pour le calcul du montant des recettes de la redevance sur le trafic des poids lourds liée aux prestations (RPLP) pour les catégories de véhicules suivants: autocars, véhicules de livraison et camions. Avec cette approche, tous les coûts qui ne sont pas internalisés dans la catégorie trafic poids lourds sont comptés comme coûts externes. Au contraire de l'approche par « mode de transport », les coûts causés par exemple par un poids lourd à une voiture de tourisme sont, selon cette approche, considérés comme externes.
- **Approche « usager du mode de transport »**: le présent rapport étudie une troisième approche, celle de l'usager du mode de transport (pas d'analyse dans le résumé, cf. chapitre 16.3): selon cette approche, la délimitation entre coûts internes et externes se fait en considérant chaque usager. Tous les coûts qui ne sont pas imputés à celui qui les cause sont considérés comme des coûts externes. Cette approche est centrée sur l'efficacité économique des infrastructures de transport. Les coûts unitaires calculés selon cette approche donnent des informations sur la part des coûts internalisés.

### c) Délimitation des modes de transport et champ d'analyse

La **délimitation** des modes de transport est calquée sur les définitions usuelles du compte des transports.

- Le transport routier comprend l'ensemble du trafic (y compris la mobilité douce) sur le réseau routier depuis la catégorie des autoroutes aux routes de troisième classe.
- Le transport ferroviaire englobe tous les moyens de transport utilisant le réseau ferroviaire (sauf les funiculaires et les chemins de fer à crémaillère).
- Dans les transports aériens sont comptabilisés tous les vols de/ et à destination d'aéroports nationaux et régionaux. Ne sont pas inclus dans les calculs les aérodromes, les héliports et les champs d'aviation militaire.
- Le transport par bateau prend en considération les ports rhénans de Bâle ainsi que les emplacements d'amarrage utilisés par les compagnies publiques de transport de personnes et pour le transport de marchandises.

Le calcul des coûts dans les transports **routiers et ferroviaires** obéit au **principe de territorialité**: il comprend les coûts engendrés par les transports en Suisse. Il en va tout autrement pour le **transport par bateau et par avion** pour lequel on applique le **principe du calcul de la moitié du trajet**, c'est-à-dire que seule la moitié de la distance depuis le lieu de départ ou de destination est considérée (les trajets intérieurs sont entièrement couverts tandis que les trajets depuis / à destination de l'étranger sont couverts à partir de/jusqu'à la moitié de la

distance). Ce principe permet de délimiter les calculs pour les transports internationaux (trafic aérien et navigation sur le Rhin).

#### d) Domaines de coûts et bénéfices pris en considération et modes de calcul

La présente étude porte principalement sur l'évaluation des coûts externes des transports dans 12 domaines sélectionnés. Le tableau ci-dessous présente les axes méthodologiques essentiels utilisés par domaine de coûts.

Figure R-1: Modes de calcul des coûts externes par domaine de coûts

Domaine de coûts	Méthode de calcul
Coûts de la santé dus à la pollution de l'air	Frais de traitement médical, pertes brutes de production, coûts de remplacements, coûts immatériels résultant d'une espérance de vie raccourcie et des maladies provoquées (que les coûts de dommages)
Dégâts aux bâtiments dus à la pollution de l'air	a. Coûts de rénovations supplémentaires (lieux exposés au trafic); b. Coûts résultant de la durée de vie plus courte des façades (lieux non exposés au trafic); c. Coûts supplémentaires de nettoyage (que les coûts de dommages)
Pertes agricoles dues à la pollution de l'air	Diminution des rendements agricoles en raison de la pollution à l'ozone (que les coûts de dommages)
Dégâts aux forêts dus à la pollution de l'air	a. Diminution des rendements sylvicoles en raison de la pollution à l'ozone; b. Diminution des rendements sylvicoles en raison de l'acidification des sols; c. Coûts occasionnés par une augmentation des chutes d'arbres lors de vents violents en raison de l'acidification des sols (que les coûts de dommages)
Pertes de biodiversité dues à la pollution de l'air	Coûts des mesures (virtuelles) de restauration d'écosystèmes riches en espèces (coûts de remplacement)
Bruit	Nuisances (baisse des revenus locatifs) et coûts de la santé (idem que coûts de la santé dus à la pollution de l'air – que les coûts de dommages)
Climat	Coûts des mesures de prévention à prendre pour atteindre les objectifs climatiques internationaux à long terme (coûts de prévention)
Nature et paysage	Coûts des mesures de remplacement: a. Disparition d'habitats naturels: coûts des mesures (virtuelles) de remplacement des surfaces de biotopes et d'écosystèmes perdues (habitats naturels) b. Fragmentation des habitats naturels: coût de la construction (virtuelle) d'ouvrages de liaisons
Dégâts aux sols dus à des substances toxiques	Coût des mesures (virtuelles) d'assainissement des sols contaminés par des substances toxiques (coûts de réparation)
Processus en amont et en aval	Coûts engendrés par la pollution climatique et atmosphérique pour la production, l'entretien et l'élimination de véhicules (moyens de transport), d'agents énergétiques (carburant, électricité) et d'infrastructures
Accidents	Frais de traitement médical, pertes brutes de production, coûts de remplacements, coûts immatériels, frais administratifs, dégâts matériels, coûts d'intervention de la police et frais juridiques (que les coûts de dommages)
Coûts supplémentaires dans les espaces urbains	a. Pertes de temps dues à des effets de barrage pour la mobilité douce (que les coûts des dommages); b. Dégradation des sites et de la qualité de vie: coûts de la requalification de traversées de localités fortement chargées (coûts de réparation)

A une seule exception près, la présente étude n'analyse pas les bénéfices des transports qui sont indiscutablement importants et très souvent internalisés. Pour la première fois en Suisse, les bénéfices internes et externes de la mobilité douce, et uniquement de celle-ci, (allongement de l'espérance de vie et diminution des séjours à l'hôpital grâce à la pratique d'une activité physique – calculés selon une méthode analogue à celle des coûts de la santé dus à la pollution atmosphérique, voir figure R-1) ont été calculés. Conformément au mandat d'étude imparti, les autres domaines de bénéfices de même que la détermination de la part de ces bénéfices qui pourraient être externalisée n'ont pas été étudiés (voir chapitre 2.2).

#### e) Traitement des montants internalisés

**Les montants internalisés** qui peuvent être directement attribués à un domaine de coûts (par ex. les taxes d'atterrissage calculées en fonction du bruit, le centime climatique) sont immédiatement déduits des coûts. Conçue pour l'internalisation des coûts externes du trafic poids lourds, la RPLP fait en revanche l'objet d'une comparaison avec les coûts externes du trafic poids lourds lors d'une analyse finale séparée. L'impôt sur les huiles minérales n'est par contre pas traité comme un montant internalisé car il est déjà imputé au compte d'infrastructures.

#### f) Traitement des incertitudes

Le calcul des coûts externes ne peut pas se faire sans recourir à un certain nombre d'hypothèses et de simplifications. Ces **incertitudes** sont traitées de la manière suivante: lorsque des estimations scientifiquement fondées existent, on s'y réfère en suivant une approche « **best guess** ». Lorsque tel n'est pas le cas, on retient **les hypothèses les plus modérées** (« approche **at least** »), c'est-à-dire que chaque fois que des hypothèses ou des simplifications sont entreprises, celles-ci sont « **aussi réalistes que possible, mais, en cas de doute, prudentes** ». Cela signifie qu'en cas d'incertitude, les hypothèses prudentes retenues vont plus dans le sens d'une sous-estimation des coûts et bénéfices réels que d'une surestimation.

### Résultats des calculs des effets externes

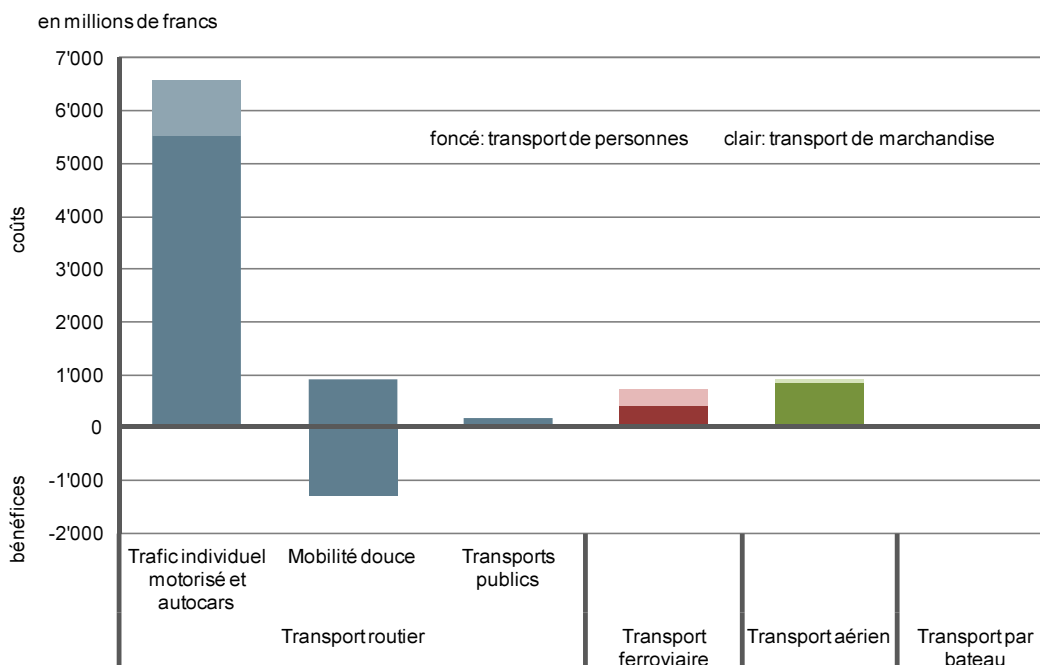
#### a) Effets externes de l'ensemble des transports

La figure R-2 et la figure R-3 indiquent que selon l'approche « mode de transport », les coûts externes atteignent au total 9'400 millions de francs pour l'année 2010. Le transport routier est le principal responsable de ces coûts (82%, soit 7'700 millions de francs – dont 5'500 millions de francs pour le transport routier motorisé de personnes, 1'000 millions de francs pour le transport de marchandises (une partie des recettes de la RPLP a été internalisée), 900 millions de francs pour la mobilité douce et 190 millions de francs pour les transports publics routiers). Le trafic aérien (10%, soit 920 millions de francs) occupe le deuxième rang. Le transport ferroviaire génère des coûts estimés à 730 millions de francs (soit 8%). Le

transport par bateau occasionne des coûts externes de 57 millions de francs (0.6%). Si l'on considère l'ensemble des transports, 84% des coûts externes sont le fait du transport de personnes et 16% celui du transport de marchandises. La mobilité douce génère des bénéfices externes en matière de santé évalués à 1'300 millions de francs. Il convient de relever que les prestations de transport des divers modes de transport sont très différentes les unes des autres. Les personnes-kilomètres et les tonnes-kilomètres parcourus par la route sont nettement plus élevés que par les autres modes de transport alors qu'ils sont nettement plus bas pour le transport par bateau.

Les tableaux mettent en évidence quatre domaines de coûts déterminants: le climat, les accidents, le bruit et les coûts de la santé dus à la pollution atmosphérique occasionnent des coûts allant de 1'750 à 2'000 millions de francs. Les processus en amont et en aval ainsi que le domaine nature et paysage génèrent chacun des coûts d'environ 900 millions de francs. Les dégâts aux bâtiments représentent quelque 350 millions de francs. Tous les autres domaines de coûts sont évalués à moins de 150 millions de francs. Une partie des recettes de la RPLP, soit 700 millions de francs (montant non ventilé entre les différents domaines de coûts), est déduite de ces coûts. Par ailleurs, la mobilité douce génère des bénéfices externes en matière de santé évalués à 1'300 millions de francs.

**Figure R-2: Vue d'ensemble des effets externes en 2010 selon l'approche « mode de transport »**  
 Pour le transport routier/ferroviaire: principe de territorialité\*, pour le transport aérien/bateau: principe de la moitié du trajet\*\*



\* Principe de territorialité : trafic à l'intérieur des frontières de la Suisse

\*\* Principe de la moitié du trajet: trafic à l'intérieur des frontières de la Suisse ou la moitié de la distance en avion/ en bateau de la Suisse vers une destination étrangère et vice-versa (cf. chapitre 2.3.2)

**Figure R-3: Vue d'ensemble des effets externes en 2010 selon l'approche « mode de transport »**

Pour le transport routier/ferroviaire: principe de territorialité, pour le transport aérien/bateau: principe de la moitié du trajet

en millions de francs	Transport routier			Transport ferroviaire	Transport aérien	Transport par bateau	Total
	Trafic privé personnes et marchandises	Mobilité douce	Transports publics				
Santé (pollution de l'air)	1'444	-	60	185	37	29	<b>1'756</b>
Bâtiments (pollution de l'air)	297	-	12	38	8	6	<b>362</b>
Pertes agricoles (pollution de l'air)	52	-	4	1	2	1	<b>59</b>
Dégâts aux forêts (pollution de l'air)	45	-	3	1	1	1	<b>51</b>
Pertes de biodiversité (pollution de l'air)	134	-	7	2	3	3	<b>148</b>
Bruit	1'427	-	37	269	66	-	<b>1'799</b>
Climat	1'234	-	26	4	686	8	<b>1'959</b>
Nature et paysage	750	10	10	119	6	5	<b>900</b>
Dégâts aux sols	113	-	5	24	-	-	<b>142</b>
Processus en amont et en aval	704	34	20	48	108	3	<b>917</b>
Accidents	980	856	7	4	2	0	<b>1'850</b>
Espaces urbains	109	-	3	32	-	-	<b>144</b>
Déduction d'une part des recettes RPLP	-720	-	-	-	-	-	<b>-720</b>
<b>Total</b>	<b>6'570</b>	<b>900</b>	<b>194</b>	<b>727</b>	<b>919</b>	<b>57</b>	<b>9'367</b>
<b>Bénéfices de la mobilité douce en matière de santé</b>	-	<b>-1'281</b>	-	-	-	-	<b>-1'281</b>

Dans ce tableau ainsi que dans les tableaux ci-après, des différences d'arrondi peuvent apparaître dans les totaux finaux.

**b) Effets externes du transport routier**

Dans le transport routier, les voitures de tourisme sont à l'origine de la plus grande partie (63%) des coûts externes (cf. figure R-4). Les motocycles et les voitures de livraison engendrent respectivement 7.3% des coûts totaux tandis que les camions et les semi-remorques y contribuent pour 6.1% (une partie des recettes de la RPLP a été internalisée). Les bénéfices externes de la mobilité piétonne présentent un excédent de plus de 500 millions de francs: les bénéfices externes en matière de santé, estimés à 890 millions de francs, sont nettement plus élevés que les coûts liés aux accidents provoqués par la mobilité douce qui sont estimés à 360 millions de francs (idem pour les autres coûts externes de faible importance). Les coûts externes occasionnés par les trolleybus et les tramways sont très faibles.

Les coûts externes du trafic poids lourds calculés selon l'approche « catégorie de trafic » sont de 8% supérieurs aux résultats obtenus selon l'approche « mode de transport ». Bien qu'une partie des recettes de la RPLP soit internalisée, les coûts externes du trafic poids lourds dans les domaines étudiés s'élèvent à 570 millions de francs pour l'année 2010. Ce montant ne permet toutefois pas de tirer des conclusions quant à la question de savoir si le montant de la RPLP a été correctement apprécié pour couvrir les coûts du trafic poids lourds à la charge de la collectivité. La réponse à cette question nécessite la prise en compte des

coûts d'infrastructure (ou de la couverture suffisante ou insuffisante des coûts du trafic poids lourds dans les résultats des différentes catégories du compte routier) (cf. chapitre 16.1.1).

**Figure R-4: Effets externes du trafic routier en 2010 selon l'approche « mode de transport » par domaine de coûts et catégorie de véhicule et en fonction des coûts par pkm ou tkm**

Coûts externes Transport routier en millions de francs	Transport de personnes									Transport de marchandises				Total	
	Transport individuel motorisé de personnes				Mobilité douce			Transports publics de personnes			Livraison	Camion	Semi-remorque		Tracteur/engin
	Voit.	Car	Moto	Cyclo-moteur	Vélo	EAV	Piéton	Bus	Trolley	Tram					
Santé (pollution de l'air)	1'019.2	22.7	8.3	0.6	-	-	-	60.2	n.a.	n.a.	129.3	169.4	94.9	n.a.	1'504.6
Bâtiments (pollution de l'air)	209.8	4.7	1.7	0.1	-	-	-	12.4	n.a.	n.a.	26.6	34.9	19.5	n.a.	309.7
Pertes agricoles (pollution de l'air)	27.0	1.2	0.6	0.0	-	-	-	3.7	-	-	6.1	10.0	6.9	n.a.	55.5
Dégâts aux forêts (pollution de l'air)	25.0	1.0	0.5	0.0	-	-	-	2.9	-	-	4.9	8.0	5.5	n.a.	47.9
Pertes de biodiversité (pollution de l'air)	86.5	2.3	1.1	0.0	-	-	-	6.8	-	-	12.3	18.8	13.0	n.a.	140.8
Bruit	644.1	17.2	249.7	1.7	-	-	-	35.4	0.3	1.1	142.6	233.6	137.8	n.a.	1'463.5
Climat	956.2	9.5	17.9	0.8	-	-	-	26.1	-	-	86.5	94.8	68.6	n.a.	1'260.6
Nature et paysage	601.1	4.0	9.0	0.5	4.2	0.1	5.9	9.3	0.1	0.1	45.9	53.5	36.1	n.a.	769.7
Dégâts aux sols	56.8	2.2	1.2	0.1	-	-	-	4.6	0.5	0.0	10.9	26.2	15.5	n.a.	117.9
Processus en amont et en aval	537.3	4.8	8.7	0.5	12.3	0.5	21.6	11.5	1.9	6.2	49.7	56.4	46.8	n.a.	758.1
Accidents	590.7	1.7	257.7	59.0	449.7	45.9	360.0	3.1	2.6	1.5	34.2	13.9	6.6	16.6	1'843.3
Espaces urbains	90.6	0.3	1.9	0.1	-	-	-	2.2	0.4	0.6	9.3	3.5	2.9	n.a.	111.8
Déduction de la part des recettes RPLP	-	-12.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-375.1	-332.1	-	-719.7
<b>Total</b>	<b>4'844.2</b>	<b>58.9</b>	<b>558.1</b>	<b>63.6</b>	<b>466.2</b>	<b>46.5</b>	<b>387.5</b>	<b>178.2</b>	<b>5.8</b>	<b>9.5</b>	<b>558.3</b>	<b>348.0</b>	<b>122.2</b>	<b>16.6</b>	<b>7'663.8</b>
<b>en % du total</b>	<b>63.2%</b>	<b>0.8%</b>	<b>7.3%</b>	<b>0.8%</b>	<b>6.1%</b>	<b>0.6%</b>	<b>5.1%</b>	<b>2.3%</b>	<b>0.1%</b>	<b>0.1%</b>	<b>7.3%</b>	<b>4.5%</b>	<b>1.6%</b>	<b>0.2%</b>	<b>100.0%</b>
<b>Total selon approche "catégorie de trafic"</b>		<b>64.0</b>									<b>372.2</b>	<b>136.7</b>			<b>572.9</b>
<b>Bénéfices pour la santé de la mobilité douce</b>	-	-	-	-	<b>-388.5</b>	<b>n.a.</b>	<b>-892.2</b>	-	-	-	-	-	-	-	<b>-1'280.7</b>
<b>Coûts en cent/pkm (Pers.) ou cent/tkm (march.)</b>	<b>5.6</b>	<b>2.3</b>	<b>23.8</b>	<b>47.9</b>	<b>3.7</b>	<b>40.9</b>	<b>-10.3</b>	<b>7.0</b>	<b>1.1</b>	<b>1.0</b>	<b>52.6</b>	<b>4.4</b>	<b>1.2</b>	<b>n.a.</b>	

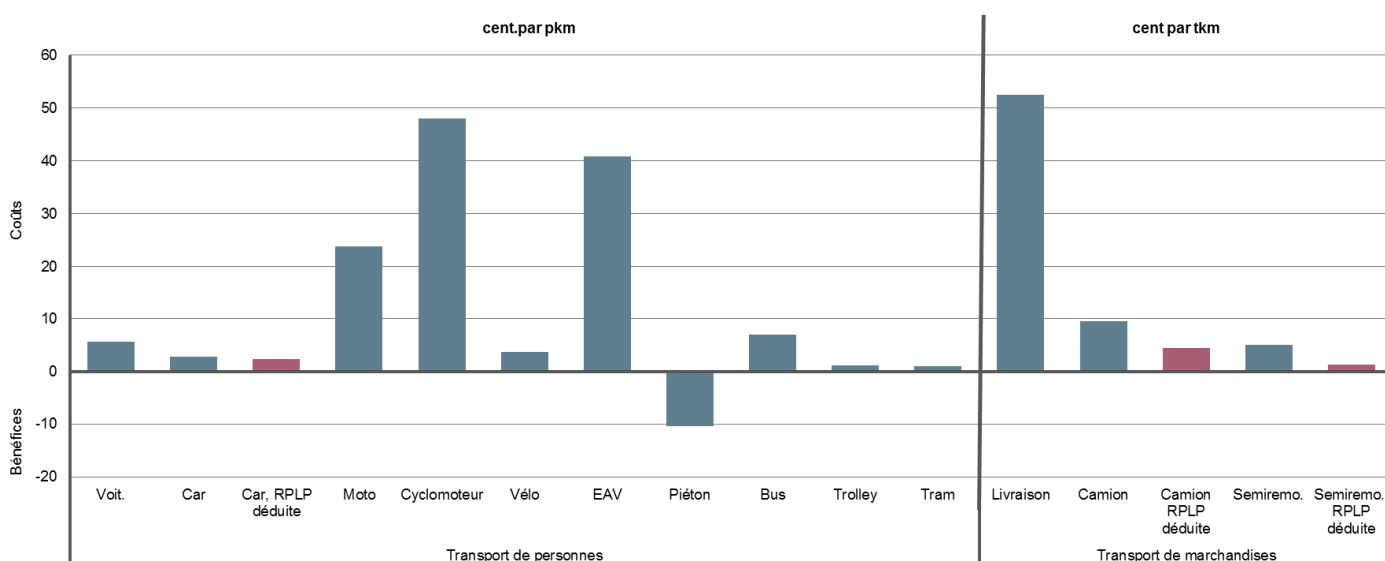
Voit = voitures de tourisme, Car = autocars, Moto = motocycle, EAV = engins assimilés à des véhicules, Piéton = mobilité piétonne, Livraison = voiture de livraison, Engin = machines et engins de chantiers, n.a. = not available (non disponible)

Pour le transport de personnes, les cyclomoteurs et engins assimilés à des véhicules (EAV) sont à l'origine des coûts externes les plus élevés par personne-kilomètre (48 cent. respectivement 41 cent. / pkm; cf. dernière ligne de la figure R-4 et de la figure R-5) en raison du coût élevé des accidents qu'ils provoquent; pour les EAV toutefois, ce résultat doit être nuancé du fait que les bénéfices qu'ils génèrent en matière de santé n'ont pas pu être estimés. Les motocycles occasionnent des coûts estimés à 24 cent. / pkm (essentiellement en raison des coûts élevés liés aux accidents et au bruit) et les voitures de tourisme des coûts de 5.6 cent. / pkm. Les transports publics routiers génèrent des coûts moyens de 4.8 cent. / pkm, un résultat qui n'est que légèrement inférieur à celui des voitures de tourisme en raison des coûts relativement élevés liés à la pollution atmosphérique et au bruit. Comme la base de données utilisée ne permet pas de différencier les autobus urbains et régionaux, les résultats relatifs aux autobus urbains dont la fréquentation est plus élevée sont moins bons qu'ils ne pourraient l'être si cette différenciation était effectuée. De plus, les voitures de tourisme engendrent sur les trajets en ville des coûts supérieurs aux trajets sur autoroute – les autobus urbains devraient par conséquent occasionner des coûts externes par pkm bien inférieurs à ceux des voitures de tourisme. Par ailleurs, les autobus remplissent souvent une fonction de desserte si bien que les trajets en autobus constituent une étape dans une

longue chaîne de trajets en transports publics avec des parcours plus longs en train (2.3 cent. / pkm). La mobilité piétonne génère des bénéfices externes de 10 cent. / pkm tandis que les déplacements à vélo occasionnent des coûts liés aux accidents causés par des cyclistes supérieurs aux bénéfices en matière de santé (au total, coûts de 4 cent. / pkm).

S'agissant des tonnes-kilomètres, les voitures de livraison sont responsables des coûts externes les plus élevés (53 cent / tkm) en raison des faibles volumes transportés. Les camions ainsi que les semi-remorques engendrent des coûts estimés à 4.4 cent./tkm, respectivement 1.2 cent / tkm .

**Figure R-5: Effets externes du trafic routier en 2010 selon l'approche « mode de transport » par pkm ou tkm**



### c) Effets externes du transport ferroviaire

Les coûts externes du transport ferroviaire atteignent un total de 727 millions de francs. Le transport de personnes en est responsable à hauteur de 410 millions de francs (soit 56%) et les coûts externes du transport de marchandises sont estimés à 317 millions de francs. En termes de prestations de transport, les coûts externes du transport de personnes s'élèvent à 2.3 cent. / pkm et ceux du transport de marchandises à 2.8 cent. / tkm.

Pour le transport ferroviaire, les coûts liés au bruit sont les plus conséquents (36% du résultat final). Ils sont suivis des coûts liés à la santé dus à la pollution atmosphérique (25%) et de ceux occasionnés à la nature et au paysage (16%). Les autres domaines de coûts contribuent chacun à hauteur de 6% ou moins du résultat total.



**Figure R-6: Effets externes du transport ferroviaire en 2010 selon l'approche « mode de transport » par domaine de coûts**

Coûts externes en millions de francs	Transport de personnes	Transport de marchandises	Total
<b>Transport ferroviaire</b>			
Santé (pollution de l'air)	116.0	69.1	<b>185.0</b>
Bâtiments (pollution de l'air)	23.8	14.2	<b>38.0</b>
Pertes agricoles (pollution de l'air)	0.1	0.7	<b>0.8</b>
Dégâts aux forêts (pollution de l'air)	0.1	0.6	<b>0.7</b>
Pertes de biodiversité (pollution de l'air)	0.2	1.3	<b>1.5</b>
Bruit	101.0	168.1	<b>269.1</b>
Climat	0.6	3.2	<b>3.8</b>
Nature et paysage	87.9	31.1	<b>119.0</b>
Dégâts aux sols	21.1	3.1	<b>24.3</b>
Processus en amont et en aval	29.2	18.8	<b>48.0</b>
Accidents	2.0	2.4	<b>4.4</b>
Espaces urbains	28.3	4.2	<b>32.5</b>
<b>Total</b>	<b>410.3</b>	<b>316.7</b>	<b>727.0</b>

#### **d) Effets externes du transport aérien**

Les coûts externes du transport aérien sont estimés à 919 millions de francs au total dont 92%, soit 842 millions de francs, sont le fait du transport de personnes et 77 millions de francs du transport de marchandises (cf. figure R-7). Il en résulte 2.7 cent / pkm, respectivement 7.6 cent / tkm. Les coûts climatiques qui représentent 75% du total constituent le poste le plus important des coûts du transport aérien. Le reste est ventilé de la façon suivante: 12% pour les processus en amont et en aval, 7% pour le bruit et 4% pour les coûts de la santé dus à la pollution de l'air. Les autres domaines de coûts représentent chacun moins de 1% du total (et ensemble: 2.4% du total). Selon que l'on se réfère, dans le cadre d'analyses de sensibilité, au taux minimal ou maximal du coût des émissions de CO<sub>2</sub> et des processus en amont et en aval, les coûts externes globaux du transport aérien oscillent entre 580 et 1'515 millions de francs.

Par ailleurs, 95% de ces coûts, soit 875 millions de francs, sont générés par les vols depuis / à destination d'aéroports internationaux et seulement 5%, soit 44 millions de francs, par les vols depuis / à destination d'aéroports régionaux (les aérodromes et les hélicoptères ne sont pas considérés par l'étude). Les avions de lignes et les charters sont responsables de 90% des coûts, répartis à raison de la moitié entre les avions de lignes et les charters européens et intercontinentaux. Les hélicoptères génèrent 0.3% des coûts et le reste de l'aviation générale les 9% restants.

**Figure R-7: Effets externes du transport aérien en 2010 selon l'approche « mode de transport » par domaine de coûts**

Coûts externes en millions de francs	Transport de personnes	Transport de marchandises	Total
<b>Transport aérien</b>			
Santé (pollution de l'air)	33.8	3.3	<b>37.1</b>
Bâtiments (pollution de l'air)	7.6	0.8	<b>8.4</b>
Pertes agricoles (pollution de l'air)	1.4	0.1	<b>1.6</b>
Dégâts aux forêts (pollution de l'air)	1.2	0.1	<b>1.3</b>
Pertes de biodiversité (pollution de l'air)	2.7	0.3	<b>3.0</b>
Bruit	62.4	3.8	<b>66.2</b>
Climat	627.1	59.0	<b>686.1</b>
Nature et paysage	5.4	0.5	<b>6.0</b>
Dégâts aux sols	-	-	-
Processus en amont et en aval	98.3	9.3	<b>107.6</b>
Accidents	1.7	0.0	<b>1.8</b>
Espaces urbains	-	-	-
<b>Total</b>	<b>841.8</b>	<b>77.3</b>	<b>919.0</b>

#### e) Effets externes du transport par bateau

Les coûts externes du transport par bateau (calculés selon l'approche « mode de transport ») sont évalués à 57 millions de francs au total (cf. figure R-8). 53%, soit 31 millions de francs, sont le fait du transport de personnes sur les lacs suisses et 47%, soit 27 millions de francs, sont imputables au transport de marchandises. Ils reviennent, en termes de prestations de transport, à 19 cent. / pkm et 1.3 cent. / tkm. Pour le transport marchandises, on observe d'importantes différences entre le transport par bateau sur le Rhin (en aval de Bâle selon le principe du calcul de la moitié de la distance) et sur les lacs suisses: en aval de Bâle, les coûts sont estimés à seulement 0.5 cent. / tkm, mais sur les lacs à 46 cent / tkm (c'est-à-dire 95 fois plus). Cette grande différence s'explique par les tonnages transportés nettement plus petits et par les trajets nettement plus courts sur les lacs ainsi que par les émissions plus importantes de polluants (de plus, les données relatives au transport par bateau nous semblent comparativement moins fiables).

Pour ce qui est du transport par bateau, les émissions de PM10 sont responsables des coûts les plus élevés, soit 51% pour les coûts liés à la santé et 11% pour les dégâts aux bâtiments. Les coûts liés au climat représentent 14% du total et ceux qui touchent la nature et le paysage 9%. Les autres domaines de coûts ne représentent chacun que 6% ou moins des coûts (15% tous ensemble).

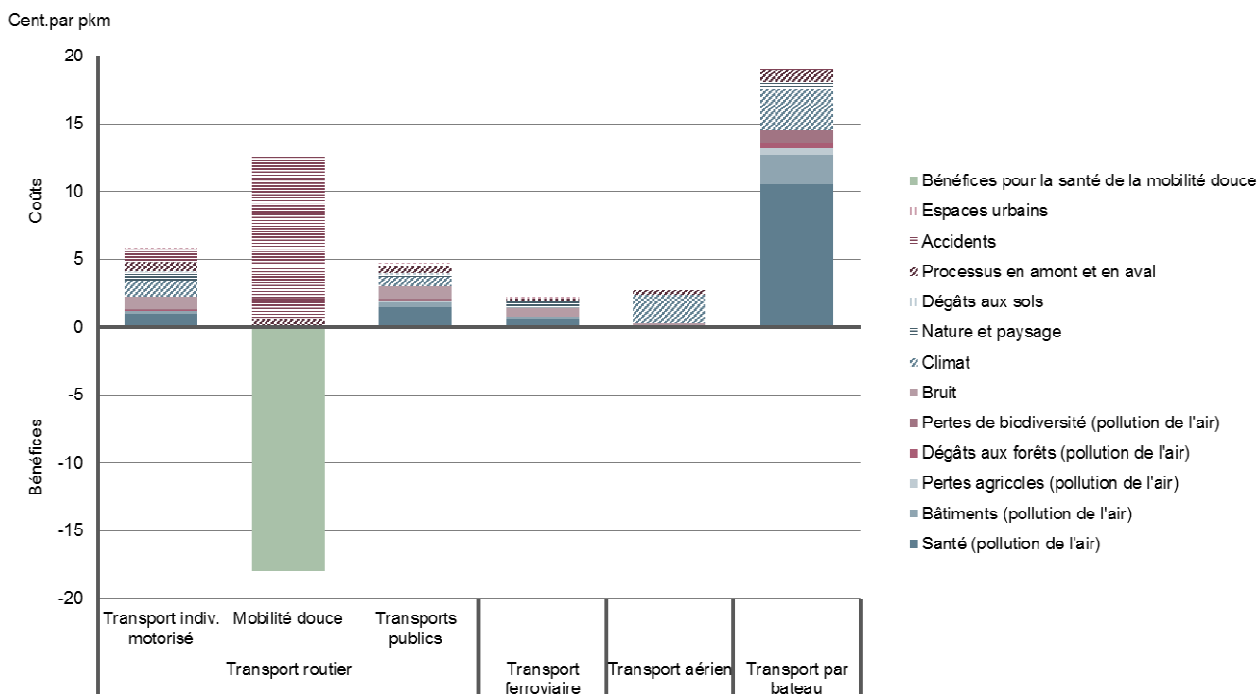
**Figure R-8: Effets externes du transport par bateau en 2010 selon l'approche « mode de transport » par domaine de coûts**

Coûts externes en millions de francs	Transport de personnes	Transport de marchandises	Total
<b>Transport par bateau</b>			
Santé (pollution de l'air)	17.0	12.5	<b>29.4</b>
Bâtiments (pollution de l'air)	3.5	2.6	<b>6.1</b>
Pertes agricoles (pollution de l'air)	0.8	0.6	<b>1.4</b>
Dégâts aux forêts (pollution de l'air)	0.7	0.5	<b>1.2</b>
Pertes de biodiversité (pollution de l'air)	1.6	1.1	<b>2.7</b>
Bruit	-	-	-
Climat	4.8	3.3	<b>8.1</b>
Nature et paysage	0.8	4.2	<b>5.0</b>
Dégâts aux sols	-	-	-
Processus en amont et en aval	1.5	1.9	<b>3.4</b>
Accidents	0.0	0.1	<b>0.1</b>
Espaces urbains	-	-	-
<b>Total</b>	<b>30.6</b>	<b>26.8</b>	<b>57.5</b>

#### f) Comparaison des effets externes des quatre modes de transport

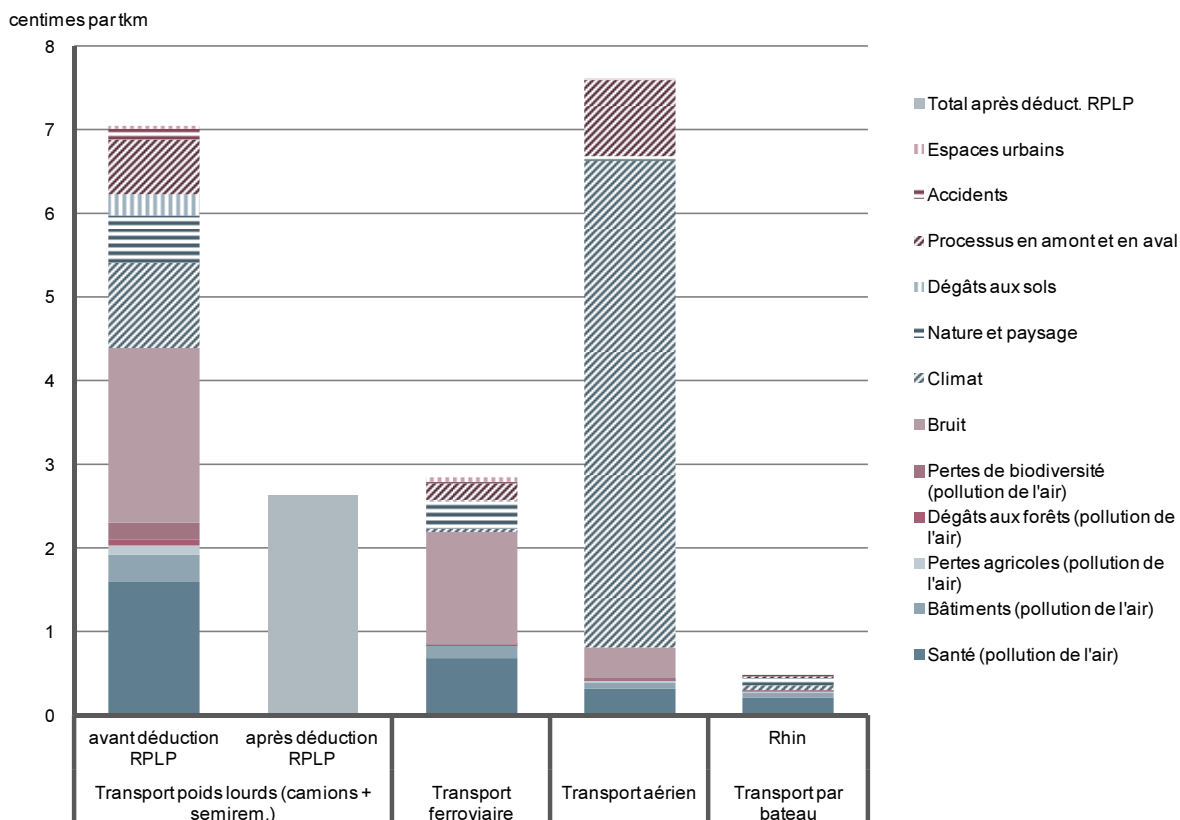
Dans le domaine du **transport de personnes**, le trafic individuel motorisé est responsable de coûts externes évalués à 6.0 cent. / pkm, un chiffre légèrement supérieur à celui des transports publics routiers (4.8 cent. / pkm) (cf. figure R-9). Les coûts externes du transport ferroviaire estimés à 2.3 cent. / pkm sont les plus bas. En raison des très grandes distances parcourues et de son taux élevé de remplissage, le transport aérien coûte 2.7 cent. / pkm. Les coûts les plus élevés sont le fait du transport par bateau (19 cent. / pkm) et ce, principalement en raison des émissions très élevées de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre. De même, la mobilité douce engendre des coûts élevés par personne-kilomètre (essentiellement des coûts d'accidents) – mais les compense très largement par des bénéfices externes encore plus élevés en matière de santé qui, au final, se soldent par des bénéfices externes excédentaires évalués à 5.3 cent. / pkm. Il convient toutefois de noter que les différents modes de transport et catégories de véhicules sont difficilement comparables et qu'il n'est pertinent de faire de telles comparaisons qu'en analysant leurs déplacements sur des distances similaires (par ex. comparaison de plusieurs catégories de transport urbains ou comparaison de modes de transport pour de longs trajets).

**Figure R-9: Comparaison des modes de transport de personnes en 2010: coûts externes par pkm (approche « mode de transport »)**  
 Transport routier/ferroviaire: principe de territorialité, transport aérien/ par bateau: principe de la moitié du trajet



Dans le **transport de marchandises**, le transport routier engendre des coûts évalués à 7.1 cent. / tkm (moyenne des camions et des semi-remorques, cf. figure R-10) dont 4.4 cent. / tkm sont déjà internalisés par la perception de la RPLP, si bien que les coûts externes du transport routier de marchandises sont de 2.6 cent. / tkm. Les coûts nets sont donc plus bas que ceux du transport ferroviaire (2.8 cent. / tkm). Les calculs effectués pour le transport aérien aboutissent à 7.6 cent. / tkm et pour le transport fluvial sur le Rhin à 0.5 cent. / tkm (le transport de marchandises sur les lacs évalué à 46 cent. / tkm n'est pas présenté à la figure R-10 car seuls 2% des tonnes-kilomètres par bateau concernent la navigation sur les lacs). Lorsqu'on procède à une comparaison des modes de transport, il convient de relever les importantes différences de valeur qualitative à la tonne des marchandises transportées (par ex. biens de consommation de masse pour le transport par bateau et biens de haute qualité pour le transport aérien).

**Figure R-10: Comparaison des modes de transport de marchandises en 2010: coûts externes par tkm (approche « mode de transport »)**  
 Pour le transport routier/ferroviaire: principe de territorialité, pour le transport aérien/ par bateau: principe de la moitié du trajet



### g) Incertitudes

Les incertitudes dans les calculs des coûts externes et sociaux sont parfois considérables. Elles ont fait l'objet d'analyses de sensibilité au cours desquelles les modifications opérées sur certaines hypothèses clés ont été analysées dans le but de connaître leur impact sur les résultats. La figure R-11 récapitule les résultats obtenus et indique les intervalles de variation des coûts externes par domaine de coûts des quatre modes de transports (approche « mode de transport »). Selon le domaine de coûts, les intervalles de variation vont de  $-11\%$  /  $+11\%$  à  $-50\%$  /  $+80\%$ :

- **Santé (pollution de l'air):** l'évaluation des coûts immatériels correspondant aux années de vie perdues au moyen de la valeur statistique VLYL (value of life year lost) est peu fiable car elle présente une marge d'erreur de  $-50\%$  à  $+100\%$ . Les coûts externes de la santé présentent ainsi un intervalle de variation allant de  $-35\%$  à  $+71\%$ .
- **Bruit:** malgré les efforts conséquents entrepris pour développer des modèles de calcul de l'exposition au bruit qui soient fiables, les incertitudes dans les calculs de l'exposition au bruit présentent un écart de variation allant de  $-37\%$  à  $+44\%$ .

**Figure R-11: Intervalles de variation observés dans le cadre des analyses de sensibilité**

en millions de francs	Résultat de base	Valeur minimale	Valeur maximale	Intervalle de variation
Santé (pollution de l'air)	1'756	1'133	3'002	-35% à +71%
Bâtiments (pollution de l'air)	362	272	453	-25% à +25%
Pertes agricoles (pollution de l'air)	59	43	76	-27% à +29%
Dégâts aux forêts (pollution de l'air)	51	35	66	-32% à +30%
Pertes de biodiversité (pollution de l'air)	148	118	178	-20% à +20%
Bruit	1'799	1'136	2'593	-37% à +44%
Climat	1'959	1'069	3'528	-45% à +80%
Nature et paysage	900	703	1'140	-22% à +27%
Dégâts aux sols	142	71	213	-50% à +50%
Processus en amont et en aval	917	551	1'562	-40% à +70%
Accidents	1'850	1'649	2'056	-11% à +11%
Espaces urbains	144	116	256	-19% à +77%
Bénéfices pour la santé de la mobilité douce	-1'281	-1'092	-1'446	-15% à +13%

- **Climat:** les incertitudes relatives aux coûts climatiques portent principalement sur l'estimation du taux des émissions de CO<sub>2</sub> qui vont de -45% à +80%.
- **Nature et paysage:** dans ce domaine, les incertitudes sont dues à la difficulté d'évaluer le coût de la fragmentation des habitats naturels dont le taux oscille entre -22% et +27%.
- **Accidents:** il est possible de déterminer avec une certaine exactitude les coûts externes des accidents ( $\pm 11\%$ ), mais les variations résultent principalement des incertitudes touchant les montants des prestations de transfert et de la part disponible pour les recours.
- **Bénéfices en matière de santé de la mobilité douce:** les bénéfices pour la santé varient seulement de  $\pm 15\%$ . Les incertitudes sont liées à la difficulté de quantifier le rapport entre l'activité physique et les bénéfices pour la santé.

Ces incertitudes sont pour la plupart indépendantes les unes des autres si bien que les intervalles de variation se réduisent ou se compensent partiellement lorsqu'on additionne les domaines de coûts. Par ailleurs, il importe de noter que les hypothèses retenues dans plusieurs cas ponctuels sous-estiment les coûts effectifs.

#### **h) Comparaison des effets externes avec les résultats antérieurs**

Ce chapitre compare les nouveaux calculs pour l'année 2010 avec les résultats obtenus pour l'année 2005 (cf. Ecoplan, Infrass 2008). Cette comparaison est limitée aux transports routier et ferroviaire car on ne dispose pas de statistiques officielles pour les autres modes de transport pour l'année 2005.

Les coûts externes du **transport routier** calculés pour l'année 2010 sont pratiquement identiques aux résultats obtenus pour l'année 2005 (pour que les résultats du transport routier

soient comparables, il a été fait abstraction des calculs relatifs à la mobilité douce introduits pour l'analyse des coûts de l'année 2010). En valeur réelle, c'est-à-dire en valeur corrigée du renchérissement, on observe une diminution. Cette constance des coûts est due aux effets opposés des différents domaines de coûts qui ont tendance à se compenser:

- Diminution de 330 millions de francs des coûts de la pollution de l'air en matière de santé en raison de l'acquisition de nouvelles connaissances sur le rapport de cause à effet entre la pollution atmosphérique et la perte d'années de vie.
- Diminution de 450 millions de francs des coûts externes des accidents essentiellement dû à la forte diminution de la fréquence et la gravité des accidents.
- Augmentation de 360 millions de francs des coûts externes du bruit en raison de l'inflation des prix, de la croissance démographique, de l'augmentation du nombre de logements et de l'abaissement des valeurs-seuils de bruit pour le calcul des coûts de la santé.
- Les pertes de biodiversité dues à la pollution de l'air (140 millions de francs) sont prises en considération pour la première fois.
- Augmentation de 130 millions de francs des processus en amont et en aval en raison de la prise en considération, pour la première fois, des émissions indirectes de polluants atmosphériques (jusqu'à présent, seuls les gaz à effet de serre étaient pris en compte dans les calculs) et en raison de l'augmentation des coûts climatiques.
- Augmentation de plusieurs autres domaines de coûts, principalement en raison de l'inflation des prix.

**Figure R-12: Comparaison des calculs obtenus pour les années 2005 et 2010 (coûts externes selon l'approche « mode de transport »)**

en millions de francs	Transport routier (sans mobilité douce)			Transport ferroviaire		
	2005	2010	Différence	2005	2010	Différence
Santé (pollution de l'air)	1'834	1'505	-329	120	185	65
Bâtiments (pollution de l'air)	274	310	36	15	38	23
Pertes agricoles (pollution de l'air)	63	55	-8	2	1	-1
Dégâts aux forêts (pollution de l'air)	64	48	-16	2	1	-1
Perte de biodiversité (pollution de l'air)	n.a.	141	141	n.a.	2	2
Bruit	1'101	1'463	363	74	269	195
Climat	1'256	1'261	4	7	4	-3
Nature et paysage	687	760	72	110	119	9
Dégâts aux sols	107	118	11	33	24	-9
Processus en amont et en aval	593	724	131	41	48	7
Accidents	1'435	988	-447	4	4	0
Espaces urbains	78	112	34	20	32	12
<b>Total</b>	<b>7'492</b>	<b>7'483</b>	<b>-9</b>	<b>429</b>	<b>727</b>	<b>298</b>

Dans le secteur du **transport ferroviaire**, les coûts ont augmenté de 69%, soit 298 millions de francs, entre 2005 et 2010. Comme pour le transport routier, une partie de cette augmentation, soit environ 60 millions de francs, est due à l'inflation des prix, à la croissance démographique, etc.. Le reste est principalement lié aux nuisances de bruit: l'évaluation des émissions sonores est désormais principalement basée sur le bruit nocturne (et non plus sur le bruit durant la journée) qui pour le transport ferroviaire n'est que légèrement en-dessous des valeurs des émissions sonores durant la journée. De plus, les valeurs-seuils à partir desquelles les émissions sonores sont prises en considération ont été abaissées. Par ailleurs, l'augmentation des émissions de PM10 qui se répercute sur les coûts de la santé et les dégâts aux bâtiments contribue de manière importante à cette hausse générale.

### Effets sociaux: résultats

La figure R-13 présente l'ensemble des coûts et bénéfices sociaux dans les domaines étudiés. Les calculs relatifs aux effets externes ont été complétés d'une analyse des coûts et bénéfices (internes) suivants:

- **Bénéfices pour la santé de la mobilité douce:** l'activité physique pratiquée pour la mobilité douce a pour effet d'augmenter l'espérance de vie et de réduire le nombre de séjours hospitaliers. Aux bénéfices externes évalués à 1'281 millions de francs s'ajoute le prix virtuel des bénéfices immatériels (prévention de souffrances, douleurs et chocs et gain de joie de vivre) estimés à un peu plus de 11'000 millions de francs.
- **Coûts liés aux accidents:** les coûts internes des accidents se chiffrent à 10'300 millions de francs (dont 10'200 millions de francs pour le transport routier) et sont composés de coûts immatériels dans une proportion d'environ trois quarts. Les dégâts matériels à la charge des responsables des accidents ou de leur assurance responsabilité civile constituent également un poste de coûts important.
- **Effets de barrage:** les temps d'attente engendrés par le trafic motorisé dans le secteur de la mobilité douce (158 millions de francs) sont imputés au mode de transport « route ».
- **Montants internalisés:** les calculs des coûts externes ont été effectués après déduction des montants internalisés. Cependant ces montants doivent être pris en compte dans le calcul des coûts sociaux. Il s'agit de la part des recettes de la RPLP (720 millions de francs), des recettes du centime climatique (106 millions de francs, dont 105 millions de francs pour le transport routier) et des taxes d'atterrissage calculées en fonction du bruit et des émissions (34 et 4 millions de francs).

Les coûts sociaux totaux sont estimés à près de 20'700 millions de francs pour l'année 2010. En raison de l'importance de ses prestations de transport et du coût élevé des accidents de la route, le transport routier est responsable de 91% de ces coûts (18'800 millions de francs). Il convient toutefois de considérer le transport routier de manière différenciée: le trafic individuel motorisé engendre des coûts sociaux de 11'700 millions de francs, le transport de marchandises de 2'400 millions de francs et les transports publics routiers de 340 millions de francs. La mobilité douce occasionne d'une part des coûts estimés à 4'400 millions de francs et d'autre part des bénéfices évalués à 12'300 millions de francs : il en résulte donc un excé-



dent de bénéfices sociaux de 8'000 millions de francs. Le transport aérien engendre des coûts sociaux de 985 millions de francs (5%), le transport ferroviaire de 800 millions de francs (4%) et le transport par bateau de seulement 60 millions de francs (0.3%).

**Figure R-13: Vue d'ensemble des effets sociaux pour l'année 2010**

Transport routier/ferroviaire: principe de territorialité, transport aérien/ par bateau: principe de la moitié du trajet

en millions de francs	Transport motorisé voit +car	Mobilité douce	Transports publics	Transport ferroviaire	Transport aérien	Transport par bateau	Total
Santé (pollution de l'air)	1'444	-	60	185	41	29	<b>1'760</b>
Bâtiments (pollution de l'air)	297	-	12	38	8	6	<b>362</b>
Pertes agricoles (pollution de l'air)	52	-	4	1	2	1	<b>59</b>
Dégâts aux forêts (pollution de l'air)	45	-	3	1	1	1	<b>51</b>
Pertes de biodiversité (pollution de l'air)	134	-	7	2	3	3	<b>148</b>
Bruit	1'427	-	37	269	100	-	<b>1'833</b>
Climat	1'337	-	28	4	686	9	<b>2'064</b>
Nature et paysage	750	10	10	119	6	5	<b>900</b>
Dégâts aux sols	113	-	5	24	-	-	<b>142</b>
Processus en amont et en aval	704	34	20	48	108	3	<b>917</b>
Accidents	7'542	4'315	148	76	30	2	<b>12'113</b>
Espaces urbains	262	-	8	32	-	-	<b>302</b>
<b>Total coûts sociaux</b>	<b>14'107</b>	<b>4'359</b>	<b>341</b>	<b>799</b>	<b>985</b>	<b>60</b>	<b>20'651</b>
<b>Bénéfices pour la santé de la mobilité douce</b>	-	<b>-12'314</b>	-	-	-	-	<b>-12'314</b>
<b>Effets externes selon "mode de transport"</b>							
Totaux coûts externes	6'570	900	194	727	919	57	<b>9'367</b>
Bénéfices pour la santé de la mobilité douce	-	-1'281	-	-	-	-	<b>-1'281</b>
<b>Différence entre effets sociaux et effets externes</b>							
Différence entre coûts sociaux et coûts externes	7'537	3'459	148	72	66	2	<b>11'284</b>
Différence entre bénéfices sociaux et externes de la mobilité douce	-	-11'034	-	-	-	-	<b>-11'034</b>

86% de l'ensemble des coûts sociaux sont occasionnés par le transport de personnes et 14% par le transport de marchandises. La part du transport de personnes est ainsi légèrement supérieure à celle obtenue dans les calculs des coûts externes car dans le transport routier, les coûts liés aux accidents sont essentiellement engendrés par le transport de personnes. De plus, les bénéfices pour la santé de la mobilité douce sont imputables au transport de personnes.

Si l'on considère chacun des domaines de coûts et de bénéfices, les deux principaux domaines observés sont les coûts des accidents et les bénéfices pour la santé de la mobilité douce qui affichent +12, respectivement -12 milliards de francs. Les coûts climatiques, le bruit et les coûts de la santé dus à la pollution atmosphérique engendrent chacun des coûts allant de 1'750 à 2'100 millions de francs. Les processus en amont et en aval ainsi que le domaine nature et paysage entraînent chacun des coûts d'environ 900 millions de francs.

## Versione breve

### Situazione iniziale e obiettivo

L'Ufficio federale di statistica (UST) e l'Ufficio federale dello sviluppo territoriale (ARE) presentano un Conto della mobilità in Svizzera nel 2010, che aggiorna i calcoli effettuati in precedenza per il 2005 (UST 2009) e per la prima volta considera, oltre il traffico stradale e ferroviario, anche il traffico aereo e, in parte, quello navale.

Nell'ambito di questo calcolo complessivo, il presente studio quantifica i costi esterni provocati da questi vettori di trasporto nel 2010. Per quanto riguarda il traffico su strada, rispetto ai calcoli precedenti sono state per la prima volta prese in considerazione anche cifre relative al traffico lento (pedonale e ciclistico), per misurarne gli effetti negativi (costi) ma anche positivi (benefici per la salute).

### Metodo

Il calcolo dei costi esterni si concentra sugli effetti del traffico a livello di ambiente, salute e incidenti. Esso si basa sulle costatazioni elencate qui di seguito.

#### a) Definizioni e prezzi di riferimento

Sono calcolati tanto i costi esterni quanto i costi sociali.

- I **costi sociali** (economici) sono i costi dei trasporti che ricadono sull'economia pubblica. Si dividono tra interni ed esterni.
- I **costi interni** sono quelli che gli utenti si assumono direttamente per i tragitti che percorrono (ad es. i premi assicurativi per la polizza di responsabilità civile versati per un motore-veicolo).
- I **costi esterni** sono quella parte dei costi sociali non coperti da chi causa un'attività di traffico. Un esempio tipico è il rumore, che tuttavia non si ripercuote sul prezzo versato dall'utente per il tragitto effettuato.

I risultati sono convertiti in **prezzi dei fattori** con riferimento ai prezzi 2010; ciò significa che le tasse indirette (ad es. IVA) non sono prese in considerazione.

#### b) I costi esterni considerati da diverse prospettive

I costi esterni possono essere calcolati da diverse prospettive.

- **Vettore di trasporto:** un vettore di trasporto può essere considerato nel suo insieme. Nell'ambito di un vettore di trasporto, pertanto, sono considerati interni tutti i costi assunti direttamente da chi ne ha usufruito (ad es. i costi legati all'incidente tra un'auto e una bicicletta). Di conseguenza, i costi devono essere considerati come esterni unicamente quando non ricadono nell'ambito del vettore di trasporto. Bisogna dunque distinguere quali costi siano originati da un vettore e in che misura esso li copra (grado di copertura).

Questa prospettiva è adottata nel Conto della mobilità ed è preponderante nel presente rapporto.

- **Tipologia traffico pesante:** questa prospettiva è stata imposta dal Tribunale federale per calcolare l'aliquota della tassa sul traffico pesante commisurata alle prestazioni (TTPCP) per le categorie di veicoli autobus, autofurgoni e autocarri. Di conseguenza, i costi sono considerati esterni solo quando non sono imputabili al traffico pesante. Contrariamente a quanto vale per la prospettiva precedente, i costi di un incidente che ad esempio un autocarro provoca a un'automobile sono considerati esterni.
- **Utenti della mobilità:** come terza prospettiva, il rapporto adotta anche quella degli utenti (la versione breve, tuttavia, non entra in questo merito; cfr. cap. 16.3). In questo caso i costi esterni sono definiti a partire dai singoli utenti della mobilità. Da questo punto di vista, sono considerati esterni tutti i costi che chi sta all'origine di un'attività di traffico non si assume direttamente. Questa prospettiva si concentra sul grado di efficacia, dal punto di vista dell'economia pubblica, nell'utilizzo dell'infrastruttura di trasporto. I costi così misurati servono come informazione per calcolare i contributi di internalizzazione.

### c) Definizione dei vettori di trasporto e del campo di indagine

Per **circoscrivere** i vettori di trasporto abbiamo ripreso le definizioni adottate nel Conto della mobilità, ossia:

- il traffico stradale comprende tutti i tipi di veicoli che circolano sulla rete stradale, dalle autostrade alle strade di terza classe (incluso il traffico lento);
- il traffico ferroviario comprende tutti i trasporti effettuati sull'intera rete ferroviaria (escluse le ferrovie a cremagliera e le funicolari);
- il traffico aereo comprende tutti i voli da e per gli aeroporti nazionali e regionali (esclusi quindi gli aerodromi locali, gli eliporti e, in generale, l'aviazione militare);
- il traffico navale comprende i tragitti che passano dai porti renani di Basilea e dagli imbarcati per il traffico viaggiatori pubblico e per il trasporto merci.

Per quantificare i costi del **traffico stradale** e di quello **ferroviario** abbiamo applicato un **criterio di territorialità**, considerando esclusivamente i costi causati sul territorio svizzero. Nel **traffico aereo** e in quello **navale** abbiamo invece adottato come **criterio** quello della **mezza tratta**, in base al quale tutti i trasporti vengono attribuiti per metà della loro distanza al Paese di partenza e per l'altra metà al Paese di arrivo (se compiuto su territorio svizzero, il tragitto è stato considerato nella sua interezza; se compiuto da o per l'estero, il tragitto è stato considerato per metà). Questo criterio permette di circoscrivere in maniera precisa il traffico internazionale (traffico aereo e navigazione sul Reno).

### d) Settori di costo e benefici presi in considerazione, metodi di calcolo

Lo studio si è concentrato sui costi esterni del traffico in dodici settori selezionati. La seguente tabella riassume i principali metodi di calcolo in base al tipo di costo.

**Diagramma VB-1: Metodo di calcolo dei costi esterni in base al tipo di costo**

<b>Tipologia di costo</b>	<b>Metodo di calcolo</b>
Danni alla salute (inquinamento atmosferico)	Costi per i trattamenti medici, perdita di produzione netta, costi per la sostituzione di personale, costi immateriali dovuti alla riduzione dell'aspettativa di vita e alle malattie (tutti costi per danni)
Danni agli edifici (inquinamento atmosferico)	a. costi per ristrutturazioni supplementari (in luoghi esposti al traffico); b. costi dovuti alla minor durata di vita delle facciate (in luoghi non esposti al traffico); c. costi supplementari per la pulizia (tutti costi per danni)
Perdite di raccolto (inquinamento atmosferico)	Calo del reddito agricolo dovuto all'elevata concentrazione di ozono (costi per danni)
Danni alle foreste (inquinamento atmosferico)	a. Calo della produzione forestale (legname) dovuto all'ozono; b. calo della produzione forestale (legname) dovuto all'acidificazione del suolo; c. costi legati all'aumento di sradicamenti dovuto all'acidificazione del suolo (tutti costi per danni)
Diminuzione della biodiversità (inquinamento atmosferico)	Costi per misure (virtuali) volte a ripristinare ecosistemi ricchi di specie (costi di ripristino)
Rumore	Disturbo (diminuisce il valore dell'abitazione) e costi sanitari (analogamente ai danni alla salute derivanti dall'inquinamento atmosferico – tutti costi per danni)
Clima	Costi per misure di contenimento nel quadro di un obiettivo climatico globale a lungo termine (costi di contenimento)
Natura e paesaggio	Costi di sostituzione: a. perdite a livello di habitat naturale: costi per ripristinare (virtualmente) biotopi ed ecosistemi persi; b. frammentazione dell'habitat naturale: costi per contromisure (virtuali) alla frammentazione dell'habitat naturale
Danni al suolo (inquinamento da sostanze tossiche)	Costi per risanare (virtualmente) le superfici inquinate da sostanze tossiche (costi di risanamento)
Costi dei processi a monte e a valle	Costi derivanti dall'inquinamento climatico e atmosferico indotto dalla fabbricazione, dalla manutenzione e dallo smaltimento di veicoli (mezzi di trasporto), vettori energetici (carburanti, elettricità) e infrastrutture
Incidenti	Costi per i trattamenti medici, perdita di produzione netta, costi per la sostituzione di personale, costi immateriali, costi amministrativi, danni a oggetti, costi di polizia e costi giuridici (tutti costi per danni)
Costi supplementari nelle aree urbane	a. Costi causati dal tempo perduto per interruzioni del traffico lento (costi per danni); b. danni all'immagine urbana e alla qualità di vita: costi per riqualificare i punti maggiormente sollecitati dal traffico (costi di riparazione)

Questo studio non si occupa dei benefici legati alla mobilità, che sono indubbiamente elevati e, in larga parte, interni. Unica eccezione è il traffico lento, per il quale sono calcolati per la prima volta in Svizzera, oltre ai costi, i benefici interni ed esterni (maggior aspettativa di vita e minor numero di degenze ospedaliere grazie all'attività fisica – le relative cifre sono ottenute con un metodo analogo a quello adottato per i danni alla salute dovuti all'inquinamento atmosferico, cfr. diagramma VB-1). Conformemente al mandato ricevuto, il presente studio non entra nel merito di altri benefici legati alla mobilità e dei relativi costi esterni (cfr. l'exkursus al cap. 2.2).

### e) Contributi di internalizzazione

I **contributi di internalizzazione**, che possono essere attribuiti direttamente a un settore di costo (ad es. tasse d'atterraggio commisurate al rumore, centesimo per il clima), sono dedotti direttamente dai costi. La TTPCP, adottata per internalizzare i costi esterni del traffico pesante su strada, sarà al contrario considerata a parte, in un confronto con i costi esterni dovuti al traffico pesante. Non abbiamo invece considerato l'imposta sugli oli minerali come un contributo di internalizzazione, poiché essa è già calcolata nel conto infrastrutturale.

### f) Incertezze

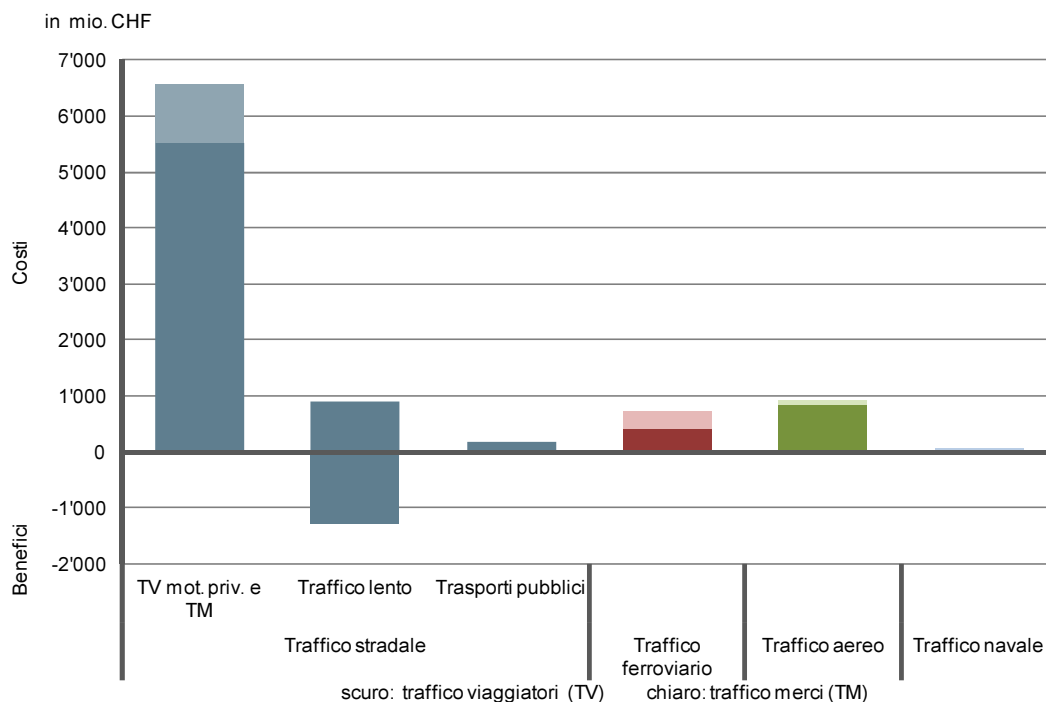
È impossibile calcolare gli effetti esterni del traffico senza ricorrere a supposizioni e a semplificazioni. Abbiamo deciso di affrontare le inevitabili **incertezze** nel seguente modo: se esiste una variante **best guess** (migliore supposizione) provata scientificamente, è a questa che abbiamo fatto riferimento. In caso contrario, il calcolo si è fondato su un approccio **at least (base di calcolo minima e sicura)**, ossia ovunque sia necessario procedere per ipotesi e semplificazioni, lo si è fatto «**nel modo più realista possibile e, in caso di dubbio, con moderazione**». Concretamente, ciò significa che di fronte alle incertezze abbiamo formulato ipotesi prudenti, improntate piuttosto a una sottovalutazione che a una sopravvalutazione degli effettivi costi e benefici.

## Effetti esterni

### a) Effetti esterni della mobilità nel suo insieme

Il diagramma VB-2 e il diagramma VB-3 mostrano che, tenendo conto del vettore di trasporto, nel 2010 i costi esterni sono ammontati complessivamente a 9400 milioni di franchi. Al traffico su strada è dovuta la quota maggiore (82 %), ossia 7700 mio.: di questi, al traffico viaggiatori privato e motorizzato sono attribuibili 5500 mio., al traffico merci 1000 mio. (una parte della TTPCP è stata conteggiata come internalizzazione), al traffico lento 900 mio. e ai trasporti pubblici 190 mio.. Al secondo posto si situa il traffico aereo con il 10 % dei costi, ossia 920 mio.. Il traffico ferroviario raggiunge i 730 mio. (8 %), mentre quello navale registra costi esterni pari a 57 mio. (0.6 %). L'84 % di tutti i costi esterni è provocato dal traffico viaggiatori, contro il 16 % dal traffico merci. Quanto al traffico lento, i benefici esterni per la salute corrispondono a 1300 mio.. Non bisogna dimenticare che i singoli vettori di trasporto presentano prestazioni di trasporto affatto disparate. Rispetto all'aviazione e alla ferrovia, ad esempio, su strada si percorre un numero nettamente maggiore di persone-chilometri (pkm) e tonnellate-chilometri (tkm), mentre nel traffico navale le cifre sono di molto inferiori.

**Diagramma VB-2: Sintesi degli effetti esterni 2010 (base di calcolo: vettore di trasporto)**  
 traffico stradale e ferroviario: criterio territoriale\*, traffico aereo e navale: mezza tratta\*\*



\* criterio territoriale: circolazione entro i confini nazionali

\*\* mezza tratta: traffico su territorio svizzero e mezza tratta (aerea o navale) dalla Svizzera all'estero e viceversa (cfr. cap. 2.3.2)

**Diagramma VB-3: Sintesi degli effetti esterni 2010 (base di calcolo: vettore di trasporto)**  
 traffico stradale e ferroviario: criterio territoriale; traffico aereo e navale: mezza tratta

in mio. CHF	Traffico stradale			Traffico ferroviario	Traffico aereo	Traffico navale	Totale
	TV mot. priv. e TM	Traffico lento	Trasporti pubblici				
Salute (inquinamento atmosferico)	1'444	-	60	185	37	29	1'756
Edifici (inquinamento atmosferico)	297	-	12	38	8	6	362
Perdite di raccolto (inquinamento atmosferico)	52	-	4	1	2	1	59
Danni alle foreste (inquinamento atmosferico)	45	-	3	1	1	1	51
Perdita di biodiversità (inquinamento atmosferico)	134	-	7	2	3	3	148
Rumore	1'427	-	37	269	66	-	1'799
Clima	1'234	-	26	4	686	8	1'959
Natura e paesaggio	750	10	10	119	6	5	900
Danni al suolo	113	-	5	24	-	-	142
Processi a monte e a valle	704	34	20	48	108	3	917
Incidenti	980	856	7	4	2	0	1'850
Aree urbane	109	-	3	32	-	-	144
Deduzione quota TTPCP	-720	-	-	-	-	-	-720
<b>Totale</b>	<b>6'570</b>	<b>900</b>	<b>194</b>	<b>727</b>	<b>919</b>	<b>57</b>	<b>9'367</b>
<b>Benefici per la salute grazie al traffico lento</b>	-	<b>-1'281</b>	-	-	-	-	<b>-1'281</b>

In questo schema e in quelli seguenti i totali possono mostrare differenze dovute agli arrotondamenti.

I settori di costo che incidono maggiormente sul totale sono essenzialmente quattro: il clima, gli incidenti, il rumore e i costi per danni alla salute dovuti all'inquinamento atmosferico. Questi settori si situano tutti tra i 1750 e i 2000 milioni di franchi. I cosiddetti processi a monte e a valle, così come i danni alla natura e al paesaggio, comportano ciascuno costi supplementari per 900 mio. circa. Per ovviare ai danni subiti dagli edifici si spendono circa 350 mio., mentre tutti i restanti settori di costo si situano sotto i 150 mio.. Dalla somma complessiva va dedotta la parte degli introiti dovuti alla TTPCP (che non è stata suddivisa fra i singoli settori di costo), ossia almeno 700 mio.. Il traffico lento, inoltre, comporta benefici esterni a livello di salute per 1300 mio..

### b) Effetti esterni del traffico stradale

Nel traffico stradale, la maggior parte (63 %) dei costi esterni è dovuta alle automobili (cfr. diagramma VB-4). Le categorie motoveicoli e autofurgoni contribuiscono ciascuna con il 7,3 %, mentre le categorie autocarri e trattori a sella, assieme, corrispondono al 6,1 % (una parte della TTPCP è stata conteggiata come internalizzazione). Il traffico pedonale comporta un saldo positivo in termini di benefici esterni pari ad almeno 500 milioni di franchi: i benefici a livello di salute, attorno a 890 mio., sono nettamente più elevati rispetto ai costi per incidenti causati dal traffico lento, ossia 360 mio. (e i restanti costi esterni, anch'essi ridotti). I costi esterni causati da filobus e tram sono molto limitati.

**Diagramma VB-4: Effetti esterni secondo le categorie di veicoli e gli elementi di costo, con costi per pkm o tkm, 2010 (base di calcolo: vettore di trasporto)**

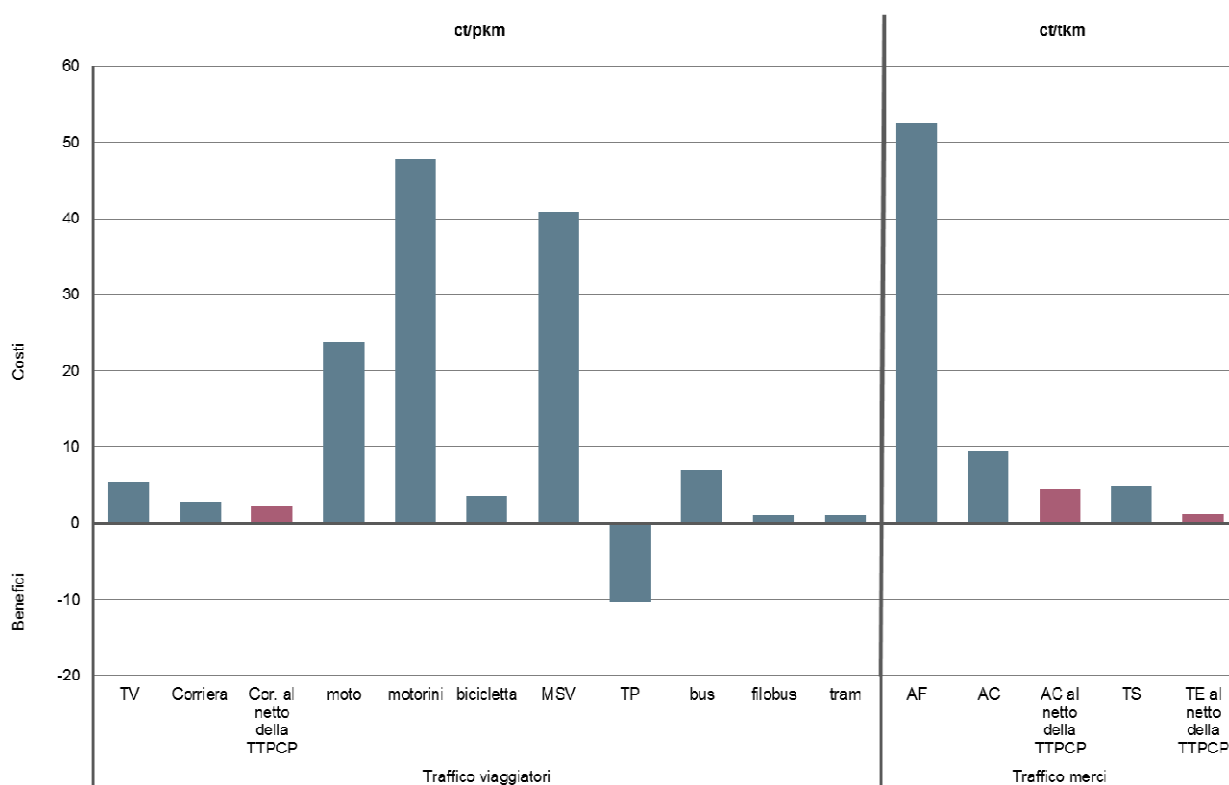
Costi esterni	Traffico viaggiatori													Totale complessivo	
	Traffico stradale				Traffico lento			Trasporti pubblici			Trasporto merci				
	Traffico viaggiatori motorizzato privato				biciclette	MSV	TP	bus	filobus	tram	AF	AC	TS		TR/MS
in mio. CHF	auto	autobus	moto	motorini											
Salute (inquinamento atmosferico)	1'019.2	22.7	8.3	0.6	-	-	-	60.2	n.a.	n.a.	129.3	169.4	94.9	n.a.	1'504.6
Edifici (inquinamento atmosferico)	209.8	4.7	1.7	0.1	-	-	-	12.4	n.a.	n.a.	26.6	34.9	19.5	n.a.	309.7
Perdite di raccolto (inquinamento atmosferico)	27.0	1.2	0.6	0.0	-	-	-	3.7	-	-	6.1	10.0	6.9	n.a.	55.5
Danni alle foreste (inquinamento atmosferico)	25.0	1.0	0.5	0.0	-	-	-	2.9	-	-	4.9	8.0	5.5	n.a.	47.9
Perdite di biodiversità (inquinamento atmosferico)	86.5	2.3	1.1	0.0	-	-	-	6.8	-	-	12.3	18.8	13.0	n.a.	140.8
Rumore	644.1	17.2	249.7	1.7	-	-	-	35.4	0.3	1.1	142.6	233.6	137.8	n.a.	1'463.5
Clima	956.2	9.5	17.9	0.8	-	-	-	26.1	-	-	86.5	94.8	68.6	n.a.	1'260.6
Natura e paesaggio	601.1	4.0	9.0	0.5	4.2	0.1	5.9	9.3	0.1	0.1	45.9	53.5	36.1	n.a.	769.7
Danni al terreno	56.8	2.2	1.2	0.1	-	-	-	4.6	0.5	0.0	10.9	26.2	15.5	n.a.	117.9
Processi a monte e a valle	537.3	4.8	8.7	0.5	12.3	0.5	21.6	11.5	1.9	6.2	49.7	56.4	46.8	n.a.	758.1
Incidenti	590.7	1.7	257.7	59.0	449.7	45.9	360.0	3.1	2.6	1.5	34.2	13.9	6.6	16.6	1'843.3
Aree urbane	90.6	0.3	1.9	0.1	-	-	-	2.2	0.4	0.6	9.3	3.5	2.9	n.a.	111.8
Deduzione quota TTPCP	-	-12.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-375.1	-332.1	-	-719.7
<b>Totale</b>	<b>4'844.2</b>	<b>58.9</b>	<b>558.1</b>	<b>63.6</b>	<b>466.2</b>	<b>46.5</b>	<b>387.5</b>	<b>178.2</b>	<b>5.8</b>	<b>9.5</b>	<b>558.3</b>	<b>348.0</b>	<b>122.2</b>	<b>16.6</b>	<b>7'663.8</b>
<b>in % del totale</b>	<b>63.2%</b>	<b>0.8%</b>	<b>7.3%</b>	<b>0.8%</b>	<b>6.1%</b>	<b>0.6%</b>	<b>5.1%</b>	<b>2.3%</b>	<b>0.1%</b>	<b>0.1%</b>	<b>7.3%</b>	<b>4.5%</b>	<b>1.6%</b>	<b>0.2%</b>	<b>100.0%</b>
<b>Totale secondo il modo di trasporto</b>	<b>64.0</b>										<b>372.2</b>			<b>136.7</b>	<b>572.9</b>
<b>Benefici alla salute grazie al traffico lento</b>	-	-	-	-	<b>-388.5</b>	<b>n.a.</b>	<b>-892.2</b>	-	-	-	-	-	-	-	<b>-1'280.7</b>
<b>Costi in ct/pkm (TP) e ct/tkm (TM)</b>	<b>5.6</b>	<b>2.3</b>	<b>23.8</b>	<b>47.9</b>	<b>3.7</b>	<b>40.9</b>	<b>-10.3</b>	<b>7.0</b>	<b>1.1</b>	<b>1.0</b>	<b>52.6</b>	<b>4.4</b>	<b>1.2</b>	<b>n.a.</b>	

auto = automobili, moto = motociclette, MSV = mezzi simili a veicoli, TP = traffico pedonale, AF = autofurgoni, AC = autocarri, TS = trattori a sella, TR = trattori, MS = macchine semoventi, n.a. = not available (non disponibile)

Se calcolati in funzione della tipologia di traffico, i costi esterni del traffico pesante risultano dell'8 % più elevati rispetto al calcolo fondato sul vettore di trasporto. Malgrado una parte

degli introiti dovuti alla TTPCP sia stata conteggiata come internalizzazione, nel 2010 i costi esterni per il traffico pesante ammontano nei settori analizzati a 570 milioni di franchi. Questa somma non permette tuttavia di concludere se/che l'aliquota della TTPCP sia stata calcolata in modo da coprire effettivamente i costi che il traffico pesante provoca per la collettività. Questo aspetto può essere chiarito solo tenendo conto anche dei costi infrastrutturali (in particolare la copertura, eccedente o insufficiente, del traffico pesante nei calcoli per categorie riguardanti il conto stradale) (cfr. l'exkursus al cap. 16.1.1).

**Diagramma VB-5: Effetti esterni del traffico stradale per pkm o tkm, 2010 (base di calcolo: vettore di trasporto)**



Nel traffico viaggiatori, a causa della considerevole quota di incidenti che li riguarda nei calcoli fondati sul vettore di trasporto, i motoveicoli e i mezzi simili a veicoli registrano i costi esterni maggiori per persona-chilometro (48 e 41 ct / pkm; cfr. l'ultima riga del diagramma VB-4 e diagramma VB-5); i mezzi simili a veicoli, tuttavia, registrano costi esterni così elevati solo perché non è stato possibile calcolare i loro benefici a livello di salute. I motoveicoli costano 24 ct / pkm (soprattutto a causa degli incidenti e del rumore), le automobili 5.6 ct / pkm. Il traffico stradale pubblico costa in media 4.8 ct / pkm, cifra che, sulla base dei costi relativamente elevati causati dall'inquinamento atmosferico e fonico, si situa solo poco sotto quella delle automobili. Per quanto riguarda gli autobus, i dati a disposizione non hanno permesso di distinguere tra quelli che circolano nelle aree urbane e quelli operanti a livello regionale; si può comunque facilmente ipotizzare che nelle città, a causa del maggiore carico di traffico, gli autobus ottengano un migliore piazzamento. In città, inoltre, le automobili comportano costi maggiori rispetto a quando circolano in autostrada – in centro, gli autobus dovrebbero pre-



sentare pertanto costi esterni per pkm chiaramente inferiori rispetto alle automobili. L'autobus, inoltre, ha sovente una funzione di raccordo, fungendo da anello di una catena, probabilmente lunga, di mezzi pubblici; tragitti che, con ogni probabilità, comportano anche tratte su rotaia (2,3 ct / pkm). Il traffico pedonale genera benefici esterni pari a 10 ct / pkm; per quanto riguarda il traffico ciclistico, invece, i costi per gli incidenti provocati da ciclisti sono maggiori rispetto ai benefici che questo stesso mezzo di trasporto comporta per la salute (complessivamente costa 4 ct / pkm).

Per tonnellata-chilometro, gli autofurgoni provocano, a causa della quantità limitata di merci che trasportano, i costi esterni maggiori (53 ct / tkm). Per gli autocarri e i trattori a sella si calcolano costi di, rispettivamente, 4,4 e 1,2 ct / tkm.

### c) Effetti esterni del traffico ferroviario

Il traffico ferroviario provoca complessivamente costi esterni per 727 milioni di franchi. Di questi, 410 mio. (vale a dire il 56 %) sono riconducibili al traffico viaggiatori, 317 mio. al trasporto merci. Se rapportate alle prestazioni di trasporto, il traffico viaggiatori costa 2,3 ct / pkm e il trasporto merci 2,8 ct / tkm.

Nel traffico ferroviario i costi legati al rumore sono, con il 36 % del totale, i più rilevanti, seguiti dai costi per i danni alla salute provocati dall'inquinamento atmosferico con il 25 %, e dai costi legati alla natura e al paesaggio con il 16 %. I restanti settori di costo contribuiscono ognuno con una quota pari o inferiore al 6 %.

**Diagramma VB-6: Effetti esterni del traffico ferroviario suddivise in elementi di costo, 2010**  
(base di calcolo: vettore di trasporto)

Costi esterni in mio. CHF	Traffico viaggiatori	Traffico merci	Totale
<b>Traffico ferroviario</b>			
Salute (inquinamento atmosferico)	116.0	69.1	<b>185.0</b>
Edifici (inquinamento atmosferico)	23.8	14.2	<b>38.0</b>
Perdite di raccolto (inquinamento atmosferico)	0.1	0.7	<b>0.8</b>
Danni alle foreste (inquinamento atmosferico)	0.1	0.6	<b>0.7</b>
Perdita di biodiversità (inquinamento atmosferico)	0.2	1.3	<b>1.5</b>
Rumore	101.0	168.1	<b>269.1</b>
Clima	0.6	3.2	<b>3.8</b>
Natura e paesaggio	87.9	31.1	<b>119.0</b>
Danni al suolo	21.1	3.1	<b>24.3</b>
Processi a monte e a valle	29.2	18.8	<b>48.0</b>
Incidenti	2.0	2.4	<b>4.4</b>
Aree urbane	28.3	4.2	<b>32.5</b>
<b>Totale</b>	<b>410.3</b>	<b>316.7</b>	<b>727.0</b>

**d) Effetti esterni del traffico aereo**

Nel traffico aereo i costi esterni ammontano complessivamente a 919 milioni di franchi. Di questi, 842 mio. (pari al 92 %) sono riconducibili al traffico viaggiatori e 77 mio. al traffico merci (cfr. diagramma VB-7). Questi valori corrispondono rispettivamente a 2,7 ct / pkm e 7,6 ct / tkm. Nel traffico aereo i costi legati al clima costituiscono, con il 75 % del totale, il settore nettamente preponderante. Il 12 % dei costi complessivi è, invece, attribuibile ai processi a monte e a valle, il 7 % al rumore e il 4 % ai danni alla salute legati all'inquinamento atmosferico. I restanti settori di costo rappresentano singolarmente non più dell'1 % e, presi assieme, il 2,4 % del totale. Se si applicano, come calcolo di sensitività, rispettivamente il fattore di costo CO<sub>2</sub> massimo e minimo per i costi legati al clima e ai processi a monte e a valle, i costi complessivi del traffico aereo oscillano tra 580 e 1515 mio..

Il 95 % di questi costi, pari a 875 milioni di franchi, viene inoltre provocato da voli da e per gli aeroporti nazionali e solo il 5 %, pari a 44 mio., da voli da e per gli aeroporti regionali (aerodromi ed eliporti non sono considerati). I voli di linea e i charter sono responsabili del 90 % dei costi, determinati per metà dai voli intercontinentali e per metà dai voli di linea europei e charter. Gli elicotteri provocano lo 0,3 % dei costi, mentre l'aviazione generale è responsabile del restante 9 %.

**Diagramma VB-7: Effetti esterni del traffico aereo suddivise in elementi di costo, 2010 (base di calcolo: vettore di trasporto)**

<b>Costi esterni in mio. CHF</b>	Traffico viaggiatori	Traffico merci	<b>Totale</b>
<b>Traffico aereo</b>			
Salute (inquinamento atmosferico)	33.8	3.3	<b>37.1</b>
Edifici (inquinamento atmosferico)	7.6	0.8	<b>8.4</b>
Perdite di raccolto (inquinamento atmosferico)	1.4	0.1	<b>1.6</b>
Danni alle foreste (inquinamento atmosferico)	1.2	0.1	<b>1.3</b>
Perdita di biodiversità (inquinamento atmosferico)	2.7	0.3	<b>3.0</b>
Rumore	62.4	3.8	<b>66.2</b>
Clima	627.1	59.0	<b>686.1</b>
Natura e paesaggio	5.4	0.5	<b>6.0</b>
Danni al suolo	-	-	-
Processi a monte e a valle	98.3	9.3	<b>107.6</b>
Incidenti	1.7	0.0	<b>1.8</b>
Aree urbane	-	-	-
<b>Totale</b>	<b>841.8</b>	<b>77.3</b>	<b>919.0</b>

### e) Effetti esterni del traffico navale

Il traffico navale provoca complessivamente costi esterni (calcolati in base al vettore di trasporto) per 57 milioni di franchi (cfr. diagramma VB-8). Di questi il 53 %, pari a 31 mio., è riconducibile al traffico viaggiatori sui laghi svizzeri e il 47 %, pari a 27 mio., al trasporto merci. Rapportati alle prestazioni di trasporto, risultano costi rispettivamente di 19 ct / pkm e 1,3 ct / tkm. Nel trasporto merci esistono, tuttavia, importanti differenze fra il traffico sul Reno (a sud di Basilea in base al criterio della mezza tratta) e sui laghi svizzeri: a sud di Basilea i costi ammontano ad appena 0,5 ct / tkm, mentre sui laghi a 46 ct / tkm (il che corrisponde a 95 volte tanto). Si tratta di una conseguenza del tonnellaggio sensibilmente inferiore e dei tragitti più corti sui laghi, nonché delle maggiori emissioni di sostanze nocive (riteniamo, inoltre, che la base documentaria per il traffico navale sia relativamente inattendibile).

Nel traffico navale le emissioni di PM10 causano i costi più elevati: il 51 % di questi riguarda la salute e l'11 % gli edifici. Il clima costituisce il 14 % dei costi, la natura e il paesaggio il 9 %. I restanti settori di costo contribuiscono ognuno con una quota pari o inferiore al 6 % del totale (complessivamente 15 %).

**Diagramma VB-8: Effetti esterni del traffico navale suddivise in elementi di costo, 2010 (base di calcolo: vettore di trasporto)**

Costi esterni in mio. CHF	Traffico viaggiatori	Traffico merci	Totale
<b>Traffico navale</b>			
Salute (inquinamento atmosferico)	17.0	12.5	<b>29.4</b>
Edifici (inquinamento atmosferico)	3.5	2.6	<b>6.1</b>
Perdite di raccolto (inquinamento atmosferico)	0.8	0.6	<b>1.4</b>
Danni alle foreste (inquinamento atmosferico)	0.7	0.5	<b>1.2</b>
Perdita di biodiversità (inquinamento atmosferico)	1.6	1.1	<b>2.7</b>
Rumore	-	-	-
Clima	4.8	3.3	<b>8.1</b>
Natura e paesaggio	0.8	4.2	<b>5.0</b>
Danni al suolo	-	-	-
Processi a monte e a valle	1.5	1.9	<b>3.4</b>
Incidenti	0.0	0.1	<b>0.1</b>
Aree urbane	-	-	-
<b>Totale</b>	<b>30.6</b>	<b>26.8</b>	<b>57.5</b>

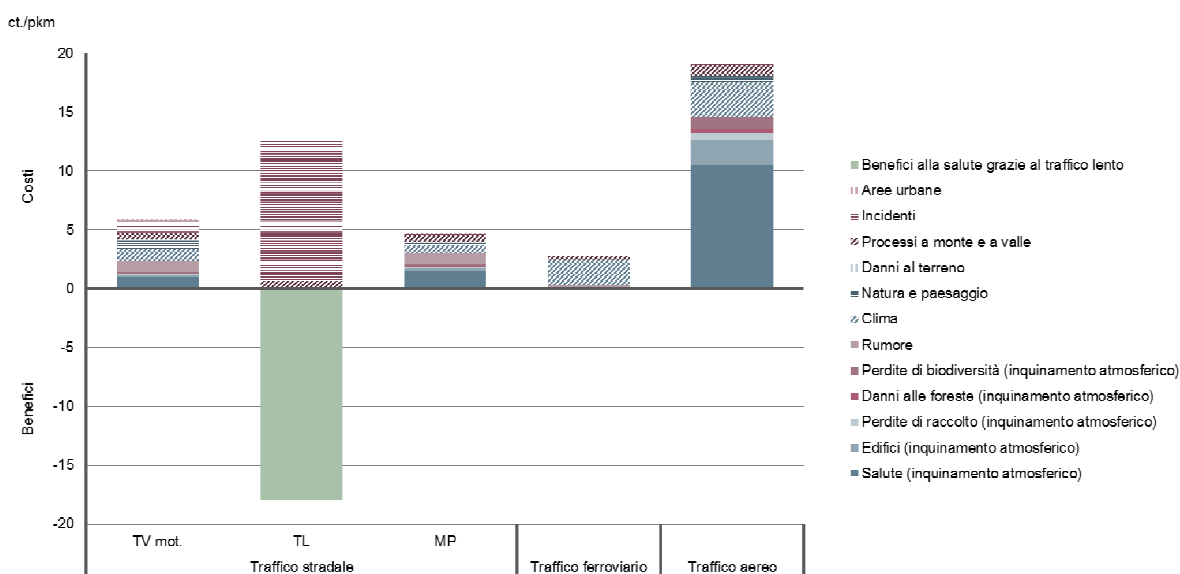
### f) Confronto degli effetti esterni dei quattro vettori di trasporto

Nel **traffico viaggiatori** il traffico privato motorizzato provoca costi esterni pari a 6,0 ct / pkm, un valore leggermente superiore a quello di cui è responsabile il traffico stradale pubblico con 4,8 ct / pkm (cfr. diagramma VB-9). Il traffico ferroviario comporta, con 2,3 ct / pkm, i costi più bassi per pkm. A causa delle lunghe distanze e dell'elevato tasso di sfruttamento il traffico aereo si situa a 2,7 ct / pkm. I costi maggiori sono quelli attestati dal traffico navale con 19 ct / pkm, e si spiegano con le emissioni atmosferiche molto elevate (sostanze inquinanti e gas a effetto serra). Il traffico lento è in grado di compensare ampiamente i suoi considerevoli costi per pkm (dovuti soprattutto agli incidenti che provoca) attraverso gli elevati benefici esterni per la salute a esso riconducibili, così che ne risulta un saldo positivo di 5,3 ct / pkm. Occorre rilevare, tuttavia, che il confronto fra singoli vettori di trasporto e categorie di veicoli è meno significativo di un paragone fra vettori di trasporto con lunghezze di percorrenza simili. Un paragone è opportuno, in particolare, per vettori di trasporto con lunghezze di percorrenza simili (ad es. un paragone tra diverse categorie di veicoli urbani oppure tra vettori di trasporto per lunghe percorrenze).

Nel **traffico merci** il traffico stradale provoca costi pari a 7,1 ct / tkm (media tra autocarri e trattori a sella, cfr. diagramma VB-10). Di questi, 4,4 ct / tkm sono, però, compensati attraverso la TTPCP, così che i costi esterni ammontano solo a 2,6 ct / tkm. I costi netti sono inferiori a quelli per il traffico ferroviario (2,8 ct / tkm). Il traffico aereo fa registrare costi esterni pari a 7,6 ct / tkm e il traffico navale sul Reno dell'ordine di 0,5 ct / tkm (il trasporto merci sui laghi con 46 ct / tkm non figura nel diagramma VB-10, poiché solo il 2 % dei tkm è percorso sui laghi). Confrontando i vettori di trasporto occorre considerare che il valore della merce per tonnellata varia di molto (ad es. trasporto di merci rinfuse via acqua, merci di valore via aria).

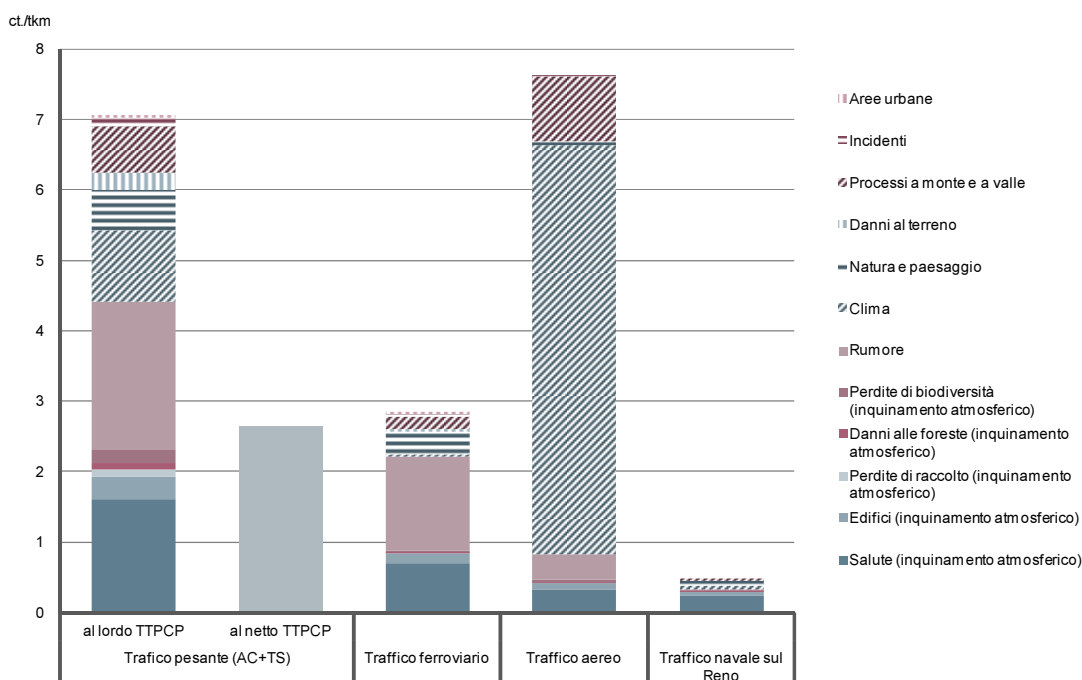
**Diagramma VB-9: Confronto tra i vettori di trasporto nel traffico viaggiatori: costi esterni per pkm, 2010 (base di calcolo: vettore di trasporto)**

Traffico stradale e ferroviario: criterio territoriale; traffico aereo e navale: mezza tratta



**Diagramma VB-10: Confronto tra i vettori di trasporto nel traffico merci: costi esterni per tkm, 2010 (base di calcolo: vettore di trasporto)**

Traffico stradale e ferroviario: criterio territoriale; traffico aereo e navale: mezza tratta



### g) Incertezze

I calcoli dei costi esterni e sociali sono parzialmente soggetti a considerevoli incertezze. Quest'ultime sono state esaminate nell'ambito di analisi di sensitività. Modificando di volta in volta le supposizioni chiave si è potuta analizzare la relativa variazione del risultato finale. Il diagramma VB-11 riassume i risultati e mostra, per ogni settore, l'ampiezza delle fluttuazioni relative ai costi esterni per la somma/l'insieme dei quattro vettori di trasporto (calcoli effettuati in base ai vettori di trasporto). Le fluttuazioni variano, secondo il settore di costo, tra - 11 % e +11 % e tra - 50 % e +80 %.

- **Salute e qualità dell'aria:** la valutazione dei costi immateriali dovuti alla perdita di anni di vita tramite VLYL (*value of life year lost*) è incerta, poiché quest'ultimo presenta una fluttuazione da - 50% fino a +100 %. I costi per la salute variano in questo modo da - 35 % fino a + 71 %.
- **Rumore:** malgrado gli importanti sforzi compiuti per sviluppare modelli affidabili per l'analisi del rumore, le incertezze nella valutazione dell'inquinamento fonico variano da - 37 % a + 44 %.
- **Clima:** in questo settore le incertezze in merito ai costi legati alle emissioni di CO<sub>2</sub> determinano una fluttuazione da - 45 % fino a + 80 %.
- **Natura e paesaggio:** in questo caso le incertezze legate alla stima dei costi dovuti alla frammentazione degli habitat naturali determinano una variazione da - 22 % a + 27 %.

**Diagramma VB-11: Fluttuazioni nelle analisi di sensitività**

in mio. CHF	Risultato documentato	Valore minimo	Valore massimo	Ampiezza delle fluttuazioni da
Salute (inquinamento atmosferico)	1'756	1'133	3'002	-35% fino a +71%
Edifici (inquinamento atmosferico)	362	272	453	-25% fino a +25%
Perdite di raccolto (inquinamento atmosferico)	59	43	76	-27% fino a +29%
Danni alle foreste (inquinamento atmosferico)	51	35	66	-32% fino a +30%
Perdita di biodiversità (inquinamento atmosferico)	148	118	178	-20% fino a +20%
Rumore	1'799	1'136	2'593	-37% fino a +44%
Clima	1'959	1'069	3'528	-45% fino a +80%
Natura e paesaggio	900	703	1'140	-22% fino a +27%
Danni al suolo	142	71	213	-50% fino a +50%
Processi a monte e a valle	917	551	1'562	-40% fino a +70%
Incidenti	1'850	1'649	2'056	-11% fino a +11%
Aree urbane	144	116	256	-19% fino a +77%
Benefici alla salute grazie al traffico lento	-1'281	-1'092	-1'446	-15% fino a +13%

- **Incidenti:** i costi esterni legati agli incidenti possono essere determinati in maniera relativamente precisa ( $\pm 11\%$ ), le fluttuazioni sono legate principalmente alle incertezze sull'entità delle prestazioni sociali e delle quote di regresso.
- **Benefici per la salute dovuti al traffico lento:** i benefici per la salute oscillano solamente del  $\pm 15\%$ . L'incertezza della correlazione tra attività motoria e benefici alla salute, tuttavia, non ha potuto essere quantificata.

Molte di queste incertezze sono, tuttavia, indipendenti le une dalle altre, così che gli spettri delle fluttuazioni, sommati tutti i settori, si riducono o si compensano in parte. Occorre inoltre considerare che in numerosi casi sono stati sottostimati i costi effettivamente documentati.

#### **h) Confronto degli effetti esterni con i risultati registrati finora**

In questa sezione i risultati per il 2010 sono confrontati con quelli registrati nel 2005 (cfr. Ecoplan, Infrass 2008). Il confronto riguarda unicamente il traffico stradale e quello ferroviario, poiché per gli altri vettori di trasporto non sono disponibili dati ufficiali per il 2005.

Nel **traffico stradale**, in base ai calcoli per il 2010, i costi risultano praticamente uguali a quelli del 2005 (per garantire la comparabilità dei dati, dai calcoli del 2010 sono stati sottratti i dati relativi al traffico lento). Una volta dedotto il rincaro, tuttavia, si denota una diminuzione. La tendenza è costante perché i risultati contrastanti in diversi settori di costo si compensano a vicenda.

**Diagramma VB-12: Confronto dei costi esterni calcolati per il 2005 e il 2010 (base di calcolo: vettore di trasporto)**

in mio. CHF	Traffico stradale (senza TL)			Traffico ferroviario		
	2005	2010	Differenza	2005	2010	Differenza
Salute (inquinamento atmosferico)	1'834	1'505	-329	120	185	65
Edifici (inquinamento atmosferico)	274	310	36	15	38	23
Perdite di raccolto (inquinamento atmosferico)	63	55	-8	2	1	-1
Danni alle foreste (inquinamento atmosferico)	64	48	-16	2	1	-1
Perdita di biodiversità (inquinamento atmosferico)	n.a.	141	141	n.a.	2	2
Rumore	1'101	1'463	363	74	269	195
Clima	1'256	1'261	4	7	4	-3
Natura e paesaggio	687	760	72	110	119	9
Danni al suolo	107	118	11	33	24	-9
Processi a monte e a valle	593	724	131	41	48	7
Incidenti	1'435	988	-447	4	4	0
Aree urbane	78	112	34	20	32	12
<b>Totale</b>	<b>7'492</b>	<b>7'483</b>	<b>-9</b>	<b>429</b>	<b>727</b>	<b>298</b>

- Diminuzione di 330 milioni di franchi dei costi per la salute legati all'inquinamento atmosferico, a seguito di nuove conoscenze sulla correlazione tra inquinamento atmosferico e perdita di anni di vita.
- Diminuzione degli incidenti di 450 milioni di franchi, soprattutto per quanto riguarda la loro frequenza e la loro gravità.
- Aumento pari a 360 milioni di franchi dei costi legati al rumore, a seguito del rincaro, della crescita demografica, dell'aumento di abitazioni e dell'applicazione di valori soglia più bassi nel rilevamento dei costi per la salute legati all'inquinamento fonico.
- Per la prima volta sono state considerate le perdite a livello di biodiversità causate dall'inquinamento atmosferico (140 mio. fr.).
- I costi dei processi a monte e a valle sono aumentati di 130 milioni di franchi, a seguito delle emissioni atmosferiche indirette di sostanze nocive, considerate per la prima volta (finora si era tenuto conto solo dei gas a effetto serra), nonché al parallelo aumento della quota dei costi per il clima.
- Sono aumentati anche molti altri settori di costo, principalmente a seguito del rincaro.

Nel **traffico ferroviario** tra il 2005 e il 2010 i costi sono aumentati del 69 %, ossia di 298 milioni di franchi. Di questi, circa 60 mio. possono essere spiegati, come per il traffico stradale, attraverso fattori come il rincaro, la crescita demografica, ecc. Il resto dipende prevalentemente dall'inquinamento fonico. Da un lato la valutazione degli effetti prodotti dalle emissioni acustiche nel 2010 si è basata principalmente sul rumore notturno (piuttosto che sull'inquinamento fonico diurno), che nel caso del traffico ferroviario è soltanto leggermente

inferiore a quello diurno. Dall'altro sono stati ridotti i valori soglia a partire dai quali sono state prese in considerazione gli effetti prodotti dalle emissioni acustiche. Importante è, inoltre, anche l'aumento del tasso di emissioni di PM10, che ha portato a costi più elevati per la salute e per gli edifici.

## Risultati relativi agli effetti sociali

Il diagramma VB-13 illustra i costi e i benefici complessivi per i settori presi in esame. Oltre agli effetti esterni considerati finora occorre tenere conto anche dei seguenti costi e benefici interni.

- **Benefici per la salute grazie al traffico lento:** grazie all'esercizio fisico legato al traffico lento cresce l'aspettativa di vita e diminuisce il numero di degenze ospedaliere. In aggiunta ai 1281 milioni di franchi di benefici esterni accertati la disponibilità a sostenere i costi per i benefici immateriali legati alla salute e alla qualità di vita (evitare sofferenza, dolore e traumi, guadagnare in termini di gioia di vita) ammonta a circa 11 000 mio..
- **Costi per incidenti:** i costi interni per incidenti ammontano a 10 300 milioni di franchi, di cui 10 200 per il traffico stradale. Per circa tre quarti consistono di costi immateriali. Un'importante voce di costo è rappresentata anche dai danni materiali risarciti da chi è responsabile dell'incidente e dalle assicurazioni di responsabilità civile.
- **Interruzioni del traffico lento:** i costi legati ai tempi di attesa nel traffico lento a causa del traffico motorizzato (158 mio.) sono computati all'interno del vettore di trasporto stradale.
- **Contributi di internalizzazione:** nel rilevamento dei costi esterni sono stati dedotti i contributi di internalizzazione. Quest'ultimi, però, devono essere nuovamente computati nel calcolo dei costi sociali. Consistono nella quota TTPCP (720 mio.), negli introiti del centesimo per il clima (106 mio., di cui 105 nel traffico stradale) nonché nelle tasse di atterraggio commisurate al rumore e alle emissioni (rispettivamente 34 e 4 mio.).

Il costo complessivo degli effetti sociali per il 2010 ammonta pertanto a 20 700 milioni di franchi. Il traffico stradale è responsabile, in particolare a causa delle sue elevate prestazioni di trasporto e degli elevati costi per incidenti, del 91 % di questi costi (18 800 mio.). Esso deve essere, tuttavia, considerato in maniera differenziata: il traffico motorizzato privato causa costi sociali per 11 700 mio., il traffico merci per 2 400 mio. e il traffico stradale pubblico per 340 mio.. Il traffico lento provoca costi per 4400 mio. e benefici per 12 300 mio., così che ne risulta un saldo positivo di 8000 mio.. Il traffico aereo provoca costi sociali per 985 mio. (5 %), il traffico ferroviario per 800 mio. (4 %). I costi sociali riconducibili al traffico navale ammontano, invece, a soli 60 mio. (0.3 %).



**Diagramma VB-13: Ripercussioni sociali 2010**

Traffico stradale e ferroviario: criterio territoriale; traffico aereo e navale: mezza tratta.

in mio. CHF	TV mot. priv. e TM	Traffico lento	Trasporti pubblici	Traffico ferroviario	Traffico aereo	Traffico navale	Totale
Salute (inquinamento atmosferico)	1'444	-	60	185	41	29	<b>1'760</b>
Edifici (inquinamento atmosferico)	297	-	12	38	8	6	<b>362</b>
Perdite di raccolto (inquinamento atmosferico)	52	-	4	1	2	1	<b>59</b>
Danni alle foreste (inquinamento atmosferico)	45	-	3	1	1	1	<b>51</b>
Perdita di biodiversità (inquinamento atmosferico)	134	-	7	2	3	3	<b>148</b>
Rumore	1'427	-	37	269	100	-	<b>1'833</b>
Clima	1'337	-	28	4	686	9	<b>2'064</b>
Natura e paesaggio	750	10	10	119	6	5	<b>900</b>
Danni al suolo	113	-	5	24	-	-	<b>142</b>
Processi a monte e a valle	704	34	20	48	108	3	<b>917</b>
Incidenti	7'542	4'315	148	76	30	2	<b>12'113</b>
Aree urbane	262	-	8	32	-	-	<b>302</b>
<b>Totale costi sociali</b>	<b>14'107</b>	<b>4'359</b>	<b>341</b>	<b>799</b>	<b>985</b>	<b>60</b>	<b>20'651</b>
<b>Benefici per la salute grazie al traffico lento</b>	-	<b>-12'314</b>	-	-	-	-	<b>-12'314</b>
<b>Ripercussioni esterne secondo il vettore di trasporto</b>							
Totale costi esterni	6'570	900	194	727	919	57	<b>9'367</b>
Benefici per la salute grazie al traffico lento	-	-1'281	-	-	-	-	<b>-1'281</b>
<b>Differenza costi sociali - costi esterni</b>							
Totale costi sociali - costi esterni	7'537	3'459	148	72	66	2	<b>11'284</b>
Benefici sociali ed esterni per la salute grazie al TL	-	-11'034	-	-	-	-	<b>-11'034</b>

Complessivamente l'86 % dei costi sociali è provocato dal traffico viaggiatori, contro il 14 % del trasporto merci. La quota di costi legata al traffico viaggiatori è così leggermente più elevata rispetto a quella per i costi esterni. Questa differenza si spiega in particolare con il fatto che nel traffico stradale i costi per incidenti sono causati principalmente dal traffico viaggiatori. Inoltre, i benefici per la salute legati al traffico lento sono computati all'interno del traffico viaggiatori.

Se si considerano i contributi di ogni settore di costi e benefici, spiccano subito gli effetti principali dei incidenti e dei benefici per la salute del traffico lento, con rispettivamente + 12 e - 12 miliardi di franchi. I costi per il clima, per il rumore e per i danni alla salute provocati dall'inquinamento atmosferico sono responsabili ciascuno di costi sociali da 1750 fino 2100 mio. Entrambi i settori dei processi a monte e a valle e della natura e del paesaggio evidenziano costi di circa 900 mio.

## Summarised Version

### Background and Objective

The Swiss Federal Statistical Office (SFSO) and the Federal Office for Spatial Development (ARE) have produced a Transport Account for traffic in Switzerland. This Account updates the previous study, conducted in 2005 (SFSO 2009). In addition to road and rail transport, it covers air transport and some aspects of waterborne transport for the first time.

As the input for this overall Account, the present report concentrates on establishing the external costs ("negative externalities") caused by these modes of transport in 2010. Compared with previous studies, "road" as a mode of transport now includes non-motorised transport (pedestrian and cycle traffic), with both its external costs and its external benefits, in the form of positive effects on health.

### Methodology

Calculations of external costs concentrate on **environmental, accident and health-related effects**. They are based on the following framework:

#### a) Definitions and price basis

Both social and external costs have been calculated.

- The **social** (in terms of the national economy) **costs** of transport comprise the costs to society that are caused by transport activity. They comprise internal and external costs.
- **Internal costs** are those which transport users pay themselves, such as premiums for motor vehicle liability insurance.
- **External costs** refer to that part of social costs which is not paid by the originators of transport activity. A typical example here is the noise caused by that transport activity, which is not reflected in the price of the journey.

The results are calculated at **factor prices** as at 2010, i.e. indirect taxes such as VAT are not included or have been factored out.

#### b) External costs from differing perspectives

External effects can be determined from a number of different perspectives:

- **Mode of transport perspective:** The entire mode of transport (road, rail, air or water) is viewed together as a unit. Within the mode of transport, all of the costs borne by its users are deemed to be internal, such as accident-related costs caused to a cyclist by a passenger vehicle. With this perspective, external costs exist only if they are incurred outside of the particular mode of transport. With the mode of transport perspective, the issue is which mode of transport causes which costs, and the extent to which these costs are cov-

ered within the mode of transport itself (the cost coverage ratio). The mode of transport perspective provides the basis of the Transport Account, and forms the core of this report.

- **Transport type perspective – heavy vehicles:** This perspective was determined by the Swiss Federal Supreme Court for the calculation of the heavy vehicle fee (HVF) for coaches, light goods vehicles (LGV) and heavy goods vehicles (HGV). With this perspective, all costs which are not incurred within the heavy vehicle segment are deemed to be external. In contrast to the mode of transport perspective, the costs that a truck causes to a car are thus regarded as external.
- **Transport user perspective:** The third perspective considered in the report is that of the transport user. This perspective is not included in the summarised version (however, see section 16.3). When distinguishing between internal and external costs, the starting point is the individual transport user. All costs that the originator of a transport activity does not pay for themselves are regarded as external. The transport user perspective centres on the efficient use of the transport infrastructure from the point of view of the national economy. The cost rates that have been determined serve as an input in the calculation of internalisation charges.

### c) Distinction between modes of transport, scope of study

The definitions used in the Transport Account were also used to **distinguish** the modes of transport included in the study.

- Road transport includes all traffic (including non-motorised traffic) on thoroughfares from motorways down to third-class roads.
- Rail transport covers all traffic on the entire rail network (excluding cog-wheel railways and cable cars).
- Air transport considers all flights to and from international and regional airports. It excludes airfields, heliports and military aviation.
- Waterborne transport includes the Rhine river ports in Basel, as well as moorings for public passenger boats and freight transport.

Where **road and rail transport** are concerned, costs are essentially calculated using the **territorial principle**. This covers those costs which are caused by traffic in Switzerland. By contrast, the **shared route principle** is applied to **air and waterborne transport**. In other words, all journeys are allocated 50:50 to their place of origin and their destination. Consequently, internal journeys are covered in full, while journeys to / from other countries are covered for the second half of the route into Switzerland, or the first half of the route out of the country. The shared route principle is used to delimit international transport (by air and along the River Rhine).

### d) Cost and benefit categories covered, methods of calculation

This study concentrates on calculating the external costs of transport in 12 selected categories. The table below shows the key methodological elements applied to each cost type.

**Figure S-1: Methods for calculating external costs, by cost type**

<b>Cost type</b>	<b>Method</b>
Health costs as a result of air pollution	Medical treatment costs, net lost output, replacement recruitment costs, intangible costs owing to shorter life expectancy and illness (all damage cost approach)
Building damage as a result of air pollution	a. costs of additional renovations (locations exposed to traffic); b. shorter life of building facade (locations not exposed to traffic); c. additional cleaning costs (all damage cost approach)
Crop shortfalls as a result of air pollution	Reduction in agricultural income as a result of high ozone levels (damage costs)
Forest degradation as a result of air pollution	a. Lower income from timber harvests as a result of high ozone levels; b. lower income from timber harvests as a result of soil acidification; c. costs of higher levels of wind-throw as a result of soil acidification (all damage cost approach)
Loss of biodiversity as a result of air pollution	Costs of (virtual) measures to restore biodiverse ecosystems (replacement cost approach)
Noise	Nuisance (falling housing prices) and health costs (similar to the health costs caused by air pollution – all damage costs)
Climate change	Costs of avoidance measures to achieve long-term global climate targets (avoidance cost approach)
Nature and the landscape	Replacement cost approach: a. Loss of habitats: costs of the (virtual) restoration of lost biotopes or defined ecosystems (habitats); b. Habitat fragmentation: costs of the (virtual) creation of defragmentation infrastructure
Soil degradation from toxic substances	Costs of the (virtual) clean-up of toxic substances from contaminated soil (repair cost approach)
Costs of upstream and downstream processes	Climate change and air pollution costs associated with the manufacture, maintenance and disposal of vehicles (means of transport), energy sources (fuels, electricity) and infrastructures
Accidents	Medical treatment costs, net lost output, replacement recruitment costs, intangible costs, administrative costs, property damage, police and subsequent legal costs (all damage cost approach)
Additional costs in urban areas	a. Time-related costs for non-motorised transport owing to geographical separation (damage costs); b. impairment of local character and appeal: costs of upgrading heavily used local thoroughfares (repair cost approach)

The benefits of transport, which are certainly considerable and largely internal, fall outside of the scope of the present study – with one exception. The internal and external benefits of non-motorised transport in Switzerland have been included for the first time. These benefits include longer life-expectancy and fewer hospital stays as a result of physical activity. They are determined using the same method applied to damage to health caused by air pollution, as shown in figure S-1. In accordance with its brief, this study does not examine other benefit categories and their potential external share (see discussion in section 2.2).

#### **e) Treatment of internalisation charges**

**Internalisation charges** which can be allocated directly to a specific cost category (e.g. noise-related aircraft landing fees, the "climate cent" levy) are deducted directly from the re-

lated costs. However, the Heavy Vehicle Fee, HVF – which was designed to internalise the external costs of heavy road traffic – is compared with the external costs of heavy vehicle traffic in a separate concluding analysis. By contrast, the mineral oil tax is not treated as an internalisation charge, because it is already factored in to the Infrastructure Account.

#### f) Treatment of uncertainty

It is impossible to calculate externalities without making assumptions or simplifications. This report deals as follows with these **uncertainties**: where a scientifically-founded "**best guess**" is available, it has been used. Otherwise, the calculation is based on a **prudent estimate** (the "**at least approach**"). In other words, where assumptions and simplifications have been made, they are "**as realistic as possible, but conservative in the event of doubt**". In practical terms, this means that uncertainties are subject to cautious assumptions, which tend to result in the actual costs and benefits being understated rather than overstated.

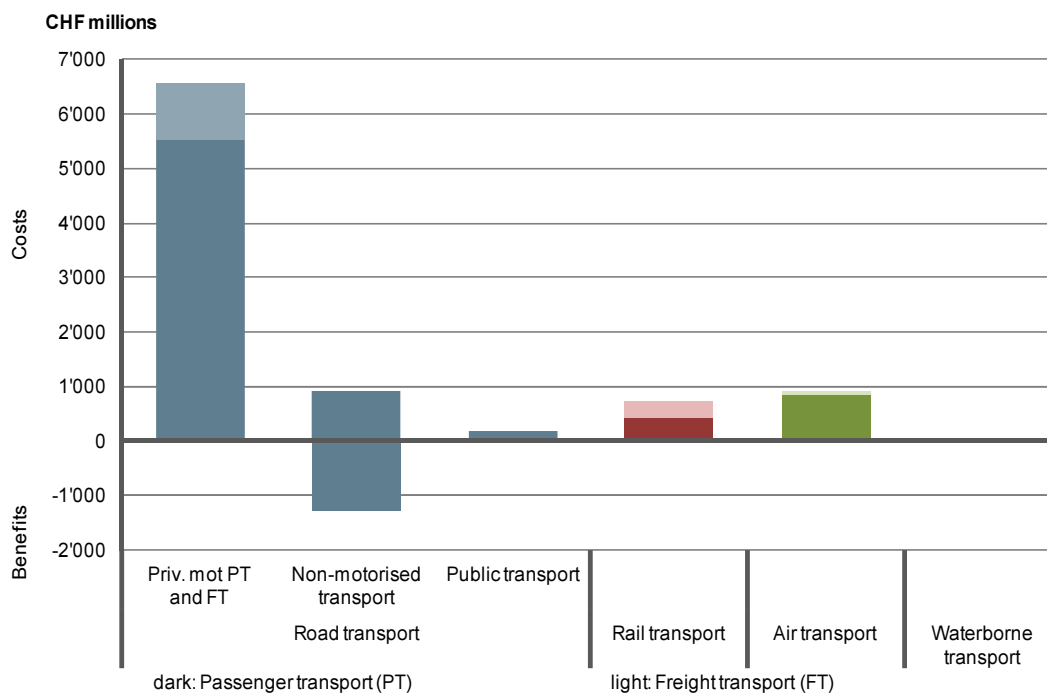
### Findings on External Effects

#### a) External effects of transport as a whole

Figure S–2 and figure S–3 show that, from the mode of transport perspective, transport generated external costs totalling CHF 9,400 million in 2010. Most of these costs – some 82%, or CHF 7,700 million – were caused by road transport. Of this, private motorised passenger transport accounted for CHF 5,500 million, freight transport CHF 1,000 million (a portion of the HVF has been set off as an internalisation measure), non-motorised transport CHF 900 million, and public road transport CHF 190 million). Second place is taken by air transport, which accounts for 10%, or CHF 920 million. Rail transport generated costs of CHF 730 million, or 8% of the total. Waterborne transport resulted in external costs of CHF 57 million or 0.6%. In total, 84% of external costs are caused by passenger transport, and 16% by freight transport. In addition to its costs, non-motorised transport generates external health benefits of CHF 1,300 million. It must be remembered, however, that the distances covered using the individual modes of transport differ widely. Considerably more person and tonne kilometres are travelled by road than by other modes of transport, while figures for waterborne transport are much lower.

The analysis shows that four cost categories have a significant effect on the total: climate change, accidents, noise, and air pollution-related damage to health each account for costs of between CHF 1,750 million and CHF 2,000 million. Upstream and downstream processes, as well as nature and the landscape, generate further costs of approx. CHF 900 million each. Damage to buildings accounts for a further CHF 350 million or so, while all other cost categories contribute CHF 150 million or less each. Over CHF 700 million in HVF revenues must be deducted from these costs. This HVF revenue is not distributed across the individual cost categories. In addition, non-motorised transport generates external health benefits of CHF 1,300 million.

**Figure S-2: Overview of external effects from the mode of transport perspective, 2010**  
Road/rail transport: territorial principle\*, air/waterborne transport: shared route principle\*\*



\* Territorial principle: traffic within Swiss borders

\*\* Shared route principle: traffic within Swiss borders and half of flight/shipping routes from Switzerland to foreign destinations, and vice-versa (see section 2.3.2).

**Figure S-3: Overview of external effects from the mode of transport perspective, 2010**  
Road/rail transport: territorial principle, air/waterborne transport: shared route principle

CHF millions	Road transport			Rail transport	Air transport	Waterborne transport	Total
	Priv. mot PT and FT	Non-mot. transport	Public transport				
Air-related health	1'444	-	60	185	37	29	<b>1'756</b>
Air-related building	297	-	12	38	8	6	<b>362</b>
Air-related crop shortfall	52	-	4	1	2	1	<b>59</b>
Air-related forest degradation	45	-	3	1	1	1	<b>51</b>
Air-related biodiversity loss	134	-	7	2	3	3	<b>148</b>
Noise	1'427	-	37	269	66	-	<b>1'799</b>
Climate change	1'234	-	26	4	686	8	<b>1'959</b>
Nature and the landscape	750	10	10	119	6	5	<b>900</b>
Soil degradation	113	-	5	24	-	-	<b>142</b>
Upstream and downstream processes	704	34	20	48	108	3	<b>917</b>
Accidents	980	856	7	4	2	0	<b>1'850</b>
Urban areas	109	-	3	32	-	-	<b>144</b>
Deduction of HVF share	-720	-	-	-	-	-	<b>-720</b>
<b>Total</b>	<b>6'570</b>	<b>900</b>	<b>194</b>	<b>727</b>	<b>919</b>	<b>57</b>	<b>9'367</b>
<b>Health bens - non-mot. transport</b>	<b>-</b>	<b>-1'281</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-1'281</b>

Rounding differences may result in slight deviations from the stated totals in this and all subsequent figures.

## b) External effects of road transport

In road transport, passenger vehicles are responsible for the lion's share (63%) of external costs (see figure S-4). Motorcycles and light goods vehicles each contribute 7.3% to the total, while heavy goods vehicles and articulated lorries together account for 6.1%, with a portion of the HVF already factored in as an internalisation measure. Pedestrian traffic resulted in net external benefits of a just over CHF 500 million, because the health benefits of CHF 890 million are far higher than the accident costs of CHF 360 million caused by non-motorised transport. Other external costs for this transport category are also very low, as are those of trolley buses and trams.

**Figure S-4: External effects of road transport from the mode of transport perspective, 2010, by cost component and vehicle category, as well as costs per pkm and tkm**

External costs Road transport CHF millions	Passenger transport										Freight transport				Overall total
	Private motorised transport				Non-motorised transport			Public passenger transport			LGV	HGV	Artic.	Tr/Mach.	
	Car	Coach	M-cycle	Moped	Cycle	VLD	Pedest.	Bus	Trolley	Tram					
Air-related health	1'019.2	22.7	8.3	0.6	-	-	-	60.2	n.a.	n.a.	129.3	169.4	94.9	n.a.	1'504.6
Air-related building	209.8	4.7	1.7	0.1	-	-	-	12.4	n.a.	n.a.	26.6	34.9	19.5	n.a.	309.7
Air-related crop shortfall	27.0	1.2	0.6	0.0	-	-	-	3.7	-	-	6.1	10.0	6.9	n.a.	55.5
Air-related forest degradation	25.0	1.0	0.5	0.0	-	-	-	2.9	-	-	4.9	8.0	5.5	n.a.	47.9
Air-related biodiversity loss	86.5	2.3	1.1	0.0	-	-	-	6.8	-	-	12.3	18.8	13.0	n.a.	140.8
Noise	644.1	17.2	249.7	1.7	-	-	-	35.4	0.3	1.1	142.6	233.6	137.8	n.a.	1'463.5
Climate change	956.2	9.5	17.9	0.8	-	-	-	26.1	-	-	86.5	94.8	68.6	n.a.	1'260.6
Nature and the landscape	601.1	4.0	9.0	0.5	4.2	0.1	5.9	9.3	0.1	0.1	45.9	53.5	36.1	n.a.	769.7
Soil degradation	56.8	2.2	1.2	0.1	-	-	-	4.6	0.5	0.0	10.9	26.2	15.5	n.a.	117.9
Upstream and downstream processes	537.3	4.8	8.7	0.5	12.3	0.5	21.6	11.5	1.9	6.2	49.7	56.4	46.8	n.a.	758.1
Accidents	590.7	1.7	257.7	59.0	449.7	45.9	360.0	3.1	2.6	1.5	34.2	13.9	6.6	16.6	1'843.3
Urban areas	90.6	0.3	1.9	0.1	-	-	-	2.2	0.4	0.6	9.3	3.5	2.9	n.a.	111.8
Deduction of HVF share	-	-12.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-375.1	-332.1	-	-719.7
<b>Total</b>	<b>4'844.2</b>	<b>58.9</b>	<b>558.1</b>	<b>63.6</b>	<b>466.2</b>	<b>46.5</b>	<b>387.5</b>	<b>178.2</b>	<b>5.8</b>	<b>9.5</b>	<b>558.3</b>	<b>348.0</b>	<b>122.2</b>	<b>16.6</b>	<b>7'663.8</b>
<b>As % of overall total</b>	<b>63.2%</b>	<b>0.8%</b>	<b>7.3%</b>	<b>0.8%</b>	<b>6.1%</b>	<b>0.6%</b>	<b>5.1%</b>	<b>2.3%</b>	<b>0.1%</b>	<b>0.1%</b>	<b>7.3%</b>	<b>4.5%</b>	<b>1.6%</b>	<b>0.2%</b>	<b>100.0%</b>
<b>Total, transport type perspective</b>		<b>64.0</b>									<b>372.2</b>	<b>136.7</b>			<b>572.9</b>
<b>Health bens - non-mot. transport</b>					<b>-388.5</b>	<b>n.a.</b>	<b>-892.2</b>								<b>-1'280.7</b>
<b>Costs: cents/pkm (PT), cents/tkm (FT)</b>	<b>5.6</b>	<b>2.3</b>	<b>23.8</b>	<b>47.9</b>	<b>3.7</b>	<b>40.9</b>	<b>-10.3</b>	<b>7.0</b>	<b>1.1</b>	<b>1.0</b>	<b>52.6</b>	<b>4.4</b>	<b>1.2</b>	<b>n.a.</b>	

M-cycle = motorcycle, VLD = vehicle-like device, Pedest. = pedestrian, LGV = light goods vehicle / delivery van, HGV = heavy goods vehicle, artic. = articulated lorry, Tr = tractor, mach = machinery, n.a. = not available

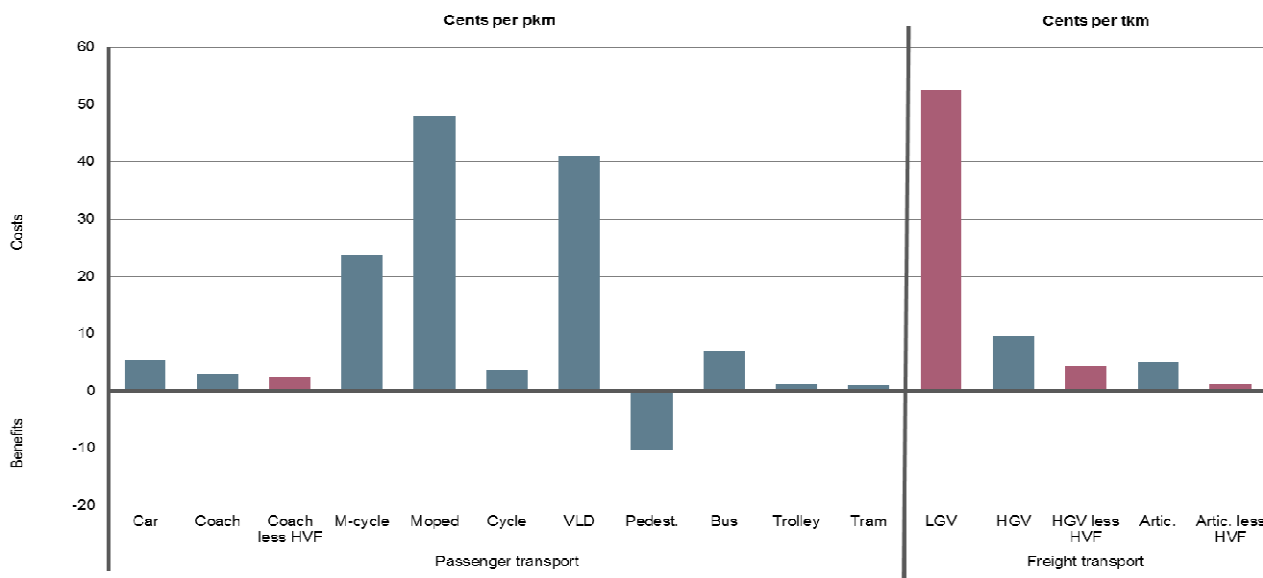
From the transport type perspective, the external costs of heavy vehicle transport are 8% higher than they are from the mode of transport perspective. Although a portion of HVF revenue is factored in as an internalisation measure, the aspects of heavy vehicle transport examined by this study still resulted in external costs of CHF 570 million in 2010. However, this amount does not allow any conclusions to be drawn on whether or not the HVF has been set at the right level to cover the costs of heavy vehicle traffic that are incurred by the general public. This question can only be answered by factoring in infrastructure costs, or the shortfall or surplus reported for heavy vehicle transport in the schedule of categories contained in the Road Account (see discussion in section 16.1.1).

In view of the high accident costs they cause, from the mode of transport perspective small-engined mopeds and vehicle-like devices (VLD, defined as human-powered wheeled devices such as roller skates, scooters/kickboards, etc.) generate the highest external costs per per-

son kilometre in the passenger transport segment. These costs are 48 and 41 cents respectively per pkm (please refer to the last line in figures S-4 and S-5). However, vehicle-like devices reach 41 cents/pkm only because their health benefits could not be determined. Motorcycles also result in costs of 24 cents / pkm, mainly because of high accident and noise costs, while the external costs of passenger vehicles come in at 5.6 cents / pkm. Public road transport generates an average of 4.8 cents / pkm in external costs. This is only slightly less than private passenger vehicles, because of the relatively high costs of air and noise pollution. The data do not permit a distinction to be drawn between urban buses and regional buses, although higher seat occupancy means that urban buses would perform better in any such comparison. Private passenger vehicles cause higher costs in towns and cities than they do on motorways, so taking the bus in town and city traffic thus results in significantly lower external costs per pkm than travelling by car. In addition, bus routes often perform a "feeder function", as a link in what may be a longer chain of journeys by public transport, with further sections travelled by train (2.3 cents / pkm). Pedestrian traffic generates external benefits of 10 cents / pkm. By contrast, the high accident costs caused by cyclists are greater than the benefits to health. This produces net costs of 4 cents / pkm.

Small loads mean that light goods vehicles (delivery vans) generate the highest costs per tonne kilometre, at 53 cents / tkm. Heavy goods vehicles and articulated lorries are responsible for costs of 4.4 and 1.2 cents / tkm respectively.

**Figure S-5: External effects of road transport from the mode of transport perspective, 2010, per pkm and tkm**





### c) External effects of rail transport

Rail transport generates aggregate external costs of CHF 727 million. Passenger transport accounts for CHF 410 million of this (56%), while freight transport is responsible for CHF 317 million. Expressed in terms of distance travelled, this corresponds to 2.3 cents / pkm for passenger transport, and 2.8 cents / tkm for freight transport.

At 36%, noise costs are the highest component of the total for rail transport, followed by air pollution-related costs to health, at 25%, and nature and landscape costs, which account for 16%. The other individual cost categories contribute only 6% or less each to the total.

**Figure S-6: External effects of rail transport from the mode of transport perspective, 2010, by cost component**

External costs in CHF millions	Passenger	Freight	Total
<b>Rail transport</b>			
Air-related health	116.0	69.1	<b>185.0</b>
Air-related building	23.8	14.2	<b>38.0</b>
Air-related crop shortfall	0.1	0.7	<b>0.8</b>
Air-related forest degradation	0.1	0.6	<b>0.7</b>
Air-related biodiversity loss	0.2	1.3	<b>1.5</b>
Noise	101.0	168.1	<b>269.1</b>
Climate change	0.6	3.2	<b>3.8</b>
Nature and the landscape	87.9	31.1	<b>119.0</b>
Soil degradation	21.1	3.1	<b>24.3</b>
Upstream and downstream processes	29.2	18.8	<b>48.0</b>
Accidents	2.0	2.4	<b>4.4</b>
Urban areas	28.3	4.2	<b>32.5</b>
<b>Total</b>	<b>410.3</b>	<b>316.7</b>	<b>727.0</b>

### d) External effects of air transport

The external costs of air transport total CHF 919 million, with 92% (CHF 842 million) caused by passenger transport, and the remaining CHF 77 million accounted for by freight transport (see figure S-7). This corresponds to 2.7 cents / pkm and 7.6 cents / tkm respectively. At 75% of the total, climate-related costs are the clearly dominant cost category in air transport. In addition, 12% of costs result from upstream and downstream processes, 7% from noise, and 4% from the costs to health of air pollution. The other cost categories contribute an aggregated 2.4% to the total, with no single category exceeding 1%. If minimum and maximum CO<sub>2</sub> cost rates are applied as a sensitivity analysis to climate-related costs and upstream and downstream processes, then the total costs of air transport vary between CHF 580 million and CHF 1,515 million.

Furthermore, 95% of these costs, or CHF 875 million, are caused by flights from and to international airports in Switzerland, while only 5%, or CHF 44 million, is accounted for by flights from and to regional airports. Airfields and heliports are not included in these figures. Scheduled and charter flights are responsible for 90% of the costs. This figure is divided equally between intercontinental and European scheduled and charter flights. Helicopters generate 0.3% of the costs, while other general aviation is responsible for the remaining 9%.

**Figure S-7: External effects of air transport from the mode of transport perspective, 2010, by cost component**

External costs in CHF millions	Passenger transport	Freight transport	Total
<b>Air transport</b>			
Air-related health	33.8	3.3	<b>37.1</b>
Air-related building	7.6	0.8	<b>8.4</b>
Air-related crop shortfall	1.4	0.1	<b>1.6</b>
Air-related forest degradation	1.2	0.1	<b>1.3</b>
Air-related biodiversity loss	2.7	0.3	<b>3.0</b>
Noise	62.4	3.8	<b>66.2</b>
Climate change	627.1	59.0	<b>686.1</b>
Nature and the landscape	5.4	0.5	<b>6.0</b>
Soil degradation	-	-	-
Upstream and downstream processes	98.3	9.3	<b>107.6</b>
Accidents	1.7	0.0	<b>1.8</b>
Urban areas	-	-	-
<b>Total</b>	<b>841.8</b>	<b>77.3</b>	<b>919.0</b>

#### e) External effects of waterborne transport

Waterborne transport results in aggregate external costs (from the mode of transport perspective) of CHF 57 million (see figure S-8). Of this, 53% (CHF 31 million) is accounted for by passenger transport on Swiss lakes, and 47% (CHF 27 million) by freight transport. Expressed in terms of distance travelled, this corresponds to 19 cents / pkm and 1.3 cents / tkm respectively. Where freight transport is concerned, there are nonetheless significant differences between shipping on the Rhine (below Basel in accordance with the shared route principle), and freight transport on Switzerland's lakes: below Basel, the costs come to just 0.5 cents / tkm, but they are 46 cents / tkm on lakes – 95 times higher. This is because of much smaller tonnages and shorter distances on the lakes, as well as higher pollutant emissions. We also believe that a relatively high level of uncertainty is attached to data on waterborne transport.

In this segment, PM10 (particulate matter) emissions result in the highest costs, specifically 51% in costs to health, and 11% in damage to buildings. Climate-related costs contribute 14% to the total, while nature and the landscape account for 9%. The other cost categories result in only 6% or less of costs in each case, and total 15% overall.

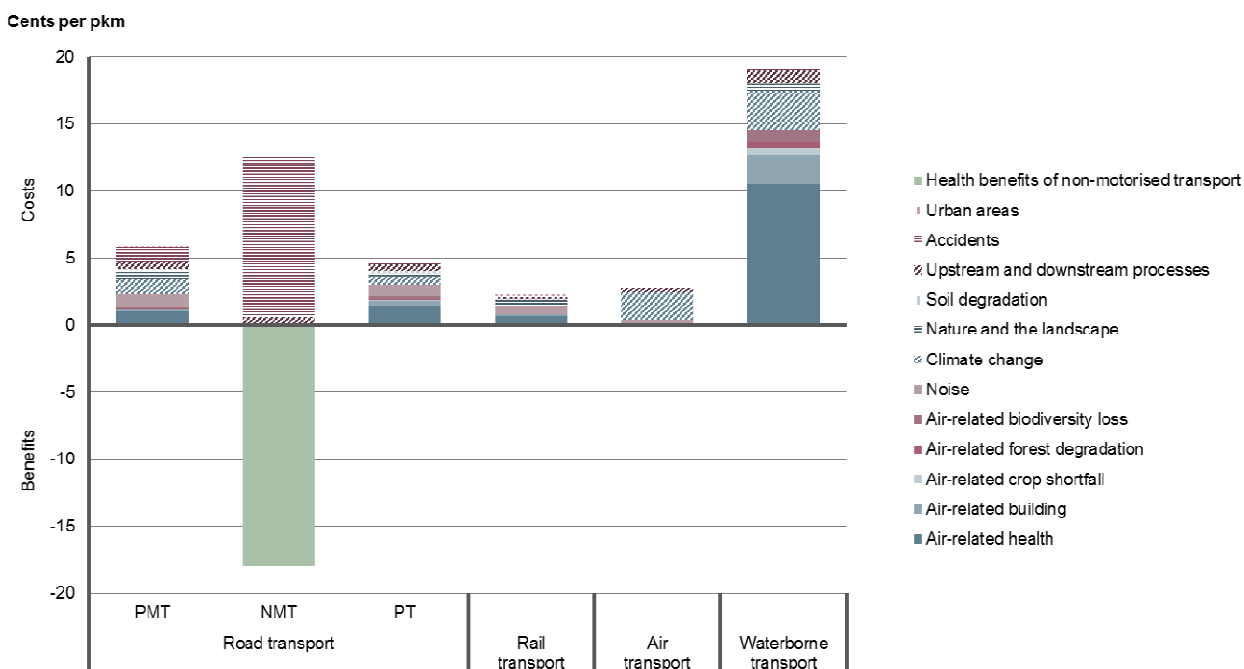
**Figure S-8: External effects of waterborne transport from the mode of transport perspective, 2010, by cost component**

External costs in CHF millions	Passenger transport	Freight transport	Total
<b>Waterborne transport</b>			
Air-related health	17.0	12.5	<b>29.4</b>
Air-related building	3.5	2.6	<b>6.1</b>
Air-related crop shortfall	0.8	0.6	<b>1.4</b>
Air-related forest degradation	0.7	0.5	<b>1.2</b>
Air-related biodiversity loss	1.6	1.1	<b>2.7</b>
Noise	-	-	-
Climate change	4.8	3.3	<b>8.1</b>
Nature and the landscape	0.8	4.2	<b>5.0</b>
Soil degradation	-	-	-
Upstream and downstream processes	1.5	1.9	<b>3.4</b>
Accidents	0.0	0.1	<b>0.1</b>
Urban areas	-	-	-
<b>Total</b>	<b>30.6</b>	<b>26.8</b>	<b>57.5</b>

#### f) Comparison of the external effects of the four modes of transport

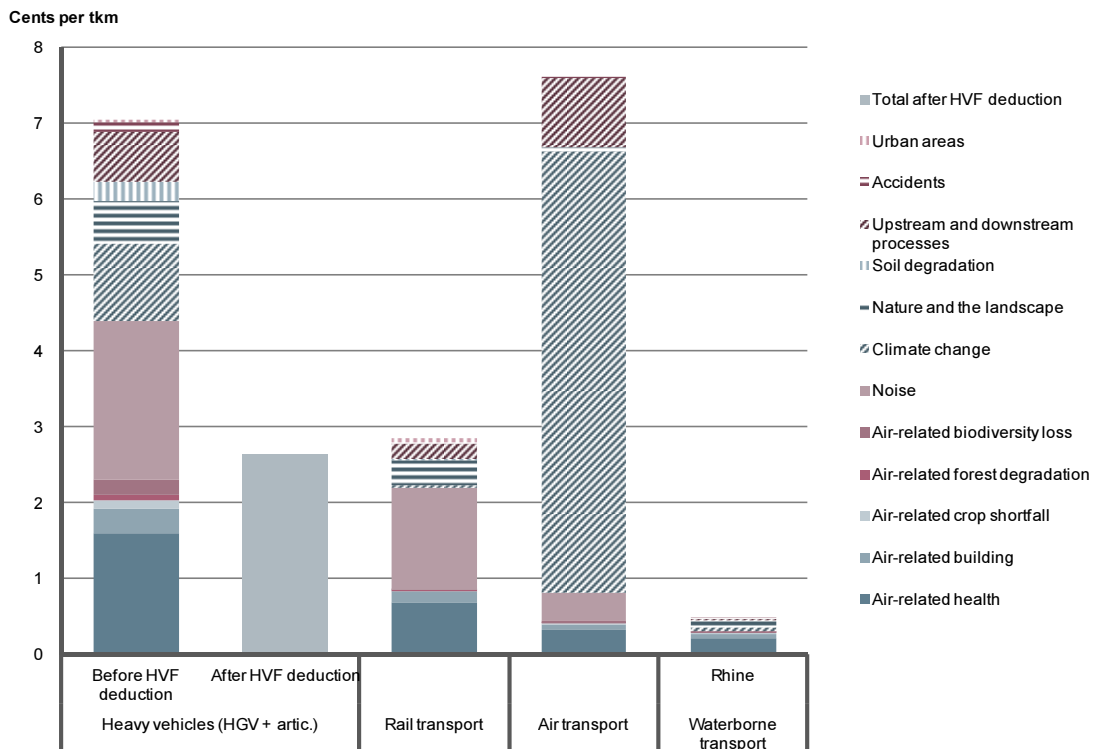
In the **passenger transport** segment, private motorised transport causes external costs of 6.0 cents / pkm, which is somewhat higher than public road transport, at 4.8 cents / pkm (see figure S-9). At 2.3 cents, rail transport generates the lowest costs per pkm. In view of the long distances travelled and high seat occupancy, air transport comes in at 2.7 cents / pkm. Waterborne transport is associated with the highest costs, of 19 cents / pkm, owing to its very high emissions of air pollutants and greenhouse gases. Non-motorised transport also generates high costs per pkm, primarily because of accident costs caused by the individuals themselves – but it is able to more than offset these with even higher external health benefits, resulting in net external benefits of 5.3 cents / pkm. It should be pointed out here, however, that the individual modes of transport and vehicle categories are comparable only up to a point, and that comparisons make the most sense for trips of similar distances, e.g. between different categories of urban vehicles, or comparisons between modes of transport for longer journeys.

**Figure S-9: Comparison of transport modes for passenger transport, 2010: external costs per pkm (mode of transport perspective)**  
 Road/rail transport: territorial principle, air/waterborne transport: shared route principle



In the **freight transport** segment, road transport results in costs of 7.1 cents / tkm (average of heavy goods vehicles and articulated lorries, see figure S–10). However, 4.4 cents / tkm of this is internalised with the HVF, meaning that only 2.6 cents / tkm actually remains in external costs. The net costs of road freight transport are lower than those of rail transport, at 2.8 cents / tkm. Air freight generates external costs of 7.6 cents / tkm, and freight shipping on the Rhine 0.5 cents / tkm. Freight transport on lakes, at 46 cents / tkm, is not shown in figure S–10, as lakes account for only 2% of tonne kilometres in waterborne freight transport. When comparing modes of transport, it must be remembered that the value of a given tonne of goods varies widely. Bulk goods are transported by ship, for example, while smaller, high-value goods are transported by air.

**Figure S-10: Comparison of transport modes for freight transport, 2010: external costs per tkm (mode of transport perspective)**  
 Road/rail transport: territorial principle, air/waterborne transport: shared route principle



### g) Uncertainty

The calculations of external and social costs are subject to a degree of uncertainty, which may be considerable in some cases. These have been investigated in the form of sensitivity analyses. Here, changes were made to individual key assumptions, and the effect on the result then analysed. Figure S-11 summarises these findings and shows the margins of variance in external costs, aggregated for all four modes of transport for each cost category (mode of transport perspective). These variance margins vary, depending on the cost category, from +11% / +11% to +50% / +80%.

- **Air-related health:** Valuing the intangible costs of lost years of life using VLYL (value of life year lost) is inaccurate, because it can vary between -50% and +100%. This results in variance in health costs of between -35% and +71%.
- **Noise:** Although great efforts have been made to develop reliable models of noise, uncertainties in calculating noise result in a variance margin of -37% to +44%.
- **Climate change:** Uncertainty about the level of the CO<sub>2</sub> cost rate, in particular, produces variances of between -45% and +80%.
- **Nature and the landscape:** Here, uncertainty about the cost rate for habitat fragmentation results in variances of between -22% and +27%.

**Figure S-11: Margins of variance in sensitivity analyses**

CHF millions	Base result	Minimum	Maximum	Variance margin
Air-related health	1'756	1'133	3'002	-35% to +71%
Air-related building	362	272	453	-25% to +25%
Air-related crop shortfall	59	43	76	-27% to +29%
Air-related forest degradation	51	35	66	-32% to +30%
Air-related biodiversity loss	148	118	178	-20% to +20%
Noise	1'799	1'136	2'593	-37% to +44%
Climate change	1'959	1'069	3'528	-45% to +80%
Nature and the landscape	900	703	1'140	-22% to +27%
Soil degradation	142	71	213	-50% to +50%
Up/downstream processes	917	551	1'562	-40% to +70%
Accidents	1'850	1'649	2'056	-11% to +11%
Urban areas	144	116	256	-19% to +77%
Health bens - non-mot. transport	-1'281	-1'092	-1'446	-15% to +13%

- **Accidents:** External accident costs can be calculated relatively accurately ( $\pm 11\%$ ). The variance is attributable primarily to uncertain levels of transfer payments, and the proportion accounted for by compensation.
- **Health benefits of non-motorised transport:** Health benefits vary by only  $\pm 15\%$ . However, it has not been possible to quantify the uncertainty in the connection between physical activity and benefit to health.

However, many of these uncertainties are mutually interdependent, so that the variance margins will be reduced, or offset against each other to some degree, if they are aggregated across all cost areas. It should also be remembered that assumptions are made in a large number of individual decisions in a way that reported costs are underestimated.

#### **h) Comparison of external effects with previous results**

This section compares the new results for 2010 with the findings of the 2005 study (see Ecoplan, Infrass, 2008). Since no official calculations were made for other modes of transport in the 2005 report, the present comparison is limited to road and rail transport.

Where **road transport** is concerned, the costs resulting from the latest 2010 calculations are almost exactly the same as in 2005. In the interests of comparability, non-motorised transport has been factored out of the 2010 calculations. A reduction can thus be observed in real terms, i.e. when adjusted for inflation. This constancy is the result of opposing effects in a number of cost areas, which almost cancel each other out.

- Health-related costs as a result of air pollution are CHF 330 million lower on the basis of new findings on the exposure-response relationship between air pollution and lost years of life.

**Figure S-12: Comparison of calculations for 2005 and 2010 (external costs from the mode of transport perspective)**

CHF millions	Road transport (excl. NMT)			Rail transport		
	2005	2010	Difference	2005	2010	Difference
Air-related health	1'834	1'505	-329	120	185	65
Air-related building	274	310	36	15	38	23
Air-related crop shortfall	63	55	-8	2	1	-1
Air-related forest degradation	64	48	-16	2	1	-1
Air-related biodiversity loss	n.a.	141	141	n.a.	2	2
Noise	1'101	1'463	363	74	269	195
Climate change	1'256	1'261	4	7	4	-3
Nature and the landscape	687	760	72	110	119	9
Soil degradation	107	118	11	33	24	-9
Up/downstream processes	593	724	131	41	48	7
Accidents	1'435	988	-447	4	4	0
Urban areas	78	112	34	20	32	12
<b>Total</b>	<b>7'492</b>	<b>7'483</b>	<b>-9</b>	<b>429</b>	<b>727</b>	<b>298</b>

- The accident cost factor has fallen by CHF 450 million, primarily because of a sharp fall in the frequency and severity of accidents.
- Meanwhile, noise costs are CHF 360 million higher as a result of rising prices, an expanding population, an increase in the number of homes, and lower noise thresholds when calculating health costs.
- Losses of biodiversity as a result of air pollution (CHF 140 million) were included for the first time in 2010.
- There was a CHF 130 million increase in the costs of upstream and downstream processes owing to the first-time inclusion of indirect air pollutant emissions (the study previously covered only greenhouse gases), and a higher climate change cost rate.
- There were also increases in several other cost categories, mainly as a result of rising prices.

The costs of **rail transport** rose by 69%, or CHF 298 million, between 2005 and 2010. As with road transport, approximately CHF 60 million of this figure is explained by price increases, population growth, etc. The rest is attributable primarily to noise. The first point here is that the effects of noise are now evaluated mainly on the basis of night-time noise, instead of daytime noise, as previously. For rail transport, night-time noise levels are only marginally lower than those for daytime noise. The second is that the thresholds above which the effects of noise are counted have been lowered. Higher PM10 particulate matter emissions are also an important factor, as they have resulted in higher health-related costs and more damage to buildings.

## Findings on Social Effects

Figure S–13 shows aggregate social costs and benefits for the areas covered by the study. The following (internal) costs and benefits should be considered in addition to the external effects described above:

- **Health benefits of non-motorised transport:** The exercise taken in the form of non-motorised transport increases life-expectancy and reduces the number of hospital stays. In addition to the reported CHF 1,281 million in external benefits, internal willingness to pay for these intangible benefits (preventing suffering, pain, shock and an increase in general enjoyment of life) is approximately CHF 11,000 million.
- **Accident costs:** Internal accident costs come to CHF 10,300 million, CHF 10,200 million of which is accounted for by road transport. Again, some three quarters of the total figure consists of intangible costs. Property damage, which is paid for by those at fault for the accidents, or their liability insurers, also represents a significant block of costs.
- **Separation effects:** Waiting times in non-motorised transport that are caused by motorised transport (CHF 158 million) are contained within the "road" mode of transport.
- **Internalisation charges:** Internalisation charges were deducted when calculating external costs. These must be added back in when calculating social costs. They consist of HVF revenues (CHF 720 million), income from the "climate cent" levy (CHF 106 million, CHF 105 million of which originates from road transport), and noise and emission-related aircraft landing fees (CHF 34 million and CHF 4 million respectively).

Aggregate social effects therefore come to CHF 20,700 million in 2010. Road transport is responsible for 91% of these costs (CHF 18,800 million) because of the great distances travelled, and high accident costs, among other factors. A nuanced view must be taken of road transport, however. Private motorised transport causes social costs of CHF 11,700 million, freight transport CHF 2,400 million, and public road transport CHF 340 million. Non-motorised transport generates costs of CHF 4,400 million, on the one hand, and benefits of CHF 12,300 million on the other, resulting in net social benefits of CHF 8,000 million. Air transport results in social costs of CHF 985 million (5%), while the figure for rail transport is CHF 800 million (4%), and that for waterborne transport is just CHF 60 million (0.3%).



**Figure S-13: Overview of social effects, 2010**  
Road/rail transport: territorial principle, air/waterborne transport: shared route principle

CHF millions	Priv. mot PT and FT	Non-mot. transport	Public transport	Rail transport	Air transport	Waterb. transport	Total
Air-related health	1'444	-	60	185	41	29	<b>1'760</b>
Air-related building	297	-	12	38	8	6	<b>362</b>
Air-related crop shortfall	52	-	4	1	2	1	<b>59</b>
Air-related forest degradation	45	-	3	1	1	1	<b>51</b>
Air-related biodiversity loss	134	-	7	2	3	3	<b>148</b>
Noise	1'427	-	37	269	100	-	<b>1'833</b>
Climate change	1'337	-	28	4	686	9	<b>2'064</b>
Nature and the landscape	750	10	10	119	6	5	<b>900</b>
Soil degradation	113	-	5	24	-	-	<b>142</b>
Upstream and downstream processes	704	34	20	48	108	3	<b>917</b>
Accidents	7'542	4'315	148	76	30	2	<b>12'113</b>
Urban areas	262	-	8	32	-	-	<b>302</b>
<b>Total social costs</b>	<b>14'107</b>	<b>4'359</b>	<b>341</b>	<b>799</b>	<b>985</b>	<b>60</b>	<b>20'651</b>
<b>Health bens - non-mot. transport</b>	-	<b>-12'314</b>	-	-	-	-	<b>-12'314</b>
<b>External effects, mode of transport perspective</b>							
Total external costs	6'570	900	194	727	919	57	<b>9'367</b>
Health bens - non-mot. transport	-	-1'281	-	-	-	-	<b>-1'281</b>
<b>Difference between social and external effects</b>							
Difference between social and external costs	7'537	3'459	148	72	66	2	<b>11'284</b>
Difference between social and external NMT health benefits	-	-11'034	-	-	-	-	<b>-11'034</b>

In total, 86% of social costs are caused by passenger transport, and 14% by freight transport. Passenger transport thus takes a slightly higher share of social costs than of external costs. This is because road traffic accident costs are caused mainly by passenger vehicles. The health benefits of non-motorised transport also accrue to passenger transport.

If the shares of each cost and benefit category are analysed, the two primary effects – accidents and the health benefits of non-motorised transport – strike the reader immediately, as they account for increases and reductions in costs respectively of over CHF 12 billion. Climate change costs, noise, and the health costs associated with air pollution each account for between CHF 1,750 million and CHF 2,000 million. Upstream and downstream processes, as well as nature and the landscape, generate further costs of approx. CHF 900 million each.

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangslage

Das Bundesamt für Raumentwicklung (ARE) publiziert seit 2005 jährlich Zahlen zu den externen Kosten des Strassen- und Schienenverkehrs in der Schweiz.<sup>1</sup> Die Berechnungen der externen Kosten flossen in die vom Bundesamt für Statistik (BFS) publizierten Transportrechnungen für die Berichtsjahre 2003 und 2005 ein. Diese Publikation gibt einen Überblick über alle internen und externen Kosten und Erträge sowie über die Kostendeckungsgrade des Strassen- und Schienenverkehrs in der Schweiz. Unter dem Projekttitel ‚TR2010‘ (Transportrechnung 2010) arbeiten BFS und ARE an einer nächsten Publikation: 2014 soll eine weitere Transportrechnung zum Berichtsjahr 2010 publiziert werden. Sie soll neben den bisherigen Verkehrsträgern Strassenverkehr und Schienenverkehr auch den Luft- und Langsamverkehr umfassen und deren Kostendeckungsgrade ermitteln. Die Publikation wird auch Aussagen zum Schiffsverkehr enthalten.

Die externen Kosten spielen zudem im Kontext der leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe (LSVA) eine wichtige Rolle. Die LSVA soll mithelfen, die vom Schwerverkehr verursachten externen Kosten zu internalisieren. In diesem Zusammenhang ist der Bund verpflichtet, die Berechnung der externen Kosten nach aktuellem Stand der Wissenschaft durchzuführen.<sup>2</sup>

Die letzte Methodenüberarbeitung wurde für das Berichtsjahr 2005 vorgenommen und ist nun für das Berichtsjahr 2010 wieder notwendig.

## 1.2 Zielsetzung

Ziel der Arbeiten ist es, die externen Kosten des Verkehrs nach dem aktuellen Stand der wissenschaftlichen Erkenntnis für das Jahr 2010 neu zu ermitteln. Die Projektbearbeitung umfasst dabei zwei Schwerpunkte:

- In einer ersten Phase ist die bisher verwendete Methodik zur Ermittlung der externen Kosten einem kritischen Review unter Einbezug der neusten wissenschaftlichen Erkenntnisse zu unterziehen. Bei Bedarf sind entsprechende Anpassungen bei der Berechnung der externen Kosten bzw. der anzuwendenden Methodik vorzuschlagen. Zudem ist zu prüfen, ob weitere, bisher nicht berücksichtigte Kostenbereiche aufzunehmen sind.
- In der zweiten Phase ist – basierend auf der festgelegten Methodik – die generelle Neuberechnung der externen Kosten für das Jahr 2010 vorzunehmen. Dies bedingt eine Aktualisierung der dazu erforderlichen Datengrundlagen in den verschiedenen Kostenberei-

---

<sup>1</sup> ARE (2012), Externe Kosten 2005 – 2009. Berechnung der externen Kosten des Strassen- und Schienenverkehrs in der Schweiz. Vor 2005 erfolgte die Publikation der externen Kosten in grösseren Abständen.

<sup>2</sup> Vgl. Artikel 7 des Schwerverkehrsabgabegesetzes (SVAG).

chen und zwar sowohl für die Quantifizierung der Auswirkungen (Mengengerüst) wie auch für die Kostensätze (Wertgerüst) zur monetären Bewertung der ermittelten Effekte.

### 1.3 Abgrenzungen

Die inhaltliche Abgrenzung der Studie ergibt sich aus den vorgesehenen Verwendungszwecken der Ergebnisse:

- Sie dienen einerseits als Input zur Nachführung und Ergänzung der Transportrechnung Schweiz mit den externen Kosten des Verkehrs.<sup>3</sup>
- Andererseits stellen sie die zentrale Grundlage dar für die gesetzlich geforderte Aktualisierung der externen Kosten des Strassengüterverkehrs bei der Festlegung der LSVA.

Aus diesen beiden Anforderungen ergeben sich im Sinne eines generellen Überblicks die in der Abbildung 1-1 zusammengefassten Abgrenzungen:

Abbildung 1-1: Abgrenzungen in der Übersicht<sup>4</sup>

Verkehrsträger und Aufteilung auf Personen- und Güterverkehr	Kostenbereiche	Kostenausweis
<p><b>Strassenverkehr</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Motorisierter privater Personenverkehr</li> <li>- Langsamverkehr (nicht-motorisierter privater Personenverkehr)</li> <li>- Öffentlicher Personenverkehr</li> <li>- Güterverkehr</li> </ul> <p><b>Schienerverkehr</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Öffentlicher Personenverkehr</li> <li>- Güterverkehr</li> </ul> <p><b>Luftverkehr</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Öffentlicher Personenverkehr</li> <li>- Güterverkehr</li> </ul> <p><b>Schiffsverkehr</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Öffentlicher Personenverkehr</li> <li>- Güterverkehr</li> </ul>	<p><b>Berücksichtigte Bereiche</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gesundheitskosten d. Luftver.</li> <li>- Gebäudeschäden d. Luftver.</li> <li>- Ernteaussfälle d. Luftverschmutzung</li> <li>- Waldschäden d. Luftverschmutzung</li> <li>- Biodiversitätsverluste d. Luftver. (neu)</li> <li>- Lärm</li> <li>- Klima</li> <li>- Natur und Landschaft</li> <li>- Bodenschäden durch toxische Stoffe</li> <li>- Vor- und nachgelagerte Prozesse</li> <li>- Unfälle</li> <li>- Zusatzkosten in städt. Räumen</li> <li>- Gesundheitsnutzen Langsamverkehr (neu)</li> </ul>	<p><b>Externe Kosten</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gesamtkosten</li> <li>- Durchschnittskosten</li> </ul> <p>je für folgende drei Sichtweisen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sicht Verkehrsträger</li> <li>- Strasse: zusätzlich Sicht Schwerverkehr</li> <li>- Sicht Verkehrsteilnehmende</li> </ul> <p><b>Soziale Kosten</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gesamtkosten</li> <li>- Durchschnittskosten</li> </ul>

<sup>3</sup> In der Transportrechnung werden vier Kostenbereiche unterschieden: Verkehrsmittel, Infrastruktur, Sicherheit und Umwelt. Die sozialen Kosten umfassen all diese Bereiche. Im vorliegenden Bericht werden nur die externen (und sozialen) Kosten der Bereiche Sicherheit und Umwelt betrachtet.

<sup>4</sup> Es handelt sich um einen Grobübersicht. Die detaillierte Abgrenzung erfolgt bei der Erläuterung der methodischen Grundlagen in Kapitel 2.5.2.

- **Verkehrsträger:** Es sind alle landgestützten Verkehrsträger sowie der Schiffs- und Luftverkehr zu berücksichtigen. Innerhalb der Verkehrsträger ist mindestens zwischen dem Personen- und Güterverkehr zu unterscheiden.<sup>5</sup>
- **Kostenbereiche:** Es sind alle (bisherigen) Kostenbereiche zu berücksichtigen. Zusätzlich wurde geprüft, ob evtl. weitere Kostenbereiche aufgrund neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse oder neuer Berechnungsgrundlagen zu quantifizieren und monetarisieren sind. Neu werden die Biodiversitätsverluste durch die Luftverschmutzung und die Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr miteinbezogen.
- **Kostenausweis:** Die Berechnungen sind sowohl für die sozialen (also volkswirtschaftlichen) Kosten wie auch für die externen Kosten vorzunehmen (zu den Begriffen vgl. Abschnitt 2.1), dabei sind die Gesamtkosten und Durchschnittskosten auszuweisen. Bei den externen Kosten hat die Berechnung – aufgrund des Ziels der Bestimmung der Kostendeckungsgrade – grundsätzlich nach der Sicht Verkehrsträger zu erfolgen. Für den Schwerverkehr auf der Strasse müssen im Hinblick auf den LSVA-Verwendungszweck die Ergebnisse auch nach der Sicht Schwerverkehr<sup>6</sup> ermittelt und dargestellt werden. Zudem wird auch die Sicht Verkehrsteilnehmende ermittelt. Innerhalb der Verkehrsträger wird nach den bisherigen Kategorien (gemäss Transportrechnung) differenziert.

Auftragsgemäss ausgeschlossen von den Berechnungen sind die Staukosten<sup>7</sup> und der (externe) Nutzen des Verkehrs (vgl. hierzu den Exkurs in Kapitel 2.2). Eine Ausnahme bildet der Gesundheitsnutzen des Langsamverkehrs. Ein relevanter Anteil davon ist extern und wird in dieser Studie erstmals quantifiziert und monetarisiert (vgl. Kapitel 15).

## 1.4 Stand der Forschung im europäischen Raum

Der EU-Raum weist eine langjährige Tradition bei der Berechnung und der preislichen Umsetzung von externen Kosten im Verkehr auf. Die Schweiz war bei diesen Arbeiten laufend involviert und massgeblich beteiligt. Grundsätzlich lassen sich drei Themenblöcke unterscheiden.

### a) Forschung zu Umweltkosten

Aktiv sind insbesondere die EU-Forschung sowie das deutsche Umweltbundesamt. Auf EU-Ebene können die folgenden abgeschlossenen und laufenden Projekte genannt werden.

- HEIMTSA (2007-2011): Health and Environment Integrated Methodology and Toolbox for Scenario Assessment

---

<sup>5</sup> Für eine detaillierte Erläuterung der Verkehrsträger und der berücksichtigten Fahrzeugkategorien vgl. die Ausführungen in Abschnitt 2.5.2.

<sup>6</sup> Für eine ausführliche Erläuterung zu den unterschiedlichen Sichtweisen (Verkehrsträger, Verkehrsart bzw. Sicht Schwerverkehr, Verkehrsteilnehmende) vgl. die Ausführungen in Abschnitt 2.1.3.

<sup>7</sup> Die Staukosten werden in Infrac (2012, Neuberechnung der Stauzeitkosten) ermittelt.

- EXIOPOL (2007-2011): A new environmental accounting framework using externality data and input-output tools for policy analysis
- INTARESE (2005-2010): Integrated Assessment of Health Risks of Environmental Stressors in Europe
- ClimateCost (2009-ongoing): The Full Costs of Climate Change
- NEEDS (2004-2009): Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment. Dieses Projekt hat die Grundlagen des Vorläuferprojekts ExternE weiter entwickelt.
- CASES (2006-2008): Cost Assessment for Sustainable Energy Systems
- CAFE CBA (2005-2007): Cost-Benefit Analysis (CBA) of Air Quality Related Issues, Clean Air For Europe Programme
- HEATCO (2004-2006): Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment
- TEEB (seit 2007): The Economics of Ecosystems and Biodiversity (Projekt lanciert von UNEP, Europäischer Kommission und deutschem Umweltministerium)

Im Rahmen der Aktualisierung der Methodenkonvention hat das deutsche Umweltbundesamt (UBA 2013) umfassende Grundlagen zu allen Umweltexternalitäten inklusive detaillierten Fachberichten („Sachstandspapiere“) durch die Universität Stuttgart (IER 2012) erarbeiten lassen. In Zusammenarbeit mit INFRAS und dem ISI Fraunhofer Institut sind daraus Kostensätze pro Umweltkategorie für den Verkehrs- und Energiebereich abgeleitet worden. Diese Grundlagen bieten zurzeit den aktuellsten Überblick und berücksichtigen auch den aktuellen Stand der EU-Forschung.

#### **b) Kostensätze zur Preisbildung im Verkehr**

Insbesondere im Rahmen der Aktualisierung der EU-Wegekostenrichtlinie für schwere Nutzfahrzeuge sind Grundlagen für die Integration der externen Kosten im Verkehr erarbeitet worden. Das EU-Handbuch zur Schätzung von externen Kosten im Verkehr (IMPACT 2007) empfiehlt auf Basis einer Metaanalyse aktueller Forschungsergebnisse Kostensätze für verschiedene Verkehrsmittel. Die Empfehlungen beruhen in erster Linie auf den europäischen Forschungsgrundlagen (v.a. EU-Forschung ExternE, NEEDS und HEATCO). Aktuell wird dieses Handbuch aufdatiert. Ergebnisse sind erst Anfang 2014 zu erwarten und können daher in dieser Studie nicht mehr berücksichtigt werden.

Die European Environmental Agency (EEA 2013) hat kürzlich neue Vorschläge für Kostensätze für die Luftverschmutzung von schweren Nutzfahrzeugen veröffentlicht.

Ebenfalls im Gang sind Aktualisierungsarbeiten für die deutsche LKW-Maut, die neu auch externe Kosten einbeziehen soll.

### c) Berechnung der externen Kosten im Verkehr

In verschiedenen Arbeiten werden die externen Gesamtkosten des Verkehrs berechnet. Die aktuellste und umfassendste Publikation ist die aufdatierte UIC-Studie zu den externen Kosten im Verkehr in Europa (CE Delft, Infrast, ISI 2012). Diese Studie basiert weitgehend auf den Empfehlungen des EU-Handbuchs, aktualisiert aber insbesondere die Mengengerüste (2008) und die Grundlagen für die Berechnung der Klimakosten. Eine aktuelle Übersichtsstudie (TU Dresden 2013) hat vor allem auf Basis der UIC Studie die externen Kosten für den Strassenverkehr beziffert.

### d) Fazit

Für die Aufdatierung der externen Kosten in der Schweiz besonders wertvoll sind die Grundlagenarbeiten der EU-Umweltforschung und insbesondere der Aktualisierungsarbeiten der Methodenkonvention in Deutschland. Vor allem für die Bereiche Gesundheit, Klima und Biodiversität liegen neue Forschungserkenntnisse vor, die in den folgenden methodischen Erwägungen pro Kostenbereich spezifisch gewürdigt werden.

Demgegenüber dienen die allgemeinen Empfehlungen für Kostensätze und die Berechnungen der Gesamtkosten pro Land in erster Linie als Vergleichsgrößen.

## 1.5 Aufbau des Berichtes

Der vorliegende Bericht ist wie folgt strukturiert:

- In **Kapitel 2** wird auf verschiedene methodische Grundsatzfragen eingegangen. Dazu gehören unter anderem
  - die Definition der sozialen und externen Kosten, die Interpretation des Verursacherprinzips (Kapitel 2.1),
  - die berücksichtigten Kostenbereiche (Kapitel 2.2),
  - das generelle Berechnungskonzept (inkl. räumliche und zeitliche Abgrenzung bei der Berechnung der externen Kosten des Verkehrs; Kapitel 2.3),
  - der Umgang mit Unsicherheiten (Kapitel 2.4),
  - die Abgrenzung der Verkehrsträger sowie die Differenzierung der Ergebnisse nach Personen- / Güterverkehr und Fahrzeugkategorien (Kapitel 2.5),
  - die Frage, ob Durchschnitts- oder Grenzkosten zu berechnen sind sowie der Umgang mit Internalisierungsbeiträgen (Kapitel 2.6).
- In den **Kapiteln 3 bis 15** werden für die 13 berücksichtigten Kostenbereiche (vgl. Abbildung 1-1) die Methodik vorgestellt und die Berechnungen durchgeführt. Der Aufbau ist für alle Kostenbereiche identisch und wie folgt gegliedert:
  - Berechnungsgegenstand mit einer kurzen Erläuterung des Wirkungszusammenhangs (Kapitel X.1)

- Vorstellung der Berechnungsmethodik (inkl. einer schematischen Darstellung des Berechnungsgegenstands) sowie der wichtigsten Neuerungen gegenüber der bisherigen Berechnungsmethodik im Strassen- und Schienenverkehr<sup>8</sup> (Kapitel X.2)
- Herleitung des Mengengerüsts des Kostenbereiches (Quantifizierung der Auswirkungen in physikalischen Einheiten wie Anzahl Krankheitsfälle, Tonnen CO<sub>2</sub>, Anzahl Verletzte etc.; Kapitel X. 3)
- Herleitung des Wertgerüsts bzw. der verwendeten Kostensätze für die Monetarisierung der physikalischen Veränderungen (Kapitel X. 4)
- Darstellung der Ergebnisse für die externen Kosten (falls unterschiedlich werden zuerst die externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger, dann aus Sicht Verkehrsart Schwerverkehr und aus Sicht Verkehrsteilnehmende dargestellt – bei den Unfällen und den Gesundheitsnutzen des Langsamverkehrs werden vorgängig zu den externen Kosten zuerst die sozialen Kosten erläutert; Kapitel X.5)
- Darstellung der Sensitivitätsanalyse (unsichere Annahmen, Ergebnisse Sensitivitätsanalyse und zusätzliche Unter- oder Überschätzungen; Kapitel X.6)
- Vergleich mit den bisherigen Ergebnissen im Strassen- und Schienenverkehr für das Jahr 2005 (Kapitel X.7)
- In **Kapitel 16** werden die Ergebnisse der 13 Kostenbereiche übersichtlich zusammengefasst. Dabei werden zuerst die externen Kosten (aus Sicht Verkehrsträger Kapitel 16.1, aus Sicht Verkehrsart Schwerverkehr Kapitel 16.2 und aus Sicht Verkehrsteilnehmende Kapitel 16.3) dann die sozialen Kosten (Kapitel 16.4) dargestellt. Zudem werden die durchschnittlichen externen Kosten pro Personen- bzw. Tonnenkilometer ermittelt (Kapitel 16.5). Schliesslich werden noch die Unsicherheiten der Berechnungen erläutert (Kapitel 16.6) und das Total der externen Kosten wird mit den bisherigen Ergebnissen verglichen (Kapitel 16.7).
- Der **Anhang A** beschäftigt sich mit den nicht berücksichtigten Kostenbereichen und erläutert kurz, warum diese Kostenbereiche nicht berücksichtigt werden.<sup>9</sup>
- Im **Anhang B** wird auf Wunsch des Auftraggebers die Ermittlung der Faktorpreise in allen Kostenbereichen kurz erläutert und zusammenfassend dargestellt.
- Im **Anhang C** werden die PM10-Emissionen ausgewiesen.
- Im **Anhang D** werden die detaillierten Lärmdaten dargestellt.
- Im **Anhang E** erfolgt die Aufteilung der sozialen Kosten auf die Kostenträger Nutzer, Staat und Allgemeinheit.
- Im **Anhang F** wird schliesslich das detaillierte Vorgehen zur Ermittlung des Mengengerüsts im Bereich Natur und Landschaft beschrieben.

---

<sup>8</sup> Da bisher keine Berechnungen für den Luft- und Schiffsverkehr durchgeführt wurden, können für diese beiden Verkehrsträger keine Vergleiche angestellt werden.

<sup>9</sup> Dazu zählen insbesondere die Risiken durch Energiebereitstellung, Eingriffe ins Landschaftsbild, Gewässerschäden sowie Erschütterungen.

## 1.6 Dank

Allen Personen und Institutionen, welche die Untersuchungen in irgendeiner Form unterstützt haben, danken wir an dieser Stelle bestens. Zu besonderem Dank verpflichtet sind wir den Teilnehmenden<sup>10</sup> am Experten-Workshop vom 13. Mai 2013, die unsere methodischen Vorschläge einem kritischen Review unterzogen haben. Ebenso danken wir den Mitgliedern der Begleitgruppe (vgl. Impressum) für ihre wertvollen Hinweise und Anregungen beim Verfassen dieses Berichts sowie diversen Personen beim ASTRA, BAFU, BAV, BFS, BAZL bei der Agroscope sowie bei der bfu, n-Sphere, Planteam GHS AG und ZKB für die gelieferten Daten.

---

<sup>10</sup> C. Doll (ISI - Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung), R. Friedrich (IER Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart), T. Götschi (Institute of Social and Preventive Medicine of the University of Zurich), S. Rommerskirchen (ProgTrans AG), P. Thalmann (EPFL - École Polytechnique Fédérale de Lausanne).



## 2 Methodisches Vorgehen

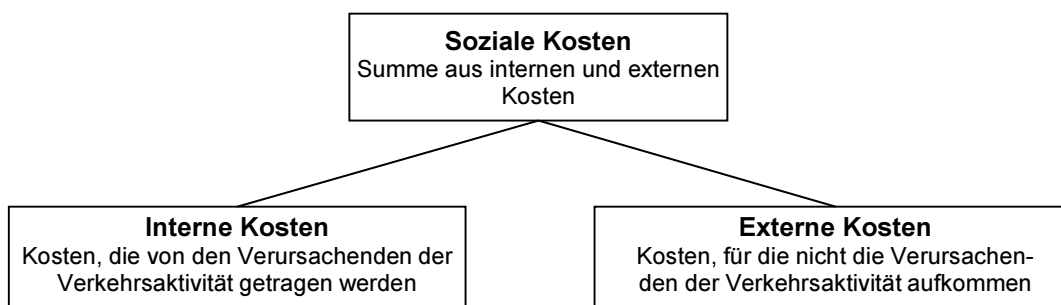
### 2.1 Soziale, interne und externe Kosten

#### 2.1.1 Begrifflichkeiten

Für die Analyse der externen Kosten des Verkehrs wird im Rahmen dieser Studie und in Übereinstimmung mit den bisherigen Arbeiten zur Transportrechnung Schweiz von folgendem generellem Verständnis ausgegangen:

- **Soziale Kosten:** Die sozialen (oder volkswirtschaftlichen) Kosten des Verkehrs umfassen sämtliche gesellschaftlichen Kosten, die durch die Verkehrsaktivität entstehen. Sie setzen sich aus den internen und externen Kosten zusammen (vgl. Abbildung 2-1).
- **Interne Kosten:** Die internen Kosten sind jene Kosten, welche die Verkehrsteilnehmenden selbst für ihre Fahrten auf sich nehmen. Sie setzen sich aus materiellen Kosten (z.B. Benzinkosten, Autobahnvignette, Versicherungsbeiträge an die Motorfahrzeugversicherung usw.) und immateriellen Kosten (z.B. nervliche Belastung bei der Autofahrt, persönlich getragene Unfallfolgen) zusammen.
- **Externe Kosten:** Als extern wird jener Teil der sozialen Kosten bezeichnet, für den nicht die Verursachenden der Verkehrsaktivität aufkommen. Typische Beispiele sind etwa der Lärm und die Luftverschmutzung, welche durch die Verkehrsaktivität verursacht werden, die sich jedoch im Preis für die Fahrt nicht widerspiegeln. Diese Kosten fallen z.B. bei den Eigentümern von Mietwohnungen (als verminderte Mietzinseinnahmen) oder als gesamtgesellschaftlich zu tragende Klimakosten an. Für das Verständnis der vorliegenden Arbeiten bedeutsam ist, dass die Externalitäten von der *Verkehrsaktivität* ausgehen und nicht von *Personengruppen* (z.B. Autofahrer, Zugspassagiere). Der Einfachheit halber wird jedoch ab und zu auch von ‚Verursachern‘ von Externalitäten und ‚Dritten‘ (Opfer der Externalitäten) gesprochen. Dies bezweckt die bessere Verständlichkeit des Textes, soll jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, dass jede Person Verursacher (wenn sie z.B. mit dem Auto zum Einkaufen fährt) und Opfer (wenn sie etwa unter nächtlichem Verkehrslärm leidet) sein kann. Die externen Kosten sind die Differenz zwischen dem Preis für die *Verkehrsaktivität* und den durch die Verkehrsaktivität verursachten Kosten.

Abbildung 2-1: Soziale, interne und externe Kosten



## 2.1.2 Exkurs: Definition der externen Kosten, Verursacherprinzip und Eigentumsrechte<sup>11</sup>

### a) Definition der externen Kosten

Die vorangehende Umschreibung der externen Kosten – *nicht* im Preis der Verkehrsaktivität enthaltener Anteil der sozialen Kosten – ist grundsätzlich korrekt, entspricht aber einer stark verkürzten Zusammenfassung der ökonomischen Zusammenhänge. Im Folgenden wollen wir auf diese ökonomische Herleitung etwas ausführlicher eingehen.

Der Begriff der externen Kosten stammt aus der ökonomischen Wohlfahrtstheorie. Sie werden folgendermassen definiert:<sup>12</sup>

Externe Kosten liegen vor, wenn von Aktivitäten eines Wirtschaftssubjektes (Produktion oder Konsum) negative Einflüsse auf andere Wirtschaftssubjekte (Produzenten oder Konsumenten) ausgehen – und somit deren Wohlfahrt beeinflussen –, ohne dass diese Nachteile sich in den Preisen für diese Aktivitäten niederschlagen und über einen Marktprozess weitergegeben werden.

Als typisches Beispiel kann auf die bereits erwähnten Lärmemissionen aus Verkehrsaktivitäten verwiesen werden. Sie führen bei den Anwohnern einer Strasse zu einer Beeinträchtigung ihres Wohlbefindens und damit zu einem Wohlfahrts- bzw. Nutzenverlust (und somit zu Kosten), die sich – ohne lenkende Eingriffe des Staates – nicht im Preis für die Verkehrsaktivität reflektieren. Die fehlende Internalisierung dieser Kosten in die Preise führt letztlich dazu, dass die Verkehrsaktivität in zu grossem Ausmass ausgeübt wird bzw. die Verkehrsteilnehmende mehr Fahrten unternehmen, als aus Sicht der gesamtwirtschaftlichen Wohlfahrt optimal wäre.

Wesentlich ist also beim Vorliegen von externen Kosten, dass von einer Aktivität eines Verursachers Wirkungen auf Dritte ausgelöst werden, ohne dass die Überwälzung dieser negativen Effekte über einen direkt mit der Aktivität verbundenen Marktprozess erfolgt. In der ökonomischen Theorie spricht man in diesem Zusammenhang auch von „technologischen“ Externalitäten, um sie von normalen Anpassungen auf eine veränderte Marktlage (man spricht in diesem Fall von „pekuniären“ Externalitäten) unterscheiden zu können.

Die Unterscheidung zwischen externen Kosten (technologischen Externalitäten) und normalen Markteffekten (pekuniäre Externalitäten) wird in der öffentlichen Diskussion häufig ver-

---

<sup>11</sup> Der Exkurs richtet sich an Leserinnen und Leser, die an einer etwas ausführlicheren Erläuterung der ökonomischen Theorie zu den externen Kosten interessiert sind.

<sup>12</sup> Wenn von der Aktivität eines Wirtschaftssubjektes positiven Auswirkungen auf Dritte entfallen, ohne dass diese über einen Marktprozess ausgetauscht werden, spricht man von externen Nutzen. Gemäss der Abgrenzung in Kapitel 1.3 sind allfällige externe Nutzen des Verkehrs – mit Ausnahme der Gesundheitsnutzen des Langsamverkehrs – jedoch nicht Gegenstand der vorliegenden Studie. Wir verzichten daher bei den folgenden Ausführungen darauf, auf die Nutzenseite näher einzugehen. Im Grundsatz sind sie – soweit es sie in relevanter Grösse gibt – für eine optimale Ausgestaltung des Verkehrssystems ebenso zu berücksichtigen, wie die verkehrsbedingten externen Kosten. Die bisherigen Untersuchungen in der Schweiz kamen aber mehrheitlich zum Ergebnis, dass der Verkehr zwar zu grossen Nutzen führt, deren externer Anteil jedoch vernachlässigbar klein ist (vgl. Eco-plan / Infrass 2006, Die Nutzen des Verkehrs – Teilprojekt 1: Begriffe, Grundlagen und Messkonzepte).

nachlässigt, obwohl sie in Bezug auf die unterschiedlichen wirtschaftspolitischen Implikationen zentral ist. Anhand eines Beispiels aus der landwirtschaftlichen Produktion lässt sich das gut illustrieren. Wir gehen hierzu von folgender Ausgangslage aus:<sup>13</sup>

- Ein Bauer produziert mit dem Einsatz von Saatgut, Boden, Kapital und Arbeit eine bestimmte Menge von Getreide.
- Auf dem Nachbarboden siedelt sich ein neues Unternehmen an, das mit dem Einsatz von Kapital, Arbeit und chemischen Vorprodukten ein bestimmtes chemisches Endprodukt herstellt.

Wir nehmen an, dass zwei Externalitäten zu beobachten sind:

- Bei der Herstellung des chemischen Endprodukts stösst das Unternehmen Schadstoffe in die Umwelt aus, die den Ernteertrag des Bauern schmälern.
- Durch die zusätzliche Nachfrage des Unternehmens nach Arbeitskräften steigen die Löhne.

Im ersten Fall (**Schadstoffausstoss**) handelt es sich um eine **technologische Externalität**. Der Schadstoffausstoss der Unternehmung **verändert die Produktionsfunktion** des Bauern. Mit dem gleichen Einsatz von Boden und Arbeit kann der Bauer wegen der Schadstoffe nicht mehr dieselbe Ernte einholen.<sup>14</sup> Diese Externalität stellt ein volkswirtschaftliches Problem dar, da die internen Kosten des chemischen Unternehmens in diesem Fall nicht den gesamten, sozialen Kosten entsprechen. Das Unternehmen berücksichtigt den verursachten Ernteausfall beim Bauern in seinen Entscheidungen nicht und hat somit tiefere Produktionskosten. Durch das Auseinanderklaffen von internen und sozialen Kosten werden aus gesamtgesellschaftlicher Sicht die Ressourcen nicht optimal alloziert. Die Folge ist, dass das Unternehmen eine grössere Menge an chemischen Endprodukten herstellt, als es volkswirtschaftlich optimal wäre. Es besteht daher ein Internalisierungsbedarf.

Im zweiten Fall (**gestiegene Löhne**) handelt es sich um eine **pekuniäre Externalität**. Der Bauer wird zwar wegen der gestiegenen Löhne den Einsatz seiner Produktionsfaktoren anpassen, indem er z.B. den Kapitaleinsatz vergrössert und weniger Arbeitskräfte einsetzt. Diese Reaktion ist aber eine normale Anpassung auf eine veränderte Marktlage. Sie hat keinen Einfluss auf seine Produktionsfunktion. Würde die Unternehmung ohne Schadstoffausstoss produzieren, so könnte der Bauer trotz den gestiegenen Lohnkosten nach wie vor **mit derselben Produktionsfunktion** arbeiten. Bei gleichem Einsatz von Arbeitskräften, Boden und Saatgut wie vor der Ansiedlung der Unternehmung, wäre seine Ernte so gross wie zuvor. Die internen Kosten des Unternehmens für den Einsatz der Arbeitskräfte entsprechen den sozialen Kosten (bzw. den Kosten, die sich auf dem Arbeitsmarkt ergeben und mit denen auch der Bauer konfrontiert ist). Ein Auseinanderklaffen von internen und sozialen Kosten

---

<sup>13</sup> Das nachfolgende Beispiel ist übernommen aus EcoPlan / Infrac (2006), Nutzen des Verkehrs - Teilprojekt 1: Begriffe, Grundlagen und Messkonzepte.

<sup>14</sup> Man kann sich vorstellen, dass die Produktionsfunktion des Bauern (Saatgut, Boden, Kapital, Arbeit) nun plötzlich ein zusätzliches Element (Menge Schadstoffausstoss des Unternehmens) enthält, welches er einfach hinzunehmen hat, ohne dass die Menge des Schadstoffes über einen Preis reguliert wird.

liegt somit nicht vor. Die Entscheide des Unternehmens und des Bauers führen in diesem Fall zu einer optimalen Allokation der Ressourcen. Es besteht kein Anlass, dass der Staat in irgendeiner Weise in die notwendigen Marktanpassungen eingreift.

### Fazit

- Eine technologische Externalität hat zur Folge, dass die internen Kosten des Externalitäten-Verursachers nicht den sozialen Kosten entsprechen. Dies führt zu einer gesamtgesellschaftlich nicht optimalen Allokation der Ressourcen. Es besteht damit grundsätzlich ein Handlungsbedarf: Das Verursacherprinzip ist umzusetzen, indem die durch die chemischen Produktion ausgelösten Schäden in der Landwirtschaft dem Verursacher anzulasten sind. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von der Internalisierung der externen Kosten. **In der vorliegenden Studie und den nachfolgenden Berechnungen werden unter externen Kosten diese technologischen Externalitäten verstanden.**
- Die **pekuniäre Externalität** (Markteffekt) verursacht keine Differenz zwischen internen und sozialen Kosten. Sind die Anpassungen an die veränderten Marktsituationen erfolgt, so ergibt sich wieder eine optimale Allokation der Ressourcen. Es besteht somit kein Anlass, in die Marktprozesse einzugreifen. **Diese Markteffekte sind nicht Gegenstand der vorliegenden Studie.**

### b) Externe Kosten und Verursacherprinzip

Das „Verursacherprinzip“ stellt in den Umweltwissenschaften einen wichtigen Grundsatz dar, indem verlangt wird, dass die gesamten sozialen Kosten einer ökonomischen Aktivität von denjenigen Wirtschaftssubjekten zu tragen sind, die sie verursachen. Die ökonomische Begründung dieses Grundsatzes liegt wie vorangehend aufgezeigt in der Sicherstellung einer optimalen Allokation der Ressourcen (Arbeit, Boden, Kapital, Rohstoffe usw.), um aus ökonomischer Sicht mit den vorhandenen Ressourcen ein Maximum an Wohlfahrt zu erreichen. Der Konnex zwischen externen Kosten und Verursacherprinzip liegt auf der Hand: Die Umsetzung des Verursacherprinzips ist letztlich erst möglich, wenn die Höhe allfälliger externer Kosten bekannt ist. Erst dann lässt sich festlegen, in welchem Ausmass Internalisierungsmaßnahmen (z.B. die Belastung einer Aktivität mit einer bestimmten Abgabe) zu ergreifen sind, um ein Auseinanderklaffen zwischen den vom Verursacher getragenen (internen) Kosten und den gesamten sozialen Kosten vermeiden zu können.

### c) Eigentumsrechte und externe Kosten

Die Ermittlung der externen Kosten ist eng verknüpft mit der Frage nach den Eigentumsrechten. Wem gehört die saubere Luft? Wer hat Anrecht auf ein sauberes Gewässer? Ist das Recht auf Ruhe den Anwohnern entlang einer Strasse zugewiesen oder sind die Verkehrsteilnehmenden berechtigt, die Umgebung zu belärmen?

Insbesondere bei öffentlichen Gütern wie saubere Luft, Ruhe, fruchtbare Böden, intaktes Landschaftsbild usw. stellt sich häufig das Problem, dass das Eigentum an diesen Gütern in der Vergangenheit nicht explizit geregelt wurde, bzw. dass die Inanspruchnahme dieser Gü-

ter (Verschmutzung der Luft, Belärmung durch Verkehr, Eintrag von Schadstoffen in die Böden usw.) nichts kostete und der Ausschluss von der Nutzung kaum möglich ist. Dies führte dazu, dass diese Güter zunehmend übernutzt wurden und die gesellschaftliche Wohlfahrt in immer grösserem Ausmass tangiert wurde.

Um dieser Übernutzung Einhalt zu gebieten, hat der Staat in vielen Bereichen eingegriffen und die Eigentumsrechte z.B. in Form von Grenzwerten (Lärm, Luftverschmutzung) bis zu einem gewissen Grad der Allgemeinheit zugewiesen. Wer in einem die gesetzlichen Grenzwerte übersteigenden Ausmass die Luft verschmutzt oder die Umwelt belärmt, hat grundsätzlich als Verursacher auch für die Kosten aufzukommen.<sup>15</sup> Damit sind jedoch noch nicht alle externen Kosten internalisiert, da bereits unterhalb der Grenzwerte Schädigungen oder Störungen auftreten können. So wird z.B. Lärm schon bei Belastungen unter dem gesetzlichen Grenzwert als Belästigung empfunden und führt somit zu Nutzeneinbussen und gesundheitlichen Kosten. Gesetzliche Grenzwerte sind auch immer ein Resultat von politischen Verhandlungsprozessen und widerspiegeln damit nicht unbedingt ökonomisch optimale Lösungen.

### 2.1.3 Die drei Sichtweisen der externen Kosten

#### a) Die drei Sichtweisen im Überblick

Wie hoch externe Kosten sind, ist immer auch abhängig von der Sichtweise, bzw. von der Definition, was als system-intern und was als system-extern angesehen wird. Die externen Kosten des Verkehrs können aus drei verschiedenen Sichtweisen bestimmt werden – nämlich aus der Sicht Verkehrsteilnehmende, der Sicht Verkehrsträger und der Sicht Verkehrsart (vgl. auch folgende Abbildung 2-2):<sup>16</sup>

- **Sicht Verkehrsteilnehmende:** Bei dieser Sicht wird für die Abgrenzung von internen und externen Kosten vom einzelnen Verkehrsteilnehmenden ausgegangen. Alle Kosten, die der Teilnehmende an der Verkehrsaktivität nicht selbst trägt, werden als extern betrachtet. Es spielt dabei keine Rolle, wo diese ungedeckten Kosten anfallen (z.B. bei anderen Verkehrsteilnehmenden, beim Steuerzahler oder bei einem Unternehmen).
- **Sicht Verkehrsträger:** Der gesamte Verkehrsträger (z.B. Strasse oder Schiene) wird als eine Einheit betrachtet. Innerhalb des Verkehrsträgers werden alle Kosten als intern an-

---

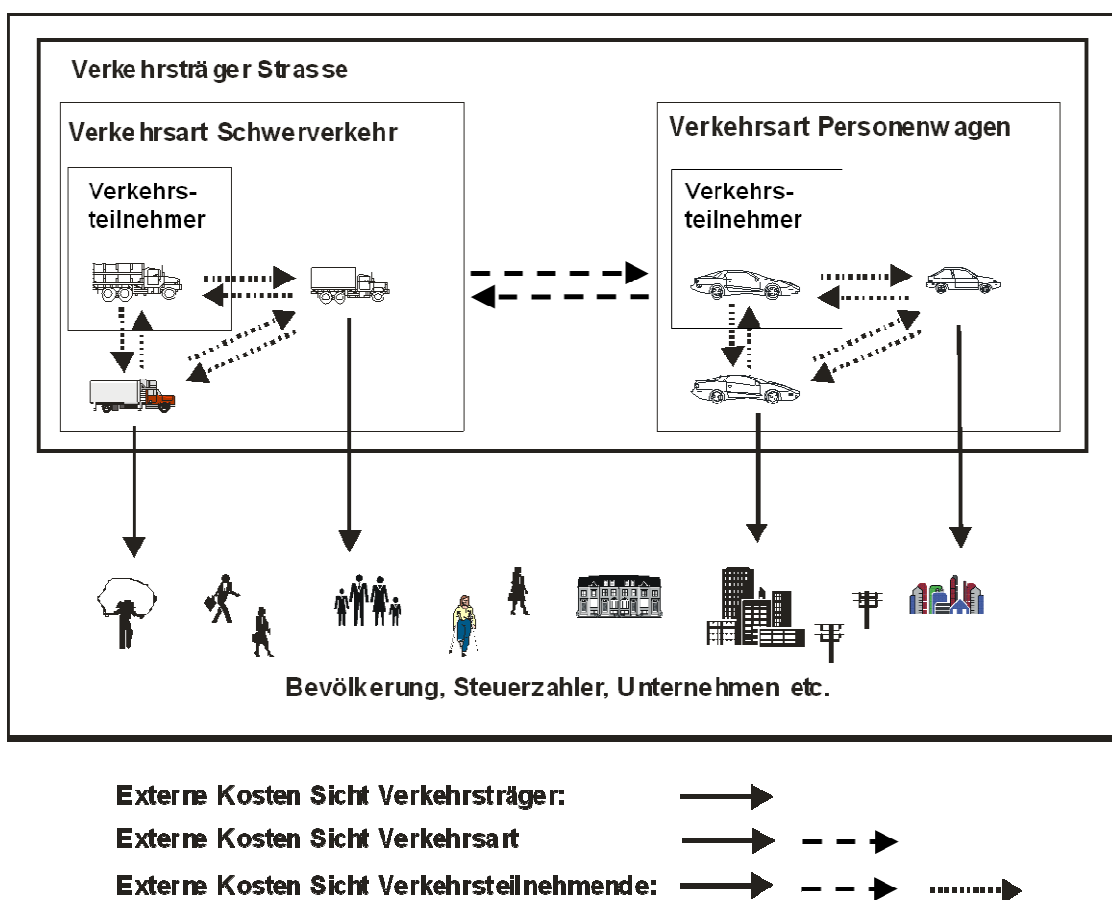
<sup>15</sup> Im Zusammenhang mit der Zuweisung der Eigentumsrechte gilt es darauf hinzuweisen, dass es aus rein ökonomischer Sicht zur Erreichung eines Wohlfahrtsoptimums nicht in jedem Fall erforderlich ist, die Eigentumsrechte den Geschädigten zuzuweisen. Sie könnten unter bestimmten Voraussetzungen auch den Verursachern einer Aktivität zugeordnet werden. Coase hat hierzu in seinem Arbeiten (vgl. Coase-Theorem) den Nachweis erbracht, dass bei klar zugewiesenen Eigentumsrechten und wenn die Verhandlungen bezüglich den Externalitäten kostenlos sind, alle Parteien durch Verhandlungen eine sozial effiziente Allokation erreichen können – unabhängig davon, ob die Eigentumsrechte bei den Verursachern oder den Geschädigten liegen.

Im vorliegenden Kontext der verkehrsbedingten Umweltkosten würde jedoch eine Zuweisung der Eigentumsrechte auf die Verursacher (Verkehrsteilnehmer) nicht zu einem wohlfahrtsoptimalen Ergebnis führen. Die Verhandlungskosten wären viel zu hoch bzw. die Lösung wäre nicht praktikabel, wenn beispielsweise der einzelne Anwohner mit allen Verkehrsteilnehmern über eine Entschädigung verhandeln müsste, dass sie weniger Fahrten unternehmen und er damit mehr Ruhe geniessen könnte.

<sup>16</sup> Die folgenden Ausführungen basieren auf EcoPlan und Infrac (2010), Berechnungsmethodik und Prognose der externen Kosten des Schwerverkehrs.

gesehen. Externe Kosten ergeben sich bei dieser Sicht nur, wenn sie ausserhalb des Verkehrsträgers anfallen. Alle übrigen Kosten, die beispielsweise auf der Strasse zwischen einem Personenwagenlenker und einer Motorradfahrerin entstehen, sind intern, weil sie innerhalb des Verkehrsträgers anfallen. Typische Beispiele für externe Kosten aus Sicht Verkehrsträger sind die Lärmkosten der Anwohner an Strassen oder die Kosten der verkehrsbedingten Luftverschmutzung.<sup>17</sup>

Abbildung 2-2: Vergleich der Sichtweisen zur Erfassung der externen Kosten



- **Sicht Verkehrsart:** Hier steht die Verkehrsart (z.B. Schwerverkehr) im Zentrum. Als extern gelten alle Kosten, die nicht bei der eigenen Verkehrsart anfallen. Im Gegensatz zur Sicht Verkehrsträger werden also Kosten, die ein Lastwagen einem Personenwagen ver-

<sup>17</sup> Zusätzlich zur Sicht Verkehrsträger liesse sich auch eine Sicht Verkehrssystem begründen. Der Unterschied zwischen den beiden Sichtweisen liegt bei der Behandlung von Kosten, die der eine Verkehrsträger (z.B. Strasse) dem anderen (z.B. Schiene) auferlegt. Wären diese Kosten bei der Sicht Verkehrssystem ebenfalls intern, so werden sie bei der Sicht Verkehrsträger als extern betrachtet. In der praktischen Anwendung sind die Unterschiede der beiden Sichtweisen nicht von Bedeutung, da in den meisten Fällen keine solchen Kosten vorliegen (bzw. berechnet werden). Einzig bei den Stauzeitkosten und den Unfällen können Kosten zwischen den Verkehrsträgern entstehen, die jedoch sehr selten sind (z.B. an Bahnübergängen).

ursacht, als extern betrachtet. Im Unterschied zur Sicht Verkehrsteilnehmende werden aber Kosten, die ein Lastwagen einem Sattelschlepper verursacht, als intern betrachtet.

Dabei gilt folgende Ungleichung:

$$\begin{array}{l} \text{Externe Kosten aus Sicht} \\ \text{Verkehrsträger} \end{array} \leq \begin{array}{l} \text{Externe Kosten aus Sicht} \\ \text{Verkehrsart} \end{array} \leq \begin{array}{l} \text{Externe Kosten aus Sicht} \\ \text{Verkehrsteilnehmende} \end{array}$$

Grundsätzlich nehmen die externen Kosten zu, wenn der Kreis, der als extern angesehenen Kostenträger, vergrößert wird. Dies gilt insbesondere für die Unfallkosten (unterschiedliche Behandlung der Unfälle zwischen einzelnen Verkehrsteilnehmenden oder Verkehrsarten) und die Stauzeitkosten (die in dieser Studie nicht ermittelt werden). Für die Umweltkosten (z.B. Luftverschmutzung, Klima) sind die externen Kosten aber aus allen drei Sichten gleich hoch, weil keine Kosten zwischen den Verkehrsteilnehmenden auftreten (oder quantifiziert werden können).

## b) Einsatzgebiet der verschiedenen Sichtweisen der externen Kosten

Aus ökonomischer Sicht sind die drei Sichtweisen wie folgt zu beurteilen:

- Bei der **Sicht Verkehrsteilnehmende** steht die volkswirtschaftlich **effiziente** Nutzung der Verkehrsinfrastruktur im Zentrum der Kostenermittlung. Dazu ist es erforderlich, dass alle Kosten, die der Verursacher nicht selbst trägt, als externe Kosten erfasst werden – und zwar unabhängig davon, ob sie bei anderen Verkehrsteilnehmern anfallen oder ausserhalb des Verkehrsträgers.

Aus verkehrsökonomischer Sicht hat die Sicht Verkehrsteilnehmende folgende Vorteile: Bei entsprechender Internalisierung der so ermittelten externen Kosten (der Preis der einzelnen Verkehrsaktivität muss den gesamten sozialen Kosten dieser Verkehrsaktivität entsprechen) kann das Ziel einer effizienten Nutzung der Verkehrswege erreicht werden.<sup>18</sup> Ziel der Internalisierung ist eine Wiederherstellung der volkswirtschaftlichen Effizienz beim Vorliegen externer Effekte (Verursacherprinzip).

- Bei der **Sicht Verkehrsträger** geht es um die Frage, welcher Verkehrsträger welche Kosten verursacht und bis zu welchem Grad diese Kosten innerhalb des Verkehrsträgers gedeckt werden (**Kostendeckungsgrad**). Sie beantwortet die Frage, wie sich die Kosten zwischen Verkehrsteilnehmenden und Nicht-Verkehrsteilnehmenden (Bevölkerung, Steuerzahler, Unternehmen etc.) aufteilen.<sup>19</sup> Die Sicht zeigt auf, mit welchen Kosten die Nicht-

<sup>18</sup> Der Anteil der externen Kosten an den gesamten sozialen Kosten ist beim Verkehr (aber auch bei der Produktion von anderen Gütern) nicht fest vorgegeben. Er hängt von den technischen Produktionsmöglichkeiten und von den ergriffenen Internalisierungs-Massnahmen ab. So kann z.B. die von Motorfahrzeugen verursachte Luftverschmutzung (externe Kosten) durch die Einführung von Katalysatoren erheblich vermindert werden. Ebenso sind gesetzliche Vorschriften denkbar, welche die Unfallverursachenden verpflichten, die Kosten der Nicht-Unfallverursachenden zu tragen.

<sup>19</sup> Natürlich nehmen praktisch alle Personen am Verkehr teil. Hier geht es aber um die Frage, ob einer Person Kosten angelastet wird, weil sie am Verkehr teilnimmt, oder ob ihr Kosten auferlegt werden, die nichts mit der

Verkehrsteilnehmenden belastet werden. Für eine optimale Steuerung des Verkehrsträgers ist sie weniger geeignet, da sie negativen Wechselwirkungen in Form von externen Kosten zwischen den einzelnen Verkehrsteilnehmenden nicht aufdecken kann und somit – im Fall einer Internalisierung dieser Kosten – auch keine Anreize geschaffen werden, die negativen Wechselwirkungen zwischen den Verkehrsteilnehmenden (z.B. durch Unfälle oder Staueffekte) zu reduzieren.

- Die **Sicht Verkehrsart** nimmt eine **Zwischenposition** zwischen den oben beschriebenen Sichten ein. Sie eignet sich für die Abschätzung der Kosten, die eine bestimmte Verkehrsart (z.B. der Schwerverkehr) auf alle anderen Verkehrsarten und Nicht-Verkehrsteilnehmende ausübt. Dabei soll insbesondere sichergestellt werden, dass z.B. der Leichtverkehr nicht für Kosten aufkommen muss, die vom Schwerverkehr verursacht werden. Die Sichtweise Verkehrsart ist aus Effizienz- und Wohlstandsüberlegungen der Sichtweise Verkehrsträger vorzuziehen, wenn es um die Internalisierung der externen Kosten einer einzigen Verkehrsart geht. Dies ist in der Schweiz im Zusammenhang mit der LSVA der Fall.<sup>20</sup> Das Bundesgericht hat hierzu die Verwendung der Sicht Verkehrsart für die Berechnung der LSVA explizit vorgeschrieben.<sup>21</sup>

**Im Folgenden** werden gemäss Vorgabe des Auftraggebers die externen Kosten jeweils aus **Sicht Verkehrsträger** ermittelt, da in der Transportrechnung die Frage des Kostendeckungsgrads interessiert und die einzelnen Verkehrsträger einander gegenüber gestellt werden. Zudem wird auch die **Sicht Verkehrsteilnehmende** und für den **Strassen-Schwerverkehr zusätzlich die Sicht Verkehrsart** ermittelt.

## 2.2 Auswirkungen des Verkehrs und Erfassung in Kostenbereichen

Die vorliegende Studie deckt die relevanten Auswirkungen des Verkehrs auf die Umwelt und den Menschen ab, die mit sozialen Kosten (oder Nutzen) verbunden sind und sich monetär bewerten lassen. Die Ursache-Wirkungsketten sind zum Teil komplex und werden im Detail in den einzelnen Kapiteln beschrieben. Die Gliederung und Benennung der einzelnen Kostenbereiche ist im Laufe der verschiedenen Studien generisch gewachsen. Als Orientierungshilfe aller in den bisherigen Studien abgedeckten Auswirkungen (Folgen) des Verkehrs dient die folgende Abbildung. Sie hilft vor allem zur Strukturierung der Wirkungszusammenhänge der Umweltfolgen des Verkehrs. Zur Darstellung von Umweltfolgen wird sehr oft das so genannte DPSIR-Modell angewandt<sup>22</sup>. Mit Hilfe dieses Modells wird der kausale Zusammen-

---

Verkehrsteilnahme zu tun haben (z.B. als Steuerzahler, als Betroffener von Verkehrslärm und verkehrsbedingter Luftverschmutzung am Wohnort etc.).

<sup>20</sup> Soll die Internalisierung jedoch auf mehrere Fahrzeugkategorien ausgedehnt werden, so kann die Sicht Verkehrsart nicht empfohlen werden.

<sup>21</sup> Bundesgericht, Urteil vom 17. Dezember 2011, LSVA, Abklassierung EURO-3.

<sup>22</sup> Das DPSIR-Modell (Ansatz) steht für Driving Forces (Aktivität, Treiber), Pressures (Umweltbelastung), State (Umweltqualität, Umweltzustand), Impacts (Folgen, Beeinträchtigung für Mensch und Umwelt), Responses (Massnahmen & Antworten der Politik / Gesellschaft) und veranschaulicht den kausalen Zusammenhang zwischen Umweltbelastungen deren Folgen und Umweltmassnahmen.



menhang zwischen Umweltbelastung („Pressure“), der Umweltqualität bzw. dem Umweltzustand („State“) sowie den Folgen („Impact“) veranschaulicht. Gemäss Modell reagiert die Politik mit Massnahmen, die wiederum an verschiedenen Stellen des Modells ansetzen und so die Folgen direkt oder indirekt beeinflussen können<sup>23</sup>.

In der folgenden Abbildung sind nebst den Wirkungsketten auch die in der vorliegenden Studie berücksichtigten Kostenbereiche dargestellt (orange Nummern bzw. gelb eingefärbte Kästchen; Reihenfolge wie im Bericht):

1. Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung
2. Gebäudeschäden durch Luftverschmutzung
3. Ernteauffälle durch Luftverschmutzung
4. Waldschäden durch Luftverschmutzung
5. Biodiversitätsverluste durch Luftverschmutzung
6. Lärm (Belästigungen und Gesundheitskosten)
7. Klima
8. Natur und Landschaft (Habitatverluste und -fragmentierungen)
9. Bodenschäden durch toxische Stoffe
10. Kosten vor- und nachgelagerter Prozesse (Klima und Luftverschmutzung)
11. Unfälle
12. Zusatzkosten in städtischen Räumen (Trennungseffekte und Ortsbild)
13. Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr

Für Wirkungen ausserhalb des Umweltbereichs eignet sich das DPSIR-Modell weniger gut. Sie sind in der Abbildung deshalb vereinfacht dargestellt. Wichtige im Bericht nicht berücksichtigte Kostenbereiche sind ebenfalls in der Abbildung dargestellt. Mehr zu diesen nicht berücksichtigten Bereichen findet sich im Anhang A.

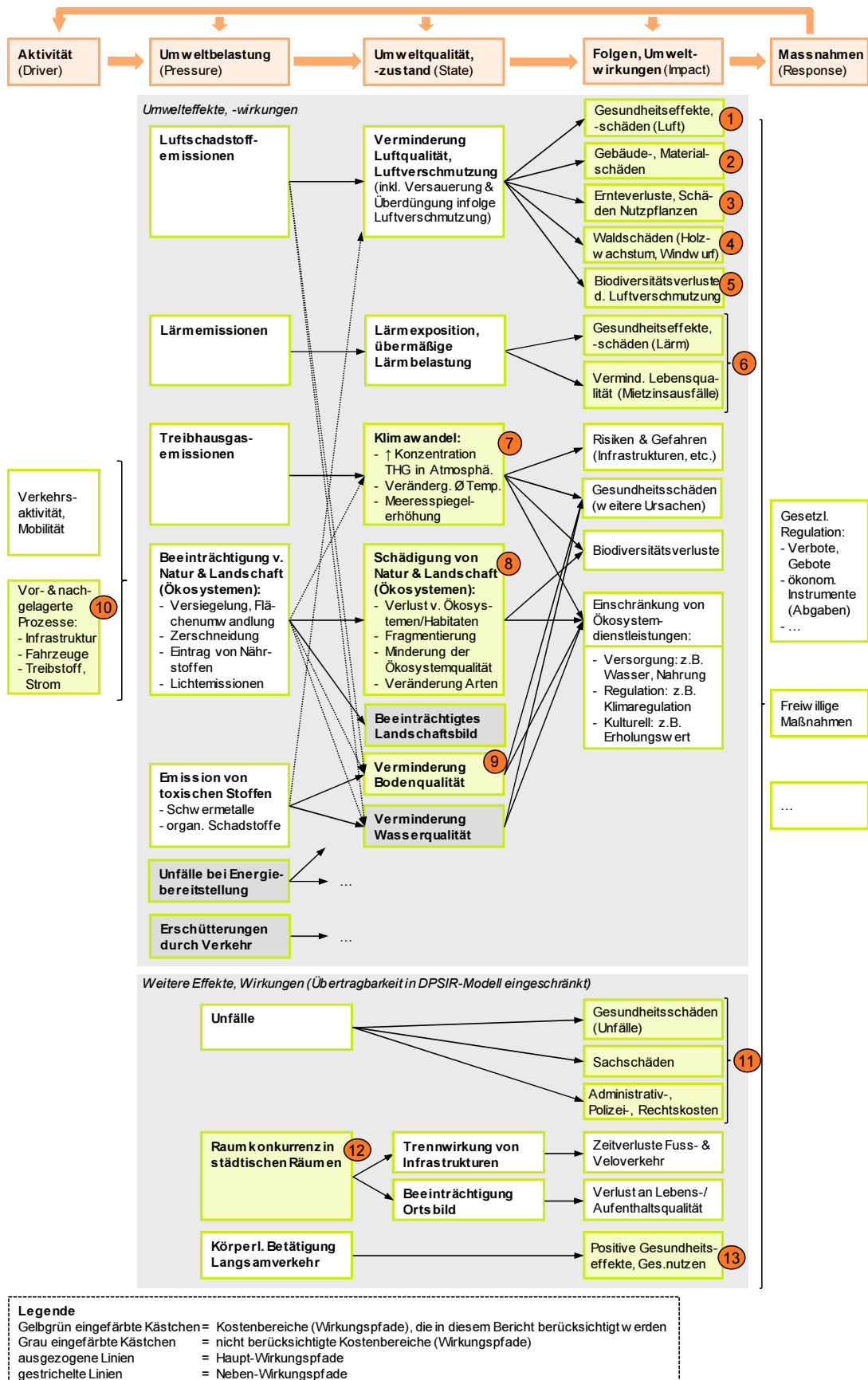
Die Berechnungen der externen Kosten des Verkehrs setzen an unterschiedlichen Punkten an. Wenn möglich werden die „Impacts“ (Schäden, Folgen) monetarisiert, teilweise wird aber auf übergeordneter Ebene angesetzt, nämlich bei der Umweltbelastung oder dem Umweltzustand. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn die Reparaturkosten (wie bei Natur und Landschaft, Bodenschäden) oder Vermeidungskosten (wie bei Klima) ermittelt werden bzw. generell wenn der Zustand eines Umweltsystems im Fokus steht (wie bei Natur und Landschaft).

---

<sup>23</sup> Politische Massnahmen können einerseits direkt die Treiber oder Aktivitäten („Drivers“) an der Quelle beeinflussen, andererseits aber auch bei den Umweltbelastungen, dem Umweltzustand oder erst bei den Folgen (z.B. Massnahmen zur Minderung/Reparatur der Folgen) ansetzen. Beim Verkehrslärm an einer Strasse mit vielen Anwohnern sind z.B. folgende unterschiedlichen Massnahmen denkbar: (temporäre) Sperrung der Strasse (Verringerung von Aktivität/Treiber), Durchfahrt nur für lärmarme Fahrzeuge/Reifen (Reduktion Umweltbelastung), Bau von Lärmschutzwänden (Verbesserung Umweltzustand) oder bezahlte Kuraufenthalte für Anwohner (Minderung der Folgen) sein.

Bei den Massnahmen ist zu erwähnen, dass es in der Schweiz zwar vielfältige Massnahmen zur Verminderung der Umweltwirkungen des Verkehrs gibt (z.B. gesetzliche Grenzwerte zu Lärm- oder Luftimmissionen), aber bisher erst wenig Massnahmen zur Internalisierung getroffen worden sind (eine Ausnahme ist z.B. die LSVA für den Schwerverkehr).

Abbildung 2-3: Wirkungsketten (nach DPSIR-Modell) und berücksichtigte Kostenbereiche



**Exkurs: Externe Nutzen des Verkehrs**

Der vorliegende Bericht beschränkt sich grundsätzlich auf die Ermittlung der externen Kosten des Verkehrs. Die externen Nutzen des Verkehrs sind somit nicht Gegenstand der folgenden, umfangreichen Arbeiten – mit Ausnahme der externen Gesundheitsnutzen des Langsamverkehrs (siehe unten).

Unbestritten ist, dass der Verkehr nicht nur Kosten verursacht, sondern in vielfältiger Weise auch Nutzen generiert. Davon profitieren verschiedene Nutzniessende in unterschiedlicher Form. Als Beispiele zu nennen sind:

- **Betreiber der Infrastrukturanlagen:** Einnahmen aus Nutzungsentgelten
- **Benutzer:** Benutzer profitieren von einer verbesserten Verkehrsinfrastruktur direkt durch Zeitersparnisse, tiefere Transportkosten und eine höhere Sicherheit im Verkehr. Dies führt bei ihnen auch generell zu einer verbesserten Erreichbarkeit von Einkaufs-, Freizeit- und Arbeitsorten.
- **Dritte:** Die tieferen Transportkosten können für Konsumenten zu tieferen Preisen für Konsumgüter und Dienstleistungen und zu einem vielfältigeren (Konsum-)Güterangebot führen. Produzenten können neue Absatzmärkte erschliessen und möglicherweise Skaleneffekte (economies of scale) erzielen. Für Grundstückeigner können sich dank der verbesserten Erreichbarkeit Gewinne bei den Immobilienpreisen ergeben. Möglich sind auch „wider economic benefits“ z.B. infolge von Netzwerkexternalitäten durch Clusterbildung dank verbesserter Erreichbarkeit oder durch den Aufbruch von Monopolen wegen tieferen Transportkosten.
- **Allgemeinheit:** Optionsnutzen (z.B. bei Notfällen), Trennwirkung bei Bränden, Ermöglichen von nichtverkehrlichen Nutzungen wie z.B. Markt- und Veranstaltungsplatz, Fussgänger und Schlittelweg, Ort für Begegnung und Spiel.

Ebenfalls unbestritten ist, dass die Gesamtnutzen des Verkehrs grösser sind als die Gesamtkosten. Grobe Abschätzungen im Auftrag des ARE und ASTRA ergaben für das Jahr 2006 einen Nutzenüberschuss im Strassen- und Schienenverkehr in der Grössenordnung von 3 bis 8 Mrd. CHF.<sup>24</sup> Dieses Ergebnis widerspiegelt die ökonomische Grundlogik, dass im Verkehr oder in der Wirtschaft letztlich nur Aktivitäten unternommen werden, die den involvierten Akteuren mehr Nutzen stiften als Kosten verursachen.

Umstrittener ist die Frage, in welchem Ausmass die Verkehrsaktivitäten zu externen Nutzen führen, die den externen Kosten gegenüberzustellen sind. Bedeutsam ist diese Frage vor allem im Zusammenhang mit der Bepreisung des Verkehrs, denn aus ökonomischer Sicht gilt: Liegen externe (Grenz-)Kosten vor, ist eine Abgabe zu erheben; gibt es relevante externe (Grenz-) Nutzen, sind diese entsprechend zu entschädigen bzw. wo sinnvoll mit der Ab-

<sup>24</sup> Ecoplan, Infras (2006), Die Nutzen des Verkehrs, Synthese der Teilprojekte 1-4, S. 1.

gabe zu verrechnen.

Die erwähnten Untersuchungen zu den externen Nutzen des Verkehrs im Auftrag von ARE und ASTRA kamen zum Ergebnis, dass der allergrösste Teil des Nutzens als interner Nutzen direkt bei den Verkehrsteilnehmenden anfällt, wie z.B. Zeitersparnisse oder geringere Fahrzeugkosten. Bei vielen Nutzen, die Dritten zufallen, wie z.B. günstigere Lebensmittel im Einkaufsladen, handelt es sich um Markteffekte, die einen normalen Anpassungsprozess darstellen und nichts mit externen Nutzen zu tun haben. Gemäss diesen Untersuchungen zeigt sich, „dass vor allem bei Notfalltransporten externe Nutzen zu erwarten sind, diese aber insgesamt sehr gering sind.“ Eine Grobschätzung von 1992 zeigt, dass es sich um ca. 30 bis 50 Mio. CHF handeln dürfte.<sup>25</sup>

In den letzten Jahren wird – vor allem im angelsächsischen Sprachraum – zunehmend die Bedeutung der sogenannten „wider economic benefits“ betont. Zu den „wider economic benefits“ gehören:

- Wachstumseffekte, wenn dank verbesserter Erreichbarkeit von Agglomerationen oder anderen Gebieten ein grösserer Arbeits-, Zuliefer- und Absatzmarkt entsteht und in der Folge Nachfrager und Anbieter eine grössere Auswahl haben und es daher zu besseren und produktiveren Kombinationen von Produktionsfaktoren kommen sollte (sogenannte „agglomeration externalities“). Dieser Effekt kann allerdings für einzelne Regionen auch negativ ausfallen, wenn beispielsweise aufgrund von Verkehrsinfrastrukturen das bestehende Angebot auf dem Arbeitsmarkt infolge Abwanderung abnimmt.
- Nutzen durch die Verbesserung des Wettbewerbs, sei es durch den Aufbruch von Monopolen dank tieferer Transportkosten (in der Schweiz ein praktisch vernachlässigbarer Aspekt) oder durch das Erzielen von Skaleneffekten infolge einer Vergrösserung des Absatzmarktes.
- Die Beschäftigungseffekte bei Unterbeschäftigung.

Grundsätzlich ist anerkannt, dass sich diese „wider economic benefits“ nicht in der Zeitersparnis der Nutzer bzw. ihrer Zahlungsbereitschaft niederschlagen und daher im Rahmen von klassischen Kosten-Nutzen-Analysen zusätzlich zur Zeitersparnis zu berücksichtigen sind.<sup>26</sup> Forschungsbedarf besteht hinsichtlich zweier Fragen:

- Wie bedeutend sind diese Effekte in einem bereits dicht besiedelten Gebiet wie der Schweiz? Hierzu wird aktuell ein Forschungsprojekt im Auftrag des „SBB-Fonds für Forschung zum Management im Verkehrsbereich“ durchgeführt.<sup>27</sup>

<sup>25</sup> Ecoplan (1992), Der externe Nutzen des Verkehrs, S. K-17.

<sup>26</sup> In Grossbritannien wurden Agglomerationseffekte, die letztlich auf Überlegungen aus der Wirtschaftsgeografie zurückgehen, bereits in die offiziellen Kosten-Nutzen-Richtlinien aufgenommen. Es zeigt sich, dass je nach Projekt und betroffener Region diese Nutzen 2 - 20% des Gesamtnutzens der Verkehrsprojekte betragen. Vgl. z.B. Melo und Graham (2009), Agglomeration Economies and Labour Productivity: Evidence from Longitudinal Worker Data for GB's Travel-to-Work Areas und Graham (2007), Agglomeration Economies and Transport Investment.

<sup>27</sup> Vgl. das Projekt der Arbeitsgemeinschaft IVT ETH Zürich / Ecoplan „Gesamtwirtschaftliche Effekte des OeV mit besonderer Berücksichtigung der Verdichtungs- und Agglomerationseffekte“.

- Welche Konsequenzen haben nachgewiesene „wider economic benefits“ für die Bepreisung eines bestehenden Verkehrsinfrastrukturnetzes? Handelt es sich hierbei um externe Nutzen, um die beispielsweise die LSVA zu reduzieren wäre? Diese Thematik wurde unseres Wissens bisher weder auf nationaler noch internationaler Ebene angegangen.

Der Langsamverkehr wurde weder im Rahmen der erwähnten Arbeiten von ARE und AST-RA, noch im Kontext der bisherigen Arbeiten zu den externen Kosten spezifisch betrachtet. Es liegen nun aber neue Arbeiten<sup>28</sup> vor, welche ergeben haben, dass im Langsamverkehr – neben externen Kosten – auch externe Gesundheitsnutzen identifizierbar und monetarisierbar sind. Diese Arbeiten werden in den vorliegenden Bericht integriert.

## 2.3 Generelles Konzept zur Ermittlung der externen Kosten

### 2.3.1 Grundkonzept

Die Methodik zur Berechnung der externen Kosten des Verkehrs orientiert sich an den Vorgehensweisen, wie sie in den bisherigen Studien für das Jahr 2000<sup>29</sup> und 2005<sup>30</sup> verwendet wurden. Die allgemeine Systematik zur Berechnung der externen Kosten wird in der folgenden Abbildung dargestellt:

- Ausgangslage bildet die Verkehrsmenge bzw. die Fahrleistungen im Strassen-, Schienen- und Schifffverkehr, Bewegungen und Distanzen im Luftverkehr, pkm im Langsamverkehr etc.
- Daraus wird die Belastungssituation abgeschätzt. Je nach Kostenbereich sind für diese Schätzungen Emissionsfunktionen, Windverhältnisse, Bevölkerungsdichte, Bebauung, Lärmschutzwände, Aufteilungen nach Verletzungsschwere etc. nötig.
- In einem nächsten Schritt werden die daraus resultierenden Effekte bzw. Schäden ermittelt. Dabei handelt es sich je nach Kostenbereich z.B. um die Zahl der zusätzlichen kranken, verletzten oder getöteten Personen, um die Anzahl belärmter Wohnungen oder um das Ausmass geschädigter Gebäudeflächen. Um diese Effekte bestimmen zu können, werden Belastungs-Wirkungs-Beziehungen, Krankheitshäufigkeiten in der Bevölkerung, Dunkelziffern, Überlebenswahrscheinlichkeiten und weitere Grundlagen verwendet.
- Dann werden die Schäden in Geldeinheiten quantifiziert. Dazu werden je nach Kostenbereich spezifische Kostensätze pro Unfall, Verletzten, Getöteten, Krankheitsfall, verlorenes Lebensjahr oder Mietzinsausfälle ermittelt und mit den ermittelten Schäden verknüpft. Die

<sup>28</sup> Ecoplan, ISPMZ (2013), Integration des Langsamverkehrs in die Transportrechnung.

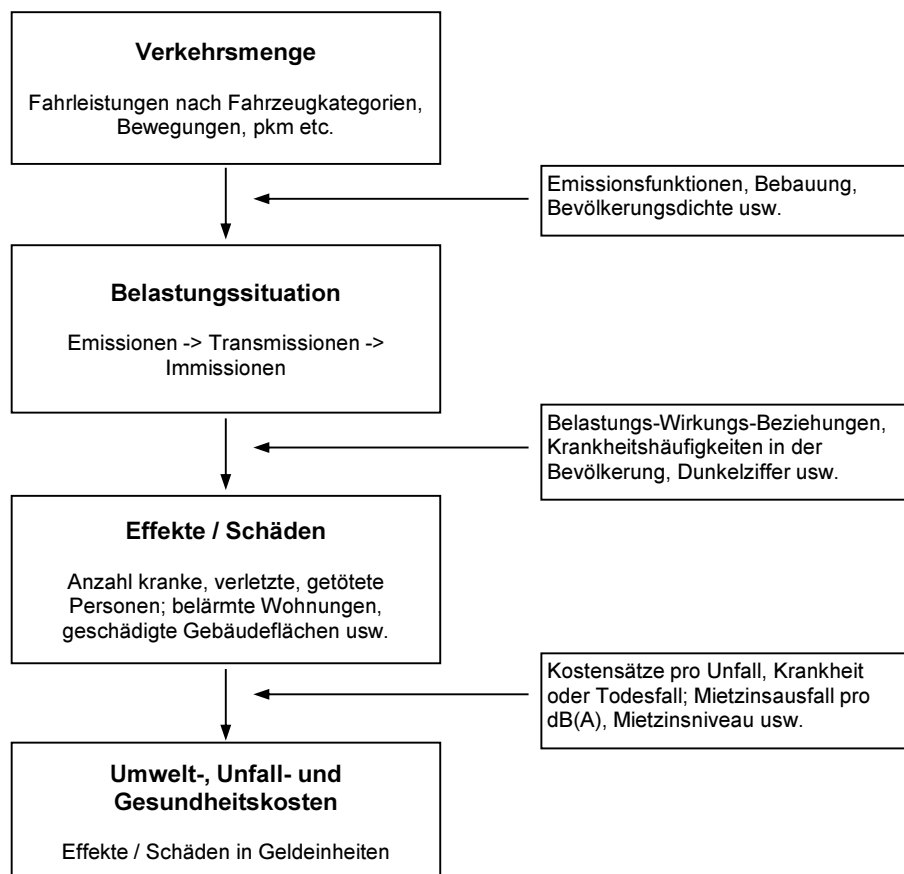
<sup>29</sup> Ecoplan (2002), Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr der Schweiz 1998, Ecoplan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz, Infrac und Wüest & Partner (2004), Verkehrsbedingte Gebäudeschäden, Infrac (2006), Externe Kosten des Strassen und Schienenverkehrs 2000. Klima und nicht erfasste Umweltbereiche sowie vor- und nachgelagerte Prozesse sowie Econcept, Nateco (2004), Externe Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft.

<sup>30</sup> Ecoplan, Infrac (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz. Aktualisierung für das Jahr 2005 mit Bandbreiten.

Wahl der Bewertungsmethode für die Herleitung der Kostensätze wird im folgenden Exkurs erläutert.

Zudem werden einige grundlegende Vorgaben, die für alle Kostenbereiche gelten, aus den bisherigen Studien für die Jahre 2000 und 2005 übernommen:

**Abbildung 2-4: Allgemeine Systematik zur Berechnung von Unfall- und Umweltkosten**



- Für die internationale Vergleichbarkeit der Ergebnisse werden sämtliche Kostenberechnungen auf der Basis von **Faktorpreisen** vorgenommen. Als Faktorpreise werden die Preise ohne indirekte Steuern (z.B. MWST) bezeichnet. Die Marktpreise liegen durchschnittlich 8.47%<sup>31</sup> über den Faktorpreisen.
- Die Ergebnisse werden jeweils zu den **Preisen des entsprechenden Jahres** ausgewiesen. Das bedeutet, dass z.B. zwischen 2005 und 2010 eine Zunahme aufgrund der Inflation zu erkennen ist.

<sup>31</sup> Dieser Prozentsatz wurde für das vorliegende Projekt neu bestimmt (bisher wurde 7.7% verwendet, der auf Daten des Jahres 1998 beruht und veraltet ist). Er berechnet sich als Nettosteuern (gesamte indirekte Steuern abzüglich Subventionen) geteilt durch die gesamten privaten Ausgaben (final consumer expenditure). Die Datenbasis ist die Input-Output-Tabelle 2008 (BFS 2011; 2008 ist das aktuellste verfügbare Jahr).

- Bei den Berechnungen der Kosten des Jahres 2010 werden auch jene Kosten berücksichtigt, welche erst nach dem Jahr 2010 anfallen (z.B. medizinische Behandlungskosten, Produktionsausfall usw.). Wenn im Folgenden also von Kosten gesprochen wird, dann sind damit immer alle **Folgekosten** (auch die zukünftigen) der Belastungen des Jahres 2010 gemeint.

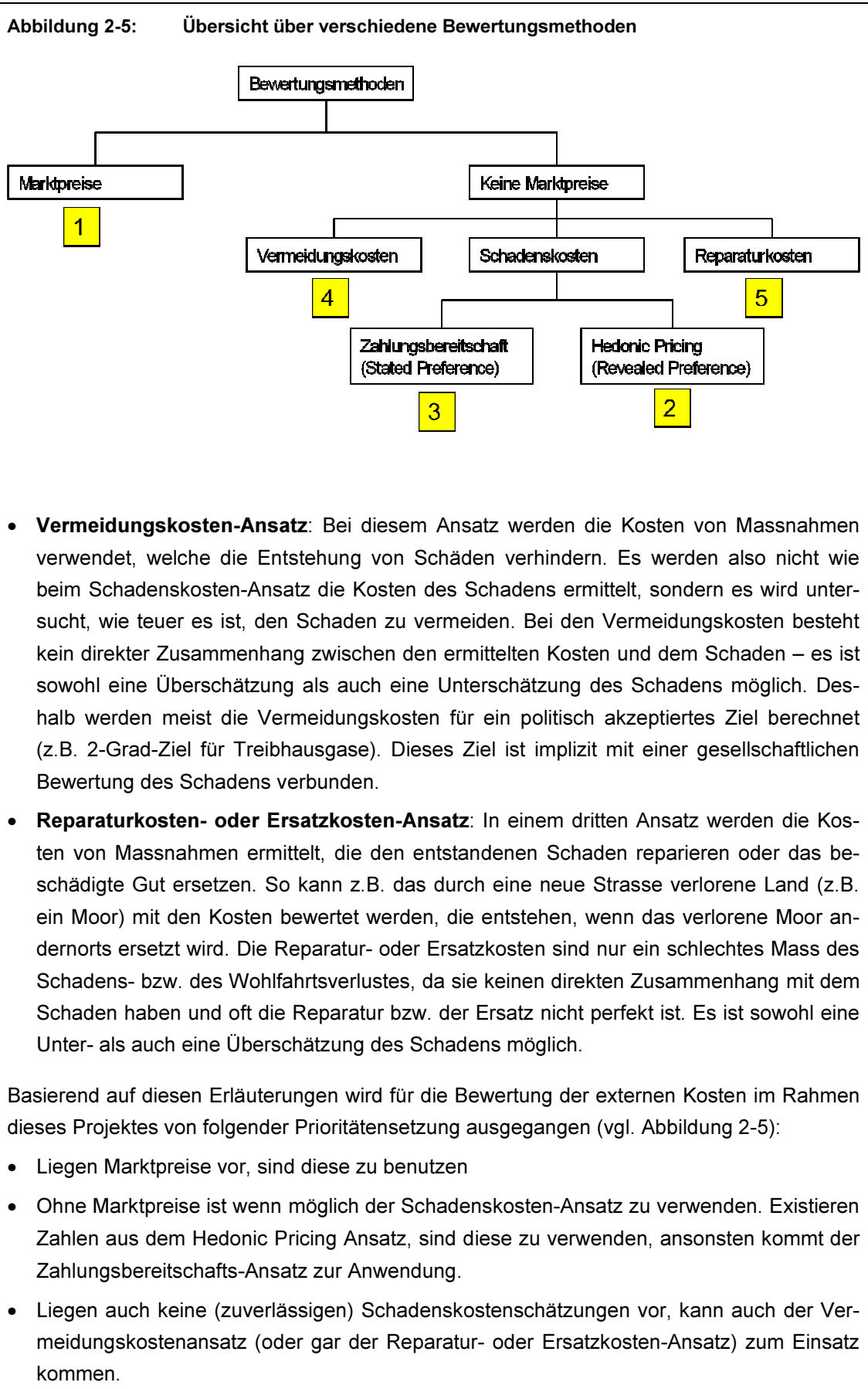
#### **Exkurs: Wahl der Bewertungsmethode<sup>32</sup>**

Es gibt verschiedene Methoden, um die Folgekosten einer Aktivität (hier die externen Kosten des Verkehrs) zu bewerten. In erster Priorität hat die Bewertung anhand von Marktpreisen zu erfolgen, da diese die Knappheit der verbrauchten Ressourcen bzw. die Wertschätzung der Gesellschaft für ein bestimmtes Gut (z.B. Ruhe, saubere Luft oder unverschmutztes Trinkwasser) am besten reflektieren. Liegen keine direkt beobachtbaren Marktpreise vor – was insbesondere bei Umweltqualitäten oft der Fall ist –, sind folgende Bewertungsmethoden möglich (vgl. Abbildung 2-5):

- **Schadenskosten-Ansatz:** Bei diesem Ansatz wird versucht, den entstehenden Schaden (z.B. durch Luftverschmutzung, Lärm oder Unfälle) abzuschätzen. Beim Schadenskosten-Ansatz gibt es zwei Untervarianten:
  - **Zahlungsbereitschafts-Ansatz:** In direkten Umfragen wird mittels Fragebogen die Zahlungsbereitschaft (willingness to pay WTP) der Leute (z.B. für eine Reduktion des Unfallrisikos oder einen Zeitgewinn) erfragt. Es handelt sich dabei meist um sogenannte stated preference Ergebnisse: Die Bewertung beruht auf Aussagen der Befragten, die ihre Präferenzen in einer hypothetischen Situation während einem Interview angeben.
  - **Hedonic Pricing:** Im Gegensatz dazu beruht die Hedonic Pricing Methode im Grundsatz auch auf Marktpreisen. Aus den direkt beobachtbaren Marktpreisen eines Gutes (z.B. Mietpreis) und seinen verschiedenen Eigenschaften (z.B. Lage, Grösse, Lärmbelastung etc.) wird mittels statistischer Verfahren der Preis für die einzelnen Eigenschaften geschätzt. So wird z.B. der Wert der Ruhe (bzw. des Lärms) aus dem Vergleich der Mietpreise einer ruhigen und einer belärmten Wohnung ermittelt. Im Wohnungsmarkt offenbaren also die Konsumenten ihre Präferenzen für Ruhe (revealed preference).

Der Schadenskosten-Ansatz beruht also entweder auf (indirekt beobachtbaren) Marktpreisen (Hedonic Pricing) oder auf hypothetischen Fragestellungen (Zahlungsbereitschaft). Da auch die indirekt beobachtbaren Marktpreise letztlich auf tatsächlichen Entscheidungen beruhen, ist ihnen prinzipiell mehr Vertrauen zu schenken als Zahlungsbereitschaften.

<sup>32</sup> Dieser Exkurs beruht auf der SN 641 820, Ziffer 49 bzw. Ecoplan und metron (2005), Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr, S. 116-120.





Die gänzliche Vernachlässigung von Effekten, für die kein (zuverlässiges) Resultat aus einer Zahlungsbereitschaftsstudie vorliegt, ist kein empfehlenswertes Vorgehen. In diesem Fall ist es besser, Resultate aus dem Vermeidungs-, Reparatur- oder Ersatzkosten-Ansatz zu verwenden, als auf eine Bewertung vollständig zu verzichten.

### 2.3.2 Territorialprinzip

Die Berechnung der Kosten erfolgt in den Bereichen Strassen- und Schienenverkehr grundsätzlich nach dem Territorialprinzip: Es werden diejenigen Kosten ermittelt, welche durch den Verkehr in der Schweiz verursacht werden. Die Abgrenzung bezieht sich also auf den Ort der Verursachung: Es wird untersucht, wie stark der Verkehr in der Schweiz die Lebensqualität beeinträchtigt, losgelöst davon, ob von dieser Beeinträchtigung Bewohner und Bewohnerinnen innerhalb oder ausserhalb der Schweiz betroffen sind. Als Beispiel seien die Klimakosten erwähnt: Hier werden die Treibhausgasemissionen durch den Verkehr in der Schweiz bestimmt. Die Klimafolgeschäden, die sich in den Kostensätzen widerspiegeln, umfassen jedoch nicht ausschliesslich Schäden, die in der Schweiz auftreten.<sup>33</sup>

Das so verstandene Territorialprinzip gilt als Grundsatz bei der Berechnung der externen Kosten des Verkehrs in der Schweiz. Davon wird in den folgenden fünf Fällen abgewichen:

#### Ausnahmen bei Verkehrsträgern

- Im **Luftverkehr** wäre eine Berechnung nach dem Territorialprinzip zwar ebenfalls möglich, doch wird eine Berechnung nach dem **Halbstreckenprinzip** (auch Abflugprinzip genannt<sup>34</sup>) den Eigenschaften des Luftverkehrs eher gerecht:<sup>35</sup> Das Halbstreckenprinzip stellt das gesamte Luftverkehrsangebot ab der und in die Schweiz dar. Es erfasst verkehrsseitig alle Flüge ab der Schweiz bis in die Hälfte der Strecke zum ausländischen Zielflughafen und ab der Hälfte der Strecke vom ausländischen Ausgangsflughafen bis in die Schweiz sowie die gesamte Strecke aller Inlandflüge (vgl. Abbildung 2-6).<sup>36, 37</sup> Das be-

<sup>33</sup> Der Anstieg der Treibhausgas-Konzentration betrifft die gesamte Atmosphäre. Die damit verbundenen Klimaveränderungen sind nicht abhängig von der Ausstossquelle. Die Emission von Treibhausgasen in der Schweiz führt demnach zu globalen Schäden.

<sup>34</sup> In Infrac, Ecoplan (2012, Integration des Luftverkehrs in die Transportrechnung) wird das Halbstreckenprinzip als Abflugprinzip bezeichnet.

<sup>35</sup> Da die meisten Flüge ab der Schweiz internationale Flüge mit einem grossen Emissionsanteil über internationale Gewässer sind, würden damit zusammenhängende externe Kosten beim Territorialprinzip keinem Land zugeordnet. Deshalb wird beim Luftverkehr vom Territorialprinzip abgewichen.

<sup>36</sup> Das Halbstreckenprinzip wird für Flugzeuge verwendet, nicht für Individuen: Fliegt ein Schweizer von Zürich nach Frankfurt und von dort nach Indien, wird die halbe Flugstrecke bis Frankfurt miteinbezogen, nicht jedoch ein Anteil des Weiterflugs nach Indien. Fliegt ein Italiener von Rom nach Zürich und dann nach Brasilien, so wird aufgrund des Zwischenhalts in Zürich jeweils von beiden Flugstrecken die Hälfte miteinbezogen.

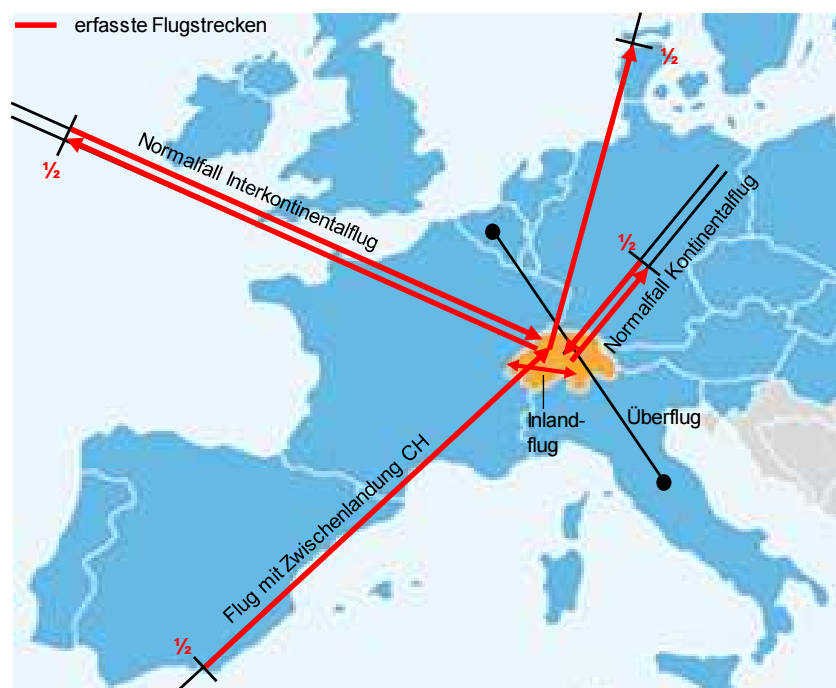
<sup>37</sup> Die Berechnung des Totals der CO<sub>2</sub>- und Schadstoffemissionen führt mit dieser Methode in etwa zum gleichen Ergebnis wie die Zählung der gesamten Strecke aller Flüge von der Schweiz bis zur Destination im Ausland und aller Flüge innerhalb der Schweiz (Absatzprinzip).

Für das Emissionsinventar der Zivilluftfahrt, welches auch für die Erstellung des Treibhausgasinventars der Schweiz zuhanden des United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) dient, wird das

deutet, dass alle Starts und Landungen in der Schweiz berücksichtigt werden. Auf Seite der Infrastruktur werden alle für diese Flugstrecken relevanten Infrastrukturen berücksichtigt. Das sind namentlich alle schweizerischen Flugplätze (der Landesflughafen Basel wird vollständig mitgezählt, obwohl er sich eigentlich auf französischem Boden befindet) sowie alle Flugsicherungsdienstleistungen, die für die erfassten Flugstrecken relevant sind. Würden alle Länder eine Transportrechnung Luftverkehr gemäss dem so definierten Halbstreckenprinzip erstellen, wären alle Flüge vollständig abgedeckt.

- Im **Schiffsverkehr** wird das **Halbstreckenprinzip** für die Schifffahrt auf dem Rhein ebenfalls angewendet. Da die Rheinschifffahrt von Basel bis zur Mündung des Rheins praktisch ausschliesslich ausserhalb der Schweiz erfolgt, wird gemäss derselben Logik wie für den Luftverkehr das Halbstreckenprinzip angewendet. Für die übrige Schifffahrt innerhalb der Schweiz und auf den Grenzseen (Bodensee und Lac Léman) führen das Territorialprinzip und das Halbstreckenprinzip zu demselben Ergebnis.

**Abbildung 2-6: Erfasste Flugstrecken nach Halbstreckenprinzip**



„Absatzprinzip“ – in Englisch Sales Principle – verwendet. Als international anerkannter Standard wird es häufig auch für weitere Statistiken angewendet. Eine Berechnung des Treibstoffverbrauchs nach dem Absatzprinzip stimmt mit der gesamten in der Schweiz getankten Treibstoffmenge überein. Fast 100% der Emissionen werden durch Punkt zu Punkt Verbindungen generiert, für die es einen Hin- und einen Rückflug gibt. Eine Zählung der halben Flugstrecke von der Schweiz ins Ausland und der halben Strecke eines Rückflugs vom Ausland in die Schweiz (Halbstreckenprinzip) ist modelltechnisch für die Treibstoff- und Schadstoffberechnung identisch mit der Berechnung eines entsprechenden ganzen Flugs von der Schweiz bis zur Destination (Absatzprinzip). Kleine Unterschiede können z.B. durch strategisches Tanken entstehen oder durch private Flüge von meist kleinen Flugzeugen, deren Abflugort beim Flug in die Schweiz nicht mit der Destination des Weiterflugs übereinstimmen.

Das Halbstreckenprinzip hat jedoch den Vorteil, dass neben allen Starts auch alle Landungen in der Schweiz (und nicht im Ausland) berücksichtigt werden und damit auch die lokalen Umweltauswirkungen in der Schweiz wie mit dem Territorialprinzip voll erfasst werden.

- Für den **Langsamverkehr** ist der Mikrozensus die einzige verfügbare Datengrundlage, um die erbrachte Verkehrsleistung im Fuss- und Fahrradverkehr abschätzen zu können. Die Verwendung des Mikrozensus bedeutet aber, dass nur Daten für in der Schweiz wohnhafte Personen zur Verfügung stehen. Der Langsamverkehr von Ausländern kann damit nicht erfasst werden.<sup>38</sup> Dafür ist der Langsamverkehr der Schweizer im Ausland enthalten, der gemäss dem Territorialprinzip eigentlich ausgeschlossen werden sollte. Die Verwendung des Mikrozensus als Grundlage zur Abschätzung der Verkehrsleistung entspricht der impliziten Annahme, dass der Langsamverkehr der Ausländer im Inland gleich hoch ist wie derjenige der Inländer im Ausland (sozusagen Import = Export).

#### **Ausnahmen bei Kostenbereichen**

- Bei der Abgrenzung der **Unfälle im Strassen- und Langsamverkehr** (aber nicht im Schienen-, Luft- und Schiffsverkehr<sup>39</sup>) wird aufgrund der vorhandenen Datengrundlagen ebenfalls das **Inländerprinzip** verwendet (Daten zum Territorialprinzip sind – ausser für Todesfälle – nicht verfügbar): Berücksichtigt werden alle Unfälle von in der Schweiz wohnhaften Personen unabhängig davon, ob die Unfälle im In- oder Ausland stattfinden.<sup>40</sup> Die Ausnahme bilden die Todesfälle, die nur nach dem Territorialprinzip vollständig dargestellt werden können.
- Bei der **Luftverschmutzung** wird angenommen, dass der Import und Export von Luftschadstoffen sich die Waage halten (vgl. Kapitel 3.3.1a).<sup>41</sup> Es werden also die Schäden quantifiziert, die sich aus der verkehrsbedingten Luftbelastung (Emissionen aus dem In- und Ausland) bei der Schweizer Bevölkerung ergeben (Immissionen in der Schweiz).

Obwohl es also prinzipiell das Ziel ist, die Kosten und Erträge nach dem Territorialprinzip zu bestimmen, ist dies aufgrund der vorhandenen Datengrundlagen nicht immer möglich bzw. aufgrund der Charakteristik eines Verkehrsträgers nicht immer sinnvoll. Die dadurch entstehenden Einschränkungen bei der Genauigkeit der Ergebnisse dürften jedoch relativ gering sein. Im Luft- und Schiffsverkehr wird bewusst vom Territorialprinzip abgewichen, da dieses für diese beiden Verkehrsträger wenig geeignet ist. Es ist darauf hinzuweisen, dass rund 95% der Klimagasemissionen der Schweizer Luftfahrt im Ausland anfallen und die Abweichung vom Territorialprinzip in diesem Kostenbereich grosse Auswirkungen auf die Ergebnisse für den Luftverkehr hat.

---

<sup>38</sup> Wir gehen davon aus, dass diese Vernachlässigung aufgrund der Daten unvermeidbar ist. Sie dürfte aber auch unproblematisch sein: Die externen Kosten dürften gering sein und die externen Gesundheitsnutzen fallen im Ausland an und sind damit für die Schweizer Transportrechnung nicht von Bedeutung.

<sup>39</sup> Im Schienenverkehr wird das Territorialprinzip verwendet, im Luft- und Schiffsverkehr das Halbstreckenprinzip.

<sup>40</sup> EcoPlan (2007), Volkswirtschaftliche Kosten der Nichtberufsunfälle in der Schweiz, S. 34.

<sup>41</sup> Wird von dieser Annahme abgewichen, könnte nicht mehr das Schweizer Schadstoffausbreitungsmodell verwendet werden, sondern es müsste ein europaweites Modell zur Anwendung kommen. Zudem müssten die Gesundheitseffekte im Ausland bestimmt werden, die durch den Verkehr in der Schweiz verursacht werden. Hingegen müssten die Gesundheitsschäden in der Schweiz, die von ausländischen Emissionen verursacht werden, abgezogen werden. Dadurch würden die Datenanforderungen massiv zunehmen.

### 2.3.3 Methodisches Vorgehen bei der Aktualisierung der Kosten

Bei der Aktualisierung der Berechnungen ausgehend vom Jahr 2005 auf 2010 wird zuerst untersucht, ob die bisher verwendete Berechnungsmethodik im Lichte der aktuellen nationalen und internationalen Literatur immer noch zweckmässig erscheint. Dazu fand auch ein Workshop mit Rainer Friedrich vom IER Stuttgart statt, der die Literatur in Europa und Deutschland bestens kennt, sowie ein Workshop mit weiteren nationalen und internationalen Experten (vgl. Kapitel 1.6). Liegen neue Forschungsergebnisse vor, so wird die Methodik entsprechend angepasst. Zudem wird analysiert, ob weitere bisher nicht berücksichtigte Kostenbereiche neu einzubeziehen sind, da neue Forschungsergebnisse deren Einbezug nun erlauben.

Zudem werden alle Datengrundlagen neu erhoben. Sind heute bessere Datengrundlagen verfügbar als früher, so kann möglicherweise auch aufgrund der besseren Datengrundlagen die Berechnung verbessert werden.

Schwerpunkt der Aufdatierung sind die verschiedenen Mengen- und Wertgerüste der jeweiligen Kostenkategorien. Dies wird in den folgenden Kapiteln 3 – 15 jeweils einzeln erläutert.

## 2.4 Umgang mit Unsicherheiten<sup>42</sup>

### 2.4.1 Einleitung

Die Berechnung der externen Kosten kann nicht ohne Annahmen und Vereinfachungen vorgenommen werden. Damit ergeben sich bezüglich der Endergebnisse in jedem Fall gewisse Unsicherheiten. Im Wesentlichen können sie bei der Ermittlung der Ergebnisse auf drei „Ebenen“ entstehen:

- Belastungssituation
- Effekte bzw. Schäden (Dosis-Wirkungs-Beziehungen und Mengengerüst)
- Kostensätze für die Bewertung der Schäden (Wertgerüst)

Je nach Wissenstand stehen verschiedene Möglichkeiten zum Umgang mit Unsicherheiten zur Verfügung, welche in Abbildung 2-7 im Überblick dargestellt sind und im Folgenden erläutert werden.

#### **Gesichertes Wissen**

Der Begriff „Wissen“ ist umfassend zu verstehen, es kann sich um Datengrundlagen (z.B. Verkehrsleistung, Unfallzahlen), um Funktionszusammenhänge oder auch um Kostenangaben (z.B. medizinische Behandlungskosten pro Spitalpflege-tag) handeln.

---

<sup>42</sup> Die folgenden Ausführungen basieren auf Ecoplan, Infrac (2008, Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz. Aktualisierung für das Jahr 2005 mit Bandbreiten) sowie Infrac, Ecoplan (2012), Integration des Luftverkehrs in die Transportrechnung.

Bei gesichertem Wissen handelt es sich in der Regel um Grundlagen, welche in offiziellen Statistiken publiziert werden. Die Zahlen bzw. Parameter aus dieser Wissenskategorie können für Berechnungen der externen Kosten als Datenauswertung übernommen werden, ohne dass zusätzliche Annahmen oder Massnahmen notwendig sind.<sup>43</sup>

**Abbildung 2-7: Wissenstand und Umgang mit Unsicherheiten**

Wissenstand	Umsetzungsmöglichkeiten in Berechnungen
Gesichertes Wissen	Datenauswertung
Wissen mit Unsicherheiten	Punktschätzung im Sinne eines best guess Ansatzes Punktschätzung im Sinne eines at least Ansatzes Sensitivitätsanalysen Bandbreiten
Ungenügende oder keine Kenntnisse	Vernachlässigung der Ermittlung, nur qualitative Ermittlung

### Wissen mit Unsicherheiten

Zu dieser Wissenskategorie lassen sich alle Daten, Funktionszusammenhänge, Belastungs-Wirkungs-Beziehungen oder Kostensätze zählen, über die eine Vielzahl von Erkenntnissen aus wissenschaftlichen Arbeiten (z.B. empirische Erhebungen, Modellierungen usw.) vorliegen. Die Erkenntnisse sind aber mit Unsicherheiten (z.B. nur Angaben in Bandbreiten oder Konfidenzintervallen<sup>44</sup>) verbunden oder führen nicht zu einem eindeutigen oder einzig geltenden Resultat (Zahlenwert).<sup>45</sup>

In diesem Fall können für den Umgang mit den Unsicherheiten unterschiedliche Strategien angewendet werden:

- **Best guess Ansatz (bestmögliche Schätzung):** Bei diesem Ansatz wird für die weiteren Berechnungsschritte ein Punktwert verwendet, welcher auf einem „best guess“ Vorgehen beruht. Für die Ermittlung des „best guess“ können unterschiedliche Methoden verwendet werden, so z.B. eine qualitative Einschätzung der vorliegenden Arbeiten, eine mit statistischen Verfahren durchgeführte Meta-Analyse oder eine Abstützung auf bestimmte Autoren oder Studien, die als wissenschaftlich besonders gut angesehen werden und / oder sich genau auf den untersuchten Kontext beziehen.

<sup>43</sup> Auch bei Datenauswertungen gibt es natürlich (statistische) Unsicherheiten. Diese sind im Vergleich zu den übrigen Unsicherheiten jedoch meist sehr gering und damit vernachlässigbar. Zudem besteht bei der Datenauswertung keine Wahl, welcher Wert zu verwenden ist, beim best guess hingegen stehen unterschiedliche Werte zur Verfügung.

<sup>44</sup> Mit 95%-iger Wahrscheinlichkeit liegt z.B. das wahre Ergebnis innerhalb des 95%-Konfidenzintervalls.

<sup>45</sup> Ferner können im Vergleich zur gesuchten Wahrheit unbekannt systematische Fehler vorliegen, welche in der Beurteilung zu einer Verschiebung der Ergebnisse im Vergleich zu den tatsächlichen Wirkungszusammenhängen führen können. Diese können nicht berücksichtigt werden, da sie unbekannt sind.

- **At least Ansatz (mindestens zu erwarten):** Alternativ kann ein Wert gewählt werden, der im unteren Bandbereich der bekannten Ergebnisse liegt. Mit diesem Vorgehen soll sichergestellt werden, dass die tatsächlichen Kosten nicht überschätzt werden, sondern die ausgewiesenen Ergebnisse vielmehr als „mindestens zu erwartende“ Kosten interpretiert werden können. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von einem „at least Ansatz“.
- **Sensitivitätsanalysen:** Der best guess und der at least Ansatz können ergänzt werden, indem für wichtige Annahmen eine **Sensitivitätsanalyse** durchgeführt wird, d.h. dass wichtige Annahmen angepasst werden, um zu untersuchen, wie sich dadurch das Endergebnis verändert.
- **Bandbreiten (oder Konfidenzintervalle):** Bei diesem Ansatz werden die bestehenden Unsicherheiten in den Berechnungen ausgewiesen. Konkret bedeutet dies, dass die Berechnungen nicht für einen einzelnen Wert, sondern für eine Unter- und Obergrenze durchgeführt werden. Die Wahl der Unter- und Obergrenze erfolgt entweder abgestützt auf statistischen Angaben (z.B. auf dem 95%-Konfidenzintervall) oder, wenn diese nicht vorhanden sind bzw. deren Herleitung schwierig ist, ad hoc aufgrund der vorliegenden Studienergebnisse.

### Ungenügende oder keine Kenntnisse

Bei der Ermittlung der externen Kosten gibt es Teilbereiche bzw. Fragestellungen über die nur geringe oder noch gar keine Erkenntnisse aus entsprechenden Untersuchungen vorliegen (z.B. Auswirkung der Luftverschmutzung auf Gesamtmortalität bei unter 30-jährigen Personen, Unfall-Dunkelziffer im Schienenverkehr).

In diesen Fällen muss auf eine Quantifizierung der Effekte verzichtet werden, es kann nur eine qualitative Würdigung vorgenommen werden. Besteht eine berechtigte Vermutung, dass die Effekte bzw. Schäden nicht null sind, entspricht dieses Vorgehen einem at least Ansatz.

## 2.4.2 Vorgehenskonzept zum Ausweis der Unsicherheiten pro Kostenbereich

### Basisrechnung

Es wird eine Basisrechnung vorgenommen, die einen plausiblen Wert für die externen Kosten ermittelt: Falls ein eindeutiger „**best guess**“ vorliegt, wird dieser Wert verwendet. Ansonsten beruht der Wert auf einer **vorsichtigen Schätzung (at least Ansatz)**, d.h. überall wo Annahmen und Vereinfachungen vorgenommen werden, werden diese „**so realistisch wie möglich, im Zweifelsfall jedoch konservativ**“ getroffen. Konkret bedeutet dies, dass bei Unsicherheiten vorsichtige Annahmen getroffen werden, die eher zu einer Unter- als einer Überschätzung der tatsächlichen Kosten führen.

### Berechnung der Sensitivitätsanalysen

Für die in den Basisberechnungen enthaltenen Unsicherheiten wird eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Dabei wird wie folgt vorgegangen:

- Für jeden Kostenbereich werden alle wesentlichen **Inputdaten** für die Basisrechnung aufgeführt und es wird deren **Wissenstand** (gesichertes Wissen oder Wissen mit Unsicherheiten) untersucht und tabellarisch dargestellt (vgl. z.B. für die Gesundheitskosten der Luftbelastung die Abbildung 3-20 auf Seite 156). Anhand dieser Übersicht werden die wesentlichen Unsicherheiten im jeweiligen Kostenbereich ermittelt.
- Basierend darauf wird für jeden Kostenbereich und für jede (relevante) Unsicherheit eine **Sensitivitätsanalyse** durchgeführt: Es wird untersucht, wie sich das Ergebnis verändert, wenn die Annahme höher oder tiefer wäre als in der Basisrechnung.

Damit werden die für das Resultat wesentlichen Unsicherheiten herausgefiltert. Im Rahmen des zur Verfügung stehenden Budgets ist es aber nicht möglich, wie in den bisherigen Berechnungen für den Strassen- und Schienenverkehr für das Jahr 2005<sup>46</sup> eine Monte-Carlo-Simulation für die Ergebnisse durchzuführen. Mit einer Monte-Carlo-Analyse würden alle Annahmen gleichzeitig verändert und mit Hilfe statistischer Methoden würde das 95%-Konfidenzintervall des Gesamtergebnisses bestimmt. Das Hauptergebnis würde sich aber auch mit einer Monte-Carlo-Analyse nicht verändern.

### **Ausweis möglicher Über- und Unterschätzungen**

Ergänzend zur quantitativen Abschätzung der Sensitivitätsanalysen wird pro Kostenbereich auch auf zusätzliche, mögliche Unter- und Überschätzungen eingegangen. Es handelt sich dabei um Aspekte, welche ausserhalb der Berechnungssystematik liegen und daher nicht in die quantitative Analyse einfließen können.

## **2.5 Abgrenzung der Verkehrsträger**

### **2.5.1 Vorgaben der Transportrechnung**

Im Rahmen der Erarbeitung der Transportrechnung für den Langsamverkehr wurde auch die Frage geklärt, wie die Transportrechnung abzugrenzen ist. Schliesslich hat das BFS / ARE folgende Abgrenzung festgelegt, die es im Folgenden umzusetzen gilt:<sup>47</sup>

*Die Transportrechnung umfasst grundsätzlich alle Verkehrsaktivitäten, die im Gesamtkonzept Mobilitäts- und Verkehrsstatistik des Bundes vorgesehen sind. Alle Infrastrukturen des öffentlichen Verkehrs werden in die Transportrechnung mit aufgenommen.<sup>48</sup> Ausserhalb des öffentlichen Verkehrs ausgeschlossen sind Aktivitä-*

---

<sup>46</sup> Ecoplan, Infras (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz. Aktualisierung für das Jahr 2005 mit Bandbreiten.

<sup>47</sup> Ecoplan, ISPMZ (2013), Integration des Langsamverkehrs in die Transportrechnung, Anhang A.

<sup>48</sup> Gemäss Definition des BFS ist der öffentliche Verkehr jenes Angebot, das gleichzeitig öffentlich zugänglich, räumlich-zeitlich definiert ist (Fahrplan) und eine gebündelte Nachfrage besitzt. Er unterliegt der Konzessions- oder Bewilligungspflicht. Dazu zählen der öffentliche Schienenverkehr (Eisenbahnen und Zahnradbahnen), der

*ten auf Infrastrukturen, die primär dem Sport, der Freizeitbeschäftigung, dem Militär, der Land- oder der Forstwirtschaft dienen.<sup>49</sup>*

## 2.5.2 Abgrenzung der einzelnen Verkehrsträger

Die Vorgaben der Transportrechnung sollen im Folgenden nochmals kurz für die einzelnen Verkehrsträger zusammengefasst werden (Abbildung 2-8 zeigt die berücksichtigten Infrastrukturen, Abbildung 2-9 die Aufteilung auf Personen- und Güterverkehr sowie die berücksichtigten Fahrzeugkategorien):

- **Strassenverkehr (inkl. Langsamverkehr<sup>50</sup>):** Es sind alle Strassen von Autobahnen bis 3.-Klass-Strassen zu berücksichtigen.<sup>51</sup> Im Langsamverkehr werden zudem befestigte Velowege berücksichtigt, im Strassenverkehr öffentliche Parkplätze und Parkhäuser. Darin enthalten sind auch die Langsamverkehrsinfrastrukturen in Siedlungsgebieten (Fussgängerzonen, Treppen, Unterführungen, Velowege mit festen Belägen, Langsamverkehrsstege und -brücken etc.) und die Verkehre darauf.<sup>52</sup>
- Bei der Differenzierung der Ergebnisse nach **Fahrzeugkategorien** (vgl. Abbildung 2-9) werden folgende Überlegungen berücksichtigt:

---

öffentliche Strassenverkehr (Tram, Trolley- und Autobus), Seilbahnen (Stand- und Luftseilbahnen), der Linien- und Charterverkehr (Luftverkehr) sowie die öffentliche Personenschifffahrt.

<sup>49</sup> Darunter fallen das Wandern, Joggen, Nordic Walking, Mountainbiken, Motocross, Rudern, Kanu, Kajak, Pedalo, Schwimmen, Segeln, Motorbootfahren, Segelfliegen, Ballonfahren, Skifahren, Skilifte und Flugfelder.

<sup>50</sup> Langsamverkehr besteht aus allen Fortbewegungen zu Fuss, auf Rädern oder Rollen, angetrieben durch menschliche Muskelkraft (Ecoplan, ISPMZ 2013, Integration des Langsamverkehrs in die Transportrechnung). Der Langsamverkehr gehört ebenfalls zum Verkehrsträger Strassenverkehr, da er weitgehend dieselben Infrastrukturen benutzt. Auch im „Gesamtkonzept Mobilitäts- und Verkehrsstatistik Schweiz“ (BFS 2005, S. 20-21) wird der Langsamverkehr zum Verkehrsträger Strasse gezählt.

<sup>51</sup> Die swisstopo, das Bundesamt für Landestopografie klassifiziert in ihren Karten Strassen nach deren Ausbau (swisstopo 2011, Karten-Signaturen):

- Autobahn: Richtungsgetrennte, kreuzungsfreie Strasse mit Mittelstreifen (für Langsamverkehr verboten).
- Autostrasse: Nicht-richtungsgetrennte, kreuzungsfreie Strasse mit zwei oder mehr Fahrbahnen ohne Mittelstreifen (für Langsamverkehr verboten).
- 1.-Klass-Strassen: Hauptstrassen mit mindestens 6 Meter Breite, so dass zwei Lastwagen sich ungehindert kreuzen können, und für den gemischten Verkehr (Velos, Traktoren) gestattet. Diese Strassen haben oft einen Velostreifen und Trottoir.
- 2.-Klass-Strassen: Nebenstrassen mit mindestens 4 Meter Breite, so dass zwei Autos sich ungehindert kreuzen können. Ortsverbindungen, wichtige Strassen innerorts und Quartierstrassen.
- 3.-Klass-Strassen: Strassen 3. Klasse sind mindestens 2.80 Meter breit und damit auch für Lastwagen und Autobusse einspurig befahrbar. Sie haben nicht zwingend einen Hartbelag. Erschliessung von Dörfern, Einzelgebäuden.
- 4.-Klass-Strassen: Fahrwege 4. Klasse sind mindestens 1.80 Meter breit. Diese Naturstrassen haben in der Mitte oft Gras. Bei normalen Verhältnissen sind sie mit Personenwagen befahrbar. Sie können mit einem Fahrverbot hinterlegt sein.
- 5.-Klass-Strassen: Wege der 5. Klasse sind Feld- und Waldwege ohne ausreichenden Unterbau. Oft nur mit Geländefahrzeugen oder Traktoren befahrbar. Velowege wiederum können mit Hartbelag ausgestattet sein.
- 6.-Klass-Strassen: Wege der 6. Klasse sind Fussgängern vorbehalten. Es kann sich dabei von Bergpfaden bis zu breiten Spazierwegen handeln. Sie sind oft Teil von Wanderwegen.

<sup>52</sup> Coplan, ISPMZ (2013), Integration des Langsamverkehrs in die Transportrechnung.



**Abbildung 2-8: Gemäss definierter Abgrenzung zu berücksichtigende Infrastrukturen**

Verkehrsträger	Infrastruktur
Strassenverkehr (inkl. Langsamverkehr)	Autobahnen, Autostrasse Strassen der Klassen 1-3 und deren Fahrradwege Spezielle Langsamverkehrsinfrastrukturen (Fussgängerzonen, Treppen, Unterführungen, Langsamverkehrsbrücken etc.)
Schienenverkehr	Eisenbahnen (Adhäsion) Zahnradbahnen <sup>1</sup>
Seilbahnen <sup>1</sup>	Standseilbahnen und Luftseilbahnen
Schiffsverkehr	Anlegestellen der öffentlichen Personenschifffahrt Güterhäfen und Terminals am Rhein
Luftverkehr	Landesflughäfen Regionalfugplätze

<sup>1</sup> Seil- und Zahnradbahnen müssten theoretisch auch in die Transportrechnung mit aufgenommen werden. Aus Relevanzgründen wird jedoch auftragsgemäss auf die Integration dieser Bahnen in die Transportrechnung 2010 verzichtet. Deshalb werden sie auch in diesem Bericht nicht berücksichtigt.

- Eine separate Betrachtung des Schwerverkehrs (LSVA-pflichtige Fahrzeuge über 3.5t) muss möglich sein. Zum Schwerverkehr gehören drei Kategorien: Lastwagen, Sattelzüge und Gesellschaftswagen.<sup>53</sup>
  - Die Herleitung der Fahrzeugkilometer (Fzkm) für die entsprechenden Kategorien muss möglich sein, um Kostensätze pro Fzkm ausweisen zu können. Die Verkehrsleistungen werden durch das Bundesamt für Statistik ermittelt.

Es wird nach Möglichkeit nach den in Abbildung 2-9 dargestellten Fahrzeugkategorien differenziert. Nicht in allen Kostenbereichen ist aufgrund der Datengrundlagen eine solch differenzierte Aufteilung möglich, teilweise kann aber sogar weiter differenziert werden, z.B. bei den Unfällen. Die Abbildung 2-9 zeigt, dass im Strassenverkehr insgesamt 13 Fahrzeugkategorien unterschieden werden können. Die Abbildung zeigt auch, welche Fahrzeugkategorien zum Schwerverkehr gehören.

- **Schienenverkehr:** Bei der Eisenbahn wird das gesamte Schienennetz der Adhäsionsbahn berücksichtigt. Bei einer Adhäsionsbahn (oder Reibungsbahn) erfolgt der Antrieb alleine über die Haftung der Räder.<sup>54</sup> Zahnradbahnen und Seilbahnen werden wie oben besprochen nicht berücksichtigt.

Es wird wie bisher zwischen öffentlichem Personen- und Güterverkehr differenziert.

<sup>53</sup> Die Busse des öffentlichen Verkehrs sind eigentlich auch Schwerverkehr, denn sie wiegen mehr als 3.5t. Da diese Busse aber von der LSVA ausgenommen sind, werden sie hier nicht zum Schwerverkehr gezählt.

<sup>54</sup> Die Adhäsionsbahn hat den Vorteil, dass wenig Reibungsverluste auftreten. Dafür können aber starke Steigungen ohne Hilfsmittel wie bei Zahnradbahnen oder Standseilbahnen nicht überwunden werden (Wikipedia 2013, Adhäsionsbahn).

Abbildung 2-9: Aufteilung auf Verkehrsträger, Personen- und Güterverkehr und Fahrzeugkategorien

Verkehrsträger	Personen- / Güterverkehr	Fahrzeugkategorien	Schwerverkehr (gemäss LSVA)
Strassenverkehr	Motorisierter privater Personenverkehr	Personenwagen	
		Gesellschaftswagen (Car)	X <sup>2</sup>
		Motorrad	
		Motorfahrrad (inkl. E-Bikes <sup>1</sup> )	
	Langsamverkehr (nicht-motorisierter privater Personenverkehr)	Velo (inkl. Pedelects <sup>1</sup> )	
		Fahrzeugähnliche Geräte	
		Fussgänger	
	Öffentlicher Personenverkehr	Bus	
		Trolleybus	
		Tram	
Güterverkehr	Lieferwagen		
	Lastwagen	X	
	Sattelschlepper	X	
Schienenverkehr	Öffentlicher Personenverkehr		
	Güterverkehr		
Luftverkehr	Öffentlicher Personenverkehr	Personenanteil Linien- und Charterverkehr	
		General Aviation	
		Helikopter	
	Güterverkehr	Belly Freight im Linien- und Charterverkehr und Frachtflüge	
Helikopter			
Schiffsverkehr	Öffentlicher Personenverkehr		
	Güterverkehr		

<sup>1</sup> Sowohl E-Bikes als auch Pedelects gehören zu den Elektrovelos: E-Bikes sind Elektrovelos mit einer Motorleistung von 500 bis 1000 Watt, d.h. Motorunterstützung bis 25 bzw. 45 km/h. Pedelects sind Elektrovelos mit einer Motorleistung bis 500 Watt (oder 25 km/h).

<sup>2</sup> Die Gesellschaftswagen bezahlen nicht die LSVA, sondern die PSVA (pauschale Schwerverkehrsabgabe).

- **Luftverkehr:** Neben dem Linien- und Charterverkehr werden auch die General Aviation<sup>55</sup> und Helikopter in die Transportrechnung Luftverkehr integriert, sofern die Flüge an einem der drei Landesflughäfen oder einem Regionalflugplatz starten oder enden.<sup>56</sup> Nicht berücksichtigt wird gemäss Vorgabe die militärische Aviatik. Ebenfalls nicht berücksichtigt

<sup>55</sup> Alle gewerblichen Flüge abzüglich der Linien- und Charterflüge sowie alle nicht-gewerblichen Flüge mit Motorflächenflugzeugen und Helikoptern (nur Personenverkehr).

<sup>56</sup> Flüge von einem Regionalflugplatz zu einem Flugfeld werden halb miteinbezogen.

werden Luftfrachtersatzverkehre<sup>57</sup> sowie Verkehre von und zu Flugplätzen, da diese bereits bei den Verkehrsträgern Strasse und Schiene erfasst sind.

Die Grundlagen für die Bestimmung der externen Kosten wurden bereits in Infrac, Eco-plan (2012) erarbeitet. Allerdings ging man damals noch von einer weiteren Abgrenzung des Luftverkehrs aus: Insbesondere wurden die Infrastrukturen Flugfelder und Heliports berücksichtigt, die es nun gemäss neuer Abgrenzung des BFS auszuschliessen gilt. Der Auftraggeber wünscht, dass in diesem Bericht die neue Abgrenzung verwendet wird.

Es wird wie bisher zwischen öffentlichem Personen- und Güterverkehr differenziert.<sup>58</sup>

- **Schiffsverkehr:** Im Schiffsverkehr sind schliesslich gemäss Abgrenzung die Rheinhäfen in Basel sowie die Anlegestellen der öffentlichen Personenschifffahrt und des Güterverkehrs zu berücksichtigen.

Es wird zwischen öffentlichem Personen- (Dampf-, Motor- und Fährschiffe) und Güterverkehr (Lastkahn, Schwimmbagger) differenziert.

## 2.6 Weitere methodische Fragen

### 2.6.1 Durchschnittskosten versus Grenzkosten

Die Schweizer Transportrechnung geht traditionellerweise von Gesamtkostenbetrachtungen aus und ermittelt in erster Linie den Kostendeckungsgrad für die einzelnen Verkehrsträger und -arten. Daraus lassen sich Durchschnittskosten ableiten. Diese Durchschnittskosten bilden auch die Basis für die Berechnung von Preisgrundlagen, etwa zur Verifizierung der Abgabensätze für die LSVA. Voraussetzung dafür ist eine verlässliche Hochrechnung der Kosten (z.B. Umweltschäden) auf Basis von detaillierten Mengengerüsten (z.B. Belastungskatastern) auf die gesamte Schweiz. Ein analoger Ansatz wird für die Berechnung und Allokation der Infrastrukturkosten sowohl in der Schweizerischen Strassenrechnung als auch im Ausland (z.B. D, A) angewendet.

Demgegenüber waren und sind die Grundlagen auf EU-Ebene (und auch in anderen Ländern, z.B. UK, NL) auf Grenzkosten ausgerichtet, also die Kosten für eine zusätzliche Verkehrseinheit. Dieser Ansatz basiert auf der ökonomischen Wohlfahrtstheorie für optimale Preise. Entsprechend empfehlen diese Grundlagen (z.B. im EU-Handbuch für externe Kosten im Verkehr) Kostensätze für Grenzkosten in ausgewählten Verkehrssituationen (z.B. Grenzkosten für PKW tagsüber in städtischen Gebieten oder nachts in ländlichen Gebieten). Die Berechnung erfolgt bottom-up, in der Regel basierend auf spezifischen Modellen. Unter-

---

<sup>57</sup> Luftfrachtersatzverkehr nennt man Gütertransporte, die als Luftverkehr gelten, jedoch – meist weil zum gefragten Zeitpunkt keine Luftverkehrskapazitäten vorhanden sind – auf der Strasse transportiert werden.

<sup>58</sup> Der Güterverkehr umfasst im Luftverkehr Frachtflüge, Belly Freight (Gütertransport im Frachtraum der Personenflugzeuge) und Gütertransporte mit Helikoptern. Es gilt zu bemerken, dass die Trennung von Güter- und Personenverkehr im Luftverkehr deutlich schwieriger ist als im Strassen- und Schienenbereich. Der Luftfrachtverkehr der Schweiz basiert weitgehend auf Belly Freight Transporten.

schiedliche Resultate zwischen Bottom-up-Berechnung mit Ausrichtung auf Grenzkosten und Top-down-Berechnungen mit Ausrichtung auf Durchschnittskosten ergeben sich erfahrungsgemäss bei der Berechnung der Unfall- und Lärmkosten sowie im Bereich Natur und Landschaft aufgrund der unterschiedlichen Kostenfunktionen.

Die Frage, ob Durchschnitts- oder Grenzkosten anzuwenden sind, ist im Rahmen der Schweizerischen Transportrechnung vertieft analysiert worden (vgl. INFRAS und EcoPlan 2005). Die Transportrechnung ist auf den Ansatz Durchschnittskosten ausgerichtet. Das vorhandene Mengengerüst in der Schweiz erlaubt auch solide Hochrechnungen. Weil die Ziele der Berechnung der externen Kosten vor allem die Transportrechnung sowie die Ermittlung von Kostendeckungsgraden sind, bilden die Gesamt- und Durchschnittskosten die sinnvolle Basis. Die erwähnten Ziele haben wie bereits erwähnt (Kap. 2.1.3) zur Folge, dass bei der Betrachtung der externen Kosten die Sichtweisen nach Verkehrsträger bzw. Verkehrsart im Vordergrund stehen. Für die Beurteilung der Effizienz von Verkehrsträgern oder Massnahmen wären allerdings eher Grenzkosten vorzuziehen. Der Bottom-up-Ansatz über Grenzkosten könnte beispielsweise für die Berechnungen von regionalen oder segmentspezifischen Aussagen (z.B. spezifische Unfallkosten im städtischen Raum in der Morgenspitze) eingesetzt werden.

Im Rahmen dieser Studie sind aber keine regionalen oder segmentspezifischen Ergebnisse geplant. Im Zentrum steht die Ermittlung der Gesamt- und Durchschnittskosten pro Verkehrsträger (bzw. pro Fahrzeugkategorie oder für die Verkehrsart Schwerverkehr).

### 2.6.2 Umgang mit Internalisierungsbeiträgen

Wie bereits im Kapitel 2.1 angemerkt, sind die Internalisierungsbeiträge relevant zur Berechnung der externen Kosten. Für die vorliegende Aktualisierung sind drei Ebenen von Internalisierungsbeiträgen zu unterscheiden.

1. Technische Massnahmen zur Senkung der Belastungen, die als Vermeidungs- oder Ersatzmassnahmen gelten (z.B. Lärm- und Naturschutz): Direkte Berücksichtigung, weil die verbleibenden Schäden unter Einbezug der technischen Massnahmen berechnet werden.
2. Monetäre Beiträge zur Internalisierung einzelner Kosten, um Anreize für die Senkung der Belastung zu geben und die entstandenen Schäden zu kompensieren oder deren Reparatur zu finanzieren (z.B. Unfallversicherung, emissionsabhängige Lärmgebühren, Klimarappen): Kostenspezifische Anrechnung.
3. Monetäre Abgaben pro Verkehrsart, die eindeutig als Beitrag zur Internalisierung externer Kosten zu identifizieren sind, in Abgrenzung zu den Abgaben zur Finanzierung der Infrastruktur (z.B. Teile der LSVA): Integrale Anrechnung.

Die folgende Abbildung zeigt die möglichen Internalisierungsbeiträge und den Umgang damit pro Kostenart.

Abbildung 2-10: Internalisierungsbeiträge und wie mit ihnen umgegangen wird

Kostenart	Internalisierungsbeiträge	Umgang
Luftverschmutzung	Differenzierung verschiedener Abgaben nach Emissionen (z.B. MFZ-Steuer)	Keine Berücksichtigung, da bereits in Infrastrukturrechnung angerechnet
	Emissionsabhängige Landegebühr (Luftverkehr)	Anrechnung innerhalb der Kostenart (s. Ebene 2)
Lärm	Lärmschutzwände, Schallschutzfenster	Direkte Berücksichtigung, weil nur Nettoschäden (unter Einbezug der Lärmschutzmassnahmen) erfasst (E. 1)
	Lärmgebühren (Luftverkehr)	Anrechnung innerhalb der Kostenart (E. 2)
Klima	Klimarappen	Anrechnung als Internalisierungsbeitrag innerhalb der Kostenart Klima (Ebene 2). Der Klimarappen ist zwar eine freiwillige Branchenlösung, aber für den Endkonsumenten obligatorisch und zudem als Zielvereinbarung mit dem Bund konzipiert <sup>59</sup> .
	Mineralölsteuer	Keine Berücksichtigung, da bereits in Infrastrukturrechnung angerechnet
	Differenzierung verschiedener Gebühren nach Emissionen (MFZ-Steuer, Importsteuer)	Keine Berücksichtigung, da bereits in Infrastrukturrechnung angerechnet
Natur und Landschaft	Ersatzmassnahmen und ökologischer Ausgleich	Falls möglich direkte Berücksichtigung, indem nur Nettoschäden (unter Einbezug der Naturschutzmassnahmen) erfasst werden. (E. 1)
Boden, Gewässer	spezifische Schutzmassnahmen	Direkte Berücksichtigung, weil nur Nettoschäden (unter Einbezug der Boden- und Gewässerschutzmassnahmen) erfasst (E. 1)
Unfallkosten	Verursachergerechte Versicherungsleistungen	Anrechnung innerhalb der Kostenart (siehe Ebene 2 oben)

<sup>59</sup> Kein Internalisierungsbeitrag sind dagegen andere freiwillige Lösungen auf der Ebene des einzelnen Individuums wie z.B. Klimakompensationsbeiträge (Myclimate u.ä.).

Kostenart	Internalisierungsbeiträge	Umgang
Schwerverkehr allgemein	Schwerverkehrsabgabe	Anrechnung des nicht Infrastrukturbedingten Anteils der LSVA (abzgl. der Staukosten) <sup>60</sup> : Darstellung der Brutto Unfall- und Umweltkosten Schwerverkehr und Gegenüberstellung der LSVA-Beiträge (E. 3)

Der Ausweis der Ergebnisse erfolgt somit nach folgendem Grundkonzept:

- Soziale Kosten: Das Ergebnis entspricht den gesamten volkswirtschaftlichen Kosten im Unfall- und Umweltbereich. Die Kosten werden unter Beachtung der technischen Massnahmen zur Senkung der Belastungen ermittelt.
- Externe Kosten: Zeigt auf, welcher Anteil der sozialen Kosten nicht vom Verursacher bezahlt wird. Spezifische Beiträge zur Internalisierung in einzelnen Kostenbereichen (z.B. bei Unfällen: Motorfahrzeughaftpflichtversicherung; bei Fluglärm: Lärmgebühren, usw.) werden von den sozialen Kosten in Abzug gebracht. Nicht in Abzug gebracht wird in einem ersten Schritt aber die LSVA. Die externen Kosten zeigen den politischen Handlungsbedarf auf, wenn das Ziel der Internalisierung verfolgt wird.
- Für den Schwerverkehr werden in einem zweiten Schritt die externen Kosten im Unfall- und Umweltbereich dem anrechenbaren Internalisierungsbeitrag aus der LSVA gegenübergestellt (vgl. hierzu Kapitel 16).

Bei der Interpretation der Internalisierungsbeiträge gilt es zu beachten, dass die Verwendung der Einnahmen für die Wirkung der Massnahme letztlich nicht von Belang ist. Es spielt also keine Rolle, ob die Gelder aus der Internalisierung für die Entschädigung der Betroffenen verwendet werden oder als Einnahmen in die Staatskasse fliessen und z.B. zur Senkung der Steuerlast verwendet werden. Bedeutsam ist allein, dass die Internalisierung der Kosten dazu führt, dass der Verkehrsteilnehmer Kosten, die er bei Dritten oder der Allgemeinheit verursacht, bei seiner Entscheidung miteinbezieht.

<sup>60</sup> Das heisst vom Gesamtertrag der LSVA werden die Infrastrukturkosten (d.h. der Infrastruktur bedingte Teil) und die Staukosten des Schwerverkehrs abgezählt. Der verbleibende Ertrag gilt als Internalisierungsbeitrag für die Unfall- und Umweltkosten des Schwerverkehrs.

## 3 Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung

### 3.1 Berechnungsgegenstand

Verkehr führt zu Emissionen von Luftschadstoffen. Die Schadstoffbelastung bewirkt bei der betroffenen Bevölkerung gemäss einer Vielzahl epidemiologischer Untersuchungen eine Beeinträchtigung des Gesundheitszustandes.

Bei der Bewertung der Gesundheitskosten werden zuerst die Emissionen des Verkehrs (bzw. der anderen Emittenten) mittels eines Schadstoffausbreitungsmodells in Immissionen am Wohnort umgerechnet, wobei Transformation und Verfrachtung berücksichtigt werden. Die Bevölkerungsexposition ergibt sich aus der Überlagerung der lokalisierten Schadstoffkonzentrationen (Immissionskataster) mit der Bevölkerungsdichte vor Ort (Bevölkerungskataster).

Diese Schadstoffbelastung kann sich in zusätzlichen Krankheitsfällen äussern und / oder die Lebenserwartung der betroffenen Personen schmälern. Mit dem Zusammenhang zwischen Schadstoffbelastung und der Auftretenshäufigkeit von Morbidität und Mortalität (sogenannte Belastungs-Wirkungs-Beziehung oder dose-response-function) lässt sich die Zahl der luftverschmutzungsbedingten Krankheits- und Todesfälle bestimmen.

Dieses Mengengerüst dient als Basis zur Ermittlung der Gesundheitskosten. Dabei werden die folgenden Kostenbestandteile berücksichtigt: Medizinische Behandlungskosten, Nettoproduktionsausfall, Wiederbesetzungskosten und immaterielle Kosten. Alle Kosten, die durch die Luftverschmutzung des Jahres 2010 entstehen, fliessen in die Berechnungen ein. Es werden also auch jene Kosten berücksichtigt, die als Folge der Luftbelastung im Jahr 2010 in späteren Jahren anfallen (z.B. Produktionsausfall bei Todesfällen, medizinische Nachbehandlungen usw.).<sup>61</sup>

### 3.2 Bewertungsmethodik und wichtigste neue Erkenntnisse

#### 3.2.1 Verkehrsbedingte Schadstoffbelastung der Bevölkerung

Beim Immissionsmodell des BAFU wurden einige Verbesserungen gegenüber den bisherigen Berechnungen vorgenommen.<sup>62</sup> Wichtig sind vor allem aktualisierte Datengrundlagen zum Verkehr (Verkehrsmodell UVEK etc., vgl. Kapitel 3.3.1a), veränderte Lokalisierung der Emissionen aus dem Zonenverkehr, Verbesserungen in der Ausbreitungsrechnung in Alpentälern und in der Region Basel sowie Modifikationen in der Ausbreitungsrechnung für den Schie-

---

<sup>61</sup> Es werden nicht nur die Gesundheitskosten des Verkehrs bestimmt, sondern auch die Kosten durch die gesamte Luftbelastung (inkl. Industrie, Haushalte, Landwirtschaft etc.).

<sup>62</sup> BAFU (2013), PM10 and PM2.5 ambient concentrations in Switzerland, Modelling results for 2005, 2010, 2020.

nenverkehr.<sup>63</sup> Ausserdem wurden auch die Emissionen des Strassenverkehrs<sup>64</sup> und des Off-road-Verkehrs<sup>65</sup> aktualisiert. Schliesslich gab es auch methodische Änderungen und Aktualisierungen bei der Berechnung der Bevölkerungsexposition.<sup>66</sup>

Aus den Schadstoffmodellrechnungen des Bundesamts für Umwelt BAFU ist die Schadstoffbelastung der Bevölkerung durch die vier Verkehrsträger bekannt, nicht jedoch nach Fahrzeugkategorien. Für die Berechnung der externen Kosten werden deshalb die Modellrechnungen entsprechend verfeinert. Erstens werden sie für die primären PM10-Immissionen (aus Auspuffemissionen und Aufwirbelung) für alle Fahrzeugkategorien separat durchgeführt. Zweitens werden die sekundären PM10-Immissionen (Feinstaubpartikel, die aus gasförmigen Vorläufersubstanzen, z.B. Stickoxiden entstehen) nach allen Fahrzeugkategorien aufgeschlüsselt. Wie das erreicht werden kann, soll am Beispiel Nitrat erläutert werden. Das partikelförmige Nitrat wird in der Atmosphäre aus gasförmigem Stickoxid gebildet. Das Paul-Scherrer Institut hat berechnet, dass im Durchschnitt 18% des in der Schweiz gemessenen Nitrats auf schweizerische NO<sub>x</sub>-Emissionen zurückgeführt werden kann und 82% auf ausländische NO<sub>x</sub>-Emissionen (siehe Fussnote 84). Die hausgemachten 18% des Nitrats werden nun auf alle Quellen von Stickoxid gemäss ihrem (schweizerischen) Emissionsanteil aufgeschlüsselt. Mit den 82% des importierten Nitrats wird gleich verfahren, wobei die ausländischen Emissionsanteile der Personenwagen, Lieferwagen etc. den Schweizer Anteilen gleichgesetzt werden. Das ist die operative Umsetzung des Verursacherprinzips bzw. der Annahme, dass Import und Export der Schadstoffe sich (ungefähr) kompensieren. Dasselbe Vorgehen wird auch für die übrigen sekundären PM10-Immissionen angewendet, nämlich für Sulfat, Ammonium und organisches Material, und wurde auch bereits bei den früheren Berechnungen der externen Kosten verwendet, siehe auch Schritt 1 in Abbildung 3-1.

Wenn die PM10-Immissionen für alle Fahrzeugkategorien einzeln als Karten in Hektarauflösung vorliegen, werden sie mit den Karten zu den Hektardaten der Einwohner überlagert (Schritt 2 in Abbildung 3-1.). Daraus wird für jede Fahrzeugkategorie die bevölkerungsgewichtete PM10-Konzentration berechnet. Dieser Schritt wird dreimal durchgeführt: Für alle Einwohner, für die 0–14-Jährigen und für die über 30-Jährigen (Schritt 3 in Abbildung 3-1.). Dieses Vorgehen ist methodisch gleich wie bei den früheren Berechnungen der externen Kosten.

---

<sup>63</sup> Zudem wurden Differenzierungen bei den Feuerungen nach Energieträgern vorgenommen, diese Verbesserung ist aber im Zusammenhang mit den Verkehrsemissionen bzw. -immissionen nicht relevant

<sup>64</sup> BAFU 2010a: Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1990–2035. Aktualisierung 2010. Bundesamt für Umwelt, Bern, Umwelt-Wissen Nr. 1021: 130 S.

<sup>65</sup> Infras (2008): Treibstoffverbrauch und Schadstoffemissionen des Offroad-Sektors. Studie für die Jahre 1980–2020. Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt. Umwelt-Wissen Nr. 0828. Bern.

<sup>66</sup> Schliesslich soll noch erwähnt werden, dass bei den früheren Berechnungen die Hektardaten der Einwohner auf den bisherigen Vollerhebungen (Volkszählungen 1990 und 2000) beruhten, während die neu verwendete Volkszählung 2010 nur noch auf Teilerhebungen basiert.



### 3.2.2 Epidemiologie

Die Abschätzung der Krankheitsfälle und der verlorenen Lebensjahre erfolgt grundsätzlich mit der gleichen Methodik wie in den früheren Berechnungen. Als Leitschadstoff wird weiterhin PM10 verwendet. PM10 umfasst die unterschiedlichsten Stoffe, von relativ grossen biogenen Partikeln, mechanisch generiertem Pneumabrieb und Aufwirbelungen bis zu ultrafeinen Russ- und Metallpartikeln. Die PM10 Massenkonzentration wird vor allem von den grossen Partikeln (> 100 nm) bestimmt. Die ultrafeinen Partikel, welche beispielsweise im Abgas von Verbrennungsmotoren anzahlmässig dominieren oder durch Kondensation aus Gasen gebildet werden, tragen relativ wenig zur Massenkonzentration bei. Für alle Feinstaubquellen wird dabei die gleiche Toxizität angewendet, da es zurzeit noch nicht möglich ist, eine Differenzierung der Gesundheitsauswirkungen für die verschiedenen Feinstaubquellen vorzunehmen<sup>67</sup> (Details siehe Kapitel 3.3.2a). Diese mittlere Expositions-Wirkungsbeziehung wird aus den neuesten verfügbaren Studien hergeleitet. Wie bisher werden Gesundheitsauswirkungen durch Ozon nicht berücksichtigt.

Eine Evaluation der wissenschaftlichen Literatur ergab, dass praktisch **die gleichen Gesundheitsauswirkungen** relevant sind **wie bisher**.<sup>68</sup> Die einzige Änderung ergab sich in Bezug auf Asthmaanfälle. Vor 10 Jahren wurde die Evidenz für einen Zusammenhang bei Kindern als nicht robust eingeschätzt. Mittlerweile ist dafür aber genügend Evidenz vorhanden. Eine Reihe von weiteren Gesundheitseffekten stehen im Verdacht durch Luftschadstoffe verursacht zu werden (z.B. Anzahl Hausarztkonsultationen, Geburtsgewicht, Atemwegssymptome und Tage mit Husten, Medikamentenverordnungen wegen Atemwegs- und Herz- / Kreislaufkrankungen, Selbstmedikation, Vermeidungsverhalten sowie akute und chronische physiologische Veränderungen (z.B. der Lungenfunktion)). Die Evidenz wird aber im Moment noch als zu wenig robust beurteilt und bisher wurden diese Effekte international auch noch nicht berücksichtigt. Im Projekt HEIMTSA wurden unter anderem auch Atemwegssymptome und Tage mit Husten abgeschätzt. Teilweise dürften diese Effekte auch im berücksichtigten Gesundheitsendpunkt „Tage mit eingeschränkter Aktivität“ enthalten sein. Damit werden folgende Gesundheitsauswirkungen quantifiziert:

- Langfristige Gesamtmortalität (≥ 30-Jährige)
- Säuglingssterblichkeit (0-1 Jahr)
- Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen (alle Altersklassen)
- Spitaleintritte wegen Herz-/Kreislaufkrankungen (alle Altersklassen)
- Chronische Bronchitis bei Erwachsenen (≥ 18-Jährige)
- Akute Bronchitis bei Kindern (5-17-Jährige)
- Asthmaanfälle bei Erwachsenen (≥ 18-Jährige)

---

<sup>67</sup> WHO (2012) Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP und WHO (2013) Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE. Summary of recommendations for questions D5 on identification of concentration-response functions for Cost-effectiveness analysis.

<sup>68</sup> Ecoplan, Infrass (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz. Aktualisierung für das Jahr 2005 mit Bandbreiten.

- Asthmaanfälle bei Kindern (5-17-Jahrig)
- Tage mit eingeschränkter Aktivität ( $\geq 15$ -Jahrig – dabei wird der Produktionsausfall durch Tage mit eingeschränkter Aktivität genauer abgeschätzt als bisher, indem eine eigene Belastungs-Wirkungsbeziehung für die Ausfalltage (Abwesenheit vom Arbeitsplatz) geschätzt wird).

Die Belastungs-Wirkungs-Beziehungen zu diesen Gesundheitseffekten werden umfassend an die neue epidemiologische Datenlage angepasst (siehe Kapitel 3.3.2.). Nicht mehr berücksichtigt werden bei der Berechnung der verlorenen Lebensjahre die zeitlich verzögerten Auswirkungen der Schadstoffbelastung, wie dies in der früheren Berechnung noch gemacht wurde (Ecoplan et al. 2004). Die dynamische Modellierung bedeutet einen grossen Aufwand und hätte dennoch nur geringe Auswirkungen auf das Resultat (siehe unten).

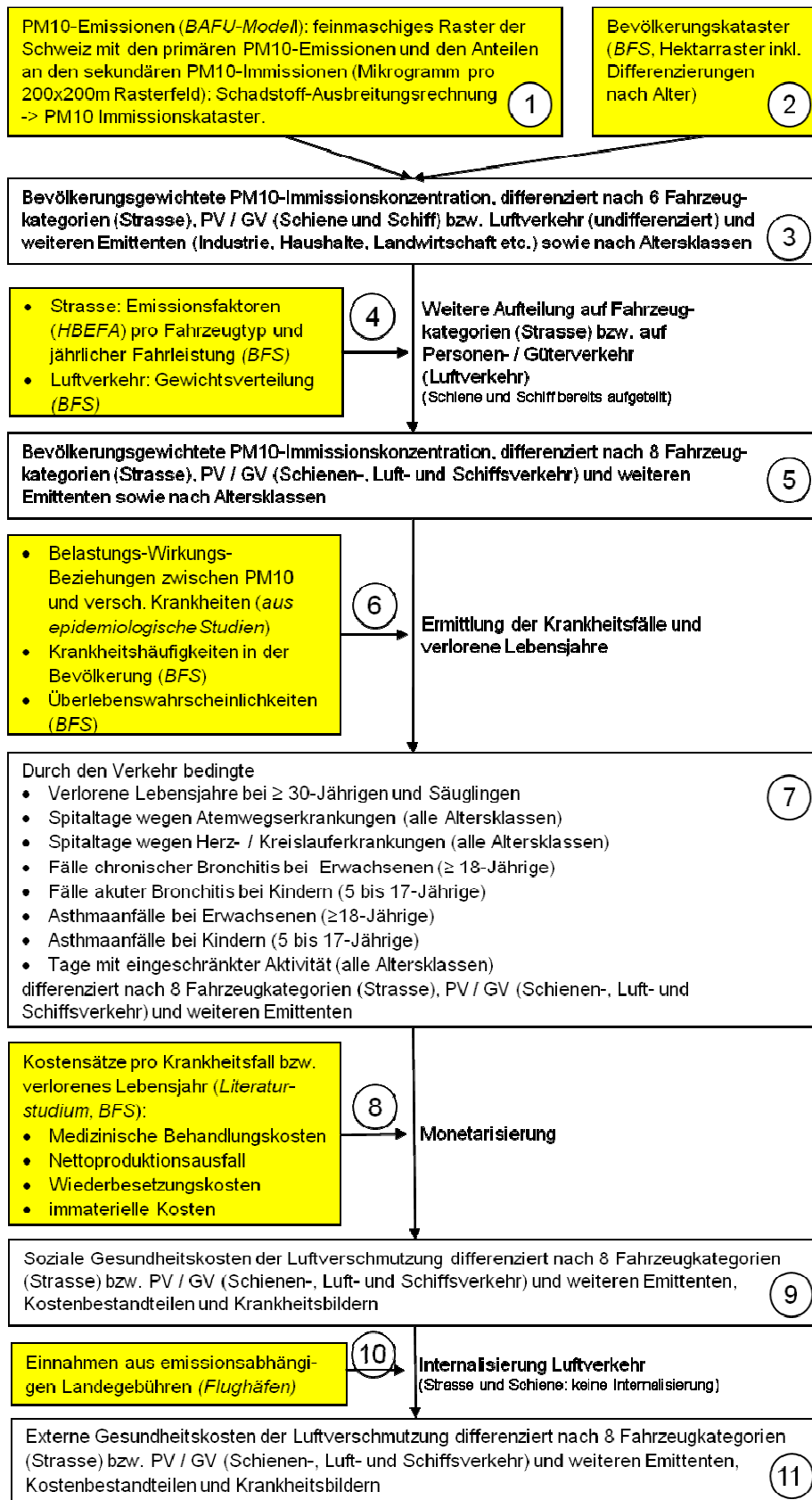
### 3.2.3 Wertgerüst

Beim Wertgerüst wird die bisherige Methodik im Wesentlichen weiterverwendet, es werden jedoch teilweise bessere Datengrundlagen benutzt. So können die Spalkosten und die Ausfalltage (Abwesenheit vom Arbeitsplatz) aufgrund neuer Datengrundlagen genauer ermittelt werden. Ansonsten werden die Kostensätze mit den aktuellen Datengrundlagen für 2010 aufdatiert. Bei der Bewertung der immateriellen Kosten der chronischen Bronchitis muss aufgrund neuer Studien der bisherige Kostensatz deutlich reduziert werden (vgl. unten).

### 3.2.4 Verwendete Bewertungsmethodik

In der folgenden Abbildung wird die verwendete Bewertungsmethode dargestellt: Mit Hilfe eines Schadstoff-Ausbreitungsmodells werden aus den Emissionen die Immissionen berechnet (Schritt 1) und mit der Bevölkerung überlagert (2), um die durchschnittliche Schadstoffbelastung der Bevölkerung zu ermitteln (3). Um eine vollständige Aufteilung der Schadstoffbelastung nach Fahrzeugkategorien im Strassenverkehr, sowie nach Personen- und Güterverkehr im Schienen- und Luftverkehr zu erhalten, werden weitere Inputdaten verwendet (4 und 5). Aus der Epidemiologie werden Belastung-Wirkungs-Beziehungen übernommen, die zeigen, wie stark gewisse Krankheiten mit der Schadstoffbelastung zunehmen (6). Daraus werden die luftverschmutzungsbedingten Krankheitsfälle und verlorenen Lebensjahre ermittelt (7). Schliesslich werden Kostensätze für die verschiedenen Krankheitsbilder hergeleitet (8) und damit die sozialen Gesundheitskosten der Luftbelastung ermittelt. Zum Schluss muss noch die Internalisierungsabgabe im Luftverkehr (emissionsabhängige Landegebühren) abgezogen werden, um die externen Kosten zu ermitteln (10 und 11) Die ausführliche Beschreibung der Methodik folgt in den Kapiteln 3.3 und 3.4.

Abbildung 3-1: Bewertungsmethodik für Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung



Legende: Inputdaten Zwischen- / Endergebnisse Erläuterung der Berechnung (Datenquellen kursiv)

### 3.3 Mengengerüst

#### 3.3.1 Verkehrsbedingte Schadstoffbelastung der Bevölkerung

##### a) Schadstoff-Ausbreitungsmodell

Ein wichtiger Input in die Berechnungen ist die Modellierung der Luftbelastung (Schritt 1 in Abbildung 3-1), d.h. das Erfassen der Emissionen, die Ausbreitung der Schadstoffe und schliesslich die Immission am Wohnort der Menschen. Dazu wird das Schadstoffausbreitungsmodell des BAFU verwendet: Die Luftschadstoffkonzentrationen (Immissionen) von PM10 werden seit 1998 in der Schweiz kontinuierlich gemessen und wurden 1999 durch das BAFU erstmals modelliert. Seither ist das Immissionsmodell schrittweise erweitert worden, die letzte Applikation wurde im Januar 2013 publiziert.<sup>69</sup> Im Vergleich zu den Expositionsdaten, die für die letzte Aktualisierung der externen Gesundheitskosten benutzt worden waren, konnten folgende, wichtige Verbesserungen umgesetzt werden:

- Aktualisierte Datengrundlagen zum Verkehr (vgl. unten)
- Die PM10-Emissionen aus sämtlichen schweizerischen Quellen (Inputdaten für das Feinstaubmodell) wurden zwischenzeitlich aktualisiert, insbesondere basieren die Verkehrsemissionen auf neuen Emissionsfaktoren des Strassen- und des Offroad-Verkehrs. Dadurch ergibt sich erstens eine Reduktion dank der höheren Fahrleistungsanteile moderner Motoren mit tieferen Emissionsfaktoren. Zweitens ergibt sich eine Reduktion bei den schweren Nutzfahrzeugen, weil die Emissionsfaktoren der älteren, noch nicht reglementierten Nutzfahrzeuge in den früheren Versionen des „Handbuchs Emissionsfaktoren“ höher eingeschätzt worden waren. Die Emissionsfaktoren für den Luftverkehr basieren auf einer Schätzmethode für Russ und Annahmen über die Bildung sogenannt flüchtiger Partikel. Ebenso konnten die Emissionen aus Holzfeuerungen mit neuen Emissionsfaktoren und einer besseren räumlichen Verteilung bestimmt werden. Für den Import von PM10-Emissionen stand erstmals ein europäischer Emissionskataster zur Verfügung.<sup>70</sup>
- Die Ausbreitungsrechnung zur Bestimmung der Immissionen aus den Emissionen wurde für ein neueres Jahr durchgeführt (meteorologische Daten des Jahres 2005) und verfeinert z.B. in der Region Basel, in den Alpentälern und in den Übergangsbereichen von Alpentälern ins Flachland.
- Die sekundären Partikel (Partikel, die aus gasförmigen Luftschadstoffen Stickstoffdioxid, Schwefeldioxid usw. in der Atmosphäre entstehen) wurden mit einer neuen Methode abgeschätzt. Nach deren Ergebnis machen sie rund die Hälfte der PM10-Immissionen aus.
- Das Immissionsmodell unterscheidet bei den sekundären Partikeln (Nitrat, Sulfat etc.) nicht nach einzelnen Quellengruppen. Die Zuteilung der sekundären Partikel auf die Quellengruppen Personenwagen, Lieferwagen etc., auf Schienen-, Schiffs-, Luftverkehr,

---

<sup>69</sup> BAFU (2013), PM10 and PM2.5 ambient concentrations in Switzerland, Modelling results for 2005, 2010, 2020.

<sup>70</sup> TNO (2010), A high resolution European emission data base.

Haushalte etc. wird im Nachhinein bewerkstelligt. Der Schlüssel dazu sind die Emissionsanteile der Vorläufersubstanzen (Details sind im Kap. 3.2.1 beschrieben). Für die Emissionsanteile 2010 standen aktualisierte Daten aus der Schweiz zur Verfügung.

- Für Kalibrierung und Validierung des PM10-Immissionsmodells standen wesentlich mehr Messdaten zur Verfügung als früher. Das PM10-Modell wurde mit den Messdaten 2005 kalibriert und mit den Messdaten 2010 validiert.
- Für die Bestimmung der Bevölkerungsexposition standen neu die Bevölkerungsdaten aus der Volkszählung 2010 in Hektarauflösung zur Verfügung (Schritt 2 in Abbildung 3-1).

Ausserdem gilt es, für die Entwicklung der letzten Jahre die folgenden beiden Umstände zu beachten, die für das Verständnis der Resultate wichtig sind: Der relative Anteil von Partikeln aus Abrieb und Aufwirbelung ist wegen der abnehmenden Emissionen von Partikeln aus den Abgasen deutlich gestiegen. Die Qualität der Emissionsfaktoren für Partikel aus Abrieb und Aufwirbelung ist aber deutlich schlechter, weil sie viel schwieriger zu messen sind.<sup>71</sup> Zu beachten ist dabei, dass die sekundären Partikel durch Importe aus dem Ausland dominiert werden, je nach Komponente stammen 40% bis 85% aus dem Ausland (umgekehrt erreichen auch viele Vorläufergase, die in der Schweiz emittiert werden, das Ausland und werden auf dem Weg dorthin in sekundäre Partikel umgewandelt).

Für die einzelnen Verkehrsträger wird das Modell wie folgt angewendet:

- **Strassenverkehr:** Für die Berechnung der PM10-Emissionen aus dem Strassenverkehr standen sowohl neue Aktivitätsdaten (Verkehrsparameter) als auch neue Emissionsfaktoren (Infras 2010<sup>72</sup>) zur Verfügung. Strassennetz und Verkehrszahlen im Personenverkehr basieren neu auf dem nationalen Personenverkehrsmodell (NPVM<sup>73</sup>). Die Verkehrszahlen, die im Emissionsmodell implementiert sind, basieren auf einem Modell-Run aus dem Jahr 2010 für den Zustand des Personenverkehrs 2005<sup>74</sup> und einer anschliessenden Hochrechnung auf das Jahr 2010. Im Güterverkehr sind die Datengrundlagen weniger aktuell.<sup>75</sup> Die Emissionsdaten liegen für alle Fahrzeugkategorien einzeln vor. Für die aktuelle Immissionsmodellierung (BAFU 2013) wurden die PM10-Emissionen des Strassenverkehrs im Immissionsmodell allerdings nicht nach einzelnen Fahrzeugkategorien separat

---

<sup>71</sup> Die epidemiologischen Effektschätzer sind unabhängig von der Entstehung und der Zusammensetzung der Partikel; Abgas-, Abrieb- und Aufwirbelungspartikel werden alle gleich gewichtet.

<sup>72</sup> Infras (2012a), Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs (HBEFA), Version 3.1.

<sup>73</sup> ARE (2006), Erstellung des nationalen Personenverkehrsmodells für den öffentlichen und privaten Verkehr – Modellbeschreibung und ARE (2010), Nationales Personenverkehrsmodell des UVEK, Basismodell 2005.

<sup>74</sup> Durchschnittlicher Werktagsverkehr je Link sowie eine Gemeindeliste mit Fahrleistungen des Zonenverkehrs (für kleinere Strassen, die im VM UVEK nicht enthalten sind).

<sup>75</sup> Das nationale Güterverkehrsmodell (NGVM) stand als Grundlage noch nicht zur Verfügung, aber das ARE lieferte Prozentzahlen für Lastwagen „aus Vorbelastung 2000 hochgerechnet für 2005“ (nicht Ergebnis aus NGVM). Basierend darauf wurden die Fahrleistungen generiert und dann auf die Summe der Fahrleistungen 2010 gemäss BFS skaliert.

Im Personen- und Güterverkehr wurde zudem die 2009 eröffnete Westumfahrung Zürich berücksichtigt, was zu grösseren Umlagerungen führte (Basis bildeten die kantonalen Planungsunterlagen zur Westumfahrung).

- implementiert, sondern nur als Summe (auch nicht wie bisher nach Personen- und Güterverkehr). Um die Bevölkerungsexposition nach Schwer- und Leichtverkehr separat bestimmen zu können, werden für die vorliegende Studie die Immissionsmodellierungen deshalb nochmals durchgeführt, und zwar differenziert für alle Fahrzeugkategorien.
- **Schieneverkehr:** Das Prinzip zur Berechnung der PM10-Immissionen aus dem Schienenverkehr wurde seit der letzten Aktualisierung der externen Gesundheitskosten nicht verändert, das heisst, dass die Emissionen wie bisher separat für Personen- und Güterverkehr auf dem Schienennetz lokalisiert und auch separat ausgebreitet werden, sodass auch die Immissionen getrennt für Personen- und Güterverkehr zur Verfügung stehen. Neu sind aber aktualisierte Emissionen des Schienenverkehrs für 2010 und insbesondere auch die Aufteilung der Emissionen zwischen Güter- und Personenverkehr (58% Güter-, 42% Personenverkehr<sup>76</sup>) sowie eine Änderung in der Ausbreitungsrechnung (die Ausstosshöhe wurde vergrössert<sup>77</sup>).<sup>78</sup>
  - **Luftverkehr:** Bisher werden die Kosten der Luftbelastung im Luftverkehr über einen Kostensatz pro Tonne PM10 berechnet, der aus dem Strassenverkehr abgeleitet wurde. Neu wird der Luftverkehr gleich modelliert wie der Strassen- und Schienenverkehr.<sup>79</sup> Auf diese Weise werden auch die Beiträge von sekundärem PM10 geschätzt, welche zum Beispiel durch Stickoxidemissionen aus dem Flugverkehr verursacht werden. Die Aufteilung auf den Personen- und Güterverkehr erfolgt über das Transportgewicht (vgl. unten).
  - **Schiffsverkehr:** Der Schiffsverkehr wurde bisher nicht in die Berechnung der externen Kosten einbezogen. Neu ist dies möglich, weil die PM10-Immissionen des Schiffsverkehrs für die PM10-Belastungskarten Schweiz separat modelliert und räumlich den grossen Seen und dem Rhein (Gütertransport zwischen Birsfelden und Basel) zugeordnet wurden. Daraus lassen sich die Bevölkerungsexpositionen berechnen. Eine Differenzierung nach Personen- und Güterverkehr wurde nicht im Schadstoff-Ausbreitungs-Modell vorgenom-

---

<sup>76</sup> Der Personenverkehr verursacht jedoch ca. doppelt so hohe Immissionen wie der Güterverkehr (vgl. Abbildung 3-4 unten), weil der Personenverkehr oft in dicht besiedeltem Gebiet erfolgt, der Güterverkehr hingegen weitgehend ausserhalb des Siedlungsgebiets stattfindet.

<sup>77</sup> Eine Messkampagne der Zentralschweiz in Steinen (SZ) zeigte, dass vorbeifahrende Züge einen Turbulenzschlauch generieren, der deutlich höher ist als Lokomotive und Wagen. Die Abriebpartikel werden dementsprechend im Mittel höher emittiert als früher angenommen.

<sup>78</sup> Die Grundlage für den Schienenverkehr bilden zwei Liniennetze der SBB mit Belastungen 2000 je Link (als Achs-km) für Personen- und für Güterverkehr. Die PM10-Emissionen sind als Total Personenverkehr und als Total Güterverkehr bekannt. Diese beiden Totale wurden separat für Personen- und Güterverkehr proportional zu den jeweiligen Achs-km auf die Links verteilt. Für 2010 wurden die Zahlen 2000 auf 2010 entsprechend dem Verlauf der Emissionen gemäss UNECE-Submission des BAFU (Luftschadstoffinventar der Schweiz) hochgerechnet. Ausserdem wurde die räumliche Verlagerung der Personenzüge im Raum Rothrist berücksichtigt (Eröffnung Bahn 2000-Strecke Mattstetten – Rothrist). Es ist zudem zu erwähnen, dass die Emissionen aus (Brems-, Rad-, Schienen-, Fahrdratbetrieb) im benachbarten Ausland nur in Frankreich ermittelt werden und deshalb im Modell unvollständig abgebildet werden.

<sup>79</sup> Im Schadstoffausbreitungsmodell liegen allerdings nur Datengrundlagen für die Flughäfen Zürich und Genf vor. Der Flughafen Basel und die Regionalflughäfen fehlen hingegen.

men, sondern mit den Emissionen aus dem Bericht zum Schiffsverkehr<sup>80</sup> aufgeteilt (die Gesamtemissionen stimmen praktisch überein).

Die Immissionsanteile der verschiedenen Verkehrsträger bei den sekundären Partikeln (Nitrat, Sulfat etc.) sind nicht eigens modelliert. Sie können für alle Verkehrsträger aus den Schweizer Emissionsanteilen der Vorläufersubstanzen (Stickoxide, Schwefeloxide etc.) abgeschätzt werden (siehe Kap. 3.2.1) – im Schienen- und Luftverkehr wird dies erstmals gemacht. Auf eine Aufteilung der Emissionen nach exhaust (Auspuff) und non-exhaust-(Abrieb) Emissionen wird verzichtet, da keine unterschiedliche Toxizität unterstellt wird (allfällige Unterschiede können (noch) nicht quantifiziert werden).

Alle Auswertungen erfolgen wie bisher differenziert nach dem Alter, d.h. die Berechnungen erfolgen für die gesamte Bevölkerung, für die 0–14-Jährigen und die über 30-Jährigen. Eine weitergehende Differenzierung nach dem Alter wird auftragsgemäss nicht weiterverfolgt.

Es wird angenommen, dass der **Import** und der **Export** von Luftschadstoffen etwa gleich gross sind. Darüber hinaus wird angenommen, dass diese Annahme sogar für die Verkehrsträger einzeln zutrifft.<sup>81</sup> Die Annahme zur Import-Export-Bilanz lässt sich durch eine frühere Analyse stützen, nach der die Annahme einer ausgeglichenen Bilanz zumindest für die sekundären anorganischen Partikel als genügend gut erfüllt bezeichnet werden kann: Danach betrug der Import an partikulärem Nitrat, Sulfat und Ammonium 20'300 t und der Export 20'000 t pro Jahr.<sup>82</sup> Neuere Modellresultate oder auch die Berücksichtigung der primären Partikel liegen nicht vor, wie eine Anfrage bei EMEP ergeben hat.<sup>83</sup> Erwähnenswert ist ein neues Resultat für das Jahr 2010, wonach der Anteil der importierten Immissionen sekundärer Partikel ca. 7.3 µg/m<sup>3</sup> beträgt (PSI 2011<sup>84</sup>), der Anteil der importierten Immissionen primärer Partikel lediglich 2.4 µg/m<sup>3</sup> <sup>85</sup> (beide Zahlen entsprechen dem bevölkerungsgewichteten Mittelwert). Dies zeigt, dass die Anteile der sekundären Partikel für die Import-Export-Bilanz entscheidend sind, also jener Beitrag, für den die frühere Analyse die genügend gute Ausgeglichenheit der Bilanz nachgewiesen hat.

Die Gleichsetzung von Importen und Exporten bedeutet, dass wir nicht die Folgekosten der auf Schweizer Territorium verursachten Verkehrsemissionen im In- und Ausland berechnen,

---

<sup>80</sup> IRENE und Ecosys (2013), L'integration de la navigation dans le compte des transports.

<sup>81</sup> Ohne diese Annahme würde das Verursacherprinzip für solche Verkehrsträger verletzt, deren Emissionsanteile im Ausland von den Schweizer Anteilen abweichen. Der italienische Güterschiffsverkehr ist ein solches Beispiel: Aufgrund der speziell langen Küstenlinie Italiens sind seine Güterschiffsemissionen ausserordentlich hoch. Würden die Immissionsbeiträge anhand der italienischen Emissionsanteile für Güterschiffe berücksichtigt, würden die Kosten des Schiffsverkehrs deutlich überschätzt.

<sup>82</sup> Transboundary Acidification and Eutrophication in Europe, EMEP Summary Report1/00, July 2000, CCC & MSC-W, ISSN 0332-9879.

<sup>83</sup> Mail von Michael Gauss (EMEP) vom 12.03.2013.

<sup>84</sup> Ergebnis aus einem europaweiten Immissionsmodell des Paul Scherrer Instituts (Datenlieferung D. Oberholz via E-Mail an J. Heldstab INFRAS vom 22.06.2011).

<sup>85</sup> Ergebnis aus dem schweizerischen Partikelmodell, das mithilfe einer europaweiten Ausbreitungsrechnung primärer Partikel berechnet wurde (BAFU 2013, S. 83 und 42, siehe Fussnote 62).

sondern die Folgekosten der aus dem Verkehr stammenden Immissionen auf die Schweizer Bevölkerung (wobei ein Teil der Verkehrsimmission auch aus Verkehrsemissionen im Ausland stammen). Wie in Kapitel 2.3.2 erläutert, kann also das Territorialprinzip im Bereich der Luftschadstoffe nicht ganz eingehalten werden.

#### **b) Aufteilung auf die Fahrzeugkategorien im Strassen- und Luftverkehr**

Die Aufteilung nach den Fahrzeugkategorien Personenwagen, Gesellschaftswagen, Motorzweiräder (Summe Motorräder und Mofas), Bus, Lieferwagen und schwere Nutzfahrzeuge (Summe Lastwagen LW und Sattelschlepper SS) wurde bereits auf den Stufen Emissionen und Immissionen umgesetzt. Für die weiteren Differenzierungen wurde folgende Annahmen getroffen (Schritt 4 in Abbildung 3-1):

- Schwere Nutzfahrzeuge (SNF): Die Emissionen liegen im Emissionsmodell Schweiz<sup>86</sup> für Sattelschlepper und Lastwagen separat vor, ihre Anteile betragen 36% (SS) und 64% (LW). Diese Aufteilung wird auch für die Aufteilung der Immissionen selber benutzt.
- Motorzweiräder: Die Emissionen liegen im Emissionsmodell Schweiz (BAFU 2010a) für Motorräder und Mofas separat vor, ihre Anteile betragen 93% (MR) und 7% (Mofas). Diese Aufteilung wird auch für die Aufteilung der Immissionen selber benutzt.<sup>87</sup>

Für die weiteren Fahrzeugkategorien Trolleybusse und Tram sind keine Emissionsdaten vorhanden, so dass keine Ergebnisse für diese beiden Fahrzeugkategorien berechnet werden können. Im Langsamverkehr werden keine Schadstoffe emittiert.

Für die Aufteilung der Ergebnisse nach dem Personen- und Güterverkehr im Luftverkehr wird wie folgt vorgegangen (Schritt 4 in Abbildung 3-1):<sup>88</sup> Im Linien- und Charterverkehr erfolgt die Aufteilung nach dem transportierten Gewicht, da in erster Näherung der Treibstoffverbrauch vor allem vom Gewicht abhängt (90.8% Personenverkehr, 9.2% Güterverkehr). Bei den Helikoptern basiert die Aufteilung auf den Helikopter-Flugstunden (56% Personenverkehr, 44% Güterverkehr). Für die General Aviation wird angenommen, dass die gesamten Kosten dem Personenverkehr anzulasten sind, da der Güterverkehr in diesem Bereich eine marginale Rolle spielt.

Um diese Aufteilung vornehmen zu können, müssen zuerst die Immissionen nach Linien- und Charterverkehr, Helikopter und General Aviation aufgeteilt werden. Dies geschieht prinzipiell

---

<sup>86</sup> BAFU 2010a: Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1990–2035. Aktualisierung 2010. Bundesamt für Umwelt, Bern, Umwelt-Wissen Nr. 1021.

<sup>87</sup> Man beachte, dass für Motorzweiräder generell keine belastbaren Auspuffemissionsfaktoren vorliegen und deshalb die Auspuffemissionen gleich Null sind; immerhin werden die Abriebemissionen berechnet. Die genannten Anteile, 93% und 7% sind entsprechend die Anteile an den PM10-Abriebemissionen aller Motorzweiräder.

<sup>88</sup> Für Details siehe Infras, Ecoplan (2012), Integration des Luftverkehrs in die Transportrechnung, S. 98-99 und 120.



mit der Aufteilung der Emissionen.<sup>89</sup> Aus der Immissions-Modellrechnung folgt, dass ca. 60% der Immissionen auf die Emissionen von primärem PM10 (Schweiz und Ausland) zurückzuführen sind. 40% sind auf sekundäres PM10 (In- und Ausland) zurückzuführen. Nur die primären PM10-Immissionen werden gemäss den PM10-Emissionen verteilt. Die sekundären Immissionen werden hingegen mit der Verteilung der NO<sub>x</sub>-Emissionen aufgeteilt.<sup>90</sup>

### c) Eingabedaten und Annahmen zur Bestimmung der Schadstoffbelastung nach Fahrzeugkategorien

Die PM10-Emissionen der Schweiz im Jahr 2010, wie sie für das PM10-Modell benutzt wurden (BAFU 2013), sind in der Abbildung 3-2 angegeben. Weiter werden in derselben Abbildung auch die Anteile der ausländischen PM10-Emissionen ausgewiesen sowie die in- und ausländischen Anteile der Vorläufersubstanzen (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, NMVOC), die zur Bildung von sekundärem PM10 (Nitrat, Sulfat, Ammonium, SOA<sup>91</sup>) führen. Sie sind hergeleitet aus den Emissionsanteilen NO<sub>x</sub> Inland und Ausland etc. Folgende Regeln werden für die Bestimmung der Immissionsanteile angewendet:

Abbildung 3-2: Aufteilung der Immissionen nach Fahrzeugkategorien und Sektoren

Sektor	Spezifikation	PM10	Nitrat (NO <sub>x</sub> )	Sulfat (SO <sub>2</sub> )	Ammonium (NH <sub>3</sub> )	SOA (NMVOC)
		primär	sekundär	sekundär	sekundär	sekundär
Strassenverkehr	PW	13.69%	25.84%	0.51%	4.31%	16.24%
	Li	1.81%	4.99%	0.04%	0.10%	0.76%
	SNF (LW+SS)	2.79%	15.39%	0.09%	0.01%	0.45%
	GW	0.18%	1.31%	0.01%	0.00%	0.04%
	Bus	0.48%	2.71%	0.02%	0.00%	0.08%
	MZR (MR+Mofa)	0.11%	0.00%	0.00%	0.00%	0.32%
Schienenverkehr	P	3.27%	0.36%	0.00%	0.00%	0.04%
	G	2.90%	0.32%	0.00%	0.00%	0.03%
Schiffsverkehr	P+G	0.20%	1.49%	0.03%	0.00%	0.50%
Flugverkehr	P+G	0.52%	2.13%	1.17%	0.00%	0.29%
Haushalte		13.25%	13.99%	39.37%	0.39%	7.82%
Industrie		33.47%	20.78%	58.34%	2.54%	65.65%
Land-/Forstwirtschaft		27.31%	10.69%	0.43%	92.65%	7.78%
Summe		100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

Für PM10 liegen aus der Studie BAFU (2013) bereits einzelne Anteile vor, die Aufteilung nach Fahrzeugkategorien erfolgte durch zusätzliche Immissionsmodellierung. Für die sekundären PM10 (Nitrat, Sulfat etc.) erfolgte die Aufteilung nach den Emissionen der Vorläufersubstanzen (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, NMVOC) in der Schweiz (BAFU 2011<sup>92</sup>).

<sup>89</sup> Die PM10-Emissionen des Luftverkehrs wurden nach Kategorien abgeschätzt in Infrac, Ecoplan (2012, Integration des Luftverkehrs in die Transportrechnung, S. 112-116).

<sup>90</sup> Auch die NO<sub>x</sub>-Emissionen des Luftverkehrs wurden erhoben in Infrac, Ecoplan (2012, Integration des Luftverkehrs in die Transportrechnung, S. 112-116). Für andere Vorläufersubstanzen von sekundärem PM10 liegen keine Aufteilungen vor, so dass für alle Vorläufersubstanzen von sekundärem PM10 die Verteilung von NO<sub>x</sub> verwendet werden muss.

<sup>91</sup> SOA: Secondary organic aerosols. Diese werden aus den gasförmigen flüchtigen, organischen Kohlenwasserstoffen (NMVOC) gebildet.

<sup>92</sup> BAFU (2011): Switzerland's Informative Inventory Report 2011 (IIR).

- **PM10-Immissionen Inland:** Die Aufteilung nach Sektoren folgt aus der Immissionsmodellierung Schweiz (BAFU 2013), die verfeinerte Aufteilung nach Fahrzeugkategorien Personenwagen, Lieferwagen etc. wird eigens für diese Studie mit dem Immissionsmodell ausgeführt.
- **PM10-Immissionen Ausland:** Für die primären PM10-Immissionen aus dem Ausland verwenden wir die Emissionsgrundlagen aus TNO (2010). Basierend darauf wird eine Ausbreitungsrechnung durchgeführt, um die dadurch verursachten Immissionen in der Schweiz zu bestimmen. Für die Aufteilung auf die Fahrzeugkategorien / Verkehrsträger verwenden wir – gemäss dem Verursacherprinzip bzw. der Annahme, dass Import und Export für alle Fahrzeugkategorien / Verkehrsträger gleich hoch sind – die PM10-Emissionen in der Schweiz.
- **Nitrat, Sulfat, Ammonium, SOA (Inland und Ausland):** Aus der Studie BAFU (2013) stand jeweils ein Kataster für Nitrat, für Sulfat, für Ammonium und für SOA (sekundäre, organische Aerosole) zur Verfügung sowie der zugehörige Anteil „hausgemacht“ (Schweiz) respektive „importiert“ (Ausland): Die hausgemachten Anteile betragen: Nitrat 17.7%, Sulfat 15.3%, Ammonium 59.7% und SOA 51.9%. Die weitere Aufteilung nach den Verkehrsträgern und Sektoren erfolgte anhand der Emissionsbilanzen 2010: Inlandbeiträge nach der Emissionsbilanz Schweiz, Auslandbeiträge unter der Annahme, dass deren Immissionsanteile gleich sind wie die schweizerischen Emissionsanteile (siehe Kapitel 3.2.1).

Dies soll am Beispiel der Anteile der Personenwagen am Nitrat genauer erläutert werden (vgl. auch Abbildung 3-3): Das partikuläre Nitrat entsteht in der Atmosphäre aus gasförmigen Stickoxiden. Gemäss Modellrechnungen des PSI<sup>93</sup> stammen 18% des Nitrats aus NO<sub>x</sub>-Emissionen der Schweiz und 82% aus NO<sub>x</sub>-Emissionen aus dem Ausland. Diese beiden Anteile müssen noch nach Fahrzeugkategorien aufgeteilt werden. In der Schweiz betrug der Anteil der Personenwagen 25.8% der nationalen NO<sub>x</sub>-Emissionen, sodass 4.6% ( $25.8\% \cdot 18\% = 4.6\%$ ) der Nitratimmissionen den in der Schweiz verkehrenden Personenwagen angerechnet werden (hausgemachter Anteil). Dazu kommt noch der Anteil aus dem importierten Nitrat: Auch da beträgt gemäss Annahme (Import und Export kompensieren sich) der Anteil der Personenwagen 25.8% des Totals der NO<sub>x</sub>-Importe, damit berechnet sich deren Anteil als  $25.8\% \cdot 82\% = 21.2\%$  des gesamten Nitratimports. Damit werden vom Nitrat 4.6% (hausgemacht) plus 21.2% (importiert) gleich 25.8% der Kategorie Personenwagen zugeordnet.

Dieses Verfahren wird für alle Fahrzeugkategorien (Personenwagen, Lieferwagen etc.) und für alle Komponenten der sekundären PM10-Immissionen (Nitrat, Sulfat, Ammonium, organisches Material) angewendet.

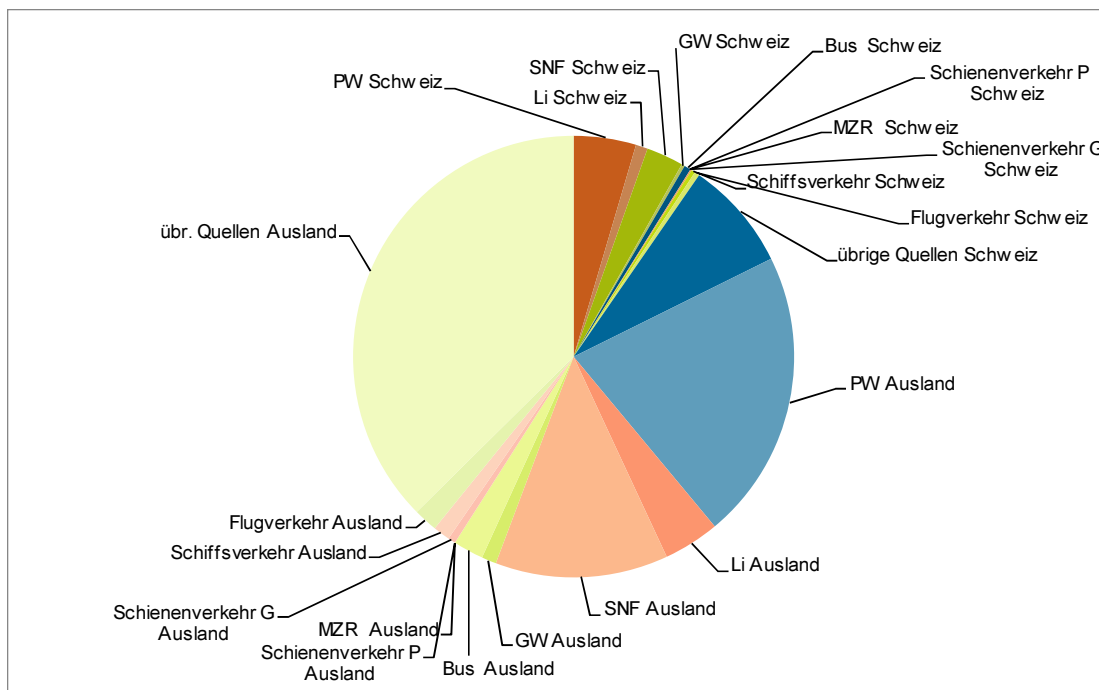
- **Spezialfall Sütessin:** Im schweizerischen Partikelmodell (BAFU 2013) wurde im Sütessin ein adhoc-Zuschlag für die PM10-Immissionen addiert, um das gemessene

---

<sup>93</sup> Ergebnis aus einem europaweiten Immissionsmodell des Paul Scherrer Instituts (Datenlieferung D. Oberholz via E-Mail an J. Heldstab vom 22.06.2011).

Immissionsniveau möglichst nahe zu erreichen. Grund für diese lokale Erhöhung der PM10-Immissionen sind Schadstoff-Importe aus der Po-Ebene (Italien). Dieser Zuschlag wurde ebenfalls nach den Fahrzeugkategorien und Sektoren aufgeschlüsselt, indem die Anteile aus der Emissionsbilanz 2010 Schweiz verwendet wurden.

**Abbildung 3-3: Illustration zur Aufteilung der Nitratimmissionen auf Fahrzeugkategorien und übrige Quellen Schweiz und Ausland**



PW = Personenwagen, GW = Gesellschaftswagen, MZR = Motorisierte Zweiräder (Motorrad und Mofa), Li = Lieferwagen, SNF = Schwere Nutzfahrzeuge (Lastwagen und Sattelschlepper).

#### d) Hektarraster der Bevölkerung

Aus den Immissionskarten für Personenwagen, Lieferwagen etc. werden die gesuchten, bevölkerungsgewichteten PM10-Immissionskonzentrationen berechnet, indem sie mit dem Hektarraster der Einwohner überlagert werden. Für jede Hektare kann auf diese Weise der bevölkerungsgewichtete Mittelwert der PM10-Konzentration berechnet werden. Für die vorliegende Untersuchung konnte der Hektarraster auf der Basis der Volkszählung 2010 benutzt werden (BFS 2013<sup>94</sup>).

<sup>94</sup> BFS (2013a) Statistik der Bevölkerung und der Haushalte (STATPOP) ab 2010. Ergebnisse der neuen Volkszählung. [http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/dienstleistungen/geostat/datenbeschreibung/volks-\\_\\_gebäude-0.Document.162799.pdf](http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/dienstleistungen/geostat/datenbeschreibung/volks-__gebäude-0.Document.162799.pdf)  
Bei der Abgabe von Rohdaten auf Hektarbasis bestehen aus Datenschutzgründen für die STATPOP-Daten Einschränkungen (Absolute Werte von 1 bis 3 Einwohner sind mit dem Wert «3» ausgewiesen). Für dieses Projekt konnten nicht klassierte Daten nach Abschluss eines Datenschutzvertrages verwendet werden.

### e) Ergebnis: Bevölkerungsgewichtete PM10-Immissionen 2010

Die folgende Abbildung 3-4 zeigt die Ergebnisse der Modellrechnungen. Die bevölkerungsgewichtete PM10-Konzentration beträgt 19.442  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (alle Einwohner), für die Gruppe der 0–14-Jährigen ist sie mit 19.375  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  um 0.3% tiefer und für die Gruppe der Einwohner ab 30 Jahren mit 19.456  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  um 0.1% höher.

**Abbildung 3-4: Bevölkerungsgewichtete PM10-Immissionskonzentrationen 2010 je Fahrzeugkategorie und Sektor**

Sektor	Spezifikation	Mittlere, bevölkerungsgewichtete PM10-Konzentrationen 2010		
		Alle Einwohner ug/m <sup>3</sup>	0-14 Jahre ug/m <sup>3</sup>	30 Jahre und älter ug/m <sup>3</sup>
Strassenverkehr	PW	2.985	2.951	2.991
	Li	0.378	0.375	0.379
	SNF (LW+SS)	0.774	0.767	0.775
	GW	0.066	0.066	0.066
	Bus	0.176	0.172	0.176
	MR (inkl Mofa)	0.026	0.026	0.026
Schienenverkehr	PV	0.339	0.330	0.340
	GV	0.202	0.199	0.203
Schiffsverkehr	PV	0.050	0.050	0.050
	GV	0.037	0.036	0.037
Flugverkehr	total	0.120	0.120	0.119
Haushalte	total	3.353	3.334	3.357
Industrie	total	6.294	6.287	6.297
Land-/Forstwirtschaft	total	4.144	4.163	4.140
natürliche Immissionen	total	0.500	0.500	0.500
<b>Summe</b>		<b>19.442</b>	<b>19.375</b>	<b>19.456</b>

Gemäss Schadstoffausbreitungsmodell beträgt der Anteil des Strassenverkehrs 22.7% an der Gesamtbelastung (alle Einwohner), der Anteil des Schienenverkehrs beläuft sich auf 2.8%, auf den Luftverkehr entfallen 0.6% und auf den Schiffsverkehr 0.4%. Die übrige Belastung von 70.9 % wird durch die Quellen Haushalte, Industrie, Land- und Forstwirtschaft verursacht und 2.6% sind natürlichen Ursprungs.

### 3.3.2 Luftverschmutzungsbedingte Krankheits- und Todesfälle

#### a) Leitschadstoff

In den letzten Jahren wurden international vor allem durch die EU (CAFE, HEIMTSA)<sup>95</sup> und die WHO (HRAPIE, REVIHAAP)<sup>96</sup> mehrere Studien und Initiativen im Bereich Gesundheitsri-

<sup>95</sup> Briggs (2008). A framework for integrated environmental health impact assessment of systemic risks.

sikoabschätzung der Luftbelastung durchgeführt. Eine zentrale Bedeutung kommt dabei der Frage zu, welche Rolle die verschiedenen Schadstoffe und Feinstaubfraktionen für die Quantifizierung der Gesundheitseffekte spielen (siehe z.B. A2 in REVIHAAP). Bisherige Gesundheitsrisikoabschätzungen beruhen auf Feinstaub als Leitschadstoff, entweder PM<sub>2.5</sub> oder PM<sub>10</sub> (Staubpartikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von weniger als 2.5 bzw. 10 Mikrometer). Es besteht allgemeiner Konsens dass „mehrere Komponenten zu den Gesundheitseffekten von PM<sub>2.5</sub> und PM<sub>10</sub> beitragen und es nicht genügend Evidenz gibt, um in Bezug auf spezifische Gesundheitseffekte zwischen verschiedenen Bestandteilen (oder Quellen) zu differenzieren“ (S. 19, REVIHAAP). Es wird auch explizit gewarnt, dass man „in Gesundheitsrisikoabschätzungen extrem vorsichtig sein sollte, bestimmte Gesundheitseffekte spezifischen Feinstaubkomponenten zuzuschreiben“ (REVIHAAP, S. 29). Deshalb werden alle Arten von Feinstaub-Emissionen (z.B. Auspuff, Pneuabrieb, Bremsabrieb Schiene) mit der **gleichen Toxizität** berücksichtigt, obwohl es durchaus auch Hinweise auf Unterschiede gibt. Die Datenlage ist aber für eine Differenzierung noch zu gering, insbesondere für Langzeitwirkungen, und ein solches Vorgehen wird international explizit nicht empfohlen, weil die Datengrundlagen nicht vorhanden sind.

Dieseleruss wurde von der WHO als krebserregend eingestuft, macht jedoch bei Messungen von PM<sub>2.5</sub> und PM<sub>10</sub> nur einen geringen Anteil gegenüber anderen Komponenten aus.<sup>97</sup> Vorgeschlagen wurden deshalb eine Erweiterung von Gesundheitsrisikoabschätzungen mit den Leitschadstoffen NO<sub>2</sub> und EC (elementarer Kohlenstoff, Hauptbestandteil von Russ), da diese vorwiegend vom Verkehr emittiert werden und eine bessere Korrelation mit Verkehrsnähe aufweisen als PM<sub>10</sub>.<sup>98</sup> Eine systematische Literaturübersicht zeigte, dass in Kurzzeitstudien die Effekte von EC auf Mortalität und Spitalweisungen robuster als für PM<sub>10</sub> oder PM<sub>2.5</sub> waren. Das heisst, in Multi-Schadstoffmodellen wo gleichzeitig PM<sub>2.5</sub> und EC (oder „BlackCarbon“) verwendet wurden, reduzierte sich der PM<sub>2.5</sub> Schätzer häufig, während der EC Schätzer eher konstant blieb. Das deutet einerseits darauf hin, dass EC tatsächlich toxischer wirkt als das heterogene Feinstaubgemisch. Andererseits zeigt es, dass EC Effektschätzer nicht unabhängig von PM<sub>2.5</sub> sind und daher bei der Anwendung von mehreren Leitschadstoffen in Gesundheitsrisikoabschätzungen Doppelzählungen nur vermieden werden können, wenn die entsprechenden Effektschätzer von solchen Multi-Schadstoffmodellen abgeleitet werden. Für Langzeiteffekte auf die Mortalität gibt es aber nur zwei Studien aus den USA, die beide Fraktionen gleichzeitig untersucht haben. Das heisst, die Datenbasis für die Herleitung der Expositions-Wirkungs-Beziehung würde deutlich reduziert, wenn man sich nur auf Multischadstoffkohorten abstützen würde. Insbesondere die grossen europäischen Studien (ESCAPE), die teilweise auf Schweizer Daten beruhen und für die Schweiz als be-

---

<sup>96</sup> WHO (2012) Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP und WHO (2013) Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE. Summary of recommendations for questions D5 on identification of concentration-response functions for Cost-effectiveness analysis.

<sup>97</sup> IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. VOL 105: Diesel and gasoline engine exhaust and some Nitroarenes, Lyon, 2012.

<sup>98</sup> Janssen et al. (2011), Black carbon as an additional indicator of the adverse health effects of airborne particles compared with PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>.

sonders aussagekräftig erachtet werden, würden damit nicht berücksichtigt werden. Für NO<sub>2</sub> gelten die gleichen Überlegungen. Zudem ist im Kontext von Gesundheitsrisikoabschätzungen von Verkehrsträgern zu beachten, dass gewisse Massnahmen zur Partikelreduktion zu einer Zunahme von direkt ausgestossenem NO<sub>2</sub> führen.<sup>99</sup> Aus diesen Gründen wird zurzeit in Gesundheitsrisikoabschätzungen nur ein Leitschadstoff ausgewählt, da sonst Doppelzählungen bei Schadstoffen drohen, deren Verteilung korreliert auftreten. Entsprechend wird auch in diesem Projekt auf einen zusätzlichen Verkehrsindikatorschadstoff (NO<sub>2</sub> oder EC) verzichtet.

Kürzlich hat die WHO empfohlen, für die Abschätzung der Langzeitmortalität in Kosteneffizienzschatzungen eine Expositions-Wirkungs-Beziehung für PM<sub>2.5</sub> anstelle von PM<sub>10</sub> zu verwenden (HRAPIE). Damit stellt sich die Frage, ob im Schweizer Kontext PM<sub>2.5</sub>, statt wie bisher PM<sub>10</sub>, als neuer Leitschadstoff für die Luftbelastung verwendet werden soll. In Bezug auf die Abschätzung der Effekte der gesamten Luftbelastung hat die Wahl der Feinstaubfraktion PM<sub>2.5</sub> als Leitschadstoff im Vergleich zu PM<sub>10</sub> keine grossen Konsequenzen, da PM<sub>2.5</sub> und PM<sub>10</sub> hoch korreliert sind und in der Schweiz PM<sub>2.5</sub> 73% der PM<sub>10</sub>-Konzentration ausmacht. Die von der WHO vorgeschlagene Expositions-Wirkungs-Beziehung beruht auf einer Meta-Analyse von Kohortenstudien, die entweder PM<sub>2.5</sub> oder PM<sub>10</sub> gemessen haben.<sup>100</sup> Letztere wurden mit einem Faktor für PM<sub>2.5</sub> reskaliert wie dies auch – mit umgekehrten Vorzeichen – in der früheren Schweizer Gesundheitsrisikoabschätzung für Kohortenstudien, die auf PM<sub>2.5</sub> basierten, gemacht wurde (Ecoplan et al. 2004). Die Wahl der Feinstaubfraktion PM<sub>2.5</sub> gegenüber PM<sub>10</sub> hat eine gewisse Relevanz für die Abschätzung nach Verkehrsträger, weil wie bereits ausgeführt die primären Partikel aus Verbrennungsmotoren und sekundär generierte Nitratpartikel zur Ultrafeinstaubfraktion gehören. Emittiert ein Verkehrsträger hingegen vorwiegend im Bereich zwischen PM<sub>2.5</sub> und PM<sub>10</sub>, wird diese gesundheitliche Wirkung mit PM<sub>2.5</sub> als Leitschadstoff nicht erfasst. Es wird also implizit angenommen, dass diese Partikelfraktion keine gesundheitlichen Auswirkungen hat. Es gibt zwar gewisse Hinweise, dass die gröberen Partikel pro Masseneinheit eine etwas geringere Wirkung haben und die UBA weist dieser Fraktion in ihrer Methodenkonvention praktisch keine Kosten zu.<sup>101</sup> Es ist aber zu betonen, dass in Bezug auf Langzeitauswirkungen die Datenlage sehr gering ist und die Interpretierbarkeit möglicherweise durch die grössere Messunsicherheit eingeschränkt ist (REVIHAAP, S. 23). Die Fraktion der gröberen Partikel wird nämlich in diesen Studien als Differenz zwischen PM<sub>10</sub> und PM<sub>2.5</sub> definiert, was eine erhebliche Unsicherheit zur Folge hat, die dazu führen kann, dass bestehende Expositions-Wirkungs-Beziehungen unterschätzt werden. Weiter gibt es gute Evidenz für kurzfristige Effekte von grobem Feinstaub auf die Morbidität und Mortalität. Zudem ist zu berücksichtigen, dass die räumliche Korrelation von PM<sub>10</sub> mit Strassenverkehrsindikatoren wie NO<sub>2</sub>, und elementarem Kohlenstoff (EC) häufig höher ist als für PM<sub>2.5</sub>, weil Abrieb und Aufwirbelungen relativ grobe Parti-

<sup>99</sup> Millstein und Harley (2010), Effects of retrofitting emission control systems on in-use heavy diesel vehicles.

<sup>100</sup> Hoek et al (2013), Long-term air pollution exposure and cardio- respiratory mortality: a review.

<sup>101</sup> UBA (2013), Ökonomische Bewertung von Umweltschäden - Methodenkonvention 2.0 zur Schätzung von Umweltkosten.

kel im Grössenbereich von 2.5-10 Mikrometer produzieren, die mit PM10, aber nicht mit PM2.5 gemessen werden.<sup>102</sup> Aus diesen Gründen und unter Berücksichtigung der oben erwähnten Unsicherheiten bei quellspezifischen Betrachtungen wird im Rahmen einer quellspezifischen Risikoabschätzung PM10 nach wie vor als der geeignete Leitschadstoff erachtet.

Als **Leitschadstoff** wird folglich **weiterhin PM10** benutzt. Bei Gesundheitseffekten mit Effektschätzern basierend auf PM2.5, werden diese unter Berücksichtigung des mittleren PM2.5 / PM10-Verhältnisses in der Schweiz auf PM10 umskaliert. Das Verhältnis wird bevölkerungsgewichtet mit dem Schadstoffausbreitungsmodell eigens für dieses Projekt modelliert (=0.729). Damit ist gewährleistet, dass international anerkannte Effektschätzer verwendet werden, aber die Vergleichbarkeit mit früheren Abschätzungen bleibt gegeben. Es wird darauf verzichtet, neben PM10 noch einzelne Schadstoffkomponenten in die Abschätzung miteinzubeziehen. Im Luftverkehr liegen für PM10 nur Grobschätzungen der Emissionen vor.<sup>103</sup> Trotzdem wird auch im Luftverkehr PM10 als Leitschadstoff verwendet, weil dieses Vorgehen konsistent ist zu den anderen Verkehrsträgern und insbesondere weil die epidemiologische Datenlage für PM10 deutlich besser ist als für andere Schadstoffe.<sup>104</sup>

## b) Ozon

Ozon ist ein Schadstoff, dessen zeitliche und räumliche Verteilung in der Schweiz (und Europa) nicht mit Feinstaub korreliert und dessen gesundheitliche Auswirkungen mit dem Leitschadstoff PM10 folglich nicht berücksichtigt sind. Aus diesem Grund hat die WHO (HRAPIE) empfohlen, die kurzfristigen Auswirkungen von Ozon auf die Mortalität in Gesundheitsrisikoabschätzungen zu berücksichtigen und zudem als Sensitivitätsanalysen die langfristigen Auswirkungen zu erfassen. Für kurzfristige Auswirkungen wird ab einer Schwellenkonzentration des täglichen maximalen 8-Stundenmittelwert von 70 µg/m<sup>3</sup> von einer linearen Zunahme der Mortalität von 0.29% (95%-Konfidenzintervall: 0.14-0.43%) pro 10 µg/m<sup>3</sup> ausgegangen. HEIMTSA kam mit dieser Wirkungsfunktion zum Schluss, dass Ozon rund 180-mal weniger verlorene Lebensjahre verursacht als die Feinstaubbelastung (HEIMTSA Report, S. 124) und somit von untergeordneter Bedeutung ist. Eine besondere Schwierigkeit bei der Quantifizierung der Ozon-bedingten Mortalität ist die Abschätzung der Beiträge der einzelnen Verkehrs-

---

<sup>102</sup> Beelen et al (2013), Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project; appendix

<sup>103</sup> Für die primären PM10-Emissionen gilt: Triebwerksemissionen +30% / -100%, Abriebemissionen +0% / -100%, Emissionen auf dem Flugplatz ±33% (vgl. Infrac, Ecoplan 2012, Integration des Luftverkehrs in die Transportrechnung). Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass nur 18% der PM10-Immissionen aus primärem PM10 stammen (vgl. Kapitel 3.3.1b). Der Grossteil der Immissionen beruht deshalb auf sekundärem PM10, wobei die Emissionen dieser Vorläufersubstanzen (insbesondere NOx) genauer sind (Triebwerksemissionen ±10%, Emissionen auf dem Flugplatz ±9%, vgl. ebenfalls Infrac, Ecoplan 2012). Gesamthaft schwanken die PM10-Immissionen aufgrund dieser diversen Unsicherheiten statistisch maximal um -37% / +33%.

<sup>104</sup> Von der Messung der Emissionen her würde sich NOx als mögliche Alternative anbieten. Aber die epidemiologische Datenbasis für NO2 ist weniger umfassend, insbesondere für die Langzeitmortalität. Die Anwendung von unterschiedlich hergeleiteten Expositions-Wirkungsfunktionen auf verschiedene Verkehrsträger könnte zudem die Vergleichbarkeit der Ergebnisse beeinträchtigen.

träger. Ozon ist ein sekundärer Schadstoff und Verbrennungsemissionen können lokal zu einer Reduktion führen. Zudem ist die Ozonkonzentration zu einem grossen Teil durch Langstreckentransporte und natürliche Quellen beeinflusst. Die Datengrundlage für die Expositionsmodellierung ist in der Schweiz dürftig, da zur Zeit nur die Verteilung des 98% Perzentil des maximalen Stundenwertes modelliert wird, nicht aber der maximale tägliche 8-Stundenmittelwert. Aus diesen Gründen wird auf die Abschätzung der **Ozon**-bedingten Mortalität **verzichtet**.

### c) Expositions-Wirkungsbeziehungen

Wie in den bisherigen Studien wird die Anzahl der Krankheits- und Todesfälle wegen Luft- und Lärmbelastung nach der Methode der attributablen Fälle berechnet.<sup>105</sup> Grundlage der Berechnung ist eine Expositions-Wirkungsbeziehung, die ausdrückt, wie stark das Risiko für eine bestimmte Krankheit (oder für Todesfälle) zunimmt, wenn die Schadstoffexposition um einen bestimmten Wert ansteigt (siehe Schritt 6 in Abbildung 3-1). Diese Expositions-Wirkungsbeziehung wird aus den Ergebnissen von wissenschaftlichen Studien abgeleitet, in denen der Zusammenhang zwischen der Schadstoffbelastung und dem jeweiligen Gesundheitsendpunkt untersucht wurde. Um die attributablen Fälle zu berechnen, muss neben der bestehenden Schadstoffexposition auch die beobachtete Häufigkeit der jeweiligen Erkrankung bzw. die Höhe der Sterberate in der Bevölkerung bekannt sein. Die adäquate Verknüpfung dieser Grössen ergibt dann die attributablen Fälle, das heisst die Anzahl Erkrankungen, die auf eine bestimmte Schadstoffexposition zurückzuführen ist. Bei Berechnung der Auswirkungen der gesamten Luftbelastung wird wie bisher eine Schwellenwertkonzentration von 7.5 µg/m<sup>3</sup> angewendet. Das heisst Belastungen unterhalb dieser Schwelle werden nicht quantifiziert.

Obwohl die Gesundheitsauswirkungen mit den gleichen Methoden quantifiziert werden, werden die verschiedenen Datengrundlagen für die Abschätzung der Gesundheitsauswirkungen umfassend aktualisiert. Zudem werden – wie in Kapitel 3.2.2 erläutert – dieselben Krankheitsbilder betrachtet wie bisher (vgl. Abbildung 3-5). Einzig die Asthmaanfälle bei Kindern kommen neu hinzu. Die Produktionsausfälle durch Tage mit eingeschränkter Aktivität werden zudem genauer berechnet, indem die Ausfalltage (Abwesenheit vom Arbeitsplatz) mit einer eigenen Belastungs-Wirkungs-Beziehung abgeschätzt werden.

Bei den Tagen mit eingeschränkter Aktivität wird in Übereinstimmung mit der WHO folgende neue Definition verwendet: Es handelt sich um alle nicht-unfallbedingten Tage mit eingeschränkter Aktivität durch Luftverschmutzung.<sup>106</sup> Die in früheren Arbeiten verwendete Defini-

---

<sup>105</sup> Details siehe Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz.

<sup>106</sup> Für die Abschätzung im Jahr 2000 wurde eine Analyse basierend auf respiratorisch bedingten Abwesenheiten verwendet (Ostro 1990, Associations between morbidity and alternative measures of particulate matter). Die WHO empfiehlt eine Analyse auf allen nicht-unfallbedingten Tagen mit eingeschränkter Aktivität (Ostro 1987, Air Pollution and Morbidity Revisited: A Specification Test und Ostro und Rothschild 1989, Air Pollution and Acute Respiratory Morbidity: An Observational Study of Multiple Pollutants).



tion hat sich auf respiratorisch bedingte Tage mit eingeschränkter Aktivität beschränkt. Aufgrund dieser Ausweitung gibt es eine deutlich höhere Grundhäufigkeit (15.5 versus 2.5 Tage) dieses „Krankheitsbildes“ in der Bevölkerung. Um Doppelzählungen mit allen anderen spezifischen Krankheitsbildern (Spitaltage wegen Atemwegserkrankungen, Bronchitis etc., aber ohne verlorene Lebensjahre) zu vermeiden, werden deshalb die immateriellen Kosten und die Nettoproduktionsausfälle bei diesen spezifischen Krankheitsbildern vom vorliegenden Ergebnis zu den Tagen mit eingeschränkter Aktivität abgezogen. Damit werden bei den Tagen mit eingeschränkter Aktivität nur noch Effekte ausgewiesen, die nicht auf die anderen spezifischen Krankheitsbilder zurückzuführen sind.

Die entsprechenden Expositions-Wirkungsbeziehungen stammen von einem Gesundheitsrisikoabschätzungsprojekt der Weltgesundheitsorganisation.<sup>107</sup> Abbildung 3-5 gibt einen Überblick über die verwendeten Grundlagendaten für die Abschätzung der luftbedingten gesundheitlichen Auswirkungen.

**Abbildung 3-5: Überblick über die Expositions-Wirkungsbeziehungen, die für die Abschätzung der luftbedingten gesundheitlichen Auswirkungen verwendet werden**

Endpunkt	Relatives Risiko pro 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10 (95%-Konfidenzintervall)	Quelle
Mortalität wegen natürlicher Ursachen ( $\geq 30$ Jahre)	1.045 (1.029-1.06)	Meta-Analyse von 13 Kohortenstudien (Hoek et al 2013)
Kindersterblichkeit ( $\leq 1$ Jahr)	1.04 (1.02-1.07)	Woodruff et al (1997), basierend auf 4 Millionen Kindern in den USA
Spitaleintritte wegen Herz-/Kreislaufkrankungen ( $\geq 18$ Jahre)	1.007 (1.001-1.012)	APED Meta-Analyse von 4 Einzelstädtstudien und einer Multicenterstudie
Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen (alle Alter)	1.014 (0.999-1.029)	APED Meta-Analyse von 3 Einzelstädtstudien
Inzidenz von Bronchitis bei Erwachsenen ( $\geq 18$ Jahre)	1.117 (1.04-1.189)	Kombination der longitudinalen AHSMOG und SAPALDIA-Studien
Prävalenz von Bronchitis bei Kindern (6-18 Jahre)	1.08 (0.98-1.19)	PATY (Pollution and the Young) Projekt (Hoek et al. 2012) von ca. 40'000 Kindern aus neun Ländern
Tage mit Asthmasymptomen bei Erwachsenen ( $\geq 18$ Jahre)	1.029 (1.013-1.045)	Meta-Analyse von 6 europäischen Studien
Tage mit Asthmasymptomen bei Kindern (5-17 Jahre)	1.028 (1.006-1.051)	Meta-Analyse von 36 Panelstudien an asthmatischen Kindern aus 51 Populationen (davon 36 von Europa) (Weinmayr et al. 2010).
Tag mit eingeschränkter Aktivität (alle)	1.034 (1.030-1.038)	Studie von 12'000 Erwachsenen aus 49 Städten aus den USA (Ostro 1987)
Tage mit Erwerbsausfall bei Arbeitenden	1.033 (1.028-1.038)	Studie von 12'000 Erwachsenen aus 49 Städten aus den USA (Ostro 1987)

<sup>107</sup> WHO (2013), Health risks of air pollution in Europe – (HRAPIE).

#### d) Verlorene Lebensjahre

Mit dem Begriff „attributabler“ oder „vorzeitiger“ Todesfälle sind Interpretationsschwierigkeiten verbunden.<sup>108</sup> Insbesondere stösst man bei der ökonomischen Bewertung eines vorzeitigen Todesfallrisikos auf Probleme. Aus diesen Gründen hat sich in den letzten Jahren die Bewertung der Gesundheitsschäden anhand der verlorenen Lebensjahre durchgesetzt.<sup>109</sup> Die Anzahl der verlorenen Lebensjahre kann aber nicht direkt aus den vorzeitigen Todesfällen abgeleitet werden. Vielmehr wird sie aus dem relativen Risiko und der Überlebensfunktionskurve (abgeleitet aus Sterbetafeln) berechnet. Das Prinzip der Berechnung besteht darin, das zusätzliche Sterberisiko durch die Luftschadstoffbelastung in der altersabhängigen Überlebenswahrscheinlichkeit zu berücksichtigen und mit einem Referenzszenario zu vergleichen. Diese Methodik wurde auch schon in der Abschätzung für 2000 und der Aktualisierung für 2005 verwendet.

Für die Bestimmung der verlorenen Lebensjahre sind komplexe Berechnungen nötig. Die bisherigen Berechnungen werden dabei umfassend überarbeitet. Zudem werden alle Inputdaten aktualisiert: Bevölkerungsgrösse, Erwerbsquote, Sterbewahrscheinlichkeiten, Häufigkeit verschiedener Todesursachen – alles nach 1-Jahres-Altersklassen. Die Ermittlung der verlorenen Erwerbsjahre und der Todesfälle bei Erwerbstätigen wird zudem verbessert, indem neu die Erwerbsquoten nach 1-Jahres-Altersklassen der 15- bis 85-Jährigen verwendet werden: Beispielsweise beträgt die Erwerbsquote eines 39-jährigen (bzw. 76-jährigen) Mannes 90% (bzw. 5%). Entsprechend berechnen wir pro verlorenes Lebensjahr eines 39-jährigen (bzw. 76-jährigen) Mannes 0.9 (bzw. 0.05) verlorene Erwerbsjahre.

Dieselben Berechnungen (ausgehend von einem identischen Grund-Berechnungsfile) werden – natürlich mit anderen epidemiologischen Effektschätzern – auch für die Berechnung der Gesundheitskosten der Lärmbelastung und für die Gesundheitsnutzen des Langsamverkehrs eingesetzt. Dabei ist zu bedenken, dass sich die Gesundheitseffekte von Lärm und Luftverschmutzung gegenseitig beeinflussen: Kommt der Lärm zur Luftbelastung hinzu, so wirkt sich der Lärm nur noch auf die durch die Luftbelastung verminderte Bevölkerung aus. Die Berechnung erfolgt jedoch vereinfachend vollständig unabhängig für Luftbelastung und Lärm.<sup>110</sup> Dies führt tendenziell zu einer Unterschätzung der Kosten,<sup>111</sup> was gemäss at least Ansatz akzeptiert wird.

---

<sup>108</sup> Rabl (2003), Interpretation of air pollution mortality: number of deaths or years of life lost?

<sup>109</sup> Leksell et al. (2001), Air pollution and mortality: quantification and valuation of years of life lost und ARE-Studien zu den externen Kosten.

<sup>110</sup> Eine korrekte Berechnung wäre aufgrund der Datengrundlagen sehr aufwändig, da die Effekte dann für jede Person einzeln berechnet werden müssten indem die Belastung durch Lärm und Luftverschmutzung überlagert werden.

<sup>111</sup> Ausgehend vom heutigen Bevölkerungsstand wird jeweils einzeln ermittelt, welcher positive Effekt sich ergeben würde, wenn entweder der Lärm oder die Luftverschmutzung entfallen würde. Die Summe dieser beiden Einzelleffekte ist geringer, als wenn ausgehend vom heutigen Bevölkerungsstand in einem ersten Schritt die Zahl der lärmbedingten Todesfälle hinzugerechnet würden und ausgehend von diesem leicht erhöhten Bevölkerungsstand in einem zweiten Schritt der Effekt der wegfallenden Luftbelastung ermittelt würde.

In der Schweizerischen Abschätzung der Luftschadstoff-bedingten Gesundheitseffekte von 2000 (Ecoplan et al. 2004) wurde angenommen, dass Effekte der Luftbelastung nicht unmittelbar eintreffen, sondern erst nach einer gewissen Zeit nach der Belastung. Der Zeitverlauf wurde anhand von sogenannten Interventionsstudien abgeschätzt. Eine systematische Analyse hat gezeigt, dass der Effekt auf das Resultat in Bezug auf verlorene Lebensjahre gering ist. In diesem Projekt wird auf diese dynamische Modellierung verzichtet. Da seit dem 2000er Projekt kaum mehr Interventionsstudien publiziert worden sind, sind die diesbezüglichen Abschätzungen mit Unsicherheiten behaftet. Weiter hat sich die dynamische Modellierung international nicht durchgesetzt und würde zu Inkonsistenzen innerhalb des Projektes führen, da im Lärmbereich die Grundlagen für eine solche Modellierung nicht gegeben sind. Insgesamt würde die dynamische Modellierung also einen grossen Aufwand bedeuten und hätte dennoch nur geringe Auswirkungen auf das Resultat. Deshalb wird auf die Berücksichtigung einer zeitlichen Verzögerung bei der Schadstoffwirkung verzichtet.

Berücksichtigt wird jedoch die Tatsache, dass sich Todesfälle im Jahr 2010 auch auf die Zukunft auswirken. Wenn sich aufgrund der Luftbelastung im Jahr 2010 die Bevölkerung reduziert, führt dies auch in den Folgejahren zu verlorenen Lebensjahren. Dies wird mit den Berechnungen auf der Basis von Sterbetafeln beachtet. Bei der ökonomischen Bewertung ist es zudem von Bedeutung, wann die Verluste auftreten, da Verluste in der Zukunft weniger stark gewichtet werden als Verluste heute. Man trägt diesem Umstand in der Ökonomie mit der Abdiskontierung Rechnung. Aus diesem Grund werden im Folgenden die mit 1%<sup>112</sup> abdiskontierten verlorenen Lebens- und Erwerbsjahre berechnet und dargestellt. Die nicht abdiskontierten Lebensjahre wären um gut 10% höher. Dieser Aspekt ist nicht relevant für die Krankheitsfälle, da nur kurzfristige Auswirkungen quantifiziert werden.

Für die Auswirkungen der Feinstaubbelastung auf die natürliche Mortalität, d.h. für alle Ursachen ausser Unfälle und Todesfälle wegen Gewalteinwirkungen, schlägt die Weltgesundheitsorganisation eine Expositions-Wirkungsbeziehung basierend auf einer Meta-Analyse vor.<sup>113</sup> Gemäss dieser Arbeit steigt das Risiko um 6.2% (95%-Konfidenzintervall: 4.0 –8.3%) pro Anstieg der PM2.5 Belastung um 10 µg/m<sup>3</sup>. Unter Berücksichtigung des mittleren PM2.5/PM10-Verhältnisses in der Schweiz (=0.729) ergibt sich damit eine Zunahme des Sterberisikos um 4.5% (95%-Konfidenzintervall: 2.9–6.0%) pro 10 µg/m<sup>3</sup> PM10 (siehe Abbildung 3-5). Diese Expositions-Wirkungsbeziehung wird nur auf Erwachsene älter als 30 Jahre angewendet.

Für die Luftschadstoff-bedingte Sterblichkeit bei Kindern im ersten Lebensjahr wird die von der WHO empfohlene Expositions-Wirkungsbeziehung von 4.0% (95%-Konfidenzintervall 2.0-7.0%) pro 10 µg/m<sup>3</sup> PM10 angewendet.

---

<sup>112</sup> Es wird eine Diskontrate von 2% (SN 641 821), und eine reale Wachstumsrate von 1% verwendet (gemäss SN 641 821 (und Forschungsbericht dazu, S. 31) beträgt die Wachstumsrate des Konsums 0.9% bis 1.6% – das durchschnittliche jährliche Wachstum des BIP pro Kopf betrug in letzten 10 Jahren 0.96% (BFS, Tabelle 4.2.19). Dies führt zu einer korrigierten Diskontrate von 0.99% (=1.02/1.01 – 1).

<sup>113</sup> Hoek et al. (2013), Long-term air pollution exposure and cardio- respiratory mortality: a review.

Die Sterblichkeitsdaten stammen vom Bundesamt für Statistik. Die mittlere Anzahl Todesfälle zwischen 2001 und 2010 beläuft sich auf 57'872. Davon betreffen 57'214 Fälle die über 30 Jährigen und 319 Fälle Kinder im ersten Lebensjahr.

Insgesamt führt die Luftbelastung aus allen Verschmutzungsquellen (Verkehr, Industrie, Haushalt, Landwirtschaft) im Jahr 2010 zu gut 2'800 frühzeitigen Todesfällen bzw. knapp 29'000 abdiskontierten verlorenen Lebensjahren (siehe Abbildung 3-6). Rund 10% der frühzeitigen Todesfälle sind auf Lungenkrebs zurückzuführen.<sup>114</sup> Aufgrund der Verkehrsimmissionen treten gut 1'200 Todesfälle auf bzw. gehen 12'500 Lebensjahre verloren. Der Hauptanteil der verlorenen Lebensjahre fällt auf den Strassenverkehr (10'700). Der Schienenverkehr verursacht 1'300 verlorene Lebensjahre, der Schiffsverkehr 200 und der Flugverkehr 290 verlorene Lebensjahre. Die Anzahl verlorene Erwerbsjahre ist deutlich kleiner und beträgt pro Verkehrsmittel gut 10% aller verlorenen Lebensjahre.

**Abbildung 3-6: Abdiskontierte verlorene Lebensjahre und Todesfälle für verschiedene Schadstoffemittenten**

	Strassenverkehr						Schienenverkehr		Schiffsverkehr		Luftverkehr total	Total Verkehr	Total Luftbelastung
	PW	Li	SNF (LW+SS)	GW	Bus	MR (inkl Mofa)	Personenverkehr	Güterverkehr	Personenverkehr	Güterverkehr			
<b>Anzahl abdiskontierte verlorene Lebensjahre</b>													
Über 30-Jährige	7'039	892	1'823	156	415	61	801	477	117	86	281	12'148	28'138
Säuglinge	187	24	49	4	11	2	21	13	3	2	8	323	753
Säuglinge und über 30-Jährige	7'226	916	1'872	161	426	63	822	489	120	88	289	12'471	28'891
<b>Anzahl abdiskontierte verlorene Erwerbsjahre</b>													
Über 30-Jährige	692	88	179	15	41	6	79	47	11	8	28	1'195	2'767
Säuglinge	86	11	22	2	5	1	10	6	1	1	4	148	346
Säuglinge und über 30-Jährige	778	99	202	17	46	7	88	53	13	10	31	1'343	3'113
<b>Anzahl abdiskontierte frühzeitige Todesfälle</b>													
Über 30-Jährige	707	90	183	16	42	6	80	48	12	9	28	1'220	2'827
Säuglinge	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6	13
Säuglinge und über 30-Jährige	710	90	184	16	42	6	81	48	12	9	28	1'226	2'840
<b>Anzahl abdiskontierte frühzeitige Todesfälle von Erwerbstätigen</b>													
Über 30-Jährige	84	11	22	2	5	1	10	6	1	1	3	145	335

PW = Personwagen, Li = Lieferwagen, SNF = Schwere Nutzfahrzeuge (Lastwagen und Sattelschlepper), GW = Gesellschaftswagen, MR = Motorrad.

### e) Krankheitsfälle

Abbildung 3-7 zeigt die für die Berechnung verwendeten Grundhäufigkeiten der verschiedenen Gesundheitsauswirkungen. Wenn möglich sind diese Zahlen von Schweizer Routinestatistiken abgeleitet worden. Leider ist dies jedoch nur für die Anzahl und Dauer von Hospitalisierungen möglich. Für alle anderen Gesundheitsendpunkte gibt es keine entsprechenden Statistiken und die Daten stammen entweder von Schweizer Studien oder entsprechen den Empfehlungen der WHO, welche Grundhäufigkeiten für Gesundheitsrisikoabschätzungen zu verwenden seien (Abbildung 3-7).<sup>115</sup>

<sup>114</sup> Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz, S. 45 und 47.

<sup>115</sup> WHO (2013), Health risks of air pollution in Europe – (HRAPIE).

**Abbildung 3-7: Beobachtete Erkrankungshäufigkeiten für die verschiedenen gesundheitlichen Auswirkungen der Luftbelastung angegeben als Anzahl Fälle und als Rate pro 100'000 Personen pro Jahr**

	Anzahl beobachtete Fälle	Erkrankungsrate pro 100'000 Personenjahre	Quelle
Spitaleintritte wegen Herz-/Kreislauf-erkrankungen	144'988	1'852	Spitalstatistik BFS, ICD-10 I00-I99, 2010
Spitaltage wegen Herz-/Kreislauf-erkrankungen	1'393'409	17'800	Spitalstatistik BFS, ICD-10 I00-I99, 2010
Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen	69'655	890	Spitalstatistik BFS, ICD-10 J00-J99, 2010
Spitaltage wegen Atemwegserkrankungen	579'939	7'409	Spitalstatistik BFS, ICD-10 J00-J99, 2010.
Inzidenz von Bronchitis bei Erwachsenen (≥18 Jahre)	24'868	318	Beobachtete Inzidenz in der SAPALDIA Kohorte bei über 18-Jährigen
Prävalenz von Bronchitis bei Kindern (5-17 Jahre)	198'109	2'531	Prävalenz in der PATY Studie für 5-17-Jährige (Hoek et al, 2012)
Tage mit Asthmasymptome bei Erwachsenen (≥18 Jahre)	1'339'058	17'106	Vom European Community Respiratory Health Survey (ECRHS): 3 bis 4 Anfällen pro Jahr bei Asthmatikern.
Tage mit Asthmasymptome bei Kindern (5-17 Jahre)	3'333'635	312'988	Asthmaprävalenz in Westeuropa 4.9% gemäss der ISAAC Studie (Lai et al 2009). Die Häufigkeit von Symptomtagen in dieser Gruppe beträgt 17% (HRAPIE, draft document October 2013)
Tage mit eingeschränkter Aktivität (≥18 Jahre)	121'152'911	1'547'693	Gemäss Originalpublikation 19 Tage mit eingeschränkte Aktivität
Tage mit Erwerbsausfall bei Arbeitenden (≥15 Jahre)	29'658'223	378'875	Gemäss HEIMTSA Studie 7.2 Absenztage pro Arbeitenden

Die Expositions-Wirkungsbeziehung für die verschiedenen Endpunkte sind in Abbildung 3-5 aufgelistet. Damit ergeben sich die in Abbildung 3-8 dargestellten Auswirkungen auf Spitaltage, Atemwegserkrankungen und Tage mit eingeschränkter Aktivität im Jahr 2010. Insgesamt treten wegen der verkehrsbedingten Luftbelastung rund 1'000 Spitalerkrankungen wegen Atemwegs- und Herz- / Kreislauf-erkrankungen auf. Dies führt zu rund 8'800 Spitaltagen. Weiter verursacht die verkehrsbedingte Luftbelastung rund 1'400 Bronchitis-Fälle bei Erwachsenen pro Jahr und die Häufigkeit von Bronchitis bei Kindern ist in der Schweiz um 7'700 Fälle erhöht. Die Anzahl zusätzlicher Tage mit Asthmasymptomen beträgt bei Erwachsenen 19'700 und bei Kindern 46'700. Die Anzahl Tage mit eingeschränkter Aktivität aufgrund der verkehrsbedingten Luftbelastung liegt bei 2'082'000. Davon betreffen knapp ein Viertel (499'000) Tage mit Erwerbsausfall.<sup>116</sup>

<sup>116</sup> Von diesem Ergebnis sind die Doppelzählungen mit den anderen Krankheitsbildern noch nicht abgezogen.

Abbildung 3-8: Überblick über die Auswirkungen der Luftbelastung auf die Morbidität im Jahr 2010

	Strassenverkehr						Schienenverkehr		Schiffsverkehr		Luftverkehr total	Total Verkehr	Total Luftbelastung
	PW	Li	SNF (LW+SS)	GW	Bus	MR (inkl Mofa)	Personenverkehr	Güterverkehr	Personenverkehr	Güterverkehr			
Spitaleintritte wegen Herz-/Kreislaufkrankungen	285	36	74	6	17	2	32	19	5	3	11	493	1'138
Spittage wegen Herz-/Kreislaufkrankungen	2'743	348	711	61	162	24	312	185	46	34	110	4'735	10'940
Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen	285	36	74	6	17	2	32	19	5	3	11	491	1'131
Spittage wegen Atemwegserkrankungen	2'369	301	615	53	140	21	270	160	39	29	95	4'092	9'420
Inzidenz von Bronchitis bei Erwachsenen (≥18 Jahre)	808	104	212	18	48	7	93	55	14	10	33	1'403	3'078
Prävalenz von Bronchitis bei Kindern (5-17 Jahre)	4'449	570	1'166	100	262	39	502	303	76	56	183	7'705	17'302
Asthmaanfälle Erwachsene (≥18 Jahre)	11'378	1'448	2'958	254	673	99	1'297	772	190	140	457	19'666	44'943
Tage mit Asthmasymptome bei Kindern (5-17 Jahre)	27'059	3'447	7'052	603	1'585	235	3'034	1'829	456	336	1'106	46'742	107'545
Tage mit eingeschränkter Aktivität	1'204'146	153'313	313'240	26'893	71'250	10'534	137'348	81'750	20'114	14'801	48'451	2'081'838	4'746'089
Tage mit Erwerbsausfall bei Arbeitenden (≥15 Jahre)	288'672	36'751	75'088	6'446	17'079	2'525	32'924	19'596	4'821	3'548	11'614	499'064	1'138'140

PW = Personwagen, Li = Lieferwagen, SNF = Schwere Nutzfahrzeuge (Lastwagen und Sattelschlepper), GW = Gesellschaftswagen, MR = Motorrad.  
Tage mit eingeschränkter Aktivität und Tage mit Erwerbsausfall vor Abzug der Doppelzählung mit anderen Krankheitsbildern.

## 3.4 Wertgerüst

### 3.4.1 Einleitung

Die Gesundheitskosten der Luftbelastung setzen sich aus den folgenden vier Kostenbestandteilen zusammen (vgl. Schritt 8 in Abbildung 3-1):

- Die **medizinischen Heilungskosten** umfassen die Kosten des Ressourcenaufwands für Pflege und Genesung (stationäre und ambulante Behandlung, Arzneimittel und Analysen, ärztlich verordnete Nach- und Badekuren, Hilfsmittel und Gegenstände, welche der Heilung dienen).
- Der **Produktionsausfall** entsteht infolge von dauerhafter oder vorübergehender Arbeitsunfähigkeit der Betroffenen.
- **Wiederbesetzungskosten** werden dadurch verursacht, dass bei einem dauerhaften Ausfall einer Arbeitskraft die Stelle neu besetzt werden muss.
- Die **immateriellen Kosten** umfassen die Kosten von Leid, Schmerz, Schock und den Verlust an Lebensfreude z.B. durch eingeschränkte oder wegfallende Konsummöglichkeiten. Diese Kosten werden mit Hilfe von Zahlungsbereitschaften ermittelt.

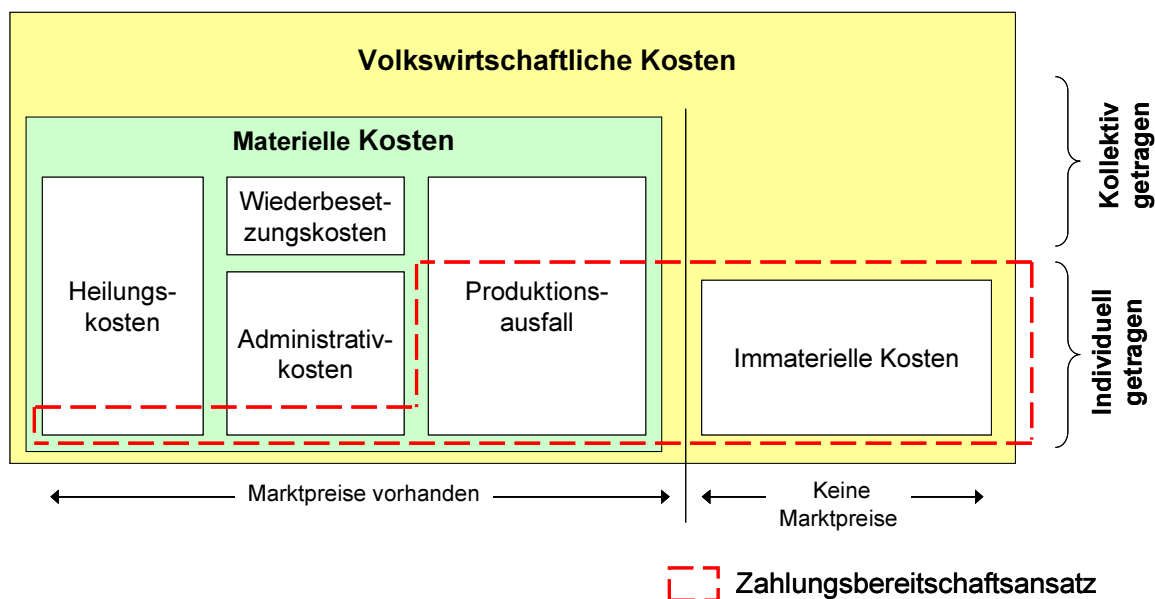
Prinzipiell fallen auch noch Administrativkosten bei Versicherungen an, diese sind aber so gering, dass auf deren Berücksichtigung wie bisher verzichtet wird.<sup>117</sup> Die Luftverschmutzung kann auch Vermeidungskosten (z.B. Freizeitaufenthalt in wenig belasteten Gebieten, Wechsel des Wohnorts usw.) verursachen, die aber von untergeordneter Bedeutung sind. Die Vermeidungskosten werden deshalb vernachlässigt (soweit sie nicht in der Zahlungsbereitschaft enthalten sind).<sup>118</sup>

<sup>117</sup> Ecoplan (1996), Monetarisierung der verkehrsbedingten externen Gesundheitskosten, S. 71-74.

<sup>118</sup> Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz, S. 75 und 79.

Die volkswirtschaftlichen Kosten setzen sich somit aus materiellen (medizinische Heilungskosten, Produktionsausfall und Wiederbesetzungskosten) und immateriellen Kosten zusammen. Für die materiellen Kosten liegen weitgehend Marktpreise<sup>119</sup> vor, für die immateriellen hingegen nicht. In den letzten Jahren hat sich national und international folgendes Konzept zur Berechnung der volkswirtschaftlichen Kosten durchgesetzt (vgl. Abbildung 3-9):<sup>120</sup>

Abbildung 3-9: Übersicht über die Bestandteile der Gesundheitskosten



- Die **immateriellen Kosten** werden mit einem Zahlungsbereitschafts-Ansatz berechnet. Die Zahlungsbereitschaft für eine Verminderung des Krankheitsrisikos entspricht dabei dem Nutzengewinn der einzelnen Individuen, wenn Schmerz, Leid und Verlust an Lebensfreude als Folge des geringeren Krankheitsrisikos abnehmen. Dabei wird unterstellt, dass die individuell getragenen materiellen Kosten, insbesondere der Nutzenverlust aus den eingeschränkten Konsummöglichkeiten<sup>121</sup>, in der Zahlungsbereitschaft – und damit in den unten ausgewiesenen immateriellen Kosten – enthalten sind.

<sup>119</sup> Zwar gibt es beispielsweise bei den Medizinalkosten verschiedene regulatorische Vorschriften, welche die Marktkräfte von Angebot und Nachfrage einschränken. Im Unterschied zu den immateriellen Kosten ergeben sich aber grosse Kostenbestandteile (Lohn für Personal, Baukosten für Infrastruktur, Gerätekosten usw.) aus direkt beobachtbaren Marktergebnissen.

<sup>120</sup> Siehe z.B. Ecoplan (2002), Unfallkosten im Strassen und Schienenverkehr der Schweiz 1998, S. 40 und Bickel et al. (2006), HEATCO D5: Proposal for Harmonized Guidelines, chapter 5, Ecoplan (2007), Volkswirtschaftliche Kosten der Nichtberufsunfälle in der Schweiz: Strassenverkehr, Sport, Haus und Freizeit, Kapitel V.3.2 und Eco-plan, Infrac (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz. Aktualisierung für das Jahr 2005 mit Bandbreiten, S. 83-86. Uns sind keine anderen Vorgehensweisen bekannt.

<sup>121</sup> Ebenso enthalten sind – gemäss der getroffenen Annahme – der Selbstbehalt bei den medizinischen Heilungskosten (inkl. Franchise) sowie der eigene administrative Aufwand für die Anforderung / Abwicklung der Versicherungsleistungen.

- Beim Produktionsausfall ist zur Vermeidung von Doppelzählungen in der Folge nur noch der kollektiv getragene Ausfall zusätzlich zu berücksichtigen. Dieser kollektiv getragene Anteil entspricht dem **Nettoproduktionsausfall**, der sich aus dem Bruttoproduktionsausfall abzüglich des Eigenkonsums der Betroffenen (dem individuell getragenen Produktionsausfall) ergibt. Er spiegelt die verminderte Kapitalbildung wider, welche der Volkswirtschaft durch den Verlust des Produktionspotentials entsteht.
- Die **übrigen materiellen Kosten** – wie medizinische Heilungskosten, Wiederbesetzungskosten und Administrativkosten (die nur im Kapitel 13 „Unfälle“ berücksichtigt werden) – werden anhand von Marktpreisen bestimmt.<sup>122</sup>

Bei der Herleitung der Kostensätze werden jeweils auch jene Kosten berücksichtigt, welche zwar im Jahr 2010 verursacht werden, aber erst in den Folgejahren anfallen (z.B. länger andauernde medizinische Behandlungskosten, Produktionsausfall nach Todesfall usw.).

Die folgenden Ausführungen zum Wertgerüst der Gesundheitskosten gelten auch für die Berechnung der Gesundheitskosten des Lärms (Kapitel, 8.4.2) und für die Gesundheitsnutzen des Langsamverkehrs (Kapitel 15). Allfällige Abweichungen werden in den entsprechenden Kapiteln erläutert.

Für die Herleitung der Kostensätze wurden grundsätzlich die neuere Literatur und aktuelle Datenquellen zum Thema aufgearbeitet. Einzig für Kostensätze mit geringer Relevanz<sup>123</sup> wurde auf eine spezifische Literaturrecherche verzichtet und die Kostenbasis aus dem Jahr 2005<sup>124</sup> weiterverwendet.<sup>125</sup>

### 3.4.2 Medizinische Heilungskosten

Für die **Spitalkosten** beruhen die verwendeten Kostensätze auf den offiziellen BFS-Daten, konkret der „Statistik diagnosebezogener Fallkosten“ nach APDRG (All Patient Diagnosis Related Groups): Das BFS weist die Spitalkosten sowie die durchschnittlichen Aufenthaltsdauern im Spital (Grundlage: 455'967 Fälle) und die Anzahl Fälle (Grundlage: 1'322'786 Fälle) für 878 verschiedene Diagnosen aus.<sup>126</sup> Gemäss Auskunft des BFS enthalten die Kostenzahlen jedoch nur die Kosten in der allgemeinen Abteilung. Um auch die Kosten der Halbpri-

---

<sup>122</sup> Wir gehen davon aus, dass die selbst bezahlten Krankheitskosten (Franchise, Selbstbehalt, Selbstmedikation) und Administrativkosten (eigener administrativer Aufwand) mit der Zahlungsbereitschaft abgedeckt sind und berechnen nur noch die übrigen Krankheits- und Administrativkosten, um Doppelzählungen zu vermeiden.

<sup>123</sup> Beitrag zu den Gesamtkosten geringer als 5 Mio. CHF bzw. weniger als 0.25% der quantifizierten externen Kosten des Strassen- und Schienenverkehrs im Jahr 2005.

<sup>124</sup> Ecoplan, Infras (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz. Aktualisierung für das Jahr 2005 mit Bandbreiten.

<sup>125</sup> Wurden allerdings bei der Literaturrecherche zur Aktualisierung der relevanten Kostensätze neue Hinweise zur Höhe von weniger relevanten Kostenbereichen gefunden, so wurden diese selbstverständlich für die weiteren Berechnungen berücksichtigt.

<sup>126</sup> Spitalkosten: BFS (2013), Statistik diagnosebezogener Fallkosten. Aufenthaltsdauer und Anzahl Fälle: BFS (2012), Medizinische Statistik der Krankenhäuser.



vat- und Privatabteilung zu berücksichtigen, müssen die Kostenzahlen gemäss APDRG noch mit einem Faktor 1.11 hochgerechnet werden.<sup>127</sup> Ausgehend von den relevanten Krankheitsbildern für luftverschmutzungsbedingte Gesundheitsschäden wurden die durchschnittlichen Spitalkosten pro Spitaltag ermittelt.<sup>128</sup> Das Ergebnis wird in der folgenden Abbildung dargestellt: Herzkreislauferkrankungen führen mit knapp 14'000 CHF pro Spitalaufenthalt zu etwas höheren Kosten als Atemwegserkrankungen mit ca. 11'300 CHF. Da zusätzlich die Aufenthaltsdauer im Spital für Herzkreislauferkrankungen kürzer ist (9.2 versus 11.0 Tage), fallen die Kosten pro Spitaltag für Herzkreislauferkrankungen mit gut 1'500 CHF deutlich höher aus als diejenigen von Atemwegserkrankungen (gut 1'000 CHF).

**Abbildung 3-10: Spitalkosten durch luftverschmutzungsbedingte Krankheitsbilder**

	Atemwegs- erkrankungen	Herzkreis- lauferkran- kungen
Anzahl relevante Krankheitsbilder	41	84
Anzahl relevante Fälle	61'570	143'074
<b>Durchschnittliche Kosten pro Spitalaufenthalt in CHF</b>	<b>11'292</b>	<b>13'969</b>
Durchschnittliche Aufenthaltsdauer in Tagen	10.97	9.16
<b>Kosten pro Spitaltag in CHF</b>	<b>1'029</b>	<b>1'524</b>

Bei den **übrigen Krankheitsbildern** (chronischer Bronchitis bei Erwachsenen, akuter Bronchitis bei Kindern, Asthmaanfällen bei Erwachsenen und Kindern sowie Tagen mit eingeschränkter Aktivität) wird aufgrund ihrer geringen Kostenrelevanz (3.7 Mio. CHF für Strassen- und Schienenverkehr 2005) die Aktualisierung auf der Basis der Kostensätze 2005 vorgenommen:

- Chronische Bronchitis bei Erwachsenen und akute Bronchitis bei Kindern: Da es sich um ambulante Behandlungen handelt, werden die Kostensätze mit der Kostenentwicklung ärztlicher Leistungen<sup>129</sup> fortgeschrieben, was zu einer minimalen Reduktion auf 6'797 CHF pro Neuauftreten von Bronchitis bei Erwachsenen bzw. 54 CHF pro akute Bronchitis bei Kindern führt.
- Asthmaanfälle bei Erwachsenen und Kindern: Die Medikamentenkosten werden mit dem Kostenindex für Medikamente reduziert, so dass 0.72 CHF pro Asthmaanfall resultieren. Der Kostensatz für Erwachsene wird auch für Kinder verwendet.

<sup>127</sup> BFS (2012), Kosten und Finanzierung des Gesundheitswesens 2010: Hochrechnung der Spitalkosten ohne Leistungen von Privatversicherungen auf die gesamten Spitalkosten. Der verwendete Faktor von 1.11 wurde mit den BFS-Fachleuten abgesprochen.

<sup>128</sup> Von den 878 in der ARPG-Statistik erfassten Krankheitsbildern stehen wie in Abbildung 3-10 dargestellt nur insgesamt 125 Krankheitsbilder im Zusammenhang mit Luftverschmutzung.

<sup>129</sup> BAG (2012), Statistik der obligatorischen Krankenversicherung 2010, Tabelle T 9.04.

- Für Tage mit eingeschränkter Aktivität lagen liegen nach wie vor keine Daten vor, da bei diesem Krankheitsbild unklar ist, ob überhaupt ärztliche Leistungen / Medikamente beansprucht werden. Dies führt tendenziell zu einer Unterschätzung (at least Ansatz).

Für die verlorenen Lebensjahre werden keine medizinischen Behandlungskosten berücksichtigt. Auch werden die Beerdigungskosten vernachlässigt.<sup>130</sup> Dies führt tendenziell zu einer Unterschätzung der tatsächlichen Kosten.

### 3.4.3 Produktionsausfall

Der Nettoproduktionsausfall wird wie folgt ermittelt<sup>131</sup>: Ausgangslage bilden das verfügbare Bruttoeinkommen (364'810 Mio. CHF) im Jahr 2010 abzüglich des Gesamtkonsums (331'823 Mio. CHF)<sup>132</sup> sowie die Zahl der Erwerbstätigen (im Alter 15 – 85: 4'119'198 Erwerbstätige<sup>133</sup>). Daraus ergibt sich pro Erwerbstätigen ein Nettoproduktionsausfall von 7'382 CHF pro Person und Jahr (zu Faktorpreisen<sup>134</sup>). Dazu ist noch die Zunahme der betrieblichen Vorsorgeansprüche (32'635 Mio. CHF) zu rechnen, die sich pro Erwerbstätigen auf 7'304 CHF belaufen. Dies ergibt einen Nettoproduktionsausfall (inkl. Vorsorgeansprüche) von 14'686 CHF pro Jahr und Erwerbstätigen oder 40 CHF pro Tag und Erwerbstätigen.

Neben dem Kostensatz pro Jahr (bzw. Tag) muss auch die Anzahl der verlorenen Erwerbsjahre bei Todesfällen bzw. der Dauer des Erwerbsausfalls bei Krankheiten bestimmt werden:

- Verlorene Erwerbsjahre: Bei der Berechnung der verlorenen Lebensjahre wird gleichzeitig auch die Anzahl der verlorenen Erwerbsjahre bestimmt (vgl. oben).
- Spitaltage wegen Atemwegserkrankungen und wegen Herz- / Kreislauferkrankungen: Für die Bestimmung der Ausfalltage durch Spitalaufenthalte wird die amerikanische "Official Disability Guideline" verwendet.<sup>135</sup> Diese enthält die Anzahl der Ausfalltage pro Erwerbstätigen sehr detailliert für verschiedene Krankheitsbilder nach ICD10-Codes.<sup>136</sup> Mit Hilfe dieser Angaben und der Fallzahlen in der Schweiz wurden gewichtete Durchschnitte pro

<sup>130</sup> Die Beerdigungskosten fallen natürlich ohnehin an und werden durch den luftverschmutzungsbedingten Tod nur vorgezogen, womit sie aber abdiskontiert höher sind.

<sup>131</sup> Der Berechnungshergang ist identisch mit der bisherigen Berechnungsmethodik für das Jahr 2005.

<sup>132</sup> Beide von BFS-Homepage: Tabelle T 4.2.4: Verfügbares Einkommen und Ersparnis der privaten Haushalte und POoE.

<sup>133</sup> Spezialauswertung durch das BFS.

<sup>134</sup> Wie in Kapitel 2.3.1 erläutert, bedeuten Faktorpreise, dass die indirekten Steuern herausgerechnet werden. Dazu wird gemäss Kapitel 2.3.1 durch 1.0847 dividiert. Also: 7'382 CHF = (364'810 – 331'823) \* 1'000'000 / 4'119'198 / 1.0847.

<sup>135</sup> Work Loss Data Institute (2013), Official Disability Guideline.

<sup>136</sup> Die Übertragung der Daten von der USA auf die Schweiz ist natürlich mit Unsicherheiten verbunden, doch führt sie gemäss Angabe einer grösseren Krankenkasse – welche die Datenquelle ihren eigenen Berechnungen zugrunde legt – eher zu einer Unterschätzung der Ausfalltage, weil in den USA mit weniger guten Sozialversicherungen der Druck, wieder zu arbeiten, höher ist als in der Schweiz.

Hospitalisation bestimmt, welche für Atemwegserkrankungen 30.3 Ausfalltage betragen und für Herz- / Kreislauferkrankungen 62.0 Tage.<sup>137</sup>

Viele Spitaltage betreffen jedoch nicht Erwerbstätige, sondern z.B. Senioren, bei denen kein Produktionsausfall entsteht. Der Anteil der Spitaltage bei Erwerbstätigen beläuft sich auf 37%.<sup>138</sup> Der Kostensatz pro Hospitalisation beträgt folglich 914 CHF (= 40 \* 62 \* 37%) für Herz-Kreislauferkrankungen und 446 CHF für Atemwegserkrankungen. Umgerechnet auf Kosten pro Spitaltag ergibt sich 95 bzw. 54 CHF.

- Asthmaanfalle bei Erwachsenen und Kindern: Bei Asthmaanfällen gehen wir wie bisher von einem Tag Produktionsausfall aus. Bei den Erwachsenen gehen wir zudem wie bei den Spitaltagen von einem Anteil der Erwerbstätigen von 37% aus. Bei den Kindern wird die Erwerbsquote der 5-17-Jährigen (8%) berücksichtigt. Dies ergibt Kostensätze von 15 bzw. 3 CHF pro Asthmaanfall.<sup>139</sup>
- Chronische Bronchitis bei Erwachsenen: Wie bisher gehen wir davon aus, dass pro neuen Fall chronischer Bronchitis während 15 Jahren je ein Tag pro Jahr ausfällt, was abdiskontiert 14.01 Tage ergibt. Multipliziert mit dem Anteil der Erwerbstätigen von 37% (wie oben) ergibt sich daraus ein Kostensatz von 206 CHF (=40 \* 14.01 \* 37%).
- Akute Bronchitis bei Kindern: Falls die Kinder überhaupt erwerbstätig sind (8% wie oben), gehen wir wie bei Asthmaanfällen von einem Tag Produktionsausfall aus, so dass sich derselbe Kostensatz von 3 CHF ergibt.
- Tage mit eingeschränkter Aktivität: Die Ausfalltage durch Tage mit eingeschränkter Aktivität werden direkt aus epidemiologischen Studien bestimmt (vgl. Kapitel 3.3.2c). Diese können direkt mit dem Kostensatz pro Tag von 40 CHF multipliziert werden. Wie die Ergebnisse in Abbildung 3-8 zeigen, würde sich dasselbe Resultat ergeben, wenn mit der normalen Belastungs-Wirkungs-Beziehung für Tage mit eingeschränkter Aktivität gerechnet würde und von einem Anteil der Erwerbstätigen von 24% ausgegangen würde.

<sup>137</sup> Diese Werte liegen im Vergleich zu den Spitaltagen um den Faktor 2.8 bzw. 6.8 (vgl. Abbildung 3-10) höher. In den früheren Berechnungen wurde vorsichtigerweise generell von einem Faktor 2 ausgegangen. Aufgrund der neuen Datenquellen ist eine Anpassung der Werte jedoch angezeigt.

<sup>138</sup> Grundlage für diesen Wert bildet die Auswertungen nach 5-Jahres-Altersklassen für ischämische Herzkrankheiten bzw. Bluthochdruck bedingte Krankheiten durch Lärmbelastung im Jahr 2005 (aktuellere Auswertungen enthalten keine Differenzierung nach Altersklassen). Es zeigte sich, dass 25.5% bzw. 14.4% aller Spitaltage Erwerbstätige betreffen. Im Vergleich hierzu betrug der Anteil der verlorenen Erwerbsjahre an den verlorenen Lebensjahren nur 7.3% bzw. 4.4% (Quelle: Grundlagenberechnungen zur Berechnung der externen Kosten 2005). Diesen Unterschied erachten wir als plausibel, da Spitalaufenthalte schon in einem früheren Lebensalter beginnen, der Todesfall aber eher später eintritt. Zudem fällt z.B. beim Todesfall eines 64-Jährigen nur noch ein Erwerbsjahr aus, aber noch viele Lebensjahre. Der Unterschied der beiden Prozentzahlen (Spitaltage versus Jahre) beträgt für die zwei lärmbedingten Krankheitsbilder einen Faktor von 3.5 bzw. 3.3. Bei den luftverschmutzten Krankheitsbildern gehen wir vom Durchschnitt (3.4) dieser beiden Faktoren aus, um vom – in der Luftverschmutzung – bekannten Anteil der verlorenen Erwerbsjahre an den verlorenen Lebensjahren auf den unbekanntem Anteil der Spitaltage von Erwerbstätigen an allen Spitaltagen zurückzuschliessen. Dies ergibt für die durch die Luftbelastung verursachten Krankheitsbilder 37%.

<sup>139</sup> Die Auswirkungen auf die Lernfähigkeit der Kinder sowie allfällige Produktionsausfälle der Eltern werden vernachlässigt.

Entsprechend dem at least Ansatz wird nicht berücksichtigt, dass die Arbeitsproduktivität vor oder nach der Arbeitsabwesenheit kleiner sein könnte.

#### 3.4.4 Wiederbesetzungskosten

Nach Todesfällen von Erwerbstätigen müssen deren Stellen neu besetzt werden. Aus einer Umfrage ist bekannt, dass die Wiederbesetzungskosten ca. 50% des Jahreslohnes ausmachen.<sup>140</sup> Zusammen mit dem durchschnittlichen Jahreseinkommen (gemäss BFS) folgt daraus, dass die Wiederbesetzungskosten für erwerbstätige Männer / Frauen 38'350 / 30'560 CHF betragen (zu Faktorpreisen).

Wiederbesetzungskosten entstehen nur, wenn jemand dauerhaft nicht mehr arbeiten kann. Im Bereich der hier betrachteten Krankheitsbilder ist dies nur bei den Todesfällen der Fall. Im Rahmen der Berechnung der verlorenen Lebensjahre wird auch bestimmt, wie viele Todesfälle von Erwerbstätigen zu beklagen sind (differenziert nach Geschlecht). Die dort ermittelte Zahl der Todesfälle kann direkt mit den hier hergeleiteten Kostensätzen multipliziert werden.

#### 3.4.5 Immaterielle Kosten

##### a) Todesfälle

Im Herbst 2013 wurde eine grosse VSS-Studie zum VOSL (VOSL = value of statistical life, manchmal auch „value of preventing a statistical fatality“ genannt) in der Schweiz gestartet, welche umfassende Erhebungen der Zahlungsbereitschaft zur Verminderung von Unfall- und Gesundheitsrisiken vorsieht. Aufgrund dieser Ausgangslage wird auftragsgemäss auf eine Überprüfung des bisher verwendeten **VOSL** verzichtet. Der bisher verwendete Ansatz von 3.147 Mio. CHF (Jahr 2005<sup>141</sup>, vgl. folgender Exkurs) wird lediglich mit dem Nominallohnwachstum auf 2010 angepasst, was einen Wert von **3.398 Mio. CHF** ergibt. Umgerechnet auf ein verlorenes Lebensjahr entspricht dies einem **VLYL** von **99'900 CHF** (VLYL = value of a life year lost). Dieser Wert wird im Folgenden für die Bewertung der verlorenen Lebensjahre verwendet.

Wie bisher gehen wir im Rahmen der Sensitivitätsanalyse davon aus, dass der Kostensatz pro verlorenes Lebensjahr auch um den Faktor 2 kleiner oder grösser sein könnte (-50% / +100%).

---

<sup>140</sup> Ecoplan 2002, Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr der Schweiz 1998, S. 42.

<sup>141</sup> Ecoplan, Infras (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz. Aktualisierung für das Jahr 2005 mit Bandbreiten, S. 86.

### VOSL und VLYL

Die Bewertung von immateriellen Kosten bei Todes- oder Krankheitsfällen stösst ausserhalb der Ökonomie auf Kritik, weil nach Ansicht vieler Betroffener der Wert eines Menschenlebens nicht in Geldeinheiten bewertet werden darf oder kann. Bei dieser Kritik handelt es sich u.E. um ein Missverständnis: Die Ökonomie unternimmt nicht den Versuch, den Wert eines bestimmten Lebens zu bewerten. Es geht vielmehr darum, den **Nutzen der Risikoverminderung** zu bewerten, wenn z.B. infolge vermehrter Verkehrssicherheit die Zahl der tödlichen Strassenverkehrsunfälle abnimmt. In der Ökonomie wird in diesem Zusammenhang oft der Begriff des „**Value of Statistical Life**“ (**VOSL**) verwendet. Damit wird ausgedrückt, dass es um die Bewertung von verminderten Risiken geht, bevor die negativen Folgen bereits eingetreten sind und nicht um den Wert eines bestimmten Menschenlebens, nach dem ein Unfall zum Tod dieses Menschen geführt hat.

Der VOSL wurde mittels einer Umfrage zur Zahlungsbereitschaft für eine Reduktion des Todesfallrisikos bestimmt. In den Umfragen werden Personen befragt, wie viel sie zu zahlen bereit wären, um das Todesfallrisiko zu vermindern. Dies entspricht der Zahlungsbereitschaft dieser Personen für die Vermeidung von Schock, Leid, Schmerz, Verlust an Lebensfreude sowie entgangenen Nutzen aus den Konsummöglichkeiten. Diese Studien stammen oft aus dem Unfallkontext (meist Strassenverkehr). Erhoben wird dabei jeweils die Zahlungsbereitschaft für eine geringe Risikoreduktion eines tödlichen Unfalls (z.B. wie viel wären die Befragten bereit zu bezahlen, um das Unfallrisiko um 0.1% zu verringern) bei ganz vielen verschiedenen Menschen. Diese Zahlungsbereitschaft wird danach auf einen Todesfall hochgerechnet (in diesem Beispiel Multiplikation mit 1'000, da  $0.1\% \cdot 1000 = 100\% =$  ein verhinderter Todesfall) und als „value of statistical life“ (VOSL) bezeichnet.<sup>142</sup> Diese Normierung auf einen Todesfall dient letztlich nur der Vereinfachung beim Ausweis der Zahlungsbereitschaft und der einfachen Anwendung in der Praxis bei der Bewertung von Todesfällen.

Für die Bewertung der immateriellen Kosten benutzen wir jedoch nicht den VOSL selbst, sondern den **VLYL** (= **value of a life year lost**). Beim VLYL-Konzept wird nicht der einzelne Todesfall bewertet, sondern die durch den Todesfall verlorenen Lebensjahre. Es bietet den Vorteil, eine spezifische Bewertung nach dem Alter der getöteten Personen zuzulassen. Dies ist z.B. bei den luftverschmutzungsbedingten Todesopfern, bei den Todesfällen nach Langsamverkehrsunfällen und bei den Gesundheitnutzen des Langsamverkehrs besonders wichtig, weil deren Alter im Durchschnitt wesentlich über demjenigen von getöteten Personen im Strassenverkehr liegt.

Meist fehlen konkrete Angaben zur Zahlungsbereitschaft zur Vermeidung eines verlorenen Lebensjahres. Daher wird der VLYL aus dem VOSL abgeleitet (die abdiskontierte Summe der verlorenen Lebensjahre entspricht dem VOSL<sup>143</sup>).

<sup>142</sup> Nellthorp et al. (2001), Valuation Convention for UNITE, S. 21.

<sup>143</sup> Ecoplan, Infras, ISPM (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz, Anhang E.

## b) Krankheitsfälle

Mangels empirischer Erhebungen zur Zahlungsbereitschaft in der Schweiz muss auf ausländische Untersuchungen zurückgegriffen werden. Eine Übertragung dieser Ergebnisse auf die Schweiz ist selbstverständlich nicht unproblematisch, da die Zahlungsbereitschaft unter anderem davon abhängt, wie gross der Anteil der Behandlungskosten und der Lohnausfälle ist, den das betroffene Individuum selbst bezahlen muss. Diese Anteile hängen vom jeweiligen Versicherungssystem ab, welches in den verschiedenen Ländern z.T. sehr unterschiedlich ausgestaltet ist. Auf eine Berücksichtigung dieser Unterschiede kann allerdings bei der Übertragung der Kostensätze auf die Schweiz mangels entsprechender Datengrundlagen nicht weiter eingegangen werden.

Basierend auf einer Literaturrecherche<sup>144</sup> werden für die Bewertung der Krankheitsfälle die folgenden Zahlungsbereitschaften verwendet:<sup>145</sup>

- **Spitaltage wegen Atemwegserkrankungen bzw. wegen Herz-Kreislauf-erkrankungen:** Ausgehend von der gleichen Grundlagenstudie wie bisher wird für 2010 ein Wert von 807 CHF pro Spitaltag (für beide Krankheitsbilder) verwendet.<sup>146</sup> Dieser Wert basiert auf einer Studie aus den USA<sup>147</sup> und liegt in etwa zwischen den Werten zweier anderer Studien.<sup>148</sup> In den EU-Projekten werden ebenfalls keine neuen Datengrundlagen erarbeitet bzw. ausgewertet, sondern es wird weiterhin auf bisherigen Werten von 2001 und 2004 aufgebaut.<sup>149</sup>
- **Chronische Bronchitis:** Aufgrund von aktuellen Studien verwenden wir für das Neuauf-treten von chronischer Bronchitis einen Kostensatz von 60'000 € bzw. umgerechnet 110'100 CHF (Kaufkraftparität und Umrechnung in Faktorpreise). Dieser Wert liegt gut 4-mal tiefer als der bisher verwendete Wert von 477'800 CHF (hochgerechnet auf Preisniveau 2010).<sup>150</sup> Im Rahmen der Sensitivität wird der bisherige Wert von 477'800 CHF weiterverwendet.

---

<sup>144</sup> Dabei wird insbesondere untersucht, welche Werte in den EU-Projekten NEEDS und HEIMTSA verwendet werden (NEEDS 2007, Description of updated and extended draft tools for the detailed site-dependent assessment of external costs, S. 52-53, HEIMTSA (2011), Monetary values for health end-points used in the HEIMTSA / INTARESE Common Case Study und HEIMTSA (2008), Literature review of theoretical issues and empirical estimation of health end-points unit values: indoor air case study). Die deutschen Sachstandspapiere stützen sich in diesem Bereich auf diese beiden EU-Projekte.

<sup>145</sup> Die Werte umfassen jeweils nur die Zahlungsbereitschaft für die eigene Gesundheit, nicht auch für die Gesundheit anderer Personen.

<sup>146</sup> EcoPlan, Infras (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz. Aktualisierung für das Jahr 2005 mit Bandbreiten, S. 160.

<sup>147</sup> Thayer et al. (2003), The Economic Valuation of Respiratory and Cardiovascular Hospitalizations. Umrechnung mit Kaufkraftparität, Umwandlung in Faktorpreise und Fortschreibung mit Nominallohnwachstum auf 2010.

<sup>148</sup> EcoPlan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz, S. 88.

<sup>149</sup> HEIMTSA (2011), Monetary values for health end-points used in the HEIMTSA / INTARESE Common Case Study

<sup>150</sup> Der bisher verwendete Wert und die Gründe für den Wechsel können wie folgt zusammengefasst werden

- **Übrige Krankheitsbilder:** Die Kostensätze für die übrigen Krankheitsbilder werden aus der bisherigen Studie übernommen und mit dem Nominallohnwachstum auf 2010 fortgeschrieben. Dies ergibt für akute Bronchitis bei Kindern 299 CHF, für Asthmaanfälle bei Erwachsenen 71 CHF und für Tage mit eingeschränkter Aktivität 215 CHF.<sup>151</sup> Für Asthmaanfälle bei Kindern wird derselbe Kostensatz verwendet wie bei Erwachsenen.<sup>152</sup>

Wie in den bisherigen Berechnungen gehen wir im Rahmen der Sensitivitätsanalyse davon aus, dass diese Kostensätze auch um 50% höher oder tiefer liegen könnten. Beim oberen Wert für die chronische Bronchitis wird wie oben beschrieben eine Ausnahme gemacht und der bisherige, gut 4-mal höhere Wert verwendet.

### 3.4.6 Zusammenfassung der verwendeten Kostensätze

Die folgende Abbildung fasst die verwendeten Kostensätze zusammen. Es zeigt sich, dass die immateriellen Kosten pro verlorenes Lebensjahr mit knapp 100'000 CHF rund sieben mal so hoch sind wie die Nettoproduktionsausfälle pro verlorenes Erwerbsjahr. Der vergleichsweise hohe Kostensatz bei der chronischen Bronchitis lässt sich dadurch begründen, dass es sich um das Neuauftreten einer Krankheit handelt, die sich über 15 Jahre und länger hinziehen kann.

- 
- Bisher wurde ein Kostensatz von ca. 442'000 CHF (2005) verwendet, der auf rund 200'000 € basiert (Ecoplan, Infrass 2008, Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz. Aktualisierung für das Jahr 2005 mit Bandbreiten, S. 160 und Ecoplan et al. 2004, Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz, S. 89).
  - Auch in den EU-Projekten NEEDS und ExternE wurde von einem Kostensatz von 200'000 € ausgegangen (NEEDS 2007, Description of updated and extended draft tools for the detailed site-dependent assessment of external costs, S. 53 und NEEDS 2006, Final report on the monetary valuation of mortality and morbidity risks from air pollution, S. 30-31 bzw. European Commission 2005, ExternE – Externalities of Energy – Methodology 2005 Update, S. 155).
  - Kritisiert wurde dieser Kostensatz, weil er aus einer Studie in den USA stammt und weil er eher auf schweren Fällen von chronischer Bronchitis beruht und damit zu hoch liegen könnte (persönliche Kommunikation mit Rainer Friedrich, IER Stuttgart vom 2.9.2013 und European Commission 2005, ExternE – Externalities of Energy – Methodology 2005 Update, S. 155).
  - Deshalb wurde im Rahmen des EU-Projektes HEIMTSA eine neuere Studie erstellt, die einen deutlich tieferen Wert von 60'000 €<sub>2010</sub> findet, der nun in den EU-Projekten HEIMTSA und INTARESE zur Anwendung kommt (HEIMTSA 2011, Presentation of unit values for health end-points: country-specific and pooled, S. 78 (es wird der Kostensatz für mild COPD empfohlen) und HEIMTSA 2011, Monetary values for health end-points used in the HEIMTSA / INTARESE Common Case Study).
  - Auch das IER Stuttgart empfiehlt, diesen tieferen Wert aus HEIMTSA zu verwenden, weil er in Europa erhoben wurde und weil er dem betrachteten Krankheitsbild besser entspricht, da er nicht auf Fällen von schwerer Bronchitis beruht (persönliche Kommunikation mit Rainer Friedrich, IER Stuttgart vom 2.9.2013).

<sup>151</sup> Ein Vergleich mit den in den Projekten HEIMTSA und NEEDS sowie in den Sachstandspapieren verwendeten Werten zeigt, dass die Schweizer Werte zwischen den verschiedenen in Europa verwendeten Werten liegen und somit plausibel erscheinen.

<sup>152</sup> Dies entspricht dem at least Ansatz, da teilweise für Kinder höhere Kostensätze verwendet werden als für Erwachsene (HEIMTSA 2008, Literature review of theoretical issues and empirical estimation of health end-points unit values: indoor air case study, S. 16).

**Abbildung 3-11: Übersicht über die verwendeten Kostensätze (in CHF)**

	CHF pro	Medizinische Behandlungskosten	Nettproduktions- ausfall	Widerbesetzungs- kosten	Immaterielle Kosten	Total
Verlorenes Lebensjahr	Lebensjahr	-	-	-	99'907	<b>99'907</b>
Verlorenes Erwerbsjahr	Erwebsjahr	-	14'686	-	-	<b>14'686</b>
Pro Todesfall eines Erwerbstätigen ( Mann / Frau)	Todesfall	-	-	38350 / 30560	-	<b>38350 / 30560</b>
Spitaltage wegen Herz-Kreislauf-erkrankungen	Spitaltag	1'524	95	-	807	<b>2'426</b>
Spitaltage wegen Atemwegserkrankungen	Spitaltag	1'029	54	-	807	<b>1'890</b>
Chronische Bronchitis bei Erwachsenen (≥18 J.)	Neuaufreten	6'797	206	-	110'060	<b>117'063</b>
Akute Bronchitis bei Kindern (5-17 Jahre)	Bronchitisanfall	54	3	-	299	<b>357</b>
Asthmaanfälle bei Erwachsenen (≥18 Jahre)	Asthmaanfall	1	15	-	71	<b>87</b>
Asthmaanfälle bei Kindern (5-17 Jahre)	Asthmaanfall	1	3	-	71	<b>75</b>
Tage mit eingeschränkter Aktivität (≥18 Jahre)	Tag	-	40	-	215	<b>255</b>

### 3.4.7 Internalisierungsbeiträge

Wie in Kapitel 2.6.2 erläutert, kann die LSVA nicht einfach auf die verschiedenen externen Effekte (Luftverschmutzung, Lärm, Unfälle etc.) aufgeteilt werden. Deshalb wird die LSVA erst im Rahmen von Kapitel 16, insbesondere Kapitel 16.2, berücksichtigt. Im Folgenden werden also die Ergebnisse vor Abzug der LSVA ausgewiesen.

Im Luftverkehr wird zudem ein Teil der Kosten der Luftverschmutzung durch emissionsabhängige Landegebühren internalisiert. Es ist allerdings anzumerken, dass sich diese Internalisierung eigentlich nicht nur auf die Gesundheitskosten der Luftverschmutzung bezieht, sondern auf die gesamten Kosten der Luftverschmutzung (inkl. Gebäudeschäden, Ernteauffälle, Waldschäden und Biodiversitätsverluste). Eine Aufteilung der Internalisierungsmassnahme auf diese fünf Kostenbereiche ist nicht direkt möglich. Vereinfachend wird die Internalisierungsmassnahme deshalb beim bedeutendsten Kostenbestandteil – den Gesundheitskosten – abgezogen. Im Rahmen einer Umfrage bei den Flugplätzen wurden in Infrass, Ecoplan (2010<sup>153</sup>) die Einnahmen aus den emissionsabhängigen Landegebühren erfasst, die sich auf 3.70 Mio. CHF belaufen.

## 3.5 Ergebnisse

### 3.5.1 Externe Kosten

#### a) Überblick Gesamtverkehr

Gesamthaft fallen durch die Luftbelastung des Verkehrs externe Gesundheitskosten von 1'756 Mio. CHF an (vgl. Abbildung 3-12 und Abbildung 3-13). Der Strassenverkehr verur-

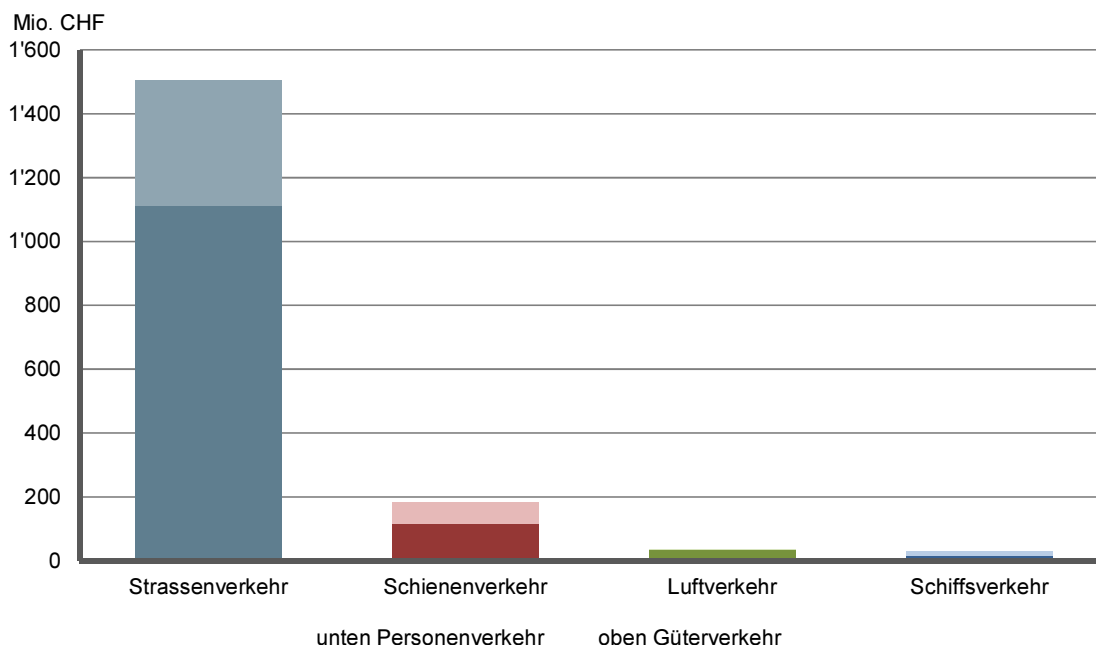
<sup>153</sup> Infrass, Ecoplan (2012), Integration des Luftverkehrs in die Transportrechnung, S. 119-120.



sacht 86% dieser Kosten (1'505 Mio. CHF), im Schienenverkehr fallen 11% (oder 185 Mio. CHF) der Kosten an, während im Luft- und Schiffsverkehr vergleichsweise geringe Kosten auftreten (je ca. 2% oder 37 bzw. 29 Mio. CHF). Etwa 73% der Kosten entstehen durch den Personenverkehr. Dieser Anteil stimmt im Strassenverkehr beinahe überein, im Luftverkehr ist der Anteil des Personenverkehrs mit 91% deutlich höher, im Schienen- und Schiffsverkehr mit 63% bzw. 58% etwas tiefer.

Die sozialen Kosten liegen aufgrund der Internalisierung im Luftverkehr (emissionsabhängigen Landegebühren im Umfang von 3.7 Mio. CHF) etwas höher. Durch die gesamte Luftbelastung (inkl. Haushalte, Industrie etc.) entstehen soziale Gesundheitskosten von 4'059 Mio. CHF.

**Abbildung 3-12: Überblick über die externen Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung 2010**



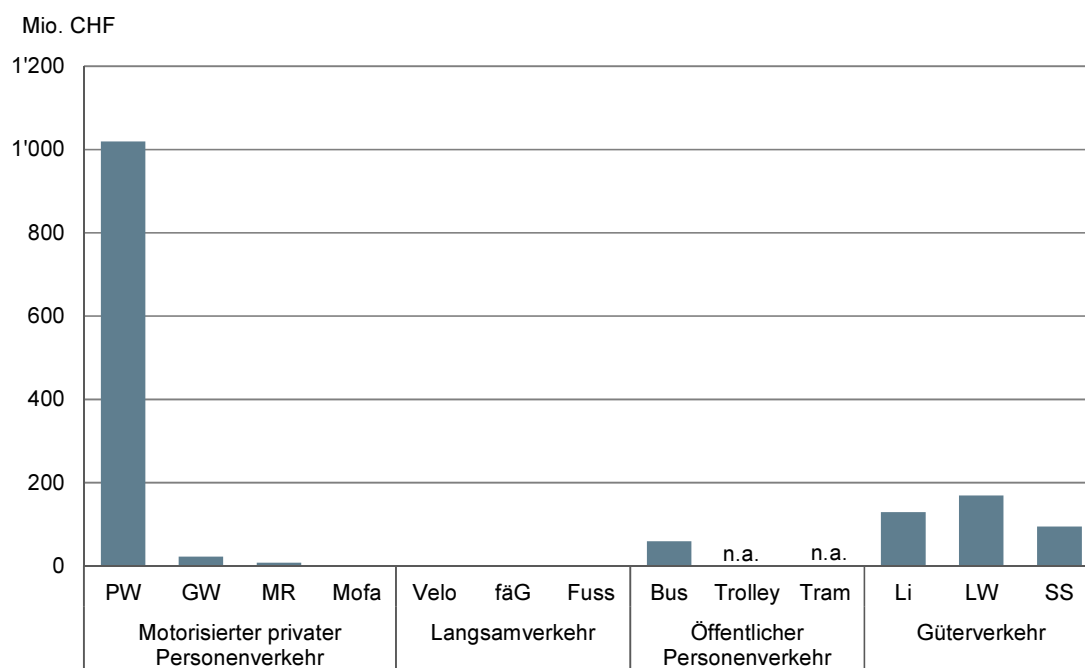
**Abbildung 3-13: Überblick über die externen Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung 2010**

Gesundheitskosten Luftverschmutzung in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	1'110.9	393.7	<b>1'504.6</b>	85.7%
Schienenverkehr	116.0	69.1	<b>185.0</b>	10.5%
Luftverkehr	33.8	3.3	<b>37.1</b>	2.1%
Schiffsverkehr	17.0	12.5	<b>29.4</b>	1.7%
<b>Total</b>	<b>1'277.6</b>	<b>478.6</b>	<b>1'756.2</b>	100.0%
in % des Totals	72.7%	27.3%	100.0%	

## b) Strassenverkehr

In Abbildung 3-14 und Abbildung 3-15 werden die Kosten des Strassenverkehrs von 1'505 Mio. CHF weiter aufgeteilt auf die Fahrzeugkategorien und die Kostenbestandteile. Ein Grossteil der Kosten (68%) wird durch Personenwagen verursacht. Von Bedeutung sind auch die drei Güterverkehrskategorien mit 11% für Lastwagen, 9% für Lieferwagen und 6% für Sattelschlepper. Die übrigen Kategorien tragen zusammen nur noch 6% bei, wobei für Trolleybusse und Trams keine Datengrundlagen vorhanden sind.

Abbildung 3-14: Externe Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung im Strassenverkehr 2010 nach Fahrzeugkategorien



n.a. = not available (=nicht verfügbar)

Abbildung 3-15: Externe Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung im Strassenverkehr 2010 nach Krankheitsbildern und Fahrzeugkategorien

Gesundheitskosten Luftverschmutzung in Mio. CHF	Personenverkehr									Güterverkehr			Gesamt- total	
	Motorisierter privater Personenverkehr				Langsamverkehr			Öffentlicher Personenverkehr			Li	LW		SS
	PW	GW	MR <sup>1</sup>	Mofa <sup>1</sup>	Velo	fäG	Fuss	Bus	Trolley	Tram				
Verlorene Lebensjahre	736.3	16.4	6.0	0.5	-	-	-	43.4	n.a.	n.a.	93.3	122.3	68.5	1'086.6
Übrige Gesundheitskosten	282.9	6.3	2.3	0.2	-	-	-	16.7	n.a.	n.a.	36.0	47.2	26.4	418.0
<b>Total Fahrzeugkategorien</b>	<b>1'019.2</b>	<b>22.7</b>	<b>8.3</b>	<b>0.6</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>60.2</b>	<b>n.a.</b>	<b>n.a.</b>	<b>129.3</b>	<b>169.4</b>	<b>94.9</b>	<b>1'504.6</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	<b>67.7%</b>	<b>1.5%</b>	<b>0.5%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>4.0%</b>	<b>n.a.</b>	<b>n.a.</b>	<b>8.6%</b>	<b>11.3%</b>	<b>6.3%</b>	<b>100.0%</b>
<b>Total Teilbereiche</b>	<b>1'050.8</b>				<b>0.0</b>			<b>60.2</b>			<b>393.7</b>			<b>1'504.6</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	<b>69.8%</b>				<b>0.0%</b>			<b>4.0%</b>			<b>26.2%</b>			<b>100.0%</b>

PW = Personenwagen, GW = Gesellschaftswagen, MR = Motorrad, fäG = fahrzeugähnliches Gerät, Fuss = Fussverkehr, Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper.

<sup>1</sup> Bei MR und Mofa sind nur die Abriebemissionen berücksichtigt, da keine belastbaren Emissionsfaktoren für die Auspuffemissionen vorliegen.

Die Aufteilung auf die Krankheitsbilder in Abbildung 3-16 zeigt, dass 72% oder knapp 1'090 Mio. CHF auf die verlorenen Lebensjahre zurückzuführen sind. 9% der Kosten entfallen auf das Neuauftreten von Bronchitis bei Erwachsenen. Die übrigen spezifischen Krankheitsbilder liegen im Bereich von 0.7% (10 Mio. CHF) oder darunter. Bedeutsam sind hingegen die Tage mit eingeschränkter Aktivität (17% der Gesamtkosten).

Betrachtet man die Aufteilung auf die Kostenbestandteile, zeigt sich die dominante Stellung der immateriellen Kosten mit 96%. Auf die Produktionsausfälle entfallen nur gut 2% der gesamten Kosten, auf die medizinischen Heilungskosten 1.2% und die Wiederbesetzungskosten sind praktisch vernachlässigbar (0.3%).

Die Prozentsätze in der letzten Spalte und letzten Zeile von Abbildung 3-16 gelten auch praktisch unverändert für den Schienen-, Luft- und Schiffsverkehr. Wir verzichten deshalb im Folgenden darauf, diese Aufteilung auch für die weiteren Verkehrsträger darzustellen.

**Abbildung 3-16: Externe Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung durch den gesamten Strassenverkehr 2010 nach Krankheitsbildern und Kostenbestandteilen in Mio. CHF**

	Medizinische Behandlungskosten	Nettoproduktionsausfall	Wiederbesetzungskosten	Immaterielle Kosten	Total	Anteil am Total
Verlorene Lebensjahre	-	16.9	4.4	1'065.3	<b>1'086.6</b>	72.2%
Spitaltage wegen Herz-/Kreislauferkrankungen	6.2	0.4	-	3.3	<b>9.8</b>	0.7%
Spitaltage wegen Atemwegserkrankungen	3.6	0.2	-	2.8	<b>6.6</b>	0.4%
Inzidenz von Bronchitis bei Erwachsenen (≥18 Jahre)	8.1	0.2	-	131.8	<b>140.2</b>	9.3%
Prävalenz von Bronchitis bei Kindern (5-17 Jahre)	0.4	0.0	-	2.0	<b>2.3</b>	0.2%
Asthmaanfälle Erwachsene (≥18 Jahre)	0.0	0.2	-	1.2	<b>1.5</b>	0.1%
Tage mit Asthmasymptome bei Kindern (5-17 Jahre)	0.0	0.1	-	2.9	<b>3.0</b>	0.2%
Tage mit eingeschränkter Aktivität (≥18 Jahre)	-	15.9	-	238.6	<b>254.6</b>	16.9%
<b>Total</b>	<b>18.3</b>	<b>34.0</b>	<b>4.4</b>	<b>1'447.9</b>	<b>1'504.6</b>	100.0%
Anteil am Gesamttotal	1.2%	2.3%	0.3%	96.2%	100.0%	

### c) Schienenverkehr

Die folgende Abbildung enthält die detaillierten Ergebnisse zum Schienenverkehr. Von den insgesamt 185 Mio. CHF entfallen 134 Mio. CHF auf die verlorenen Lebensjahre und 51 Mio. auf die übrigen Krankheitsbilder.

**Abbildung 3-17: Externe Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung im Schienenverkehr 2010 nach Krankheitsbildern**

Gesundheitskosten Luftverschmutzung in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
Verlorene Lebensjahre	83.7	49.9	<b>133.6</b>
Übrige Gesundheitskosten	32.3	19.2	<b>51.5</b>
<b>Total</b>	<b>116.0</b>	<b>69.1</b>	<b>185.0</b>

#### d) Luftverkehr

Im Luftverkehr entstehen insgesamt externe Kosten von 37 Mio. CHF, wobei der Grossteil (34 Mio. CHF oder 91%) auf den Personenverkehr zurückzuführen ist (vgl. folgende Abbildung). Die Aufteilung auf die Krankheitsbilder entspricht der letzten Spalte in Abbildung 3-16.

98% der Gesundheitskosten durch die Luftbelastung entstehen durch den Verkehr auf den Landesflughäfen, lediglich 2% durch den Verkehr auf den Regionalflughäfen. Werden die verschiedenen Flugfahrzeugkategorien betrachtet, so entfallen 97% auf den Linien- und Charterverkehr. Schliesslich werden 46% der Kosten durch Triebwerksemissionen verursacht, 28% durch Emissionen auf den Flugplätzen und 27% durch Abrieb.

Die sozialen Kosten sind um die 3.7 Mio. CHF höher, die durch die emissionsabhängigen Landegebühren internalisiert werden. Sie betragen somit 41 Mio. CHF. Damit werden 9% der sozialen Kosten internalisiert.<sup>154</sup>

Abbildung 3-18: Externe Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung im Luftverkehr 2010

Gesundheitskosten Luftverschmutzung in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
Verlorene Lebensjahre	24.3	2.4	26.7
Übrige Gesundheitskosten	9.4	0.9	10.4
<b>Total</b>	<b>33.8</b>	<b>3.3</b>	<b>37.1</b>

Mio. CHF	Landesflughäfen	Regionalflugplätze	Total
Linien- und Charterverkehr interkontinental	6.6	0.0	6.6
Linien- und Charterverkehr europäisch	29.1	0.2	29.3
Helikopter	0.0	0.1	0.1
Business Aviation	0.3	0.2	0.5
Rest General Aviation	0.5	0.2	0.7
<b>Total</b>	<b>36.4</b>	<b>0.7</b>	<b>37.1</b>
davon durch Triebwerksemissionen	16.2	0.7	16.9
davon durch Abrieb	9.9	-	9.9
davon durch Emissionen auf dem Flugplatz	10.3	-	10.3

#### e) Schiffsverkehr

Im Schiffsverkehr werden die Kosten von insgesamt 29 Mio. CHF in etwa zu gleichen Teilen durch den Personen- und Güterverkehr verursacht: Auf den Personenverkehr entfallen 17

<sup>154</sup> Eigentlich sind es weniger als 9%, da diese Internalisierungsabgabe nicht nur für die Gesundheitskosten der Luftbelastung gilt, sondern auch für die Gebäudeschäden, Ernteauffälle, Waldschäden und Biodiversitätsverluste durch Luftverschmutzung.

Mio. CHF Kosten, auf den Güterverkehr 12 Mio. CHF (vgl. Abbildung 3-19). Die prozentuale Aufteilung auf die Krankheitsbilder entspricht der letzten Spalte in Abbildung 3-16.

**Abbildung 3-19: Externe Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung im Schiffsverkehr 2010 nach Krankheitsbildern**

	Personen- verkehr	Güter- verkehr	Total
Verlorene Lebensjahre	12.2	9.0	<b>21.2</b>
Übrige Gesundheitskosten	4.7	3.5	<b>8.2</b>
<b>Total</b>	<b>17.0</b>	<b>12.5</b>	<b>29.4</b>

### 3.6 Sensitivitätsanalyse

#### 3.6.1 Zusammenfassung der Annahmen und Unsicherheiten

Bei der Ermittlung der Gesundheitskosten der Luftverschmutzung müssen diverse Annahmen getroffen werden, die mit Unsicherheiten behaftet sind. Im Folgenden werden die wichtigsten Unsicherheiten aufgelistet. Im anschliessenden Teilkapitel wird dann untersucht, wie sensitiv die Ergebnisse reagieren, wenn diese Annahmen verändert werden.

Wie in Kapitel 2.4 erläutert, verwenden wir bei Unsicherheiten wo möglich und sinnvoll eine bestmögliche Schätzung (best guess). Ansonsten beruht der Wert auf einer vorsichtigen Schätzung (at least Ansatz). Die folgende Abbildung zeigt die wesentlichen Unsicherheiten im Bereich der Gesundheitskosten der Luftbelastung:

- Fahrleistungen und Emissionen im Strassen- und Schienenverkehr werden als gesichertes Wissen betrachtet. Die Umlagen der Emissionen in Immissionen und die bevölkerungsgewichtete Mittelung ist mit einer sehr geringen Unsicherheit behaftet ( $\pm 1\%$ , siehe Ausführungen und Diskussion im folgenden Exkurs) und wird deshalb im Weiteren vernachlässigt.
- Im Luftverkehr sind die Emissionen der primären PM10-Emissionen sehr unsicher, dies gilt insbesondere für die Emissionen aus Triebwerken und durch Abrieb. Ein wesentlicher Teil der Immissionen (60%) stammt jedoch aus sekundären PM10-Emissionen. Für diese wird die Unsicherheit von  $\text{NO}_x$  verwendet, die deutlich geringer ist. Zudem ist die Umrechnung der Emissionen in Immissionen im Flugverkehr mit zusätzlichen Unsicherheiten verbunden (Emissionen über Boden). Deshalb wird für die Ausbreitungsrechnung eine zusätzliche Unsicherheit von  $\pm 20\%$  verwendet. Werden alle Unsicherheiten zu den Emissionen und Immissionen des Luftverkehr gleichzeitig auf hoch bzw. tief gestellt, so ergibt sich eine maximale Schwankungsbreite der Flugverkehrs-Immissionen von  $-60\% / +38\%$ .

**Abbildung 3-20: Übersicht über Inputdaten, Annahmen und Bandbreiten bei den Gesundheitskosten der Luftbelastung**

Bereich / Annahme	Wissenstand	Vorgehen	Bandbreite
<b>Emissionen / Immissionen</b>			
Fahrleistungen pro Fahrzeugtyp	Gesichertes Wissen		
Bevölkerungsgewichtete Immissionen Strasse, Schiene	Gesichertes Wissen	best guess	± 1%
PM10-Emissionen Triebwerk Flugzeuge	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	-100% / +30%
NOx-Emissionen Triebwerk Flugzeuge	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	±10%
Emissionen Abrieb Flugverkehr	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	-100% / +0%
PM10-Emissionen auf dem Flughafen	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 33%
NOx-Emissionen auf dem Flughafen	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	±9%
Umrechnung Emissionen in Immissionen Flugverkehr	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	±20%
Emissionen Personen-Schiffsverkehr	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	±20%
Emissionen Güter-Schiffsverkehr auf Seen	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	±15%
Emissionen Güter-Schiffsverkehr auf dem Rhein	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	-50% / +100%
<b>Belastungs-Wirkungs-Beziehungen</b>			
Langzeitmortalität	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	-35% / +31%
Säuglingssterblichkeit	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	-49% / +70%
Spitaltage wegen Herz-/Kreislauferkrankungen	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	-81% / +82%
Spitaltage wegen Atemwegserkrankungen	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	-100% / +109%
Inzidenz von Bronchitis bei Erwachsenen	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	-64% / +56%
Prävalenz von Bronchitis bei Kindern	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	-100% / +124%
Asthmaanfälle Erwachsene	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	-55% / +54%
Tage mit Asthmasymptome bei Kindern	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	-78% / +80%
Tage mit eingeschränkter Aktivität	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	-10% / +12%
Tage mit Erwerbsausfall bei Arbeitenden	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	±15%
<b>Wertgerüst</b>			
Immaterielle Kosten bei verlorenen Lebensjahren	Wissen mit Unsicherheiten	at least	-50% / +100%
Immaterielle Kosten für Krankheiten	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 50%
Übriges Wertgerüst	Wissen mit Unsicherheiten	at least	

- Die Emissionen im Schiffsverkehr wurden im Rahmen des Schiffsverkehrs-Projektes untersucht.<sup>155</sup> Im Personenverkehr wird dort von einer Unsicherheit von ±20% ausgegangen, im Güterverkehr von ±15%. Für die Ermittlung der Emissionen im Güterverkehr auf dem Rhein unterhalb von Basel sind jedoch einige zusätzliche, unsichere Annahmen nötig, so dass wir hier eine Bandbreite von -50% / +100% unterstellen. Wir gehen davon aus, dass sich diese Unsicherheiten bei den Emissionen 1:1 auf die Immissionen übertragen.
- Bei den Belastungs-Wirkungs-Beziehungen werden die 95%-Konfidenzintervalle der Schätzungen verwendet. Diese sind teilweise relativ genau (-10% / +12% für Tage mit eingeschränkter Aktivität), teilweise aber auch mit grösseren Unsicherheiten behaftet (-

<sup>155</sup> IRENE und Ecosys (2013), L'integration de la navigation dans le compte des transports, S. 57.

- 100% / +124% für Bronchitis bei Kindern<sup>156</sup>). Die für die Kosten wichtigste Unsicherheit bei der Langzeitmortalität beträgt –35% / +31%.
- Wie in Kapitel 3.4.5 erwähnt, gehen wir beim Kostensatz für die verlorenen Lebensjahre von einer Unsicherheit von –50% / +100% aus und bei den übrigen immateriellen Kostensätzen von ±50%. Bei der Bronchitis bei Erwachsenen wird wie erwähnt bei der oberen Sensitivität der gut 4-mal so hohe Kostensatz eingesetzt, der bisher verwendet wurde.

### Exkurs: Unsicherheiten der PM10-Konzentrationen

Die Unsicherheiten der bevölkerungsgewichteten PM10-Immissionskonzentrationen (Abbildung 3-4) können wie folgt abgeschätzt werden.

Zuerst wird die Unsicherheit der gesamten bevölkerungsgewichteten PM10-Immissionskonzentration berechnet.

Die Formel für die bevölkerungsgewichtete Immissionskonzentration lautet

$$\langle c \rangle = \frac{\sum_{i=1}^N c_i \cdot EW_i}{\sum_{i=1}^N EW_i} = 19.442 \mu\text{g}/\text{m}^3; \quad i=1 \dots N \approx 338'298 \text{ alle bewohnten Hektaren } (EW_i > 0)$$

Mit dem Fehlerfortpflanzungsgesetz kann die Unsicherheit von  $\langle c \rangle$  berechnet werden, wenn die Unsicherheiten der PM10-Konzentration ( $U_{ci}$ ) und der Einwohnerzahl ( $U_{Ei}$ ) je Hektare bekannt sind

$$\sigma_{\langle c \rangle} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (c_i \cdot EW_i \cdot U_{ci})^2 + ((c_i - \langle c \rangle)^2 \cdot EW_i \cdot U_{Ei})^2}{\sum_{i=1}^N EW_i}} \quad (1)$$

Wird vereinfachend angenommen, die (relativen) Unsicherheiten  $U_{ci}$  und  $U_{Ei}$  seien je unabhängig von der betreffenden Hektare  $i$  und seien in der Grössenordnung

$$U_{ci} = 100\%, \quad U_{Ei} = 50\%.$$

das heisst, die Unsicherheit der modellierten PM10-Konzentration in einer Hektare sei ±100% und die Unsicherheit der Einwohnerzahl sei ±50%, so ergibt die Auswertung der Formel (1)

$$\langle c \rangle = (19.442 \pm 0.065) \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} = 19.442 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot (100\% \pm 0.336\%)$$

Während die PM10-Konzentration in einer einzelnen Hektare eine sehr hohe Unsicherheit aufweisen kann, ist die bevölkerungsgewichtete PM10-Konzentration dank der Mittelwertbildung über sehr viele Hektaren ein robustes Mass mit kleiner Unsicherheit. Systematische Unsicherheiten könnten die Gesamtunsicherheit vergrössern, bleiben aber beschränkt, weil

<sup>156</sup> Das untere Konfidenzintervall wird jeweils auf –100% reduziert, wenn es grösser als –100% ist, weil eine Verbesserung der Gesundheit mit steigender Luftverschmutzung unplausibel wäre.

das Modell mit Messwerte kalibriert wurde. Grössere Unsicherheiten können allerdings noch im Fall räumlich ausgedehnter Korrelationen auftreten. Solche Fälle wurden aber aus Zeitgründen nicht simuliert.

Die Unsicherheiten der Anteile PW, Li, etc. sind (relativ) grösser als die Unsicherheit der gesamten bevölkerungsgewichtete PM10-Konzentration. Unter der Annahme, dass jeder Anteil dieselbe (relative) Unsicherheit besitzt, lässt sich dieser Wert wiederum aus dem Fehlerfortpflanzungsgesetz herleiten

$$U = \frac{\sigma_{\langle c \rangle}}{\sqrt{\sum_k \langle c_k \rangle^2}} = 0.71\%, \quad k = \text{PW, Li, GW, ...}$$

Dabei sind  $\langle c_k \rangle$  die bevölkerungsgewichteten PM10-Konzentrationen der PW, Li etc. aus Abbildung 3-4. Die gesuchten Unsicherheiten der bevölkerungsgewichteten PM10-Konzentrationen je Fahrzeugkategorie sind damit im Bereich von 1%.

Es wurde auch untersucht, ob Korrelationen zwischen der Höhe der Konzentration und der Höhe der Einwohner pro Hektare, die bei der Unsicherheitsanalyse vernachlässigt werden, allenfalls einen dominanten Einfluss haben könnten. Hierzu wurde ein einfacher Fall betrachtet, bei dem positive Korrelationen lediglich zwischen benachbarten Hektaren auftreten. Die Unsicherheit von  $\langle c \rangle$  erhöhte sich dabei nur in den Nachkommastellen und  $U$  erhöhte sich von 0.71% auf 0.73%. Allerdings können auch weiterreichende Korrelationen vorkommen (z.B. bei den sekundären PM10-Immissionen). In diesem Fall könnte die Unsicherheit deutlich grösser werden ( $\pm 10\%$ ).

Eine Sensitivitätsanalyse zeigt, dass das Resultat sehr robust ist gegenüber der Annahme über die Unsicherheit der Einwohnerzahlen (ob  $U_{Ei}$  25%, 50% oder 75% beträgt, hat praktisch keinen Einfluss auf  $U$ ). Hingegen reagiert  $U$  sensitiv auf die Unsicherheit  $U_{ci}$ . Verkürzt gesagt, ist  $U$  proportional zu  $U_{ci}$ . Eine Verdoppelung von  $U_{ci}$  ergibt praktisch eine Verdoppelung von  $U$ . Die Grösse der Unsicherheit bliebe aber auch damit noch in der Grössenordnung von 1%.

Die Unsicherheiten bei der Ermittlung der bevölkerungsgewichteten PM10-Konzentration sind – so weit hier quantitativ untersucht – so klein, dass sie im Folgenden nicht weiter verfolgt werden.

### 3.6.2 Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

Die folgenden beiden Abbildungen stellen dar, wie sich die externen Kosten verändern, wenn die Annahmen in Abbildung 3-20 geändert werden:

- Werden alle Annahmen zu den Emissionen und Immissionen des Luft- und Schiffsverkehrs gegen unten bzw. oben abgeändert, so schwanken die externen Kosten des Luftverkehrs um  $-66\%$  /  $+41\%$  und diejenigen des Schiffsverkehrs um  $-24\%$  /  $+32\%$ . Der Strassen- und Schienenverkehr verändert sich dadurch nicht, so dass auch das Resultat für den gesamten Verkehr kaum schwankt ( $\pm 1.5\%$ ). Diese Schwankungsbreiten sind aber



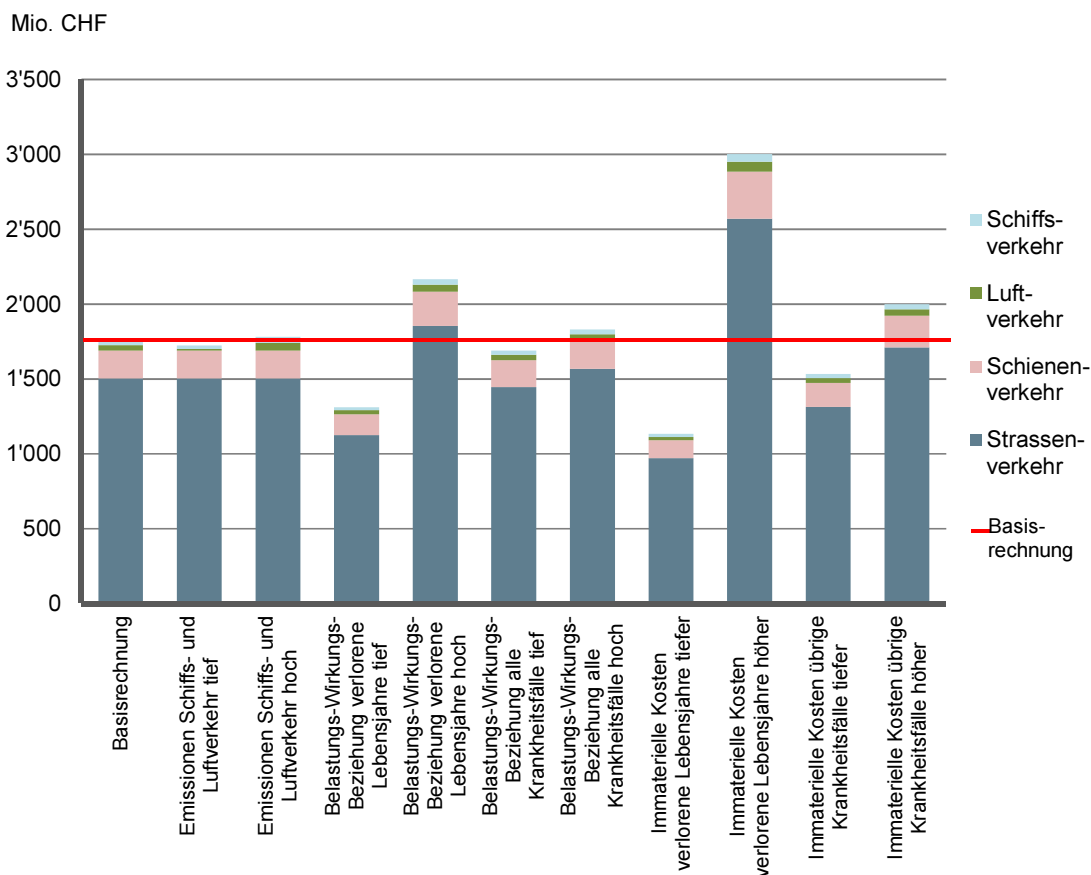
zu gross, weil die zugrundeliegenden Annahmen unabhängig voneinander sind.<sup>157</sup> Wird jeweils nur die für das Ergebnis wichtigste Unsicherheit verändert, liegt die Schwankungsbreite im Luftverkehr bei +22% / -30% (aufgrund der Umrechnung der Emissionen in Immissionen bzw. ohne Abriebemissionen) und im Schiffsverkehr bei -12% / +17% (aufgrund Unsicherheit im Personenverkehr bzw. im Güterverkehr auf dem Rhein).

**Abbildung 3-21: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für die externen Gesundheitskosten der verkehrsbedingten Luftverschmutzung 2010**

Gesundheitskosten der Luftverschmutzung in Mio. CHF	Strassenverkehr	Schieneverkehr	Luftverkehr	Schiffsverkehr	Total
<b>Basisrechnung</b>	<b>1'504.6</b>	<b>185.0</b>	<b>37.1</b>	<b>29.4</b>	<b>1'756.2</b>
Emissionen Schiffs- und Luftverkehr tief	1'504.6	185.0	12.7	22.5	1'724.8
Emissionen Schiffs- und Luftverkehr hoch	1'504.6	185.0	52.4	38.9	1'781.0
Belastungs-Wirkungs-Beziehung verlorene Lebensjahre tief	1'125.5	138.4	26.8	22.0	1'312.8
Belastungs-Wirkungs-Beziehung verlorene Lebensjahre hoch	1'855.4	228.1	46.6	36.3	2'166.4
Belastungs-Wirkungs-Beziehung alle Krankheitsfälle tief	1'448.1	178.1	35.5	28.3	1'690.1
Belastungs-Wirkungs-Beziehung alle Krankheitsfälle hoch	1'568.5	193.0	38.8	30.7	1'831.0
Immaterielle Kosten verlorene Lebensjahre tiefer	972.0	119.6	22.7	19.0	1'133.3
Immaterielle Kosten verlorene Lebensjahre höher	2'569.9	316.0	65.9	50.3	3'002.1
Immaterielle Kosten übrige Krankheitsfälle tiefer	1'313.4	161.5	31.9	25.7	1'532.4
Immaterielle Kosten übrige Krankheitsfälle höher	1'712.4	211.1	42.9	33.6	2'000.0
<b>Abweichung von Basisrechnung in %</b>					
Emissionen Schiffs- und Luftverkehr tief	0.0%	0.0%	-65.8%	-23.7%	-1.8%
Emissionen Schiffs- und Luftverkehr hoch	0.0%	0.0%	41.3%	32.1%	1.4%
Belastungs-Wirkungs-Beziehung verlorene Lebensjahre tief	-25.2%	-25.2%	-27.7%	-25.2%	-25.2%
Belastungs-Wirkungs-Beziehung verlorene Lebensjahre hoch	23.3%	23.3%	25.6%	23.3%	23.4%
Belastungs-Wirkungs-Beziehung alle Krankheitsfälle tief	-3.8%	-3.8%	-4.2%	-3.8%	-3.8%
Belastungs-Wirkungs-Beziehung alle Krankheitsfälle hoch	4.2%	4.3%	4.7%	4.3%	4.3%
Immaterielle Kosten verlorene Lebensjahre tiefer	-35.4%	-35.4%	-38.9%	-35.4%	-35.5%
Immaterielle Kosten verlorene Lebensjahre höher	70.8%	70.8%	77.7%	70.7%	70.9%
Immaterielle Kosten übrige Krankheitsfälle tiefer	-12.7%	-12.7%	-14.0%	-12.7%	-12.7%
Immaterielle Kosten übrige Krankheitsfälle höher	13.8%	14.1%	15.6%	14.2%	13.9%

<sup>157</sup> In dieser Sensitivität werden drei (Schiffsverkehr) bzw. sechs (Luftverkehr) Unsicherheiten gleichzeitig verändert, obwohl diese Unsicherheiten unabhängig voneinander sind. Soll überprüft werden, wie sich das Gesamtergebnis verändert, wenn mehrere Unsicherheiten vorliegen, müsste eine Monte-Carlo-Simulation durchgeführt werden, was im Rahmen des vorliegenden Projektes nicht möglich ist. Werden wie hier einfach alle Unter- und Obergrenzen der unsicheren Parameter miteinander verknüpft, können sich deutlich grössere Bandbreiten ergeben, wie das folgende theoretische Beispiel zeigt: Bei einer einfachen Multiplikation von vier unabhängigen Parametern mit jeweils einer Bandbreite von je  $\pm 25\%$  (95%-Konfidenzintervall) würde das Endergebnis bereits in einer Spanne von -68% bis +144% liegen. Wird hingegen eine Monte-Carlo-Analyse durchgeführt, zeigt sich, dass das 95%-Konfidenzintervall lediglich im Bereich -43% bis +56% liegt. Der Grund dafür ist, dass sich hohe Ergebnisse beim einen Parameter und tiefe Ergebnisse beim anderen gegenseitig etwas ausgleichen. Zudem haben die Ergebnisse der Monte-Carlo-Analysen in EcoPlan, Infrac (2008, Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz) gezeigt, dass Unsicherheiten, die deutlich kleiner sind als die grösste Unsicherheit, auf die Bandbreite des Endergebnisses praktisch keinen Einfluss haben.

Abbildung 3-22: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für die externen Gesundheitskosten der Luftverschmutzung



Bei allen folgenden Sensitivitäten sind die Schwankungsbreiten in Prozent bei allen Verkehrsträgern gleich gross, ausser im Luftverkehr, bei dem sie aufgrund der Internalisierung etwas höher sind.<sup>158</sup>

- Werden die Belastungs-Wirkungs-Beziehungen zwischen Luftverschmutzung und Todesfällen (bei über 30 Jährigen und Säuglingen) innerhalb des 95%-Konfidenzintervalls variiert, so verändern sich die Kosten um ca.  $\pm 24\%$ . Werden alle Belastungs-Wirkungs-Beziehungen aller übrigen Krankheitsfälle gleichzeitig verändert, so schwanken die Kosten deutlich weniger ( $\pm 4\%$ ).
- Die grösste Schwankung des Ergebnisses ergibt sich, wenn der Kostensatz pro verlorenes Lebensjahr (d.h. der VOSL bzw. der VLYL) verändert wird: Dies allein führt zu einer Reduktion um 35% bzw. zu einer Erhöhung um 71%.

<sup>158</sup> Die sozialen Kosten des Luftverkehrs schwanken genau gleich wie die anderen Verkehrsträger. Bei den externen Kosten ist die Schwankungsbreite, die absolut gesehen genau gleich gross ist für die sozialen und externen Kosten, prozentual grösser, weil sie von einem kleineren Total ausgehen (soziale Kosten abzüglich Internalisierungsbeitrag).

- Die immateriellen Kostensätze der übrigen Krankheitsbilder führen wiederum zu deutlich geringeren Veränderungen: Sie liegen bei –13% bis +14%.

### 3.6.3 Zusätzliche Unter- oder Überschätzungen

Die Gesundheitskosten der Luftverschmutzung wurden wo möglich und sinnvoll nach „best guess“ und sonst nach dem at least Ansatz bestimmt. Entsprechend wurden verschiedene Annahmen getroffen, die tendenziell zu einer Unterschätzung der Kosten führen. Gesamthaft ist also davon auszugehen, dass die tatsächlichen **Gesundheitskosten der Luftverschmutzung deutlich höher liegen als hier ausgewiesen**. Dies gilt nicht nur für die Basisrechnung, sondern auch für die Intervalle der Sensitivitätsanalyse. Folgende Gründe sprechen für diese Einschätzung:

#### Mengengerüst Luftverkehr

- Bei der Luftverschmutzung dürften die gesundheitsschädigenden **Schadstoffimmissionen** des Luftverkehrs aus mehreren Gründen unterschätzt werden.<sup>159</sup>

#### Abschätzung der Gesundheitsfolgen<sup>160</sup>

- Es werden nur die gesundheitlichen Auswirkungen durch den Leitschadstoff PM10 berücksichtigt. Gesundheitseffekte durch Schadstoffe, die unabhängig von PM10 auftreten werden vernachlässigt. Für Ozon zeigen ausländische Abschätzungen, dass der Effekt auf die verlorenen Lebensjahre etwa 180-mal kleiner ist als für PM10.
- Wie in Kapitel 3.3.2a) erwähnt, gibt es Hinweise, dass die **Emissionen des Verkehrs toxischer** sein könnten als andere Emissionen. Für die Berechnung werden jedoch alle Emissionen im gleichen ungewichteten Ausmass berücksichtigt. Damit wird der Anteil des Strassenverkehrs an den Kosten tendenziell unterschätzt.

<sup>159</sup> Folgende Gründe führen zu einer Unterschätzung:

- Emissionen in grosser Höhe (über 900m) werden in den Berechnungen vernachlässigt, weil diese Emissionen meist über der atmosphärischen Grundschicht emittiert werden und deshalb davon ausgegangen wird, dass diese Emissionen nicht auf die Erde zurückfallen. Wie im Bericht zum Luftverkehr (Infras, Ecoplan 2012, Integration des Luftverkehrs in die Transportrechnung, Kapitel 6.3.1) gezeigt, gibt es jedoch Forschungsergebnisse, die dies bestreiten. Sind diese Forschungsergebnisse korrekt, dürften sich die Gesundheitskosten der Luftbelastung im Luftverkehr etwa verdreifachen. Dies ist insofern nicht überraschend als der Grossteil der Emissionen im Flugverkehr in grosser Höhe ausgestossen wird. Da es jedoch noch keinen wissenschaftlichen Konsens über die Auswirkungen der Emissionen in grosser Höhe bezüglich Luftverschmutzung am Boden gibt, werden diese Kosten gemäss dem at least Ansatz nicht berücksichtigt.
- Wie im Luftverkehrsbericht (Infras, Ecoplan 2012, Integration des Luftverkehrs in die Transportrechnung, Kapitel 6.3.2) erläutert, werden bei den Triebwerksemissionen nur die Emissionen bis zu einer Abbruchhöhe von 300m berücksichtigt. Detaillierte Ausbreitungsrechnungen und Messungen zeigen, dass Emissionen, welche über 300m über Grund ausgestossen werden, auf dem Boden praktisch nicht messbar sind. Allfällige Schäden durch Emissionen zwischen 300m und 900m über Boden sind also ebenfalls nicht enthalten.
- Die Grobschätzung der Emissionen im Abrieb beruht auf sehr wenigen Unterlagen. Deshalb ist es nicht möglich, die relativ grosse Unsicherheit dieser Emissionen zu beziffern.
- Die Emissionen des Flughafens Basel und der Regionalflugplätze sind im Schadstoffausbreitungsmodell nicht enthalten, so dass die Immissionen etwas zu tief liegen.

<sup>160</sup> Diese Effekte werden ausführlicher erläutert in Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz, Kapitel 4.2.

- **Verschiedene Gesundheitsbeeinträchtigungen durch die Luftschadstoffbelastung werden nicht berücksichtigt.** Dazu gehören zum Beispiel Hausarztconsultationen, Geburtsgewicht, Atemwegssymptome und Tage mit Husten, Medikamentenverordnungen wegen Atemwegs- und Herz- / Kreislauferkrankungen, Selbstmedikation, Vermeidungsverhalten sowie akute und chronische physiologische Veränderungen (z.B. der Lungenfunktion). Für diese Auswirkungen gibt es zwar durchaus einen begründeten Verdacht, dass sie durch Luftschadstoffe beeinflusst werden. Die Evidenz wird aber im Moment noch als zu wenig robust beurteilt, um eine quantitative Berücksichtigung zu rechtfertigen. Teilweise dürften diese Effekte aber in den Tagen mit eingeschränkter Aktivität enthalten sein.
- Effekte der Luftbelastung werden nur für diejenigen Altersgruppen berechnet, zu denen epidemiologische Untersuchungen bzw. Studienresultate vorliegen. Beispielsweise ist die **Mortalität der Ein- bis 29-Jährigen nicht berücksichtigt**, da diese Altersgruppe bisher nicht in Langzeitstudien untersucht wurde (würde der Effektschätzer der über 30-Jährigen auch für die 1- bis 29-Jährigen verwendet, würde sich die Zahl der verlorenen Lebensjahre um 2% erhöhen, die verlorenen Erwerbsjahre um 11%).
- Die Abschätzung der Auswirkungen der Luftbelastung auf die **Morbidität** umfasst in den meisten Fällen **nur Kurzeiteffekte**. Langzeitwirkungen können selten quantifiziert werden, obwohl sie aus medizinischer Sicht als wahrscheinlich zu taxieren sind. Bei der Mortalität sind die Langzeitwirkungen etwa 10-mal grösser als die akuten Effekte. Auch bei den Krankheitsbildern wären also deutlich höhere Kosten denkbar.<sup>161</sup>
- Es gibt bisher keine Anzeichen, dass die Luftverschmutzung unterhalb eines gewissen Schwellenwertes unbedenklich ist. Trotzdem werden in dieser Studie bei der Abschätzung der Auswirkungen für die gesamte Luftbelastung gemäss dem at least Ansatz nur Gesundheitsschäden ab einer **Referenzkonzentration** von  $7.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  quantifiziert, da für tiefere Konzentrationen bisher noch keine epidemiologischen Untersuchungen vorliegen. Dies hat nur Auswirkungen auf die Schätzung der gesamten Kosten der Luftverschmutzung (inkl. Haushalte, Industrie etc.).
- Bei der Berechnung der verlorenen Lebensjahre wurde nicht berücksichtigt, dass die **Lebenserwartung** der Bevölkerung in Zukunft weiter zunehmen wird (wie dies zum Beispiel für die Zeitperiode 2000 bis 2010 beobachtet werden konnte).
- Die Gesundheitseffekte von Lärm und Luftverschmutzung beeinflussen sich gegenseitig: Ist die Bevölkerung bereits durch den Lärm verkleinert, so ist der Effekt der Luftbelastung geringer. Dies kann in den Berechnungen nicht berücksichtigt werden, was zu einer Unterschätzung der Kosten führt (vgl. Kapitel 3.3.2d).

---

<sup>161</sup> In einer aktuellen Studie von Künzli et al. (2008) ist die Zunahme bei der Berücksichtigung der chronischen Effekte allerdings mit ca. 20% deutlich geringer als bei der Mortalität.

### Bewertung der Gesundheitsfolgen

- Die **Anpassung des VOSL an den Risikokontext** könnte im Bereich Luftverschmutzung zu doppelt (oder sogar dreimal) so hohen Kosten führen.<sup>162</sup> Die verfügbaren empirischen Grundlagen reichen aber zurzeit für eine Anpassung der Zahlungsbereitschaft nicht aus. Deshalb wird auch in den EU-Projekten HEATCO und IMPACT<sup>163</sup> auf eine Anpassung verzichtet.
- Die **administrativen Kosten** der Gesundheitsschäden werden nicht miteinbezogen, dürften aber weniger als 0.5% der Kosten ausmachen.<sup>164</sup>
- Auch die **Vermeidungskosten** werden vernachlässigt, dürften aber ebenfalls klein sein (vgl. Kapitel 3.4.1).
- Bei der Bestimmung der **übrigen Kostensätze** wurden gemäss dem at least Ansatz ebenfalls **vorsichtige Werte** verwendet.<sup>165</sup>

## 3.7 Vergleich zu den bisherigen Berechnungen

In diesem Abschnitt werden die neuen Ergebnisse für das Jahr 2010 mit den Resultaten für das Jahr 2005 verglichen. Der Vergleich beschränkt sich hierbei auf den Strassen- und Schienenverkehr, da zu den anderen Verkehrsträgern keine offiziellen Berechnungen für das Jahr 2005 vorliegen.

Bei der vergleichenden Darstellung zwischen 2005 und 2010 interessieren einerseits Veränderungen, die sich aus der zeitlichen Entwicklung ergeben (z.B. Zu- oder Abnahmen im Verkehrsaufkommen, bei der Schadstoffemission oder bei den Kostensätzen). Von Interesse ist

---

<sup>162</sup> Ecoplan, Infrac (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz.

<sup>163</sup> Bickel et al. (2006), HEATCO D5: Proposal for Harmonized Guidelines und Infrac et al. (2007), IMPACT: Handbook on the estimation of the external costs of transport.

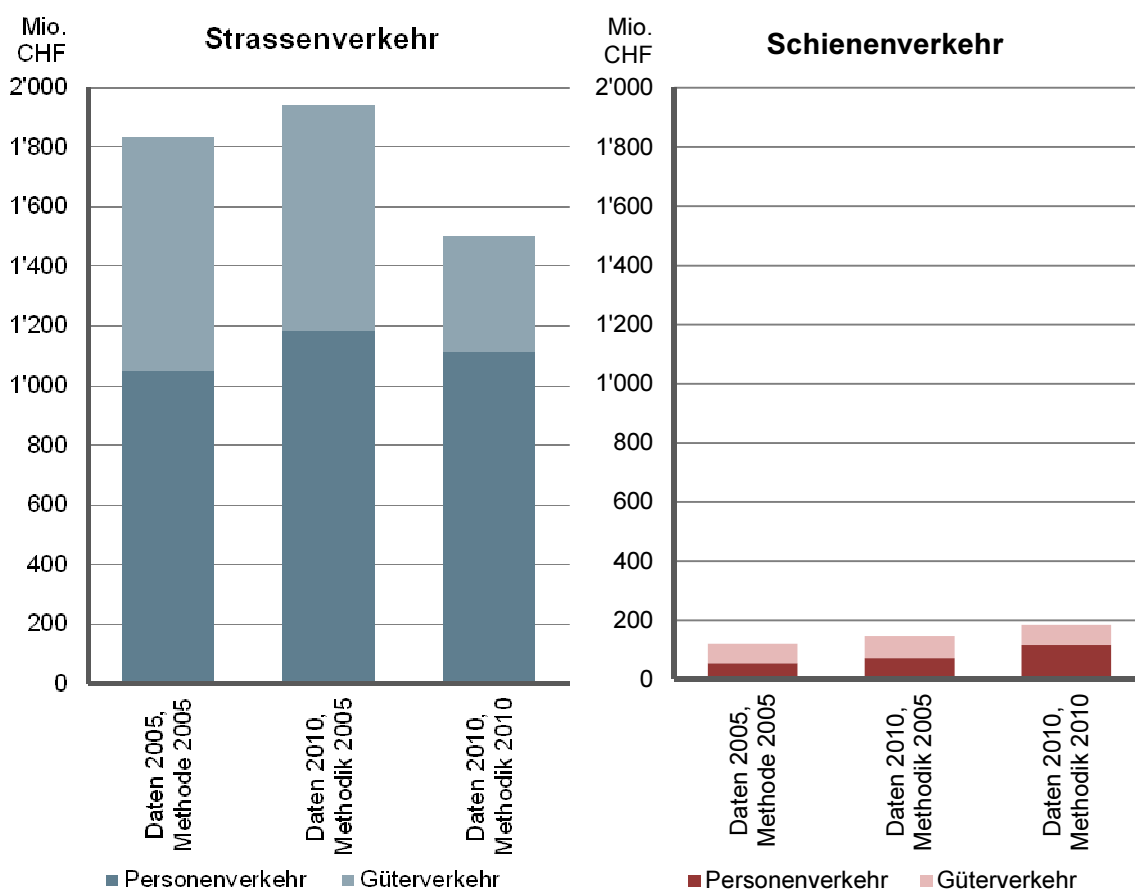
<sup>164</sup> Ecoplan (1996), Monetarisierung der verkehrsbedingten externen Gesundheitskosten, S. 71-74.

<sup>165</sup> Dies zeigt sich z.B. in folgenden Annahmen, die sowohl im Bereich Luft als auch Lärm (vgl. Kapitel 8) gelten (Ecoplan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, S. 106 – 110 und Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz, S. 90 – 94):

- Die Kostensätze für die Hospitalisierungen dürften eine Unterschätzung darstellen, da die Kosten weiterer medizinischer Nachfolgeuntersuchungen, die gemäss einer amerikanischen Untersuchung bis zu 2'300 CHF betragen könnten, und der mögliche Medikamentenkonsum nicht betrachtet werden. Auch bei Todesfällen werden keine Behandlungskosten unterstellt, obwohl vor dem Eintritt des Todes durchaus noch Kosten anfallen können. Die Bestattungskosten sind ebenfalls nicht berücksichtigt.
- Die Abschätzung der Ausfalltage über das amerikanische "Official Disability Guideline" dürfte die Ausfalltage tendenziell unterschätzen, weil in den USA mit weniger guten Sozialversicherungen der Druck, wieder zu arbeiten, gemäss einer grösseren Krankenkasse höher sei als in der Schweiz.
- In einer englischen Studie werden neben den Produktionsausfällen zusätzliche indirekte Kosten der Produktionsausfälle bestimmt, die diese übersteigen: Der Ausfall führt zu einer verminderten Zufriedenheit bei den Kunden mit der Qualität der Produkte oder Dienstleistungen und damit zu einem Verlust an künftigen Geschäften.
- Bei den immateriellen Kosten pro Asthmaanfall wurde für die Kinder derselbe Kostensatz angewendet wie für Erwachsene, obwohl teilweise für Kinder auch höhere Kostensätze diskutiert werden.

aber auch, in welchem Ausmass methodische Änderungen im Berechnungshergang zu einer Resultatveränderung geführt haben. Daher wurden für das Jahr 2010 die externen Kosten des Verkehrs nicht nur mit der neuen Methodik, sondern zusätzlich auch mit der Methodik 2005 ermittelt.<sup>166</sup> In den nachstehenden beiden Abbildungen werden die Ergebnisse dieser Berechnungen zusammengefasst und im Folgenden kurz erläutert:

**Abbildung 3-23: Vergleich der Berechnungen für die Gesundheitskosten der Luftbelastung 2005 und 2010**



<sup>166</sup> Die Berechnung der Kosten 2010 nach der Berechnungsmethodik 2005 wurde mit Hilfe eines Aktualisierungstools durchgeführt. Mit dem Tool können die einfach verfügbaren zeitlichen Veränderungen in den Datengrundlagen nachgeführt werden. Schwer zu beschaffende Inputdaten wie z.B. Belastungs-Wirkungs-Beziehungen können jedoch erst im Rahmen einer Studie wie der vorliegenden angepasst werden und werden unter „Methodenanpassung“ erfasst, obwohl es sich streng genommen z.B. gerade bei geänderten Belastungs-Wirkungs-Beziehungen nicht um methodische Anpassungen handelt, sondern lediglich um bessere Datengrundlagen. Das ARE hat mit dem oben erwähnten Aktualisierungstool auch die Ergebnisse der Jahre 2006-2009 bestimmt (ARE 2012, Externe Kosten 2005 – 2009. Berechnung der externen Kosten des Strassen- und Schienenverkehrs in der Schweiz).

### a) Zeitliche Entwicklung 2005 bis 2010

Zwischen 2005 und 2010 (berechnet mit der Methodik 2005) haben die Gesundheitskosten der Luftverschmutzung im Strassenverkehr um 6% zugenommen, im Schienenverkehr um 22%. Zudem hat es sowohl im Strassen- als auch im Schienenverkehr eine Verschiebung zu Lasten des Personenverkehrs gegeben. Dies kann auf folgende Faktoren zurückgeführt werden:

- Die Emissionen im Strassenverkehr haben insgesamt um 6% abgenommen, wobei die Abnahme im Personenverkehr kleiner war (-2%) als im Güterverkehr (-17%). Im Schienen-Personenverkehr haben die Emissionen hingegen um 14% zugenommen, während sie im Schienen-Güterverkehr beinahe konstant blieben (-2%).
- Aufgrund des Bevölkerungswachstums (insbesondere der über 30-Jährigen) nehmen alle Kosten um 6% zu.
- Schliesslich haben auch die Kostensätze zwischen 2005 und 2010 zugenommen (insbesondere aufgrund des Nominallohnwachstums von 8%). Ohne steigende Preise gäbe es im Strassenverkehr und im Total also eine geringe reale Abnahme.

**Abbildung 3-24: Vergleich der Berechnungen für die Gesundheitskosten der Luftbelastung 2005 und 2010**

	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
<b>Daten 2005, Methodik 2005</b>			
Strassenverkehr	1'046.7	787.1	1'833.8
Schienenverkehr	55.2	65.3	120.5
<b>Total</b>	<b>1'101.9</b>	<b>852.4</b>	<b>1'954.3</b>
<b>Daten 2010, Methodik 2005</b>			
Strassenverkehr	1'185.2	753.2	1'938.4
Schienenverkehr	72.4	73.9	146.3
<b>Total</b>	<b>1'257.6</b>	<b>827.1</b>	<b>2'084.7</b>
<b>Daten 2010, Methodik 2010</b>			
Strassenverkehr	1'110.9	393.7	1'504.6
Schienenverkehr	116.0	69.1	185.0
<b>Total</b>	<b>1'226.9</b>	<b>462.8</b>	<b>1'689.7</b>
<b>Veränderung Daten 2005 - 2010</b>			
Strassenverkehr	13.2%	-4.3%	5.7%
Schienenverkehr	31.2%	13.3%	21.5%
<b>Total</b>	<b>14.1%</b>	<b>-3.0%</b>	<b>6.7%</b>
<b>Veränderung Methodenanpassung</b>			
Strassenverkehr	-6.3%	-47.7%	-22.4%
Schienenverkehr	60.3%	-6.6%	26.5%
<b>Total</b>	<b>-2.4%</b>	<b>-44.0%</b>	<b>-18.9%</b>

## b) Methodenanpassung

Aufgrund der überarbeiteten Methodik und der umfassend aufgearbeiteten Datengrundlagen ergeben sich nun für 2010 im Strassenverkehr 22% tiefere Kosten als mit der bisherigen Berechnungsmethodik. Im Schienenverkehr liegen die Kosten um 27% höher. Bei beiden Verkehrsträgern ist eine Umverteilung zu Lasten des Personenverkehrs und zu Gunsten des Güterverkehrs festzustellen: Im Strassenverkehr nimmt der Güterverkehr stärker ab als der Personenverkehr (–48% versus –6%), während im Schienenverkehr eine Umverteilung stattfindet (Personenverkehr +60%, Güterverkehr –7%). Dies hat folgende Ursachen:

- **Immissionen:** Aufgrund der neuen Modellergebnisse haben sich folgende Veränderungen bei den Immissionen eingestellt:
  - Strasse Personenverkehr: Zunahme um 33%
  - Strasse Güterverkehr: Abnahme um 26%
  - Schiene Personenverkehr: Zunahme um 127%
  - Schiene Güterverkehr: Zunahme um 32%

Im Strassenverkehr ist das Verkehrsmodell überarbeitet worden, das den Berechnungen der externen Kosten 2000 und 2005 zugrunde lag, sodass die räumlichen Verteilungen – zum Beispiel des Zonenverkehrs – und die Anteile der Fahrzeugkategorien nicht mehr direkt vergleichbar sind. Schliesslich haben auch die räumlichen Bewegungen der Einwohner zwischen 2000/2005 und 2010 und die strengeren Abgasvorschriften einen gewissen Einfluss.

Im Schienenverkehr wurde die Aufteilung der Emissionen nach Personen- und Güterverkehr zugunsten des Güterverkehrs verändert (BAFU 2011). Die Ausbreitungsrechnung im Immissionsmodell wurde für den Schienenverkehr verbessert und führt zu leicht veränderten räumlichen Mustern.

Die Anteile der Immissionen nach Verkehrsträgern wurden für die Modellrechnungen 2010 dahingehend geändert, dass die ausländischen Immissionsbeiträge (des primären und des sekundären PM10) nach den schweizerischen Emissionsanteilen aufgeschlüsselt werden (bisher nach ausländischen Emissionsanteilen). Dies führt vor allem im Schienenverkehr zu einer Erhöhung, weil der Schienenverkehr in der Schweiz eine grössere Bedeutung (Verkehrsleistung) hat als im Ausland und weil im Ausland die Abriebemissionen nicht berücksichtigt werden. Das hat zur Folge, dass der Anteil der PM10-Emissionen des Schienenverkehrs im Ausland tiefer ist als in der Schweiz.

- **Gesundheitseffekte:**<sup>167</sup> Heute stehen viel mehr epidemiologische Studien zur Verfügung und erlauben es, den Zusammenhang zwischen Luftbelastung und Gesundheitsauswirkungen besser abzuschätzen. So haben sich im Vergleich zur Abschätzung für das Jahr

---

<sup>167</sup> Die Veränderungen bei den Gesundheitseffekten (und bei den Kostensätzen unten) wirken sich auf alle Ergebnisse gleich aus. Sie haben aber keinen Einfluss auf die Verschiebungen zwischen Strassen- und Schienenverkehr bzw. zwischen Personen- und Güterverkehr. Diese Verschiebungen werden allein durch die Veränderungen bei den Immissionen hervorgerufen.



- 2000 (die 2005 übernommen wurde) sowohl die Grundhäufigkeiten der Erkrankungen und Todesfälle als auch die Expositions-Wirkungs-Beziehungen verändert.
- Aufgrund neuer Studienergebnisse musste die Expositions-Wirkungs-Beziehung für **verlorene Lebensjahre** von Erwachsenen reduziert werden: Heute rechnet man mit einer Zunahme des Sterberisikos um 4.5% pro 10 µg/m<sup>3</sup> Zunahme der langfristigen PM10-Konzentration, während es vor 10 Jahren noch 5.9% waren (Abnahme um 24%). Bei der Säuglingssterblichkeit reduziert sich der Effektschätzer von 5.7% auf 4.0% pro 10 µg/m<sup>3</sup> Zunahme der PM10-Konzentration (Abnahme um 32%).
  - Die neuen Überlebenswahrscheinlichkeiten des BFS (nach 1 Jahres-Altersklassen) führen zudem dazu, dass die Zahl der verlorenen Lebensjahre um ca. 10% abnimmt.
  - Bei den **Tagen mit eingeschränkter Aktivität** ergibt sich eine grössere Zunahme. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die WHO vorschlägt, nicht nur respiratorisch bedingte Tage mit eingeschränkter Aktivität zu berücksichtigen wie dies bis anhin gemacht wurde, sondern alle nicht-unfallbedingten Tage mit eingeschränkter Aktivität. Damit gibt es eine deutlich höhere Grundhäufigkeit (15.5 versus 2.5 Tage), die nur teilweise kompensiert wird durch eine weniger ausgeprägte Expositions-Wirkungs-Beziehung. Neu wird ein relatives Risiko pro 10 µg/m<sup>3</sup> PM10 von 1.034 verwendet; zuvor war es 1.094.<sup>168</sup> Zusammen ergibt dies mehr als eine Verdoppelung der Tage mit eingeschränkter Aktivität. Davon werden allerdings neu die Ergebnisse der anderen Krankheitsbilder abgezogen, um Doppelzählungen zu vermeiden.<sup>169</sup>
  - **Kostensätze:** Bei den Kostensätzen fanden keine Anpassungen gegenüber 2010 statt, die grössere Effekte auf das Ergebnis haben.<sup>170</sup>

<sup>168</sup> Neu schlägt die WHO zudem vor, die Tage mit Erwerbsausfall direkt zu schätzen und nicht anhand der Tage mit eingeschränkter Aktivität abzuschätzen.

<sup>169</sup> Hier noch einige zusätzliche Erläuterungen zu Krankheitsbildern, die jedoch auf das Gesamtergebnis der Kosten keinen Einfluss haben: Die Schätzung für die Anzahl Neuerkrankungen an chronischer Bronchitis bei Erwachsenen hat sich wegen der verkehrsbedingten Luftbelastung deutlich erhöht: Hauptgrund dafür ist der höhere Effektschätzer im Vergleich zu früher (relatives Risiko pro 10 µg/m<sup>3</sup> PM10 1.117 versus 1.05). Zudem hat sich die abgeschätzte Grundhäufigkeit von 18'000 auf rund 25'000 erhöht. Zusammen gibt dies mehr als eine Verdreifachung. Für Hospitalisierungen wegen Atemwegserkrankungen hat sich die Expositions-Wirkungsbeziehung seit 2005 erhöht. Heute geht man für Spitaleintritte wegen Atemwegserkrankungen von einem relativen Risiko von 1.014 aus (im Jahr 2005 war es 1.009). Für Herz-/Kreislaufkrankungen ist die Expositions-Wirkungs-Beziehung gleich geblieben. Für alle Hospitalisierungen sind zudem die Grundhäufigkeiten angestiegen. In der neuen Abschätzung hat die verkehrsbedingte Häufigkeit von akuter Bronchitis bei Kindern trotz einer Zunahme der Grundhäufigkeit abgenommen, was hauptsächlich auf einen tieferen Effektschätzer zurückzuführen ist. Bei Erwachsenen ist die Anzahl Tage mit Asthmasymptomen relativ ähnlich geblieben, aufgrund der gleichen Expositions-Wirkungsbeziehung und ähnlicher Grundhäufigkeit. Nicht quantifiziert wurden bisher die Anzahl Tage mit Asthmasymptomen bei Kindern.

<sup>170</sup> Im Folgenden einige weitere Veränderungen aufgrund besserer Datengrundlagen, die aber auf das Endergebnis keinen Einfluss haben:

- Der immaterielle Kostensatz der chronischen Bronchitis bei Erwachsenen musste aufgrund neuer Studienergebnisse auf 23% des bisherigen Kostensatzes reduziert werden, was die Verdreifachung von oben mehr als kompensiert.
- Deutliche Zunahme der Produktionsausfälle nach Spitalaufenthalten
- Deutliche Zunahme der Produktionsausfälle bei den übrigen Krankheitsbildern
- Zunahme um 15% bis 33% der medizinischen Heilungskosten durch Spitalaufenthalte.

In der folgenden Abbildung wird noch die Bedeutung der beschriebenen Effekte auf das Endergebnis dargestellt. Würde von denselben Immissionen wie bisher ausgegangen, würden sich die Kosten um 29% reduzieren. Dies ist beinahe ausschliesslich auf die Berechnung der verlorenen Lebensjahre zurückzuführen (tiefere Belastungs-Wirkungs-Beziehungen und neue Überlebenswahrscheinlichkeiten). Die Zunahme der Tage mit eingeschränkter Aktivität gleicht sich in etwa gerade aus mit der Vernachlässigung gewisser Kostenbereiche, um Doppelzählungen zu vermeiden. Da die Vernachlässigung aufgrund der Anpassung bei den Tagen mit eingeschränkter Aktivität vorgenommen wurde, kann festgehalten werden, dass sich diese methodische Anpassung kaum auf das Ergebnis auswirkt. Die Veränderungen der Emissionen gemäss dem aktualisierten Schadstoffausbreitungsmodell führen schliesslich zu den unterschiedlichen Ergebnissen für Strassen- und Schienenverkehr bzw. für Personen- und Güterverkehr. Die letzte Zeile in Abbildung 3-25 stimmt mit der zweit- und drittletzten Zeile der Abbildung 3-24 überein.

**Abbildung 3-25: Überblick über die Effekte der Methodenanpassung auf das Endergebnis**

	Veränderung Kosten- bestandteil	Kostenanteil 2005	Veränderung Gesamtkosten	
Expositions-Wirkungs-Beziehung verlorene Lebensjahre (inkl. Anpassung Überlebenswahrscheinlichkeiten)	-31%	82%	<b>-28%</b>	
Anpassungen Tage mit eingeschränkter Aktivität	124%	8%	<b>9%</b>	
Vermeidung von Doppelzählungen	-100%	10%	<b>-10%</b>	
<b>Total ohne Immissionsveränderungen</b>		100%	<b>-29%</b>	
	Strasse		Schiene	
	PV	GV	PV	GV
Total ohne Immissionsveränderungen	-29%	-29%	-29%	-29%
Prozentuale Veränderung Immissionen	33%	-26%	127%	32%
<b>Gesamtveränderung</b>	<b>-6%</b>	<b>-48%</b>	<b>60%</b>	<b>-7%</b>

## 4 Gebäudeschäden durch Luftverschmutzung

### 4.1 Berechnungsgegenstand

Luftschadstoffemissionen des Verkehrs können neben den Gesundheitskosten (vgl. Kapitel 3) durch Gebäudeschäden weitere Kosten verursachen.<sup>171</sup> Die verkehrsbedingten Gebäudeschäden sind demnach ein Teil der gesamten Wirkung der Luftverschmutzung des Verkehrs.

Den Gebäudeschäden liegt eine komplexe Wirkungskette zugrunde. Die vom Verkehr ausgestossenen Emissionen (Luftschadstoffe) werden meistens zuerst in der Atmosphäre umgewandelt (Transmission), ehe sie als Immissionen auf eine Gebäudefassade einwirken. Durch diese Immissionen entstehen letztlich Schäden an den Materialien der Gebäudehülle. Berechnungsgegenstand sind daher die Mehrkosten durch solche Materialschäden in verkehrsexponierten Gebieten sowie in nicht verkehrsexponierten Gebieten innerhalb von Metropolitanräumen (Hintergrundbelastung). Die Gebäudeschäden umfassen demnach die zusätzlichen Kosten, welche anfallen, wenn Fassaden (an verkehrsexponierten Örtlichkeiten) häufiger gereinigt oder renoviert werden müssen bzw. wenn sich die Lebensdauer der Fassade (an nicht verkehrsexponierten Lagen innerhalb von Metropolitanräumen) aufgrund der Hintergrundbelastung verkürzt.

Um diese Kosten berechnen zu können, wird PM10 als Leitschadstoff herangezogen. Die Schäden werden mit Hilfe eines Immobilienbewirtschaftungsmodells (Renovationszyklen) sowie von Reinigungskosten monetarisiert.

### 4.2 Bewertungsmethodik und wichtigste neue Erkenntnisse

#### 4.2.1 Wichtige methodische Entwicklungen

Die Aussagen in Ecoplan, Infras (2008) zur untergeordneten Bedeutung der Gebäudekosten in der internationalen Forschung haben weiter Bestand. In der Zwischenzeit sind keine zusätzlichen Forschungsarbeiten publiziert worden, die explizit auf die Kosten von Gebäudeschäden durch Luftverschmutzung Bezug nehmen. Unterstrichen wird dies durch ein aktuelles Sachstandspapier zu den klassischen Luftschadstoffen im Auftrag des Umweltbundesamtes (IER, 2012). Die Autoren nennen im Bereich der Gebäude- und Materialschäden zwei Effekte:

- Direkte Verschmutzung der Gebäude
- Auswirkungen auf Fassaden und Materialien durch Korrosion

---

<sup>171</sup> Darüber hinaus sind die Ernteauffälle, die Waldschäden und die Biodiversitätsverluste zu erwähnen. Diese Kostenkategorien werden in den Kapiteln 5 bis 7 separat betrachtet.

Beim ersten Effekt werden konkrete Kostensätze (CHF / t PM10) präsentiert, welche direkt aus der Studie für die externen Kosten in der Schweiz (Ecoplan, Infrac 2008) stammen. Über diese Studie hinausgehende Resultate werden keine aufgezeigt. Für den zweiten Effekt werden ebenfalls keine neuen Studien präsentiert.

Studien, welche sich auf Materialschäden beziehen, konzentrieren sich meist auf die Dosis-Wirkungs-Relation von Schadstoffen auf unterschiedliche Materialien, also z.B. auf die Folgen der Einwirkung von Schwefeloxid auf Aluminium-Oberflächen. Hingegen fehlen konkrete Angaben, um solche Zustandsänderungen zu monetarisieren (vgl. z.B. European Commission 2005, ExternE oder Brimblecombe und Grossi 2010). Im aufdatierten ExternE-Bericht wird zudem darauf hingewiesen, dass es noch nicht möglich ist, Kostenschätzungen für Gebäudeabwertungs- und Verschmutzungskosten zu kombinieren und einheitliche Kostensätze zu bilden. Für die bevorstehenden Arbeiten im Rahmen dieser Studie werden wir für die Gebäudeschäden deshalb die bestehende, in der Schweiz bereits angewandte Methodik übernehmen und das Mengen- und Wertgerüst aufdatieren.

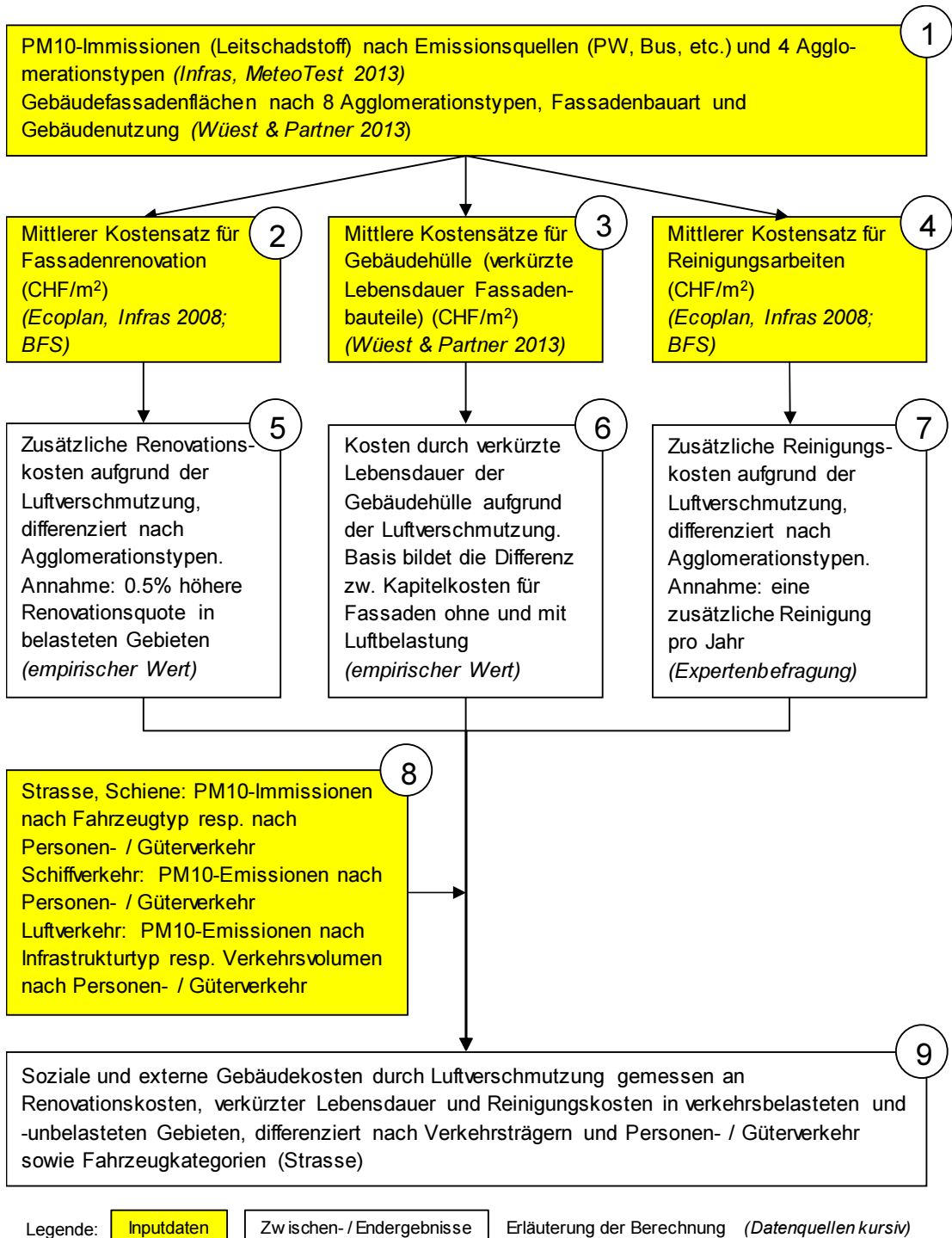
#### 4.2.2 Bewertungsmethodik

Bei der Bewertungsmethodik der Gebäudeschäden ergeben sich deshalb keine wesentlichen Änderungen. Die Kosten werden wie bisher über drei Berechnungsansätze ermittelt. Im Zentrum stehen somit weiter

- Kosten für durchgeführte Renovationen an **verkehrsexponierten** Standorten (Renovationskosten).
- Kosten aufgrund der Verschlechterung des Fassadenzustandes ohne direkte Renovationsfolge an **nicht verkehrsexponierten** Standorten in Metropolitanräumen. An nicht verkehrsexponierten Standorten entstehen die Kosten durch die Hintergrundbelastung, da sich PM10-Emissionen flächig ausbreiten. Durch ausbleibende Renovationen verkürzt sich die Lebensdauer, was zu Kapitalkosten führt (Kosten durch verkürzte Lebensdauer).
- Kosten durch erhöhten Reinigungsaufwand von Büro- und Gewerberäumlichkeiten an verkehrsexponierten Standorten (Reinigungskosten).

Analog zu bisherigen Studien (Infrac, Wüest & Partner 2004; Ecoplan, Infrac 2008; Econcept 2006/2013) dienen die PM10-Emissionen als Leitschadstoff. Daraus wird wiederum die PM10-Konzentration (Immissionen) abgeleitet. Als weitere Inputquelle im Schritt 1 gemäss folgender Abbildung wird auf Daten der Gebäudedatenbank von Wüest & Partner zurückgegriffen. Daraus gehen Fassadenflächen differenziert nach Fassadentyp und Gebäudenutzung hervor, welche zusätzlich nach acht Agglomerationstypen unterschieden werden können.

Abbildung 4-1: Bewertungsmethodik Gebäudeschäden



Für die Schritte 2-4 werden für jeden Berechnungsansatz separate Kostensätze herangezogen. Die Berechnung anhand dieser Inputdaten stützt sich auf die Grundlagestudie aus dem Jahr 2004 ab (*Infrac, Wüest & Partner 2004*). Insbesondere für die Schritte 2 resp. 3 werden daraus die folgenden, empirisch hergeleiteten Grundsätze übernommen:

- Gebäudebewirtschaftungsmodell und die daraus resultierenden Renovationszyklen. Dabei wird insbesondere die um 0.5% höhere Renovationsaktivität an verkehrsexponierten Standorten (PM10-Immissionen > 20 µg/m<sup>3</sup>) weiterverwendet.
- Empirischer Zusammenhang von PM10-Immissionen und Fassadenzustand für die Bestimmung der verkürzten Lebensdauer einer Fassade an nicht verkehrsexponierten Standorten in Metropolitanräumen (normale Lebensdauer von 45 Jahren gemäss Eco-plan, Infrass 2008). Dabei kommt weiterhin das folgende Modell zur Anwendung:  
$$\text{Fassadenzustand} = \alpha * (\text{Gebäudealter} * \text{PM10-Immissionen} [\mu\text{g} / \text{m}^3]) + \varepsilon,$$
wobei  $\alpha = -3.3 * 10^{-3}$  und  $\varepsilon = 4.8$  gilt
- Unterscheidung von verkehrsexponierten und nicht verkehrsexponierten Gebieten, Grundlage bilden dabei die Arealstatistik sowie die PM10-Immissionen (> 20 µg/m<sup>3</sup>) resp. -Emissionen gemäss Infrass und Wüest & Partner (2004).

Die so resultierenden Renovations- und Reinigungskosten und die Kosten durch verkürzte Lebensdauer ergeben addiert die externen Gebäudekosten durch die Luftverschmutzung des Verkehrs (Schritte 5-7). Um diese Kosten auf die einzelnen Verkehrsträger resp. im Strassenverkehr auf die Fahrzeugkategorien umzulegen, werden neben Immissionswerten auch Angaben zu Emissionen und Verkehrsleistung herangezogen (Schritt 8).

## 4.3 Mengengerüst

### 4.3.1 PM10-Immissionen

Die PM10-Immissionen stammen aus denselben Grundlagen wie bei den Gesundheitskosten (verfeinertes Immissionsmodell des BAFU, vgl. Kapitel 3.2.1 und 3.3.1). Die PM10-Konzentrationen liegen demnach für die Verkehrsträger Strasse, Schiene, Wasser und Luft vor, jeweils differenziert nach Personen- und Güterverkehr; im Strassenverkehr finden sich zudem Differenzierungen nach Fahrzeugkategorien (vgl. Abbildung 3-4).

Als Grundlage für die empirische Schätzfunktion, welche die verkürzte Lebensdauer von Fassaden durch die Luftverschmutzung berechnet, werden diese Immissionen zudem nach vier Agglomerationstypen (Metropole, Agglomeration von Metropolen, Kerngemeinden in Metropolräumen, sonstige Agglomeration in Metropolräumen) differenziert. Dazu wurden die räumlichen Immissionsdaten über das flächenmässige Gemeinderaster der Schweiz gelegt und zwar für jeden einzelnen Verkehrsträger resp. für jede einzelne Fahrzeugkategorie. Diese PM10-Immissionen liegen für die Verkehrsträger Strasse, Schiene, Wasser und Luft vor. Die aggregierten PM10-Konzentrationen für den Verkehr und die restlichen Bereiche (Haushalte, Industrie, Land-/Forstwirtschaft, natürliche Immissionen) sind in nachstehender Abbildung dargestellt.

Abbildung 4-2: PM10-Immissionen in der Schweiz 2010

PM10-Immissionen 2010 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) nach Raumtyp (Gemeindetyp)	Total	Verkehr	Rest
Metropole	20.64	5.93	14.70
Agglomerationen von Metropolen	19.75	5.14	14.61
Kerngemeinden innerhalb Metropolitanräumen	19.00	4.79	14.20
Sonstige Agglomeration innerhalb Metropolitanräumen	18.20	4.35	13.84

#### 4.3.2 Fassadenflächen

Für die Berechnung der Gebäudekosten werden Daten aus der Gebäudedatenbank von Wüest & Partner herangezogen. Die folgende Abbildung stellt diese Werte für das Jahr 2010 dar.

Abbildung 4-3: Fassadenflächen in der Schweiz 2010

Fassadenflächen insgesamt nach Agglomerationstypen & Fassadenbauart (in ha)	verputzt	roh	Glas/ Metall	vorgehängt	Türe/ Tore	Fenster	Total
Metropole	4'520	498	207	1'131	227	1'885	8'469
Agglomerationen von Metropolen	6'314	1'357	346	2'547	410	3'152	14'126
Kerngemeinden innerhalb Metropolitanräumen	2'514	412	126	810	141	1'142	5'145
Sonstige Agglomeration innerhalb Metropolitanräumen	3'963	796	194	1'615	255	1'875	8'698
Kerngemeinden	2'569	412	136	827	141	1'147	5'231
Agglomeration ausserhalb Metropolitanräumen	3'590	725	177	1'536	232	1'674	7'933
Einzelstädte	206	37	11	75	12	99	439
Land	9'471	1'841	348	5'302	633	4'078	21'673
<b>Total</b>	<b>33'147</b>	<b>6'078</b>	<b>1'547</b>	<b>13'841</b>	<b>2'049</b>	<b>15'052</b>	<b>71'715</b>

Quelle: Datensatz zu Fassadenflächen, Wüest & Partner AG (2013).

Für die Berechnung der Reinigungskosten werden aus obigen Fassadenflächen nur die Fenster sowie Glas/Metall-Fassaden berücksichtigt. Der Fokus liegt zudem auf gewerblichen Gebäudeflächen, Kosten im Bereich von Ein- oder Mehrfamilienhäusern werden ausgeschlossen (at least Ansatz). Bei grösseren Mehrfamilienhäusern mit grössflächigen Fensterfassaden dürften zumindest teilweise zwar ebenfalls professionelle Reinigungen zum Zuge kommen. Hierzu müssten jedoch weitere, sehr unsichere Annahmen getroffen werden, weshalb nicht weiter darauf eingegangen wird. Für eine mögliche Quantifizierung dieser Kosten sei an dieser Stelle auf die Sensitivitätsanalyse verwiesen (Anzahl zusätzlicher Fassadenreinigungen, vgl. Kapitel 4.6).

#### 4.4 Wertgerüst

Wie weiter oben erläutert, werden drei verschiedene Kostenarten für die Gebäudekosten des Verkehrs berücksichtigt. Für jede dieser Kostenart wird ein anderer Kostensatz verwendet. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde versucht, die Kostensätze mit Experten aus den Bereichen Bauplanung und Reinigung zu validieren resp. neu zu erheben. Die verschiedenen Anfragen bei Unternehmen haben zum Schluss geführt, dass sowohl beim Kostensatz für Renovation als auch beim Reinigungskostensatz keine grundlegend erneuerten Sätze einge-

setzt werden. In beiden Bereichen handelt es sich um stark vereinfachte Kostensätze, welche nur grob Auskunft zur effektiven Kostenhöhe geben können. So ist diese beispielsweise bei der Fassadenreinigung von einer Vielzahl an Faktoren abhängig, welche in der vorliegenden Methodik nicht abgedeckt werden können. Um neue Werte zu erheben, wäre deshalb ein vertiefter Einbezug der Experten resp. eine umfassendere Methodik notwendig. Aus diesen Gründen werden die beiden genannten Kostensätze mit den geeigneten Preisindizes (vgl. Abschnitt 4.4.1 und 4.4.3) auf Basis der in Ecoplan, Infras (2008) publizierten Werte fortgeschrieben.

Etwas anders präsentiert sich die Ausgangslage bei den Kostensätzen im Bereich der Gebäudehülle (Kosten durch verkürzte Lebensdauer). Hier konnten die Werte mit Hilfe von Informationen aus der Gebäudedatenbank von Wüest & Partner aktualisiert werden.

#### 4.4.1 Renovationskosten

Wie die Abklärungen bei Kostenplanern gezeigt haben, wäre eine neue Herleitung eines solchen mittleren Kostensatzes für die Fassadenrenovation mit umfangreichen Arbeiten verbunden, weshalb wir an dieser Stelle die indexierte Fortschreibung des Kostensatzes anwenden. Der mittlere Kostensatz für das Jahr 2010 beläuft sich demnach auf 281 CHF/m<sup>2</sup>. Gegenüber der letzten Berechnung im Jahr 2005 entspricht dies einer Zunahme von rund 10%, welche gleichbedeutend ist wie die Steigerung des Baupreisindex (Baugewerbe Total).

#### 4.4.2 Kosten durch verkürzte Lebensdauer (Gebäudehülle)

Luftverschmutzung verkürzt die Lebensdauer von Gebäudehüllen über die Hintergrundbelastung auch an nicht verkehrsexponierten Standorten. Um die daraus entstehenden Kapitalkosten zu berechnen, werden bauteilspezifische Kostensätze für die Erstellungskosten verwendet. Diese wurde wie eingangs erläutert im Vergleich zum Jahr 2005 erneuert. Die neuen Kostenkennwerte stammen von Recherchen und Auswertungen seitens Wüest & Partner. Berücksichtigt wurden dabei statistische Angaben zu Baupreisen ebenso wie Kennwerte abgerechneter Bauten, Herstellerangaben und interne Kennwerte. In der folgenden Abbildung werden diese Veränderungen dargestellt.

Abbildung 4-4: Verwendete Kostensätze

Gebäudehülle - Erstellungskosten Spezifische Kostensätze (CHF/m <sup>2</sup> )	relative		
	2005	2010	Ver- änderung
verputzte Fassaden	96	109	13%
rohe Fassaden	223	259	16%
Glas/Metall-Fassaden	425	728	71%
vorgehängte Fassaden	233	278	19%
Türen/Tore	425	646	52%
Fenster	627	799	27%

Quelle: Ecoplan, Infras (2008) und Auswertungen Wüest & Partner AG (2013).



#### 4.4.3 Reinigungskosten

Analog zu den Kostensätzen im Bereich Fassadenrenovation zeigten die Recherchen bei Reinigungsunternehmen, dass umfangreichere Abklärungen notwendig wären, um den Reinigungskostensatz neu zu ermitteln. Gründe dafür sind vor allem die grossen Kostenspannen bei der Reinigung, die sich aufgrund unterschiedlicher Eigenschaften der Fassaden sowie verschiedenen Reinigungsmassnahmen ergeben. Der bisher verwendete Kostensatz liegt aber in den möglichen Bandbreiten. Deshalb erachten wir es als zweckmässig, den Kostensatz wie bis anhin mittels Lohnindex fortzuschreiben. Der verwendete Reinigungskostensatz für Glasfassaden beläuft sich demnach im Jahr 2010 auf 5.25 CHF/m<sup>2</sup>. Gegenüber 2005 entspricht dies einer Zunahme von rund 8% (Veränderung des Nominallohnindex, Dienstleistungen).

### 4.5 Ergebnisse

#### 4.5.1 Externe Kosten

##### a) Überblick Gesamtverkehr

Im Bereich Gebäudekosten entsprechen die sozialen den externen Kosten.<sup>172</sup> Mit der angewandten Methodik ergeben sich demnach im Jahr 2010 externe Kosten in der Höhe von rund **360 Mio. CHF**. Knapp 86% dieser Kosten entfallen auf den Strassenverkehr, 10.5% auf den Schienen-, 2.3% auf den Luft- und 1.7% auf den Schiffsverkehr.

---

<sup>172</sup> Zudem sind die externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger, aus Sicht Verkehrsart Schwerverkehr und aus Sicht Verkehrsteilnehmende genau gleich hoch.

Abbildung 4-5: Überblick über die externen Gebäudekosten durch Luftverschmutzung 2010

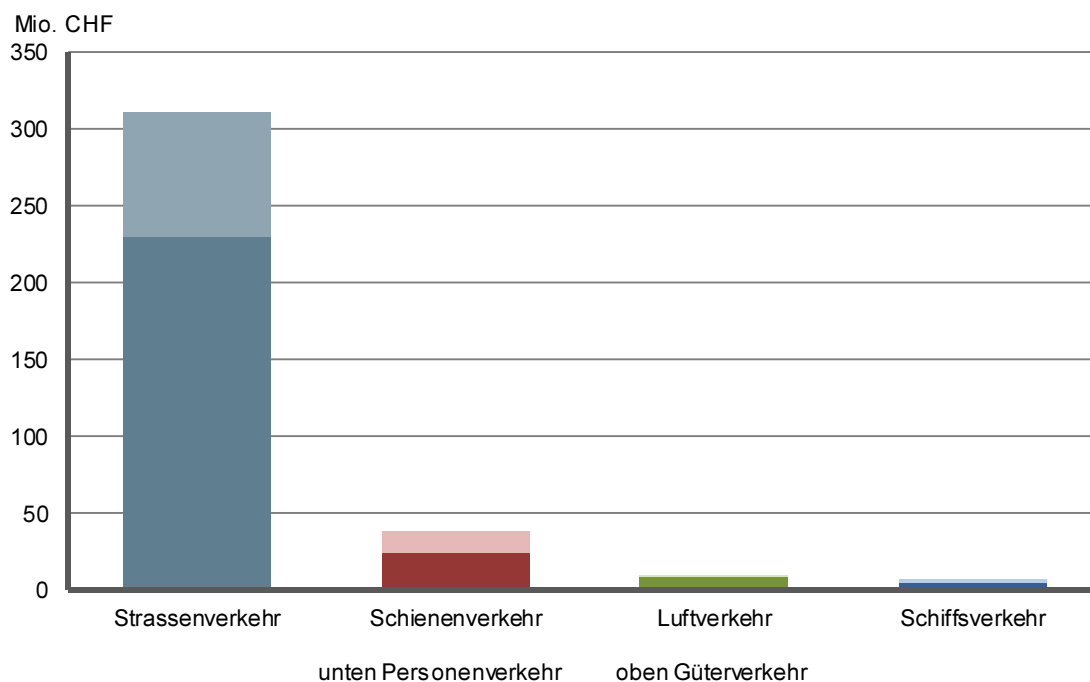


Abbildung 4-6: Überblick über die externen Gebäudekosten durch Luftverschmutzung 2010

Gebäudekosten in Mio. CHF	Personen- verkehr	Güter- verkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	228.7	81.0	309.7	85.5%
Schienenverkehr	23.8	14.2	38.0	10.5%
Luftverkehr	7.6	0.8	8.4	2.3%
Schiffsverkehr	3.5	2.6	6.1	1.7%
<b>Total</b>	<b>263.6</b>	<b>98.5</b>	<b>362.1</b>	<b>100.0%</b>
in % des Totals	72.8%	27.2%	100.0%	

#### b) Strassenverkehr

Die externen Gebäudekosten des Strassenverkehrs betragen im Jahr 2010 **310 Mio. CHF**. Diese Kosten werden insbesondere durch Personenwagen (68%) und den Güterverkehr (26%) verursacht. Diese Verteilung widerspiegelt grösstenteils die PM10-Immissionen durch die einzelnen Fahrzeugkategorien. Sie sind mit den Anteilen bei den Gesundheitskosten der Luftbelastung in Kapitel 3.5.1 praktisch identisch.

Abbildung 4-7: Externe Gebäudekosten durch Luftverschmutzung im Strassenverkehr 2010 nach Fahrzeugkategorien

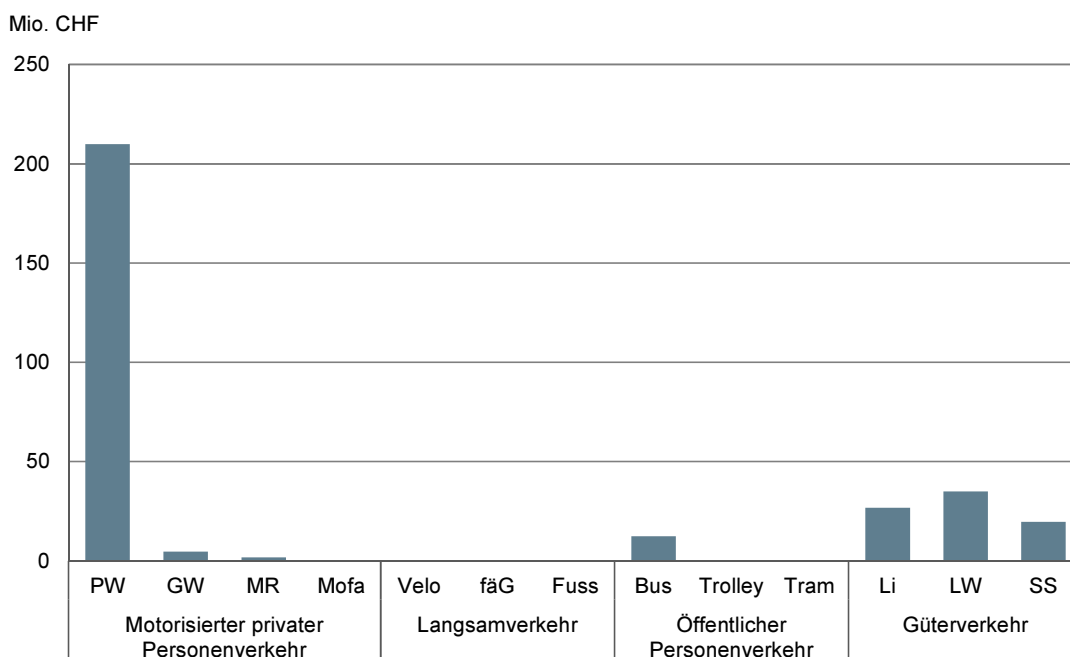


Abbildung 4-8: Externe Gebäudekosten durch Luftverschmutzung im Strassenverkehr 2010 nach Kostenbestandteilen und Fahrzeugkategorien

Gebäudekosten in Mio. CHF	Personenverkehr									Güterverkehr			Gesamt- total	
	Motorisierter privater Personenverkehr				Langsamverkehr			Öffentlicher Personenverkehr		Li	LW	SS		
	PW	GW	MR	Mofa	Velo	fäG	Fuss	Bus	Trolley	Tram				
Renovationskosten	96.0	2.1	0.8	0.1	-	-	-	5.7	-	-	12.2	15.9	8.9	141.7
Verkürzte Lebensdauer	79.1	1.8	0.6	0.0	-	-	-	4.7	-	-	10.0	13.1	7.4	116.8
Reinigungskosten	34.7	0.8	0.3	0.0	-	-	-	2.0	-	-	4.4	5.8	3.2	51.2
<b>Total Fahrzeugkategorien</b>	<b>209.8</b>	<b>4.7</b>	<b>1.7</b>	<b>0.1</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>12.4</b>	<b>n.a.</b>	<b>n.a.</b>	<b>26.6</b>	<b>34.9</b>	<b>19.5</b>	<b>309.7</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	<b>67.8%</b>	<b>1.5%</b>	<b>0.5%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>4.0%</b>	<b>n.a.</b>	<b>n.a.</b>	<b>8.6%</b>	<b>11.3%</b>	<b>6.3%</b>	<b>100.0%</b>
<b>Total Teilbereiche</b>	<b>216.3</b>				<b>0.0</b>			<b>12.4</b>		<b>81.0</b>			<b>309.7</b>	
<b>in % des Gesamttotals</b>	<b>69.9%</b>				<b>0.0%</b>			<b>4.0%</b>		<b>26.2%</b>			<b>100.0%</b>	

PW = Personenwagen, GW = Gesellschaftswagen, MR = Motorrad, fäG = fahrzeugähnliches Gerät, Fuss = Fussverkehr, Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper.

### c) Schienenverkehr

Die externen Gebäudekosten des Schienenverkehrs belaufen sich 2010 auf **38 Mio. CHF**. 63% dieser Kosten sind auf den Personen-, 37% auf den Güterverkehr zurückzuführen.

**Abbildung 4-9: Externe Gebäudekosten durch Luftverschmutzung im Schienenverkehr 2010**

<b>Gebäudekosten</b> in Mio. CHF	Personen -verkehr	Güter- verkehr	<b>Total</b>
Renovationskosten	10.9	6.5	<b>17.4</b>
Verkürzte Lebensdauer	9.0	5.4	<b>14.3</b>
Reinigungskosten	3.9	2.3	<b>6.3</b>
<b>Schieneverkehr Total</b>	<b>23.8</b>	<b>14.2</b>	<b>38.0</b>

**d) Luftverkehr**

Der Luftverkehr verursacht im Jahr 2010 externe Gebäudekosten von **8.4 Mio. CHF**.

**Abbildung 4-10: Externe Gebäudekosten durch Luftverschmutzung im Luftverkehr 2010**

<b>Gebäudekosten</b> in Mio. CHF	Personen -verkehr	Güter- verkehr	<b>Total</b>
Renovationskosten	3.5	0.4	<b>3.8</b>
Verkürzte Lebensdauer	2.9	0.3	<b>3.2</b>
Reinigungskosten	1.3	0.1	<b>1.4</b>
<b>Luftverkehr Total</b>	<b>7.6</b>	<b>0.8</b>	<b>8.4</b>

**e) Schiffsverkehr**

Der Schiffsverkehr weist die tiefsten externen Gebäudekosten aller Verkehrsträger auf. Sie belaufen sich im Jahr 2010 auf **6.1 Mio. CHF**. Hierbei ist anzumerken, dass diese Kosten erstmals für den Schiffsverkehr ausgewiesen werden.

**Abbildung 4-11: Externe Gebäudekosten durch Luftverschmutzung im Schiffsverkehr 2010 nach Kostenbestandteilen**

<b>Gebäudekosten</b> in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Renovationskosten	1.6	1.2	<b>2.8</b>
Verkürzte Lebensdauer	1.3	1.0	<b>2.3</b>
Reinigungskosten	0.6	0.4	<b>1.0</b>
<b>Schiffsverkehr Total</b>	<b>3.5</b>	<b>2.6</b>	<b>6.1</b>

## 4.6 Sensitivitätsanalyse

### 4.6.1 Zusammenfassung der Annahmen und Unsicherheiten

Um die Gebäudekosten durch Luftverschmutzung zu ermitteln, müssen einige Annahmen getroffen werden, welche naturgemäss mit Unsicherheiten verbunden sind. In der folgenden Abbildung sind die wichtigsten Unsicherheitsfaktoren aufgeführt. Anzumerken ist, dass die zugrundeliegenden empirischen Modelle ebenfalls mit Unsicherheiten behaftet sind. In der Folge betrachten wir aber nur die Unsicherheiten einzelner Faktoren innerhalb des Modells und nicht grundlegende Annahmen des Modells.

**Abbildung 4-12: Übersicht über Inputdaten, Annahmen und Bandbreiten bei den Gebäudekosten durch Luftverschmutzung**

Bereich / Annahme	Wissenstand	Vorgehen	Bandbreite
<b>Immissionen</b>			
PM10 Immissionen	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 10%
<b>Mengengerüst</b>			
Fassadenflächen Schweiz	Wissen mit Unsicherheiten	Datenauswertung	± 5%
Verkehrsexponierte Fassadenflächen	Wissen mit Unsicherheiten	Datenauswertung	± 5%
Höhere Renovationsquote	Wissen mit Unsicherheiten	Datenauswertung	± 5%
Anzahl zusätzlicher Fassadenreinigungen	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 100%
<b>Wertgerüst</b>			
Kostensatz Renovation / Bau	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 25%
Kostensätze Erstellungskosten	Wissen mit Unsicherheiten	Datenauswertung	± 25%
Kostensatz Reinigung	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 25%

- Gemäss Kapitel 3.6.1 sind die Unsicherheiten bei PM10-Immissionen im Strassen- und Schienenverkehr minimal. Diese Schadstoffkonzentrationen haben wir für die Gebäudekosten auf die Gemeindeflächen umgelegt haben, was mit gewissen Annahmen verbunden ist. Daher schätzen wir die Unsicherheit auf ±10% ein.
- Die Fassadenflächen (insgesamt und verkehrsexponierte) sowie die höhere Renovationsquote stammen allesamt aus umfangreichen Datenauswertungen. Für die vorliegende Studie werden aktualisierte Fassadenflächen benutzt. Die Anteile der verkehrsexponierten Gebäudeflächen konnten hingegen nicht neu berechnet werden, weil die Datengrundlagen eine Differenzierung nach den acht verwendeten Agglomerationstypen nicht mehr zulassen. Deshalb werden weiter die alten Werte aus Infrass, Wüest & Partner (2004) verwendet. Die um 0.5% höhere Renovationsquote entspringt ebenfalls dieser Quelle. Die Unsicherheiten schätzen wir auf ±5% ein.

Im Basisszenario wird davon ausgegangen, dass an exponierten Standorten pro Jahr eine zusätzliche Fassadenreinigung anfällt. Da es hier auch gemäss Expertenaussagen Abweichungen geben kann (häufigere Reinigung resp. gar keine) rechnen wir im tiefen Szenario mit keiner Reinigung, im hohen mit zwei Reinigungen pro Jahr (±100%).

- Bei den verwendeten Kostensätzen ergibt sich bezüglich ihrer Herleitung keine wesentliche Änderung gegenüber der letzten Studie. Deshalb wird weiter mit einer Unsicherheit von  $\pm 25\%$  gerechnet.

#### 4.6.2 Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

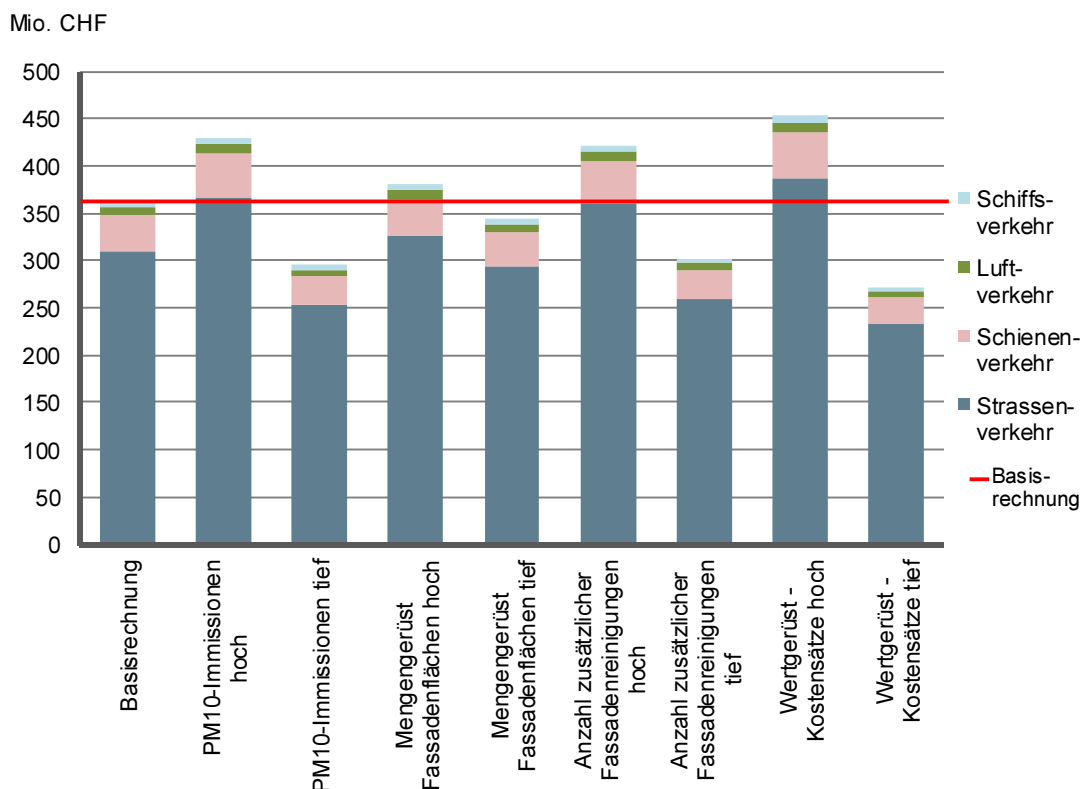
Die folgenden beiden Abbildungen stellen dar, wie sich die externen Kosten verändern, wenn die Annahmen gemäss obiger Auslegung geändert werden:

**Abbildung 4-13: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für die Gebäudekosten durch Luftverschmutzung 2010**

Gebäudekosten in Mio. CHF	Strassen- verkehr	Schiene- verkehr	Luft- verkehr	Schiffs- verkehr	Total
<b>Basisrechnung</b>	<b>309.7</b>	<b>38.0</b>	<b>8.4</b>	<b>6.1</b>	<b>362.1</b>
PM10-Immissionen hoch	367.5	45.1	10.0	7.2	<b>429.7</b>
PM10-Immissionen tief	252.4	31.0	6.8	4.9	<b>295.1</b>
Mengengerüst Fassadenflächen hoch	325.2	39.9	8.8	6.4	<b>380.3</b>
Mengengerüst Fassadenflächen tief	294.2	36.1	8.0	5.8	<b>344.0</b>
Anzahl zusätzlicher Fassadenreinigungen hoch	360.9	44.3	9.8	7.1	<b>422.0</b>
Anzahl zusätzlicher Fassadenreinigungen tief	258.5	31.7	7.0	5.1	<b>302.3</b>
Wertgerüst - Kostensätze hoch	387.1	47.5	10.5	7.6	<b>452.7</b>
Wertgerüst - Kostensätze tief	232.3	28.5	6.3	4.5	<b>271.6</b>
<b>Abweichung von Basisrechnung in %</b>					
PM10-Immissionen hoch	18.7%	18.7%	18.7%	18.7%	<b>18.7%</b>
PM10-Immissionen tief	-18.5%	-18.5%	-18.5%	-18.5%	<b>-18.5%</b>
Mengengerüst Fassadenflächen hoch	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	<b>5.0%</b>
Mengengerüst Fassadenflächen tief	-5.0%	-5.0%	-5.0%	-5.0%	<b>-5.0%</b>
Anzahl zusätzlicher Fassadenreinigungen hoch	16.5%	16.5%	16.5%	16.5%	<b>16.5%</b>
Anzahl zusätzlicher Fassadenreinigungen tief	-16.5%	-16.5%	-16.5%	-16.5%	<b>-16.5%</b>
Wertgerüst - Kostensätze hoch	25.0%	25.0%	25.0%	25.0%	<b>25.0%</b>
Wertgerüst - Kostensätze tief	-25.0%	-25.0%	-25.0%	-25.0%	<b>-25.0%</b>

- Die Unsicherheiten im Bereich der Kostensätze sind am grössten, weil für stark von den Begebenheiten abhängige Bauteile und Tätigkeiten allgemein gültige Sätze verwendet werden. Im Bereich des Wertgerüsts ist deshalb mit einer Bandbreite der Kosten von  $\pm 25\%$  zu rechnen. Diese Schwankungsbreite ist allerdings zu gross, da die drei Kostensätze zumindest teilweise unabhängig voneinander sind (vgl. Fussnote 157). Am sensitivsten reagiert das Resultat auf den Kostensatz der Renovationskosten ( $\pm 11\%$ ).
- Die Resultate zeigen, dass die Gebäudekosten ebenfalls sensibel auf Änderungen der PM10-Immissionen reagieren ( $\pm 19\%$ ). Dies lässt sich wie folgt begründen: Den Kapitalkosten durch verkürzte Lebensdauer der Fassaden liegt ein Schätzmodell zugrunde, für welches die PM10-Immissionen als Inputvariable verwendet werden. Die PM10-Immissionen beeinflussen daher die resultierenden Anzahl Jahre für die verkürzte Lebensdauer. Die zusätzlichen Kapitalkosten wiederum reagieren sehr sensibel auf unterschiedliche Anzahl Jahre, was sich letztlich in obigen Sensitivitäten ausdrückt.
- Eine zusätzliche Fassadenreinigung pro Jahr würde die Kosten um rund 17% erhöhen.

Abbildung 4-14: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für die Gebäudekosten durch Luftverschmutzung



#### 4.6.3 Zusätzliche Unter- oder Überschätzungen

Wie bereits die Gesundheitskosten der Luftverschmutzung wurden auch die Gebäudeschäden nach einem at least Ansatz quantifiziert. Verschiedene getroffene Annahmen führen daher tendenziell zu einer Unterschätzung der entstehenden Gebäudeschäden:

- Schäden an Bau- und Kulturdenkmälern wie beispielsweise Kirchen, Standbilder oder historische Brunnen werden aus der Analyse ausgeschlossen, insbesondere aufgrund der Schwierigkeiten bei der Bestimmung des immateriellen Werts dieser Gebäude und Installationen. Die teilweise mit hohen Kosten verbundene Restaurierung dieser Gebäude sind nicht in den Berechnungen enthalten.
- Zusätzliche Fensterreinigungsarbeiten an Ein- und Mehrfamilienhäusern bleiben unberücksichtigt. Hier besteht eine zusätzliche Unsicherheiten nicht nur bezüglich der mittleren Reinigungsintervalle und deren Beeinflussung durch Verkehrsemissionen, sondern auch über die zu verwendenden Kostensätze, da die in diesem Bereich erbrachten Leistungen nur zum Teil marktmässig bewertet werden. Da die Fensterflächen an Ein- und Mehrfamilienhäusern ca. 2/3 der gesamtschweizerischen Fensterflächen ausmachen, stellen die berechneten Reinigungskosten die absolute Untergrenze der erwarteten Werte dar. Eine grobe Hochrechnung für die Fensterflächen der Ein- und Mehrfamilienhäuser ergibt zusätzliche Reinigungskosten in der Höhe von rund 60 Mio. CHF.

## 4.7 Vergleich zu den bisherigen Berechnungen

Der Vergleich wird nur für den Strassen- und Schienenverkehr durchgeführt, da bisher keine Zahlen zu den anderen Verkehrsträgern publiziert wurden.

Mit dem bisherigen Aktualisierungstool berechnen wir auch den Wert für 2010 nach der bisherigen Methodik. Dies erlaubt es die zeitliche Entwicklung und die Methodenanpassung zu trennen.

Abbildung 4-15: Vergleich der Berechnungen für die Gebäudekosten durch Luftverschmutzung 2005 und 2010



### a) Zeitliche Entwicklung 2005 bis 2010 (bisherige Methodik)

Wie die Abbildungen zeigen, haben sich im Jahr 2010 die Kosten im Strassen- wie auch im Schienenverkehr gegenüber 2005 um knapp 9% resp. rund 28% erhöht. Dies ist insbesondere auf die höheren Kostensätze zurückzuführen. So ist der Baukostenindex, welcher die Grundlage für die Fortschreibung der Renovations- und Fassadenhüllenkostensätze darstellt, um rund 10% gestiegen. Der unterschiedlich starke Anstieg zwischen Strassen- und Schienenverkehr ist auf die Entwicklung der Emissionen zurückzuführen. Diese wurden bei der bisherigen Fortschreibung als Schätzer für die PM10-Immissionen herangezogen. Wie auch



an anderer Stelle erläutert sanken zwischen 2005 und 2010 die Emissionen im Strassenverkehr, während sie im Schienenverkehr zunahmen.

**Abbildung 4-16: Vergleich der Berechnungen für die Gebäudekosten durch Luftverschmutzung 2005 und 2010**

	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
<b>Daten 2005, Methodik 2005</b>			
Strassenverkehr	143.9	130.0	<b>273.9</b>
Schienenverkehr	7.9	7.5	<b>15.4</b>
<b>Total</b>	<b>151.8</b>	<b>137.5</b>	<b>289.2</b>
<b>Daten 2010, Methodik 2005</b>			
Strassenverkehr	168.9	129.2	<b>298.1</b>
Schienenverkehr	10.9	8.9	<b>19.7</b>
<b>Total</b>	<b>179.8</b>	<b>138.1</b>	<b>317.8</b>
<b>Daten 2010, Methodik 2010</b>			
Strassenverkehr	228.7	81.0	<b>309.7</b>
Schienenverkehr	23.8	14.2	<b>38.0</b>
<b>Total</b>	<b>252.5</b>	<b>95.2</b>	<b>347.7</b>
<b>Veränderung Daten 2005 - 2010</b>			
Strassenverkehr	17.4%	-0.6%	<b>8.9%</b>
Schienenverkehr	37.6%	18.8%	<b>28.4%</b>
<b>Total</b>	<b>18.5%</b>	<b>0.4%</b>	<b>9.9%</b>
<b>Veränderung Methodenanpassung</b>			
Strassenverkehr	35.4%	-37.3%	<b>3.9%</b>
Schienenverkehr	119.5%	59.9%	<b>92.7%</b>
<b>Total</b>	<b>40.5%</b>	<b>-31.1%</b>	<b>9.4%</b>

## b) Methodenanpassung

Aufgrund der überarbeiteten Methodik und der aufgearbeiteten Datengrundlagen ergeben sich für 2010 im Strassenverkehr 4% höhere Kosten als mit der bisherigen Berechnungsmethodik. Im Schienenverkehr liegen die Kosten um knapp 93% höher. Beim Strassenverkehr ist zudem eine Umverteilung zu Lasten des Personenverkehrs und zu Gunsten des Güterverkehrs festzustellen. Folgende Gründe können für diese Änderungen aufgeführt werden:

- **Immissionen:** Die neuen Immissionsmodelle haben beim Strassenpersonenverkehr zu einer Zunahme von 33% geführt, beim Strassengüterverkehr dagegen zu einer Abnahme um 26%. Beim Schienenverkehr haben die Immissionen aufgrund der neuen Modellierung deutlich zugenommen, beim Schienenpersonenverkehr um mehr als den Faktor 2

(+127%), beim Schienengüterverkehr um 32%. Weitere Ausführungen zur Veränderung der PM10-Immissionen finden sich in Abschnitt b) im Kapitel 3.7.

- **Kostensätze:** Bei den aufgearbeiteten Kostensätzen für die Erstellungskosten der Gebäudehülle (Kosten durch verkürzte Lebensdauer) ergeben sich Kostenzunahmen, die für spezifische Bauteile über der Zunahme des Baukostenindex liegen (vgl. Abbildung 4-4).

Die folgende Tabelle zeigt zusammenfassend die wichtigsten Veränderungen infolge der Methodenanpassung.

**Abbildung 4-17: Hauptgründe für die Unterschiede durch die Methodenanpassung**

Inputgrösse	Unterschiede angepasste Methodik	Wirkung auf Ergebnis
PM10 Immissionen	Neue Modellierungsergebnisse	Strasse Personenv.: ↗ Strasse Güterv.: ↘ Schienenverkehr: ↗↗
Fassadenflächen	Umfassende Aktualisierung der Daten (Basis Wüest & Partner)	(↗)
Kostensätze verkürzte Lebensdauer (Gebäudehülle)	Aktualisierung der Kostensätze für die verschiedenen Bauteile	↗

## 5 Ernteauffälle durch Luftverschmutzung

### 5.1 Berechnungsgegenstand

Luftschadstoffemissionen können Pflanzen in verschiedener Weise schädigen und so auch zu Schäden in der Landwirtschaft führen. Wissenschaftlich gut untersucht ist die negative Wirkung von Ozon auf Nutzpflanzen. Als starkes Oxidationsmittel kann Ozon bei Pflanzen zu Schädigungen von Membranen führen und so die Photosynthese und Transpiration hemmen. Diese Schäden führen bei längerer Ozonexposition insgesamt zu einem verminderten Pflanzenwachstum und damit zu verminderten Ernteerträgen in der Landwirtschaft. Der negative Zusammenhang zwischen Ozonimmissionen und Ernteerträgen ist breit anerkannt und die Ursache-Wirkungskette lässt sich auf Basis der wissenschaftlichen Literatur quantifizieren.

### 5.2 Bewertungsmethodik und wichtigste neue Erkenntnisse

#### 5.2.1 Wichtige methodische Entwicklungen

Die Methodik zur Bewertung der Ernteauffälle infolge Luftverschmutzung ist etabliert und wird auch in aktuellen internationalen Studien angewandt (z.B. EU-Projekte HEIMTSA, EXIOPOL, HEATCO). Überdies sind Ernteschäden auch in den Empfehlungen der neuen UBA Methodenkonvention (UBA 2013) abgedeckt. Seit der letzten Aktualisierungsstudie der externen Kosten des Verkehrs in der Schweiz hat es neue Forschungsergebnisse zu Dosis-Wirkungs-Beziehungen betreffend Ernteverluste infolge Ozonbelastung gegeben. Zu diesen neusten Forschungserkenntnissen wurde auch eine Anfrage an die landwirtschaftliche Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz (Jürg Fuhrer) gemacht, weil diese zu diesem Thema in früheren Jahren ebenfalls Forschung betrieben hat. Mit Hilfe der Antwort der Agroscope sowie eigenen Recherchen können die quantitativen Expositions-Wirkungs-Beziehungen zwischen Ozonimmissionen und Ernteerträgen gewisser Nutzpflanzen auf den neusten Forschungsstand aktualisiert werden. Bei anderen Nutzpflanzen finden sich keine neuen Erkenntnisse zur Expositions-Wirkungs-Beziehung.

Auf eine Quantifizierung von Ernteauffällen durch Schwefeldioxidemissionen wird verzichtet. Zwar werden diese z.B. in der Methodenkonvention des UBA (2013) berücksichtigt. Weil aber die SO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs heute sehr tief sind und zudem die Expositions-Wirkungs-Beziehungen nicht gleich gut untersucht sind wie beim Ozon, macht eine Quantifizierung wenig Sinn.

#### 5.2.2 Bewertungsmethodik

Luftschadstoffe aus dem Verkehr können unterschiedliche negative Wirkungen auf Nutzpflanzen haben. Besonders ausgeprägt und gut untersucht sind die Schädigungen, welche

bodennahes Ozon ( $O_3$ ) bei Nutzpflanzen hervorruft.<sup>173</sup> Die Schädigung von Ozon auf Pflanzen ist – im Unterschied zu den meisten anderen Luftschadstoffen – sehr direkt und überdies gut quantifizierbar. Ozon ist ein starkes Oxidationsmittel, das in den Pflanzen zu Membranschäden führen kann. Diese Membranschäden hemmen Photosynthese und Transpiration der Pflanze und führen zu einer Reihe von Folgeschäden (u.a. beschleunigte Blattalterung, erhöhte Krankheitsanfälligkeit, Vitalitätsverlust). Insgesamt führt dies bei vielen Pflanzenarten zu einem verminderten Wachstum (Fuhrer 2001, Fuhrer 2002, Fuhrer 2004, Fuhrer et al. 1997, Holland et al. 2002, Mills 2007, Hayes 2007, Hollaway 2012). Infrass (2006) gibt einen detaillierten Überblick zu den Wirkungen von Luftschadstoffen (insbesondere Ozon) auf Nutzpflanzen.

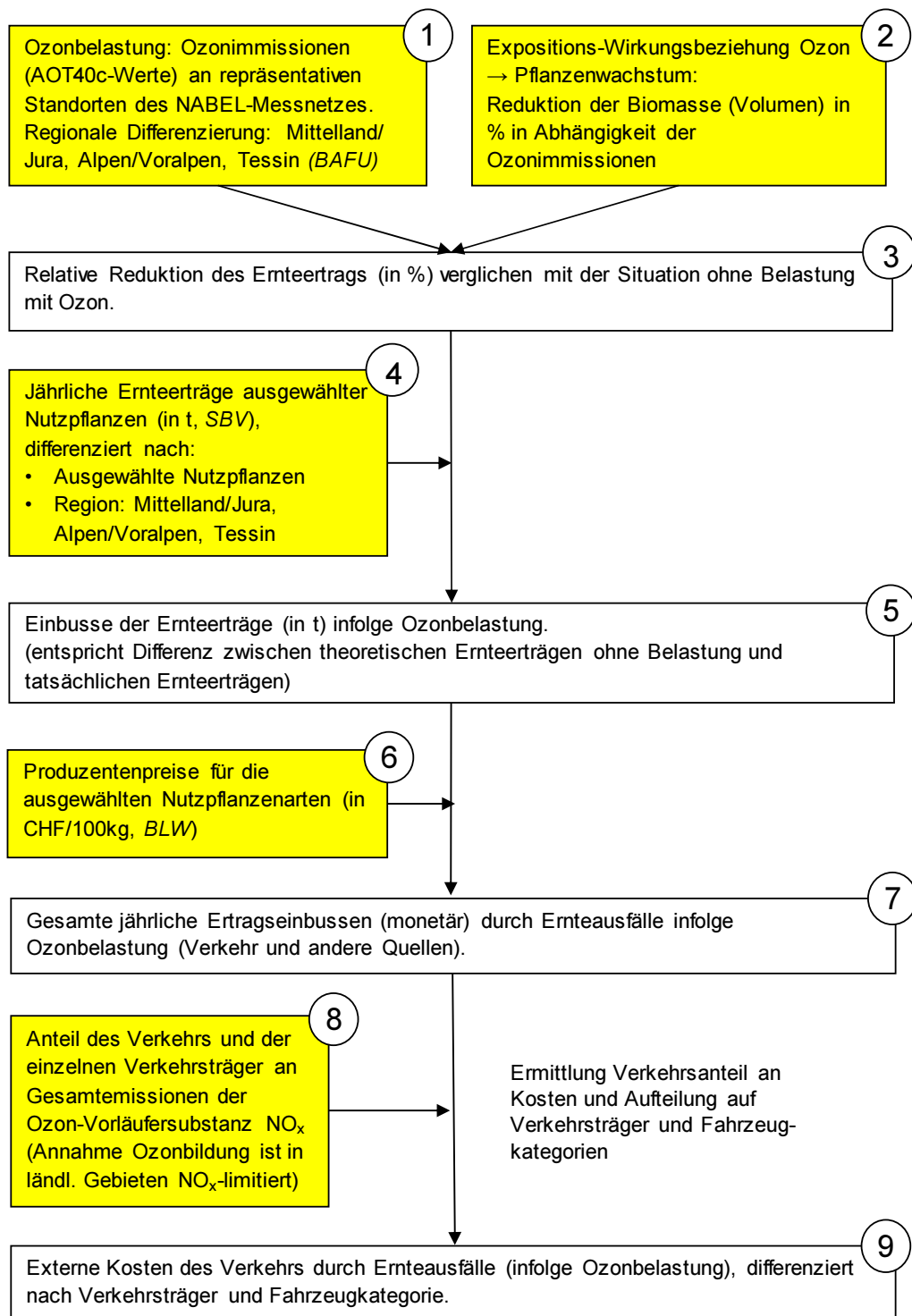
Die durch den Verkehr verursachten Kosten durch Ernteauffälle in der Landwirtschaft werden mit Hilfe von bestehenden Expositions-Wirkungs-Beziehungen berechnet. Folgende Abbildung gibt einen Überblick über das Vorgehen. Dazu wird auf Grundlage der Ozonbelastung (AOT40<sup>174</sup> einer Vegetationsperiode) von repräsentativen Standorten des NABEL Messnetzes, differenziert nach Regionen (1), sowie aus wissenschaftlichen Studien bekannten Expositions-Wirkungs-Beziehungen zwischen Ozonimmissionen und Reduktion der Biomasse (2) der prozentuale Rückgang der Ernteerträge der verschiedenen Nutzpflanzenarten (3), verglichen mit der Situation ohne Belastung, berechnet. Verrechnet man diesen prozentualen Ernteaufschlag mit den gesamten Ernteerträgen (4), können die mengenmässigen Ernteverluste berechnet werden, die durch das Ozon verursacht worden sind (5). Diese mengenmässigen Ernteverluste werden monetarisiert (7), indem die Mengen mit den Preisen (Produzenten- bzw. Faktorpreise) der entsprechenden Nutzpflanzen (6) multipliziert werden. Um schliesslich den Verkehrsanteil dieser durch das Ozon verursachten Ernteverluste zu bestimmen, muss entsprechend der Anteil des Verkehrs (und der einzelnen Verkehrsträger) an der gesamten Ozonbelastung (8) bekannt sein. Da angenommen wird, dass in ländlichen Gebieten die Ozonbildung durch  $NO_x$  limitiert ist, wird für diese Abschätzung der Verkehrsanteil an den Stickoxid-Emissionen zu Hilfe genommen. Dieser Verkehrsanteil, verrechnet mit dem monetarisierten Ernteaufschlag, ergibt die externen Kosten des Verkehrs infolge Ernteaufschlägen (9). Die folgende Abbildung zeigt das detaillierte Vorgehen bei der Berechnung der Kosten durch Ernteaufschläge. Das methodische Vorgehen ist identisch wie in Infrass (2006). Aktualisiert wurden jedoch sämtliche Inputdaten sowie die Expositions-Wirkungs-Beziehungen.

---

<sup>173</sup> Zur Bildung von bodennahem Ozon tragen unter anderem Emissionen von Stickoxiden ( $NO_x$ ) und flüchtigen Kohlenwasserstoffen (VOC) bei. Der Verkehr trägt insbesondere einen grossen Anteil an den Stickoxidemissionen.

<sup>174</sup> Der AOT40 ist ein Index, der die Summe aller 1-Stunden-Ozonkonzentrationen über 40 ppb während der Wachstumsperiode darstellt. Berücksichtigt werden nur die Tagesstunden mit einer Strahlung von über 50  $W/m^2$ . Einheit:  $ppm \cdot h$  oder  $ppb \cdot h$ . (AOT: accumulated exposure over threshold).

Abbildung 5-1: Bewertungsmethodik Ernteausfälle durch Luftverschmutzung



Legende: Inputdaten Zwischen-/ Endergebnisse Erläuterung der Berechnung (*Datenquellen kursiv*)

## 5.3 Mengengerüst

### 5.3.1 Ozonimmissionen

Für die Ozonbelastung werden Immissionsmesswerte aus dem nationalen Messprogramm NABEL (Nationales Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe) verwendet. Als Indikator wird der AOT40c-Wert verwendet, der die stündlich akkumulierte Ozonkonzentration über 40 ppb zwischen 1. Mai und 31. Juli in der Landwirtschaft wiedergibt (AOT=Accumulated exposure over threshold; c=crops). Für die NABEL-Messstationen sind AOT40c-Daten auf Bestellung verfügbar. Die Ozonimmissionen der einzelnen Jahre schwanken je nach klimatischen Verhältnissen (z.B. Anzahl Sonnentage eines Frühlings und Sommers) erheblich. Aus diesem Grund werden als Grundlage Mittelwerte der letzten 5 Jahre (2006-2010) verwendet. Weil für die Landwirtschaft die Emissionen in ländlichen, eher verkehrsfernen Gebieten (in allen Höhenlagen) relevant sind, werden Daten von Messstationen aus den entsprechenden Gebieten verwendet. Weil sich die Ozonimmissionen zwischen dem Mittelland, den Alpen und dem Tessin relativ stark unterscheiden, wird die gesamte Berechnung differenziert nach diesen drei Raumtypen durchgeführt.

**Abbildung 5-2: Ozonimmissionen (AOT40c) an ausgewählten NABEL-Messstationen: Mittelwerte der Jahre 2006-2010**

NABEL-Messstation	Ozonimmissionen: AOT40c (in ppm*h)
<b>Mittelland/Jura</b>	
Tänikon	10.83
Payerne	10.33
<b>Mittelwert Mittelland/Jura</b>	<b>10.58</b>
<b>Voralpen/Alpen</b>	
Davos	11.35
<b>Mittelwert Voralpen/Alpen</b>	<b>11.35</b>
<b>Tessin</b>	
Magadino	15.09
Lugano	19.04
<b>Mittelwert Tessin</b>	<b>17.06</b>

Quelle: NABEL-Messwerte. Spezifische Datenbereitstellung durch das BAFU (November 2013).

Die Daten beziehen sich auf eine Messhöhe von 4m über Boden. Für die Berechnung der Schadenswirkung auf Nutzpflanzen müssen die Werte noch auf die mittlere Höhe der Früchte (ca. 1m) korrigiert werden, weil die Ozonimmissionen auf Fruchthöhe etwas tiefer sind. Für die Korrektur der Werte wird gemäss den Angaben im europäischen Mapping Manual vorgegangen (UNECE 2004, S. III-23). Der Korrekturwert von 4m auf 1m Höhe beträgt 0.92.

### 5.3.2 Expositions-Wirkungs-Beziehungen

Gemäss Fuhrer (2001), Holland et al. (2002) und Mills (2007) kann der Zusammenhang zwischen dem Ernteertrag von Nutzpflanzen und der Ozonkonzentration mit der folgenden Grundformel (lineare Gleichung) beschrieben werden:

$$\text{Relativer Ernteertrag (in \%)} = 100 + m * \text{AOT40c (in ppm*h)}$$

Die einzelnen Pflanzenarten unterscheiden sich einzig im Wert der Steigung (m) der obigen linearen Gleichung. Der Ernterückgang bei einer bestimmten Ozonbelastung (AOT40c) wird relativ zum Ernteertrag einer Pflanze an einem unbelasteten Standort berechnet (Referenzwert). Ein unbelasteter Standort mit einer natürlichen Hintergrundbelastung an Ozon weist einen AOT40c-Wert von 0 ppm\*h auf. Die folgende Abbildung zeigt die verwendeten Expositions-Wirkungs-Beziehungen verschiedener Nutzpflanzenarten.

**Abbildung 5-3: Daten zur Expositions-Wirkungs-Beziehung zwischen Ozonbelastung und Ernteertrag bei verschiedenen Nutzpflanzen**

Nutzpflanzenart	Prozentuale Reduktion des Ernteertrags pro zusätzlicher ppm*h Ozonbelastung (Steigung m)
Weizen	-1.61
Gerste	-0.06
Hafer	0.00, d.h. keine negative Beeinflussung des Wachstums durch Ozon
Roggen	0.00, d.h. keine negative Beeinflussung des Wachstums durch Ozon
Körnermais	-0.36
Zuckerrüben	-0.58
Kartoffeln	-0.57
Raps	-0.56
Sonnenblumen	-1.20
Trauben	-0.30
Karotten	-0.92
Tomaten	-0.83
Frischgemüse allgemein	-0.95

Die Werte m beziehen sich auf die Dosis-Wirkungs-Beziehung: Relativer Ernteertrag (in %) = 100 – m\*AOT40c (in ppm\*h). Quelle für die unveränderten Werte: Infrass (2006) basierend auf Holland et al. (2002) und Fuhrer (2001). Aktualisierte Werte basieren auf Mills (2007).

### 5.3.3 Ernteerträge

Als Basis für die Ernteerträge der ausgewählten Nutzpflanzen in der Schweizer Landwirtschaft, dienten aktuelle statistische Auswertungen des Schweizerischen Bauernverbandes (SBV 2012) und des Bundesamtes für Landwirtschaft (BLW 2011) zur landwirtschaftlichen Produktion in der Schweiz.

Abbildung 5-4 Ernteerträge für verschiedene Nutzpflanzen 2010

Nutzpflanzenart	Ernteerträge 2010 (in Tonnen)
Weizen	507'469
Gerste	174'113
Hafer	8'932
Roggen	13'708
Körnermais	143'502
Zuckerrüben	1'302'055
Kartoffeln	421'000
Raps	64'600
Sonnenblumen	10'600
Trauben	130'578
Karotten	62'638
Tomaten	42'979
Frischgemüse allgemein	73'928

Quellen: Schweizerischer Bauernverband: Statistische Erhebungen und Schätzungen über Landwirtschaft und Ernährung 2010 (SBV 2012), Bundesamt für Landwirtschaft: Agrarbericht 2011 (BLW 2011). Alle Daten für das Jahr 2010.

### 5.3.4 Verkehrsanteil an Ozonbelastung

Um den Anteil des Verkehrs an den Kosten durch vermindertes Pflanzenwachstum zu ermitteln, wird auf den Verkehrsanteil an der Ozonbelastung zurückgegriffen:

Da bodennahes Ozon aus den Vorläufersubstanzen  $\text{NO}_x$  und VOC gebildet wird, sind diese für die Bestimmung des Verkehrsanteils an der Ozonbelastung relevant. Weil in ländlichen Gebieten die Ozonbildung als  $\text{NO}_x$ -limitiert gilt (Infras 2006), erfolgt die Allokation des Verkehrsanteils an der Ozonbelastung in der vorliegenden Studie basierend auf den Stickoxidemissionen ( $\text{NO}_x$ ). Im Jahr 2010 betrug der Anteil des Verkehrs an den gesamten  $\text{NO}_x$ -Emissionen in der Schweiz 52.0% (siehe Kapitel 7.3).<sup>175</sup> Dieser Wert wird als Indikator für den Verkehrsanteil an der Ozonbelastung verwendet. 2005 betrug dieser Anteil 49.5%, beinhaltete jedoch nur den Strassen- und Schienenverkehr.

## 5.4 Wertgerüst

### 5.4.1 Produzentenpreise von Nutzpflanzen

Die folgende Abbildung zeigt die Produzentenpreise der ausgewählten Nutzpflanzen in der Schweiz für das Jahr 2010. Anhand dieser Preise wurden die Kosten der Ertragsausfälle hochgerechnet.

<sup>175</sup> Diese 52.0% teilen sich folgendermassen auf die Verkehrsträger auf: Strassenverkehr 48.6%, Schienenverkehr 0.7%, Luftverkehr 1.4%, Schiffsverkehr 1.3%.



Abbildung 5-5 Produzentenpreise für verschiedene Nutzpflanzen 2010

Nutzpflanzenart	Produzentenpreise 2010 (in CHF/100 kg)
Weizen	46.71
Gerste	36.77
Hafer	41.54
Roggen	39.23
Körnermais	36.01
Zuckerrüben	8.50
Kartoffeln	38.49
Raps	80.41
Sonnenblumen	87.45
Trauben	350.00
Karotten	144.00
Tomaten	278.00
Frischgemüse allgemein	180.80

Quellen: Bundesamt für Landwirtschaft: Agrarbericht 2011 (BLW 2011). Alle Daten für das Jahr 2010.

## 5.5 Ergebnisse

### 5.5.1 Externe Kosten

#### a) Überblick Gesamtverkehr

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die gesamten externen Kosten infolge Ernteauffälle durch Ozonbelastung im Jahr 2010 nach Verkehrsträgern.<sup>176</sup>

Die gesamten durch den Verkehr verursachten Ernteauffälle betragen 2010 knapp **60 Mio. CHF**. Von diesen Kosten verursachte der Strassenverkehr 94%, der Schienenverkehr gut 1.4%, der Luftverkehr knapp 2.6% und der Schiffsverkehr rund 2.4%. In absoluten Zahlen verursachen die Verkehrsträger Schiene, Luft und Schiff jeweils weniger als 2 Mio. CHF pro Jahr an Ernteauffällen infolge Luftverschmutzung. Die Aufteilung der Gesamtkosten nach Personen- und Güterverkehr liegt bei ca. 60% zu 40%.

Die Relevanz der Nutzpflanzen für die Gesamtkosten ist sehr unterschiedlich. Am relevantesten ist mit 39% Anteil des Weizens, gefolgt vom Frischgemüse mit 29% (Tomaten, Karotten und restl. Frischgemüse), den Trauben (13%) und den Kartoffeln (8%). Die Ernteauffälle dieser fünf Kategorien von Nutzpflanzen machen in der Summe fast 90% der gesamten externen Kosten durch Ernteauffälle aus.

<sup>176</sup> Bei dieser Kostenkategorie entsprechen die externen den sozialen Kosten, da es keinen Internalisierungsbeitrag gibt. Zudem sind die externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger, aus Sicht Verkehrsart Schwerverkehr und aus Sicht Verkehrsteilnehmende genau gleich hoch.

Abbildung 5-6: Überblick über die externen Kosten infolge Ernteausfälle 2010

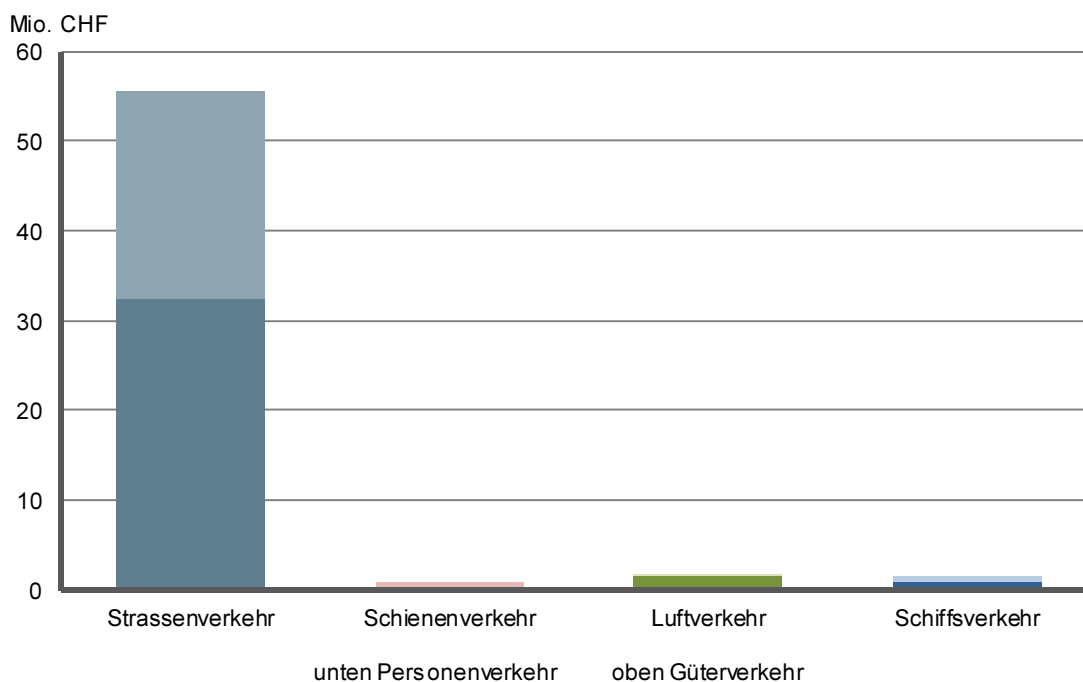


Abbildung 5-7: Überblick über die externen Kosten infolge Ernteausfälle 2010

Ernteausfälle in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	32.4	23.0	<b>55.5</b>	93.5%
Schienenverkehr	0.1	0.7	<b>0.8</b>	1.4%
Luftverkehr	1.4	0.1	<b>1.6</b>	2.6%
Schiffsverkehr	0.8	0.6	<b>1.4</b>	2.4%
<b>Total</b>	<b>34.8</b>	<b>24.5</b>	<b>59.3</b>	100.0%
in % des Totals	58.7%	41.3%	100.0%	

### b) Strassenverkehr

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die Aufteilung der Ernteausfälle durch Luftschadstoffemissionen des Strassenverkehrs auf die einzelnen Fahrzeugkategorien. Etwas weniger als die Hälfte der Kosten (27 Mio. CHF) des Strassenverkehrs wird durch die Personenwagen verursacht. Der öffentliche Strassenverkehr, sprich Linienbusse, ist verantwortlich für rund 7% der Kosten (4 Mio. CHF) und der Strassengüterverkehr für 42% (23 Mio. CHF).

Abbildung 5-8: Externe Kosten infolge Ernteausfälle 2010 nach Fahrzeugkategorien

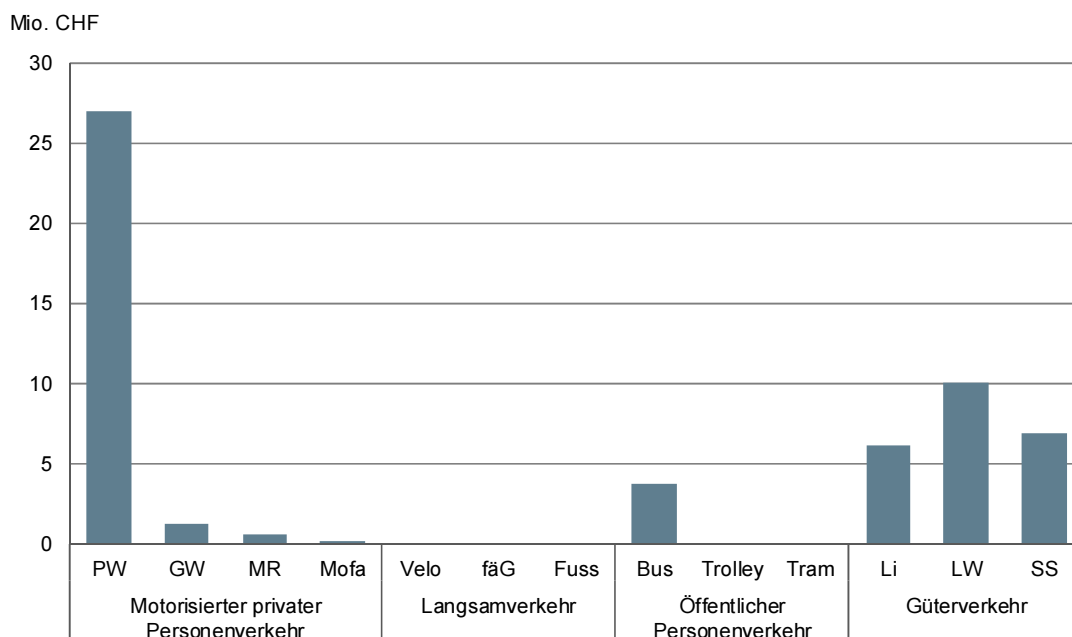


Abbildung 5-9: Externe Kosten infolge Ernteausfälle des Strassenverkehrs 2010 nach Fahrzeugkategorien

Ernteausfälle in Mio. CHF	Personenverkehr									Güterverkehr			Gesamt- total	
	Motorisierter privater Personenverkehr				Langsamverkehr			Öffentlicher Personenverkehr		Li	LW	SS		
	PW	GW	MR	Mofa	Velo	fäG	Fuss	Bus	Trolley	Tram				
Total Ernteausfälle	27.0	1.2	0.6	0.0	-	-	-	3.7	-	-	6.1	10.0	6.9	55.5
in % des Gesamttotals	48.7%	2.2%	1.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	6.6%	0.0%	0.0%	11.0%	18.1%	12.5%	100.0%
Total Teilbereiche	28.8				0.0			3.7		23.0			55.5	
in % des Gesamttotals	51.9%				0.0%			6.6%		41.5%			100.0%	

PW = Personenwagen, GW = Gesellschaftswagen, MR = Motorrad, fäG = fahrzeugähnliches Gerät, Fuss = Fussverkehr, Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper.

### c) Schienenverkehr

Der Schienenverkehr verursacht lediglich sehr geringe externe Kosten durch luftverschmutzungsbedingte Ernteausfälle, da fast kein NO<sub>x</sub> emittiert wird. Im Jahr 2010 waren es 0.8 Mio. CHF. Der grösste Teil davon (85% bzw. 0.7 Mio. CHF) wird durch den Güterverkehr verursacht, weil im Güterverkehr deutlich mehr Dieselloks eingesetzt werden als im Personenverkehr.

#### d) Luftverkehr

Auch die externen Kosten des Luftverkehrs infolge Ernteausfälle sind sehr tief. Im Jahr 2010 betragen diese Schäden 1.6 Mio. CHF, wovon der überwiegende Teil durch den Personenverkehr verursacht wird. 97% dieser Kosten fallen an Landesflughäfen an. Teilt man die Kosten auf die einzelnen Flugarten auf, sind 95% dem Linien- und Charterverkehr zuzuordnen, die Kosten der Helikopter sind vernachlässigbar klein und die General Aviation verursacht 5% der Kosten.

Abbildung 5-10: Externe Kosten infolge Ernteausfälle des Luftverkehrs 2010 nach Personen- und Güterverkehr (Halbstreckenprinzip)

Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
Linien- und Charterverkehr	1.4	0.1	1.5
Helikopter	0.0	0.0	0.0
General Aviation	0.1	0.0	0.1
<b>Total Luftverkehr</b>	<b>1.4</b>	<b>0.1</b>	<b>1.6</b>
Anteil	91.1%	8.9%	100.0%

#### e) Schiffsverkehr

Der Schiffsverkehr verursachte im Jahr 2010 externe Kosten durch Ernteausfälle im Umfang von 1.4 Mio. CHF. Davon entfallen rund 60% (0.8 Mio. CHF) auf die öffentliche Personenschiffahrt und der Rest auf den Güterverkehr.

## 5.6 Sensitivitätsanalyse

### 5.6.1 Zusammenfassung der Annahmen und Unsicherheiten

Bei der Ermittlung der Ernteausfälle durch Luftverschmutzung werden verschiedene Daten Grundlagen verwendet, die naturgemäss mit Unsicherheiten verbunden sind. In der folgenden Abbildung werden die Unsicherheiten der wichtigsten Inputdaten aufgelistet. Im anschließenden Teilkapitel wird dann untersucht, wie sensitiv die Ergebnisse reagieren, wenn diese Annahmen verändert werden.

**Abbildung 5-11: Übersicht über Inputdaten, Annahmen und Bandbreiten bei den Kosten der Ernteausfällen durch Luftverschmutzung**

Bereich / Annahme	Wissenstand	Vorgehen	Bandbreite
<b>Immissionen (Belastung)</b>			
Ozonimmissionen	Messungen mit kl. Unsicherheiten	Datenauswertung	± 5%
<b>Effekte / Schäden</b>			
Expositions-Wirkungsbeziehung: Ozon > Ernteertrag	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 25%
Ernteerträge	aktuelle statistische Grundlagen	Datenauswertung	± 5%
<b>Wertgerüst</b>			
Produzentenpreise	aktuelle statistische Grundlagen	Datenauswertung	± 5%
<b>Verkehrsanteil</b>			
Verkehrsbedingter Anteil an NO <sub>x</sub> -Emissionen	aktuelle statistische Grundlagen	Datenauswertung	± 10%

### 5.6.2 Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

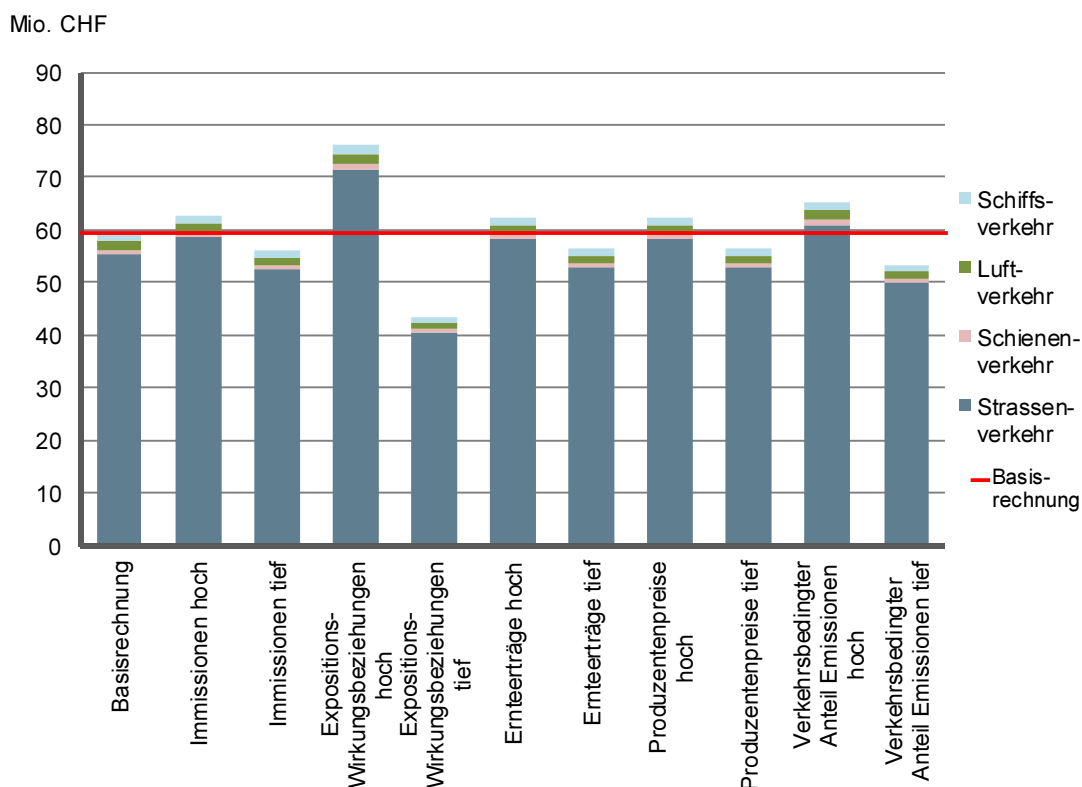
Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse. Es wurden fünf verschiedene Szenarien jeweils mit hohen und tiefen Inputdaten gerechnet: 1. Immissionen (Ozonbelastung, Immissionsmesswerte NABEL), 2. Expositions-Wirkungs-Beziehung (Wirkung von Ozon auf Ernteertrag), 3. Ernteerträge (Auswertung SBV von ausgewählten Nutzpflanzen), 4. Produzentenpreise (für die ausgewählten Nutzpflanzen), 5. Verkehrsbedingter Anteil der NO<sub>x</sub>-Emissionen (Schäden).

Am sensitivsten reagieren die Ergebnisse auf die Veränderung der Expositions-Wirkungs-Beziehungen (-27% bzw. +29%). Die anderen Inputgrößen führen bei den Gesamtkosten zu einer Schwankungsbreite von maximal ±10%. Dies ist insofern nicht erstaunlich, da die Kostenberechnungen meist linear sind und die gewählten Sensitivitäten in dieser einfachen Sensitivitätsanalyse entsprechend direkt auf das Resultat wirken.

**Abbildung 5-12: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für Ernteausfälle durch Luftverschmutzung 2010**

Ernteausfälle in Mio. CHF	Strassenverkehr	Schieneverkehr	Luftverkehr	Schiffsverkehr	Total
<b>Basisrechnung</b>	<b>55.5</b>	<b>0.8</b>	<b>1.6</b>	<b>1.4</b>	<b>59.3</b>
Immissionen hoch	58.6	0.9	1.7	1.5	62.6
Immissionen tief	52.4	0.8	1.5	1.4	56.0
Expositions-Wirkungsbeziehungen hoch	71.4	1.1	2.0	1.8	76.3
Expositions-Wirkungsbeziehungen tief	40.4	0.6	1.1	1.0	43.2
Ernteerträge hoch	58.2	0.9	1.6	1.5	62.3
Ernteerträge tief	52.7	0.8	1.5	1.4	56.3
Produzentenpreise hoch	58.2	0.9	1.6	1.5	62.3
Produzentenpreise tief	52.7	0.8	1.5	1.4	56.3
Verkehrsbedingter Anteil Emissionen hoch	61.0	0.9	1.7	1.6	65.2
Verkehrsbedingter Anteil Emissionen tief	49.9	0.7	1.4	1.3	53.4
<b>Abweichung von Basisrechnung in %</b>					
Immissionen hoch	5.6%	5.6%	5.6%	5.6%	5.6%
Immissionen tief	-5.5%	-5.5%	-5.5%	-5.5%	-5.5%
Expositions-Wirkungsbeziehungen hoch	28.8%	28.8%	28.8%	28.8%	28.8%
Expositions-Wirkungsbeziehungen tief	-27.1%	-27.1%	-27.1%	-27.1%	-27.1%
Ernteerträge hoch	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%
Ernteerträge tief	-5.0%	-5.0%	-5.0%	-5.0%	-5.0%
Produzentenpreise hoch	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%
Produzentenpreise tief	-5.0%	-5.0%	-5.0%	-5.0%	-5.0%
Verkehrsbedingter Anteil Emissionen hoch	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%
Verkehrsbedingter Anteil Emissionen tief	-10.0%	-10.0%	-10.0%	-10.0%	-10.0%

**Abbildung 5-13: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für Ernteausfälle durch Luftverschmutzung 2010**



## 5.7 Vergleich zu den bisherigen Berechnungen

Der Vergleich wird nur für den Strassen- und Schienenverkehr durchgeführt, da bisher keine Zahlen zu den anderen Verkehrsträgern publiziert wurden.

Mit dem bisherigen Aktualisierungstool berechneten wir auch den Wert für 2010 nach der bisherigen Methodik. Dies erlaubt es, die zeitliche Entwicklung und den Methodenwechsel zu trennen. Der Strassenverkehr verursachte 2005 gemäss früherer Methodik 63 Mio. CHF Ernteauffälle durch Luftverschmutzung. Mit der gleichen Methodik sinken die Kosten bis 2010 auf 40 Mio. CHF. Dieser Rückgang hat folgende Gründe:

- Die Ozonimmissionen sind von 2005 bis 2010 um 15-25% (je nach Region) gesunken. Dies führt zu einer deutlichen Reduktion der Kosten.
- Die für die Aktualisierungsrechnung verwendeten Erntemengen sind im Jahr 2010 um rund 3% tiefer als 2005.<sup>177</sup> Da der Ernteaufschlag aufgrund Ozonbelastung ein relativer Wert ist, wirken sich Unterschiede der gesamten Erntemenge direkt auf die Kosten aus.
- Der Produzentenpreis für den Weizen hat zwischen 2005 und 2010 um 11% abgenommen. Dieser Rückgang wirkt sich direkt auf die Kosten aus, weil im Aktualisierungstool mit den bisherigen Berechnungen die Fortschreibung lediglich auf Basis des Weizens erfolgt.
- Die NO<sub>x</sub>-Emissionen des Strassen- und Schienenverkehrs haben bei der Berechnung mit dem Aktualisierungstool zwischen 2005 und 2010 stärker abgenommen als die gesamten NO<sub>x</sub>-Emissionen der Schweiz. Damit sinkt auch der Anteil der Kosten durch Ernteauffälle, die dem Strassen- und Schienenverkehr anzulasten sind. Der Rückgang der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Strassenverkehrs (-28%) ist allerdings nicht nur auf eine effektive Reduktion der Emissionen zurückzuführen, sondern zu einem grossen Teil auch auf die nach unten korrigierten Fahrleistungen (v.a. der Personenwagen). Beim Schienenverkehr sind die NO<sub>x</sub>-Emissionen sogar noch stärker zurückgegangen (-54%). Auch dieser Rückgang ist jedoch hauptsächlich auf angepasste Datengrundlagen zurückzuführen und weniger eine tatsächliche Reduktion der Emissionen: Mit der Überarbeitung der Offroad-Emissionsstatistik im Rahmen der BAFU-Studie (BAFU 2008) wurden die NO<sub>x</sub>-Emissionen des Schienenverkehrs deutlich (um über 50%) nach unten korrigiert.

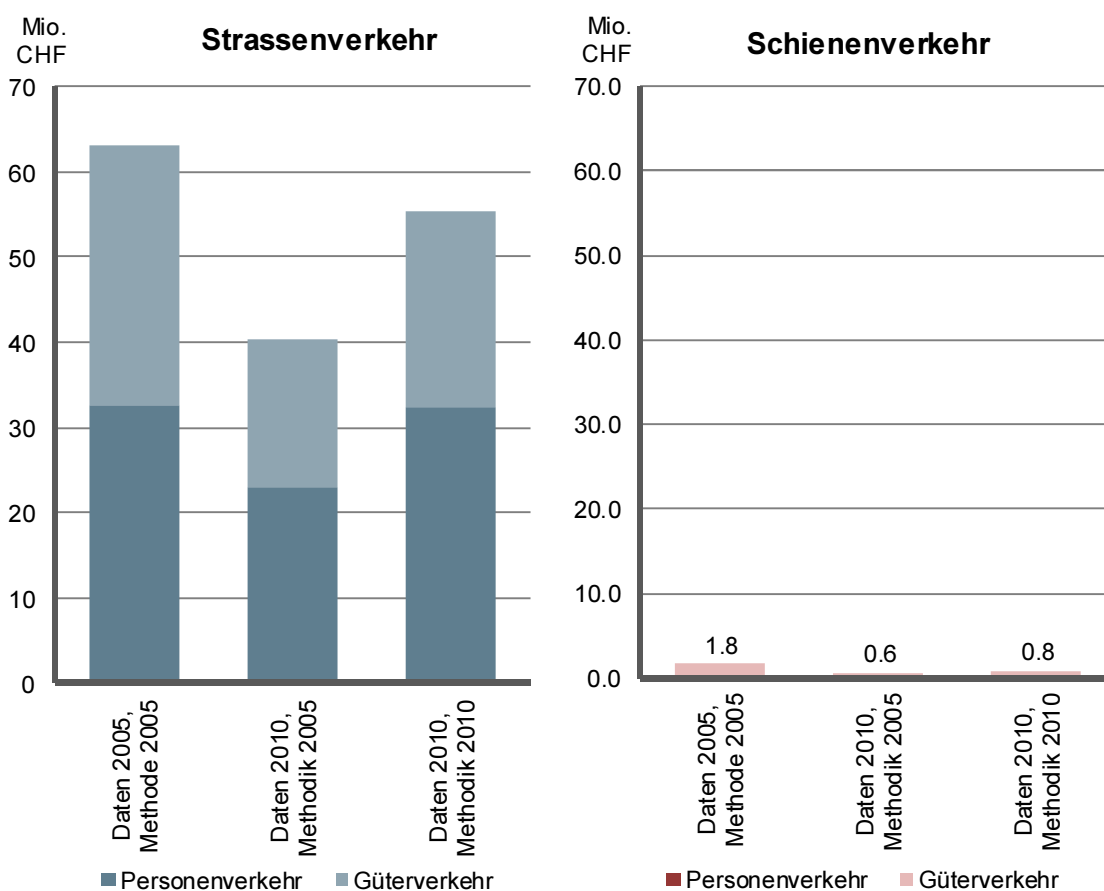
Mit der neuen Methodik steigen die Kosten durch Ernteauffälle wieder auf 56 Mio. CHF. Der Hauptgrund für diese Zunahme liegt bei der Aktualisierung der Expositions-Wirkungs-Beziehungen. Die Verwendung aktualisierter Daten hat eine Zunahme der Kosten von rund 7% zur Folge. Ein zweiter wichtiger Grund für diese Zunahme ist, die Tatsache, dass bei der bisherigen Methodik 2005 im Rahmen des Aktualisierungstools nur der Weizen als Leitpflanze betrachtet wurde. Der Rückgang der Produzentenpreise war beim Weizen zwischen 2005 und 2010 mit -11% deutlich höher als im Durchschnitt der anderen Nutzpflanzen (gewichtet: -5%). Zusätzlich haben bei einigen für die Gesamtkosten relevanten Nutzpflanzen die Ernterträge in dieser Zeit zugenommen (z.B. beim Gemüse), während die Erträge beim Weizen

---

<sup>177</sup> Im Aktualisierungstool 2005 bis 2010 wird der Einfachheit halber lediglich Weizen als Indikator für die Entwicklung der Erntemenge verwendet.

leicht rückläufig waren (minus 3%). Dies führt dazu, dass bei der bisherigen Methode der Anteil anderer Pflanzen bzw. derer Ertragsausfälle etwas unterschätzt wurde, was mit der Aktualisierung wieder korrigiert wird. Ein weiterer Grund für die Zunahme beim Strassenverkehr liegt daran, dass im Rahmen der Methodenanpassung die NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs neu ermittelt wurden und damit etwas höher sind als in der alten Methodik.

**Abbildung 5-14: Vergleich der Berechnungen für die Kosten durch Ernteaufälle 2005 und 2010**





**Abbildung 5-15: Vergleich der Berechnungen für die Kosten durch Ernteausfälle 2005 und 2010**

	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
<b>Daten 2005, Methodik 2005</b>			
Strassenverkehr	32.5	30.6	63.1
Schiennenverkehr	0.2	1.5	1.8
<b>Total</b>	<b>32.8</b>	<b>32.1</b>	<b>64.9</b>
<b>Daten 2010, Methodik 2005</b>			
Strassenverkehr	23.1	17.3	40.3
Schiennenverkehr	0.1	0.5	0.6
<b>Total</b>	<b>23.1</b>	<b>17.8</b>	<b>41.0</b>
<b>Daten 2010, Methodik 2010</b>			
Strassenverkehr	32.4	23.0	55.5
Schiennenverkehr	0.1	0.7	0.8
<b>Total</b>	<b>32.6</b>	<b>23.7</b>	<b>56.3</b>
<b>Veränderung Daten 2005 - 2010</b>			
Strassenverkehr	-29.1%	-43.5%	-36.1%
Schiennenverkehr	-65.4%	-65.4%	-65.4%
<b>Total</b>	<b>-29.4%</b>	<b>-44.6%</b>	<b>-36.9%</b>
<b>Veränderung Methoden Anpassung</b>			
Strassenverkehr	40.7%	33.1%	37.5%
Schiennenverkehr	54.9%	30.9%	34.0%
<b>Total</b>	<b>40.8%</b>	<b>33.1%</b>	<b>37.4%</b>

Eine Übersicht zu den Gründen der Unterschiede zwischen bisheriger und neuer Methodik sowie die Wirkung der einzelnen Inputgrössen auf das Ergebnis zeigt Abbildung 5-16.

**Abbildung 5-16: Hauptgründe für die Unterschiede durch die Methoden Anpassung**

Inputgrösse	Unterschiede angepasste Methodik	Wirkung auf Ergebnis
Ozonimmissionen	Keine Unterschiede zwischen bisheriger und neuer Methodik	→
Expositions-Wirkungs-Beziehungen	Aktualisierung auf neusten wissenschaftlichen Stand (u.a. bei Weizen und Gemüse)	↗
Ernteerträge und Produzentenpreise	Berücksichtigung aller relevanten Nutzpflanzenarten und nicht nur Weizen wie im bisherigen Aktualisierungstool	↗
NO <sub>x</sub> -Emissionen	Strasse: Anpassung der Emissionsfaktoren Schiene: keine Änderung zur alten Methode	Strasse: ↗ Schiene: →

## 6 Waldschäden durch Luftverschmutzung

### 6.1 Berechnungsgegenstand

Luftschadstoffemissionen des Verkehrs können Pflanzen in verschiedener Weise schädigen. Während im Kapitel 5 die Wirkung auf landwirtschaftliche Nutzpflanzen im Vordergrund steht, liegt im vorliegenden Kapitel der Fokus auf den Schäden im Ökosystem Wald. Einen negativen Einfluss auf den Wald können insbesondere übermässiger Stickstoffeintrag (Eutrophierung), Bodenversauerung und Ozonbelastung haben. Bei allen erwähnten Umweltbelastungen spielt der Verkehr durch die Emission von Luftschadstoffen wie Stickoxiden ( $\text{NO}_x$ ), Schwefeldioxyden ( $\text{SO}_2$ ) und Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) eine ursächliche Rolle. Luftschadstoffemissionen sind für den Wald ein Stressfaktor und können verschiedenartige Folgen haben. Nachgewiesen sind beispielsweise Störungen des Wachstums (Stamm, Triebe, Wurzeln) und des Nährstoffhaushaltes. Diese Störungen können wiederum zu verschiedenen Sekundäreffekten führen, z.B. vermindertes Stammwachstum, Kronenverlichtungen, verminderte Standfestigkeit oder erhöhte Anfälligkeit auf Schädlinge oder Klimaeffekte.

Im komplexen Ökosystem Wald, das von einer Vielzahl anderer Faktoren beeinflusst wird, sind wissenschaftlich nachweisbare, *quantitative* Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge bisher oft nicht bekannt.<sup>178</sup> Aus diesem Grund beschränken sich die Berechnungen bisher auf jene Wirkungen, für die quantitative Zusammenhänge bekannt sind und deren Schäden insgesamt ein relevantes Ausmass haben.

In den bisherigen Berechnungen der externen Kosten des Verkehrs sind im Bereich Waldschäden folgende zwei Wirkungen monetarisiert worden:

1. **Kosten durch vermindertes Holzwachstum:** Ozonimmissionen und versauerte Böden führen zu einem reduzierten Holzwachstum und somit geringeren Holzerträgen. Dies kann in der Forstwirtschaft zu Ertragsausfällen führen. Die negative Wirkung von Ozonimmissionen entspricht dem gleichen Effekt wie bei den Ernteaufschlägen im Kapitel 5. Dort werden allerdings nur die Schäden an landwirtschaftlichen Nutzpflanzen untersucht.
2. **Kosten durch verstärkten Windwurf:** Bodenversauerung führt (wie auch andere Stressfaktoren) zu einer verminderten Standfestigkeit der Bäume und erhöht damit das Windwurfisiko bei extremen Sturmereignissen (wie es z.B. der Sturm ‚Lothar‘ im Jahr 1999 war). Somit steigen die Sturmschäden im Wald und für die Forstwirtschaft fallen Zusatzkosten für die Räumung und Wiederaufforstung sowie Mindererträge bei der Holzverwertung an.

---

<sup>178</sup> Zwar sind kausale Zusammenhänge zwischen Luftschadstoffemissionen und negativen Wirkungen auf das Ökosystem Wald in einigen Bereichen nachgewiesen, es fehlen jedoch belastbare quantitative Expositions-Wirkungszusammenhänge.

## 6.2 Bewertungsmethodik und wichtigste neue Erkenntnisse

### 6.2.1 Wichtige methodische Entwicklungen

Generell ist zu erwähnen, dass die Ermittlung von monetären Waldschäden mit erheblichen Schwierigkeiten und Unsicherheiten behaftet ist, da die Belastungs-Wirkungs-Beziehungen (noch) nicht in jedem Fall robust quantifiziert werden können. Deutliche Wirkungen treten oft erst auf, wenn ein bestimmter Schwellenwert erreicht ist. Das bedeutet aber auch, dass alle Schadstoffeinträge oberhalb tolerierbarer Grenzen eine Wirkung haben, diese aber – je nach Ausgangslage und sonstigen Belastungen – sich erst später zeigt oder erst bei Vorliegen eines anderen Stressors deutlich wird (z.B. Sturmwirkung auf versauerten Standorten, Wirkung<sup>179</sup> von Trockenheit auf stickstoffgesättigten Standorten). Das Zusammenspiel natürlicher und anthropogener Faktoren erschwert die Identifizierung eines einzelnen Faktors für eine Schadenswirkung.

Die Waldschäden durch Luftverschmutzungen werden bei Studien zur Berechnung externer Kosten des Verkehrs oft nicht berücksichtigt. Die aktuellen internationalen Studien und EU-Forschungen zu externen Umweltkosten machen zu den Waldschäden als eigene Schadenskategorie mehrheitlich keine Aussage. Oft werden Schadenswirkungen qualitativ erwähnt, aber keine Quantifizierung vorgenommen. Eine Ausnahme sind Studien, die relativ breit die Wirkungen von Stickstoff (oder anderen Luftschadstoffen) auf natürliche Landökosysteme untersuchen und monetarisieren (z.B. Sutton et al. 2011, Ott et al. 2006). Bei diesen Studien liegt jedoch kein spezifischer Fokus auf dem Wald. Im Folgenden werden sie trotzdem kurz erwähnt.

Ein zunehmender Fokus der Forschung lag in den letzten Jahren vor allem auf der Untersuchung der Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge zwischen Schadstoffen und deren Einfluss auf die Biodiversität. So wurde im EU-Projekt NEEDS (Ott et al. 2006) eine Bewertungsmethodik für die Monetarisierung der Biodiversitätsverluste durch Luftverschmutzung (infolge Stickstoffeintrag und Versauerung) entwickelt, die mittlerweile schon einige Male angewandt wurde. Der Fokus bei der Monetarisierung von Biodiversitätsverlusten liegt dabei aber wie erwähnt nicht auf dem Wald allein, sondern auf natürlichen Ökosystemen generell. Im Rahmen des vorliegenden Projekts werden diese Schäden deshalb im Kapitel 7 ‚Biodiversitätsverluste durch Luftverschmutzung‘ separat behandelt und erstmals monetarisiert.

Die naturwissenschaftlichen Zusammenhänge zu den Wirkungen von Stickstoff auf (Wald-) Ökosysteme sind auch im grossen europäischen Forschungsprogramm ‚European Nitrogen Assessment‘ (ENA) erforscht worden, wobei der Fokus auf den Ursachen und Folgen der anthropogenen Stickstoffbelastung lag (Sutton et al. 2011). Allerdings gilt hier die gleiche Aussage wie für das Forschungsprojekt NEEDS: Der Fokus der Bewertung liegt auf den allgemeinen Schädwirkungen von Stickstoff auf natürliche Ökosysteme, d.h. die Betrachtung

---

<sup>179</sup> Schädwirkungen durch Trockenheit (in Kombination mit Eutrophierung) können z.B. vermindertes Triebwachstum, verringertes Stammwachstum oder Stresssymptome wie Verfärbung der Blätter sein.

muss übergeordnet erfolgen, also in der neuen Kostenkategorie zu den Biodiversitätsverlusten infolge Eutrophierung und Versauerung (Kapitel 7) und nicht nur beschränkt auf Waldökosysteme.

Zur monetären Bewertung der Waldbiodiversität im Speziellen ist kürzlich im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt eine Studie erstellt worden (Econcept 2012). Mit Hilfe eines Choice Experiments wurde die Zahlungsbereitschaft für Biodiversitätsmassnahmen im Wald erhoben. Damit gibt es zwar Grundlagen für eine Bewertung der Waldbiodiversität. Auf eine spezifische Berücksichtigung der Biodiversitätsschäden im Wald muss im vorliegenden Bericht jedoch verzichtet werden, weil es sonst eine Doppelzählung mit den allgemeinen Biodiversitätsverlusten in natürlichen Landökosystemen gäbe, die im Kapitel 7 quantifiziert werden.

Es stellt sich generell die Frage, ob es allenfalls eine Doppelzählung der im vorliegenden Kapitel quantifizierten Waldschäden und der neu berücksichtigten Biodiversitätsverluste durch Luftschadstoffe (im Kapitel 7) gibt. Aus unserer Sicht liegt mit dem angewandten Vorgehen keine Doppelzählung vor: Zwar ist die Schadensursache in beiden Fällen die Bodenversauerung (bzw. bei den Biodiversitätsverlusten zusätzlich auch die Eutrophierung). Die betrachteten Schäden sind aber unterschiedlich und somit komplementär: Im vorliegenden Kapitel werden die direkten Schäden für die Forstwirtschaft durch vermindertes Holzwachstum sowie verstärkten Windwurf betrachtet, während im anderen Fall allgemein die Biodiversitätsverluste bewertet werden (über einen Reparaturkostenansatz), die andere Schädigungen zur Folge haben. Allerdings hat die Berücksichtigung der Biodiversitätsverluste infolge Bodenversauerung und Eutrophierung auch zur Folge, dass im Rahmen des vorliegenden Kapitels Wald keine zusätzlichen, allgemeinen Wirkungen des Stickstoffeintrags oder der Bodenversauerung quantifiziert werden können (z.B. Verlust der Säureneutralisierungskapazität), weil sonst Doppelzählungen zu erwarten wären.

Geprüft wurde zudem eine Berücksichtigung der Wirkungen von Ozonimmissionen auf die CO<sub>2</sub>-Speicherkapazität (so genannte CO<sub>2</sub>-Sequestrierung) des Waldes. Eine umfassende europäische Forschungsstudie hat gezeigt, dass die Ozonimmissionen zu einem Rückgang der CO<sub>2</sub>-Speicherkapazität des Waldes bzw. der Vegetation im Allgemeinen führt (Harmens und Mills 2012). Grund dafür ist wiederum die wachstumshemmende Wirkung von Ozon. Es handelt sich also damit nicht um eine zusätzliche Wirkung, sondern eher um einen anderen Schadens- bzw. Bewertungsfokus. In der bisher angewandten Berechnungsmethodik stehen die Holzernteverluste für die Forstwirtschaft im Vordergrund. Stellt man dagegen die verminderte CO<sub>2</sub>-Speicherkapazität ins Zentrum, müsste die Monetarisierung über die verhinderte CO<sub>2</sub>-Speicherung erfolgen. Die Bewertung könnte dann mit dem im Klimabereich angewandten CO<sub>2</sub>-Kostensatz erfolgen. Weil die Umrechnung des reduzierten Holzwachstums in verminderte CO<sub>2</sub>-Speicherkapazität wiederum mit Unsicherheiten verbunden ist und zudem der CO<sub>2</sub>-Kostensatz ebenfalls eine grössere Unsicherheit hat als die Holzpreise, wird auf einen Methodenwechsel verzichtet. Die Monetarisierung erfolgt damit weiterhin über die potenziellen Holzernteverluste. Allerdings wird als Sensitivitätsrechnung eine grobe Abschätzung der Kosten auf Basis der verringerten CO<sub>2</sub>-Speicherung durchgeführt (siehe Kapitel 6.5.1).

### 6.2.2 Bewertungsmethodik

Die Bewertung der Waldschäden infolge Luftverschmutzung erfolgt nach der gleichen Methodik wie bisher. Es werden entsprechend die Kosten für die folgenden beiden Schadensarten berechnet:

- Kosten durch vermindertes Holzwachstum, das a) eine Folge der Ozonimmissionen und b) eine Folge der Bodenversauerung infolge versauernden Luftschadstoffen sein kann.
- Kosten durch verstärkten Windwurf, der durch die Bodenversauerung verursacht wird.

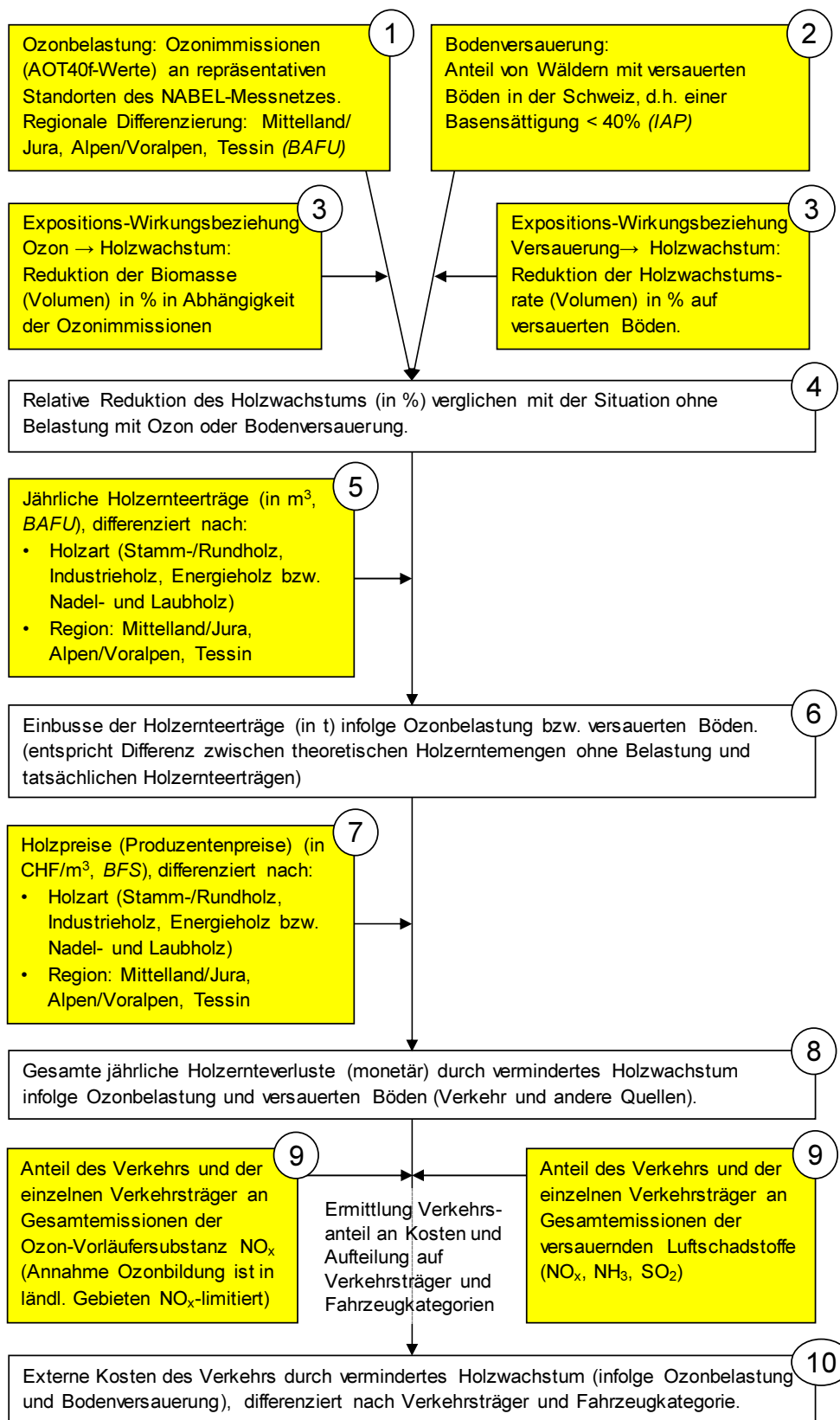
Für die vorliegende Berechnung wurden nebst der Aufdatierung aller Inputdaten des Mengen- und Wertgerüsts insbesondere die Expositions-Wirkungs-Beziehungen auf Basis neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse aktualisiert.

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die Bewertungsmethodik der beiden Schadensarten ‚vermindertes Holzwachstum‘ und ‚verstärkter Windwurf‘.

Die Berechnung der **Kosten durch vermindertes Holzwachstum** startet mit der Belastungssituation. Dabei bilden für die beiden separaten Wirkungspfade die Ozonbelastung (Schritt 1) einerseits sowie der Anteil versauerter Waldböden (2) die Grundlage. Aus diesen Belastungsdaten wird mit Hilfe von Expositions-Wirkungs-Beziehungen (Schritt 3, eine für den Zusammenhang Ozonbelastung → Holzwachstum und eine für den Zusammenhang Bodenversauerung → Holzwachstum) die relative Reduktion des Holzwachstums ermittelt (4). Wird dieser durch Ozon und Versauerung bedingte relative Rückgang des Holzwachstum den jährlichen Holzerntemengen (5) gegenübergestellt, erhält man die mengenmässige Einbusse der Holzernteerträgen (6). Durch Multiplikation dieser eingebüsst Holz mengen mit den Produzentenpreisen für Holz (7) ergeben sich die gesamten jährlichen Kosten durch Holzernteverluste, die durch anthropogen bedingte Ozonimmissionen und Bodenversauerung verursacht werden (8). Von diesen Gesamtkosten durch alle anthropogenen Quellen muss schliesslich noch der Anteil des Verkehrs sowie der einzelnen Verkehrsträger und Fahrzeugkategorien ermittelt werden (10). Diese Allokation erfolgt auf Basis des Anteils der Emissionen des Verkehrs bzw. der einzelnen Verkehrsträger an den Gesamtemissionen der Luftschadstoffe, die zu Ozonbelastung und Versauerung führen (9). Als relevante Schadstoffe für die Allokation werden hierzu NO<sub>x</sub> für die Ozonbelastung verwendet, sowie die drei versauernden Luftschadstoffe NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> und SO<sub>2</sub> für die Bodenversauerung. Alle Details zu den verwendeten Inputgrössen finden sich in den folgenden Teilkapiteln zum Mengen- und Wertgerüst.

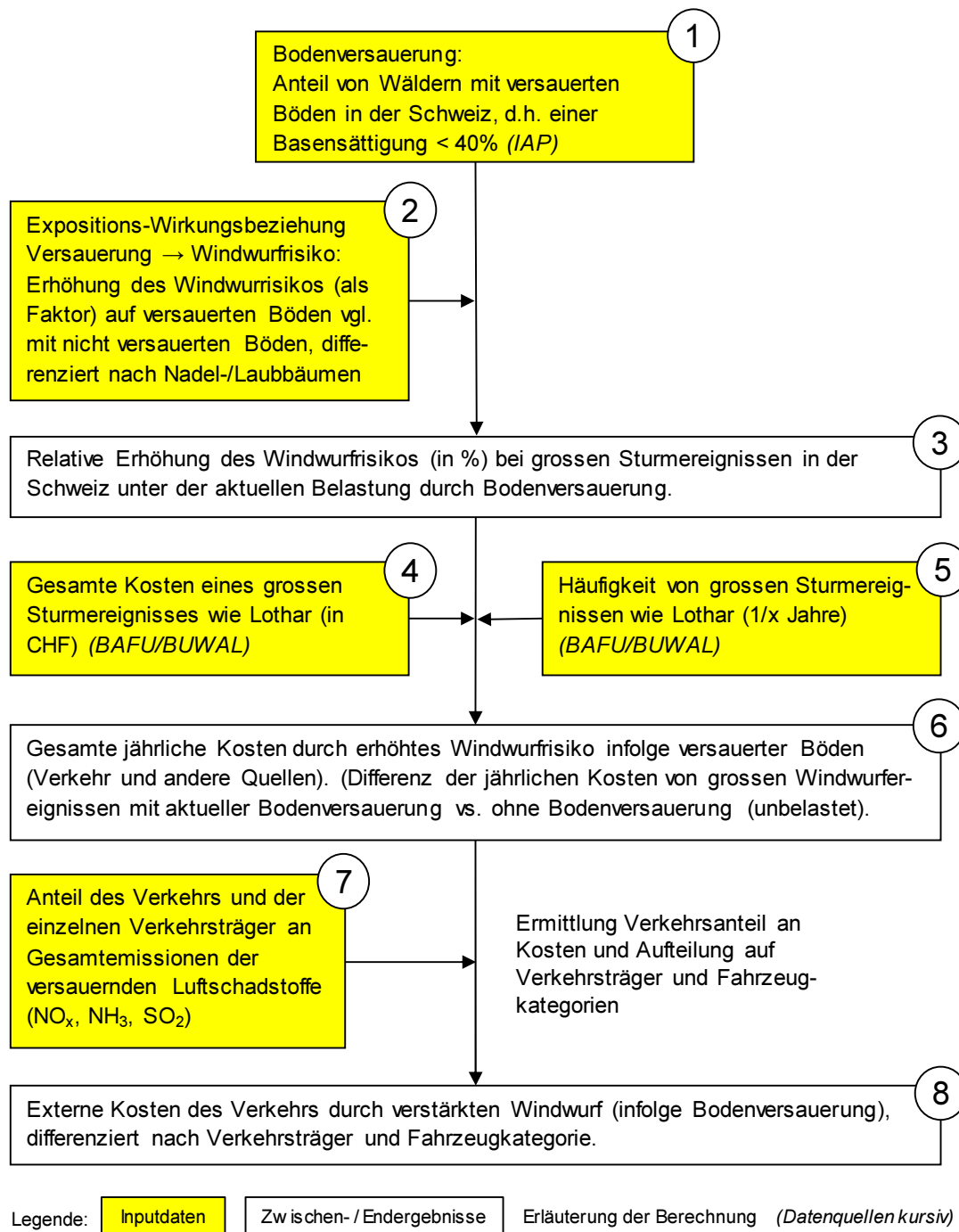
Die Berechnung der **Kosten durch verstärkten Windwurf** beginnt ebenfalls mit der Belastungssituation (Anteil versauerter Waldböden, Schritt 1) und der Anwendung einer Expositions-Wirkungs-Beziehung (2) für den Zusammenhang zwischen Bodenversauerung und Windwurfrisiko. Auf diese Weise lässt sich die relative Erhöhung des Risikos von Windwurf bei grossen Sturmereignissen bei der aktuellen Versauerung von Waldböden ermitteln (3). Die Monetarisierung der Schäden erfolgt mit Hilfe von Angaben zu Kosten grosser Sturmergebnisse wie Lothar (4) sowie der Häufigkeit solcher Sturmereignisse (5). Als Ergebnis resultieren die gesamten jährlichen Kosten durch erhöhtes Windwurfrisiko, die durch anthropogen

**Abbildung 6-1: Bewertungsmethodik Waldschäden durch Luftverschmutzung:  
a. Kosten durch vermindertes Holzwachstum**



Legende: Inputdaten Zwischen-/ Endergebnisse Erläuterung der Berechnung (*Datenquellen kursiv*)

Abbildung 6-2: Bewertungsmethodik Waldschäden durch Luftverschmutzung:  
b. Kosten durch verstärkten Windwurf



bedingte Bodenversauerung verursacht werden (6). Der Anteil des Verkehrs sowie der einzelnen Verkehrsträger und Fahrzeugkategorien an den Kosten durch verstärkten Windwurf (8) wird auf Basis der Emissionsanteile versauernder Luftschadstoffe (NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> und SO<sub>2</sub>) berechnet (7, analog wie beim verminderten Holzwachstum).

## 6.3 Mengengerüst

### 6.3.1 Vermindertes Holzwachstum

#### a) Ozonimmissionen

Für die Ozonbelastung werden Immissionsmesswerte aus dem nationalen Messprogramm NABEL (Nationales Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe) verwendet. Als Indikator wird der AOT40f-Wert verwendet, der die akkumulierte Ozonmenge über einem gewissen Schwellenwert während der Wachstumszeit im Wald wiedergibt.<sup>180</sup> Für die NABEL-Messstationen sind AOT40f-Daten auf Bestellung verfügbar. Die Ozonimmissionen der einzelnen Jahre schwanken je nach klimatischen Verhältnissen (z.B. Anzahl Sonnentage eines Frühlings und Sommers) erheblich. Aus diesem Grund werden als Grundlage Mittelwerte der letzten 5 Jahre (2006-2010) verwendet. Weil für die Holzwirtschaft die Emissionen in ländlichen, eher verkehrsfernen Gebieten (in allen Höhenlagen) relevant sind, werden Daten von Messstationen aus den entsprechenden Gebieten verwendet. Weil sich die Ozonimmissionen zwischen dem Mittelland, den Alpen und dem Tessin relativ stark unterscheiden, wird die gesamte Berechnung differenziert nach diesen drei Raumtypen durchgeführt.

Abbildung 6-3: Ozonimmissionen (AOT40f) an ausgewählten NABEL-Messstationen: Mittelwerte der Jahre 2006-2010

NABEL-Messstation	Ozonimmissionen: AOT40f (in ppm*h)
<b>Mittelland/Jura</b>	
Tänikon	15.88
Payerne	15.98
Lägeren	16.32
Chaumont	19.98
Mittelwert Mittelland/Jura	<b>17.04</b>
<b>Voralpen/Alpen</b>	
Rigi	20.23
Davos	18.47
Mittelwert Voralpen/Alpen	<b>19.35</b>
<b>Tessin</b>	
Magadino	22.80
Lugano	28.31
Mittelwert Tessin	<b>25.56</b>

Quelle: NABEL-Messwerte. Spezifische Datenbereitstellung durch das BAFU (November 2013).

Die Daten beziehen sich auf eine Messhöhe von 4m über Boden. Für die Berechnung der Schadenswirkung auf Wälder müssen die Werte noch auf die mittlere Baumhöhe (ca. 20m) korrigiert werden, weil die Ozonimmissionen auf Baumhöhe etwas höher sind. Für die Korrektur der Werte wird gemäss den Angaben im europäischen Mapping Manual vorgegangen (UNECE 2004, S. III-23). Der Korrekturwert von 4m auf 20m Höhe beträgt 1.04.

<sup>180</sup> Der AOT40-Wert für den Wald (AOT40f) zeigt die Summe aller 1-Stunden-Ozonkonzentrationen über 40 ppb, welche zwischen 1. April und 30. September gemessen werden.



Die Abbildung 6-3 zeigt die mittlere Ozonbelastung an den ausgewählten NABEL-Messstationen sowie die verwendeten Mittelwerte der drei Raumtypen (Mittelland/Jura, Alpen/Voralpen, Tessin).

Im Vergleich zur letzten umfassenden Berechnung der externen Kosten des Verkehrs (Ecoplan, Infras 2008) sind die Ozonimmissionen deutlich gesunken. Die 5-Jahres-Mittelwerte liegen 2006-2010 im Mittelland/Jura sowie den Alpen/Voralpen 20-25% tiefer als fünf Jahre zuvor (2001-2005). Auf der Alpensüdseite ist der Rückgang mit 15% etwas geringer.

## **b) Bodenversauerung in Wäldern**

Zum Anteil der versauerten Waldböden werden neue Daten aus dem aktuellsten Waldzustandsbericht des IAP (2013) sowie dem Landesfortinventar (LFI) verwendet. Demnach weisen ca. **40%** aller Waldflächen in der Schweiz eine Basensättigung von weniger als 40% im Oberboden auf; bei Basensättigungen <40% ist mit Beeinträchtigungen von Wachstum und Vitalität zu rechnen.<sup>181</sup>

## **c) Expositions-Wirkungs-Beziehungen**

Das verminderte Holzwachstum kann wie einleitend erwähnt folgende beiden Ursachen haben: übermässige Ozonbelastung oder Bodenversauerung.

### *i. Vermindertes Holzwachstum durch Ozonbelastung*

Der Einfluss des Ozons auf das Holzwachstum ist in einer Reihe von Studien beschrieben und quantifiziert worden. Eine wertvolle neue Meta-Analyse wurde von Braun und Rihm (2012) vorgenommen, welche Expositions-Wirkungs-Beziehungen für Fichten einerseits sowie Buchen und Birken andererseits ermittelt haben. Diese Werte bilden zusammen mit weiteren Expositions-Wirkungs-Beziehungen für andere Baumarten aus Karlsson et al. (2005) die Grundlage für die vorliegende Berechnung. Insgesamt sind die neuen Expositions-Wirkungs-Beziehungen etwas tiefer als in Ecoplan, Infras (2008), insbesondere bei den Laubbäumen.

Der Zusammenhang zwischen Ozonbelastung und Holzbiomasse bzw. Stammvolumen wird analog wie bei den Nutzpflanzen in Kapitel 5 durch die folgende Formel charakterisiert, für die aus der Forschung je nach Baumart verschiedene Werte für die Steigung  $m$  bekannt sind:

$$\text{Relatives Biomassen-/Stammvolumen (in \%)} = 100 + m * \text{AOT40f (in ppm*h)}$$

Die folgende Abbildung zeigt die verwendeten Expositions-Wirkungs-Beziehungen zwischen Ozonbelastung und Biomasse bzw. Stammvolumen (Holzmenge).

---

<sup>181</sup> Die Basensättigung <40% wird für die weiteren Berechnungen als Indikator verwendet, weil die Expositions-Wirkungs-Beziehungen zwischen Bodenversauerung und Holzwachstum sowie Bodenversauerung und Windwurfisiko auf diesem Wert abgestützt sind.

**Abbildung 6-4: Verwendete Expositions-Wirkungs-Beziehungen zwischen Ozonimmissionen und Biomasse bzw. Stammvolumen**

Baumart	Prozentuale Reduktion der Biomasse (bzw. Stammvolumen) pro zusätzlicher ppm*h Ozonbelastung (Steigung m)
<b>Nadelbäume:</b>	
Fichte ( <i>Picea abies</i> )	-0.14%
Föhre ( <i>Pinus silvestris</i> )	-0.48%
<b>Laubbäume:</b>	
Buche ( <i>Fagus sylvatica</i> ) und Birke ( <i>Betula pendula</i> )	-0.54%
Eiche ( <i>Quercus petraea</i> )	-0.38%

Quellen: Fichte und Buche/Birke: Braun, Rihm (2012); Föhre, Eiche: Karlsson et al. (2005).

Wendet man die Expositions-Wirkungs-Beziehungen auf die effektive Ozonbelastung gemäss Abbildung 6-3 an, ergibt sich für 2010 ein reduziertes Holzwachstum von 6-8% bei Nadelbäumen bzw. 15-20% bei Laubbäumen (Unterschiede beziehen sich auf die verschiedenen Raumtypen, die unterschiedliche Ozonbelastungen aufweisen).

#### **Exkurs: Kritischer Ozonlevel (AOT40) vs. Ozonflux**

In der Wissenschaft wird in den letzten Jahren für die Quantifizierung der Ozonwirkungen vermehrt die gesamte aufgenommene Ozonmenge (Flux) verwendet und damit der AOT40-Ansatz immer mehr abgelöst (siehe auch Braun, Rihm 2012 und Karlsson et al. 2007). Damit stellt sich die Frage nach der Anpassung der Expositions-Wirkungs-Berechnung von AOT40-Werten hin zu Ozon-Fluxdaten. Zwar wäre der Ansatz über die Fluxdaten grundsätzlich zu bevorzugen. Allerdings ist der Datenbedarf für die praktische Umsetzung dieses Ansatzes sehr hoch und es liegen für die Schweiz lediglich erste Ergebnisse vor, aber noch keine umfassenden, jährlichen Ozon-Fluxdaten. Der AOT40-Ansatz dagegen ist robust und für jedes Jahr (auf Basis der Daten der nationalen Messstationen NABEL) umsetzbar. Zudem ist zu erwähnen, dass gemäss UNECE Leitlinien immer noch beide Ansätze gültig sind, also auch der AOT40-Ansatz (UNECE 2011). Aus diesen Gründen erfolgt die Berechnung im vorliegenden Projekt weiterhin auf Basis der AOT40-Werte.

#### *ii. Vermindertes Holzwachstum durch Bodenversauerung*

Für den Expositions-Wirkungszusammenhang zwischen Bodenversauerung und vermindertem Holzwachstum werden wie bisher die quantitativen Grundlagen von WGE (2004) und Ouimet et al. (2001) verwendet. Demnach ist die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate (Volumenzunahme) von Holz auf versauerten Böden bei Nadelbäumen um 49% bzw. bei Laubbäumen um 33% reduziert (Details siehe Infras 2006).

Wendet man diese Expositions-Wirkungs-Beziehung auf die effektive Bodenversauerung (vgl. oben) an, ergibt sich für 2010 ein reduziertes Holzwachstum von 22% bei Nadelbäumen bzw. 15% bei Laubbäumen. Es ist zu erwähnen, dass es sich hierbei um theoretische (rech-

nerische) Werte handelt. In der Realität sind diese Werte bzw. Effekte mit weiteren Wirkungen überlagert, die Stickstoff auf das Holzwachstum haben kann. So kann der Eintrag von Stickstoff bis zu einem gewissen Grad auch düngend wirken, über einem gewissen Niveau aber wieder wachstumshemmend (Etzold et al. 2014).

#### d) Holznutzung (Holzernteerträge)

Als Grundlage für die Holznutzung werden aktuelle statistische Daten des Bundesamtes für Umwelt zu den jährlichen Holzernteerträgen verwendet (BAFU 2011, Jahrbuch Wald und Holz). Die folgende Abbildung zeigt die Holzerntemengen im Jahr 2010 für verschiedene Holzarten.

Abbildung 6-5: Jährliche Holzerntemengen für verschiedene Holzarten (in 1'000 m<sup>3</sup>)

Holzart	Mittelland / Jura	Alpen / Voralpen	Tessin / Alpensüdseite	Total Schweiz
<b>Stamm-/Rundholz</b>	1'714	1'504	44	3'262
Nadelholz	1'446	1'455	43	2'943
Laubholz	268	49	1	319
<b>Industrieholz</b>	434	150	1	586
Nadelholz	243	118	1	362
Laubholz	191	32	0	223
<b>Energieholz: Stückholz</b>	521	365	60	946
Nadelholz	90	185	16	291
Laubholz	431	180	44	654
<b>Energieholz: Hackschnitzel</b>	374	139	7	520
Nadelholz	97	73	3	173
Laubholz	277	66	4	347
<b>Total</b>	<b>3'044</b>	<b>2'158</b>	<b>112</b>	<b>5'313</b>

Quellen: BAFU (2011). Bei den Daten handelt es sich um Durchschnittswerte der Jahre 2006-2010, um kurzfristige Fluktuationen zwischen einzelnen Jahren auszugleichen.

Erläuterung der Holzarten:

Stamm-/Rundholz: Sägeholz, das in Sägereien und Furnierwerken zu Schnittholz oder Furnieren verarbeitet wird.

Industrieholz: Rohholz, das u.a. zur Herstellung von Zellstoff (Papierholz), Holzwolle, Span- und Faserplatten dient.

Energieholz: Holzsortimente für die energetische Verwertung (v.a. Stückholz oder Hackschnitzel).

#### e) Verkehrsanteile

Um der Anteil des Verkehrs an den Kosten durch vermindertes Holzwachstum zu ermitteln, wird auf folgende Grundlagen zurückgegriffen:

- Verkehrsanteil an Ozonbelastung: Da bodennahes Ozon aus den Vorläufersubstanzen NO<sub>x</sub> und VOC gebildet wird, sind diese für die Bestimmung des Verkehrsanteils an der Ozonbelastung relevant. Weil in ländlichen Gebieten die Ozonbildung als NO<sub>x</sub>-limitiert gilt (Infras 2006), erfolgt die Allokation des Verkehrsanteils an der Ozonbelastung in der vor-

liegenden Studie basierend auf den Stickoxidemissionen (NO<sub>x</sub>). Im Jahr 2010 betrug der Anteil des Verkehrs an den gesamten NO<sub>x</sub>-Emissionen in der Schweiz **52.0%**.<sup>182</sup> Dieser Wert wird als Indikator für den Verkehrsanteil an der Ozonbelastung verwendet. 2005 war dieser Anteil noch etwas tiefer (49.5%).

- Verkehrsanteil an Bodenversauerung: Die Versauerung von Böden wird durch die drei anthropogenen Luftschadstoffe Stickoxid (NO<sub>x</sub>), Ammoniak (NH<sub>3</sub>) und Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) verursacht. Basierend auf den Verkehrs- sowie den Gesamtemissionen dieser drei Schadstoffe sowie unter Berücksichtigung des doppelten Säurepotenzials von SO<sub>2</sub> gegenüber NO<sub>x</sub> und NH<sub>3</sub> kann der Verkehrsanteil an der Bodenversauerung bestimmt werden. Der Anteil des Verkehrs an den gesamten NO<sub>x</sub>-Emissionen betrug im Jahr 2010 52%, an den NH<sub>3</sub>-Emissionen 3.9% und an den SO<sub>2</sub>-Emissionen 1.3%. Unter Berücksichtigung der Gesamtemissionen und des Säurepotenzials resultiert für das Jahr 2010 insgesamt ein Gesamtanteil des Verkehrs an der Bodenversauerung von **17.9%**.<sup>183</sup> Dieser Wert ist etwas höher als 2005 (15.0%).

### 6.3.2 Verstärkter Windwurf

#### a) Bodenversauerung in Wäldern

Wie oben (6.3.1) beschrieben wird mit einem Anteil an versauerten Waldböden von 40% gerechnet.

#### b) Expositions-Wirkungs-Beziehung

Ein Expositions-Wirkungs-Zusammenhang zwischen Bodenversauerung und Windwurfrisiko konnte im Anschluss an den Sturm Lothar nachgewiesen und quantifiziert werden. Dabei konnte gezeigt werden, dass das Windwurfrisiko beim Sturm „Lothar“ auf versauerten Böden mit einer Basensättigung  $\leq 40\%$  bei Fichten 3.6 Mal und bei Buchen 4.8 Mal höher war als auf nicht versauerten Böden (IAP 2004, BUWAL 2005, Mayer et al. 2005). Diese beiden Werte werden hier der Einfachheit halber pauschal für Nadelbäume (Faktor 3.6) und für Laubbäume (Faktor 4.8) verwendet. Unter Berücksichtigung des Anteils versauerter Waldböden (40%) und dem Umstand, dass beim Sturm Lothar 77% der betroffenen Bäume Nadelhölzer waren und 23% Laubhölzer (BUWAL 2003) ergibt sich insgesamt eine Erhöhung des Windwurfrisikos durch die Bodenversauerung um den Faktor 2.15<sup>184</sup> (entspricht einer Risikoerhöhung um +115%).

<sup>182</sup> Diese 52.0% teilen sich folgendermassen auf die Verkehrsträger auf: Strassenverkehr 48.6%, Schienenverkehr 0.7%, Luftverkehr 1.4%, Schiffsverkehr 1.3%.

<sup>183</sup> Diese 17.9% teilen sich folgendermassen auf die Verkehrsträger auf: Strassenverkehr 16.8%, Schienenverkehr 0.2%, Luftverkehr 0.5%, Schiffsverkehr 0.4%.

<sup>184</sup> Risikofaktor =  $(1 - 40\%) * 1 + 40\% * (77\% * 3.6 + 23\% * 4.8) = 2.15$

### c) Häufigkeit von grossen Sturmereignissen (Windwurfisiko)

Ein Sturm wie Lothar ereignet sich etwa alle 15 Jahre (BUWAL 2005). Entsprechend beträgt die Wahrscheinlichkeit für einen Sturms dieser Grösse pro Jahr 1/15 (= 0.067).

### d) Verkehrsanteile

Der Verkehrsanteil an der Bodenversauerung ist oben (Kap. 6.3.1) bereits beschrieben worden. Er betrug im Jahr 2010 knapp 18%.

## 6.4 Wertgerüst

### 6.4.1 Vermindertes Holzwachstum

Die Bewertung der Kosten durch vermindertes Holzwachstum erfolgt über die durchschnittlichen Holzpreise. Es werden dazu Produzentenpreise für die verschiedenen Holzarten verwendet. Wie bei den Holzerntemengen werden auch bei den Preisen Durchschnittswerte der letzten fünf Jahre verwendet. Die folgende Abbildung zeigt die verwendeten Daten.

Abbildung 6-6: Produzentenpreise für verschiedene Holzarten und Regionen (in CHF pro m<sup>3</sup>)

Baumart	Mittelland / Jura	Alpen / Voralpen sowie Tessin	Total Schweiz
<b>Stamm-/Rundholz (Säge-Rundholz)</b>			
Nadelholz	99.8	103.1	101.6
Laubholz	127.0	124.1	126.1
<b>Industrieholz</b>			
Nadelholz	56.2	58.9	56.7
Laubholz	45.8	43.4	44.7
<b>Energieholz: Stückholz</b>			
Nadelholz	88.5	83.5	85.1
Laubholz	107.6	124.9	108.6
<b>Energieholz: Hackschnitzel</b>			
Nadelholz	63.1	64.1	62.0
Laubholz	73.9	72.1	72.6

Quelle: Eigene Berechnung basierend auf BFS (2013). Bei den Daten handelt es sich um Durchschnittswerte der Jahre 2006-2010. Die Preise beziehen sich jeweils auf 1 m<sup>3</sup> Rohholz.

Ergänzend zur Monetarisierung über die Holzpreise wird eine grobe Sensitivitätsrechnung auf der Basis der verringerten CO<sub>2</sub>-Speicherung vorgenommen. Dabei wird das verminderte

Holzwachstum (Holzerntemengen) in gebundenes CO<sub>2</sub> umgerechnet<sup>185</sup> und mit Hilfe des CO<sub>2</sub>-Kostensatzes (gemäss Kapitel 9) monetarisiert.

#### 6.4.2 Verstärkter Windwurf

Zu den ökonomischen Auswirkungen von Sturmgrossereignissen werden weiterhin die bisherigen Kostensätze, basierend auf den Studien zu den ökonomischen Auswirkungen des Sturmes ‚Lothar‘ verwendet (BUWAL 2004, BUWAL 2005). Die Kosten setzen sich zusammen aus Einkommensverlusten von Waldeigentümern (v.a. infolge Holzpreiserfall) sowie Ausgaben der öffentlichen Hand für Pflege- und Aufrüstemassnahmen zur Behebung von Folgeschäden. Die Gesamtkosten werden mit Hilfe der Nominallohnentwicklung auf das Jahr 2010 angepasst. Somit resultieren Gesamtkosten von 889 Mio. CHF pro Sturmgrossereignis. Davon ist allerdings nur gut die Hälfte auf die Bodenversauerung zurückzuführen.<sup>186</sup> Die restlichen Kosten wären auch auf unversauertem Boden angefallen. Diese gesamten Zusatzkosten je Sturmereignis werden schliesslich mit Hilfe der Häufigkeit von grossen Sturmereignissen in Jahreskosten umgerechnet.

### 6.5 Ergebnisse

#### 6.5.1 Externe Kosten

##### a) Überblick Gesamtverkehr

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die gesamten externen Kosten<sup>187</sup> durch luftverschmutzungsbedingte Waldschäden im Jahr 2010 nach Verkehrsträgern.

Die gesamten durch den Verkehr verursachten Waldschäden betragen 2010 **51 Mio. CHF**. Von diesen Kosten verursachte der Strassenverkehr 94%, der Schienenverkehr gut 1%, der Luftverkehr knapp 3% und der Schiffsverkehr rund 2%. In absoluten Zahlen verursachen die Verkehrsträger Schiene, Luft und Schiff jeweils weniger als 1.5 Mio. CHF pro Jahr an Waldschäden infolge Luftverschmutzung. 89% der Kosten sind eine Folge des verminderten Holzwachstums (51% oder 26 Mio. CHF infolge Ozonbelastung, 38% oder 19 Mio. CHF infolge Bodenversauerung), lediglich 11% (6 Mio. CHF) davon eine Folge des verstärkten Windwurfs.

---

<sup>185</sup> 1 t Holz (Trockengewicht) enthält etwa 0.5 t gebundenen Kohlenstoff (C). 1 Tonne Kohlenstoff (C) entspricht 3.67 t gebundenes CO<sub>2</sub>.

<sup>186</sup> Die Berechnung dieses Anteils erfolgt auf Basis der Belastungssituation (Anteil versauerte Böden) sowie den Expositions-Wirkungs-Beziehungen.

<sup>187</sup> Bei dieser Kostenkategorie entsprechen die externen den sozialen Kosten, da es keinen Internalisierungsbeitrag gibt. Zudem sind die externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger, aus Sicht Verkehrsart Schwerverkehr und aus Sicht Verkehrsteilnehmende genau gleich hoch.

Abbildung 6-7: Überblick über die externen Kosten durch Waldschäden 2010

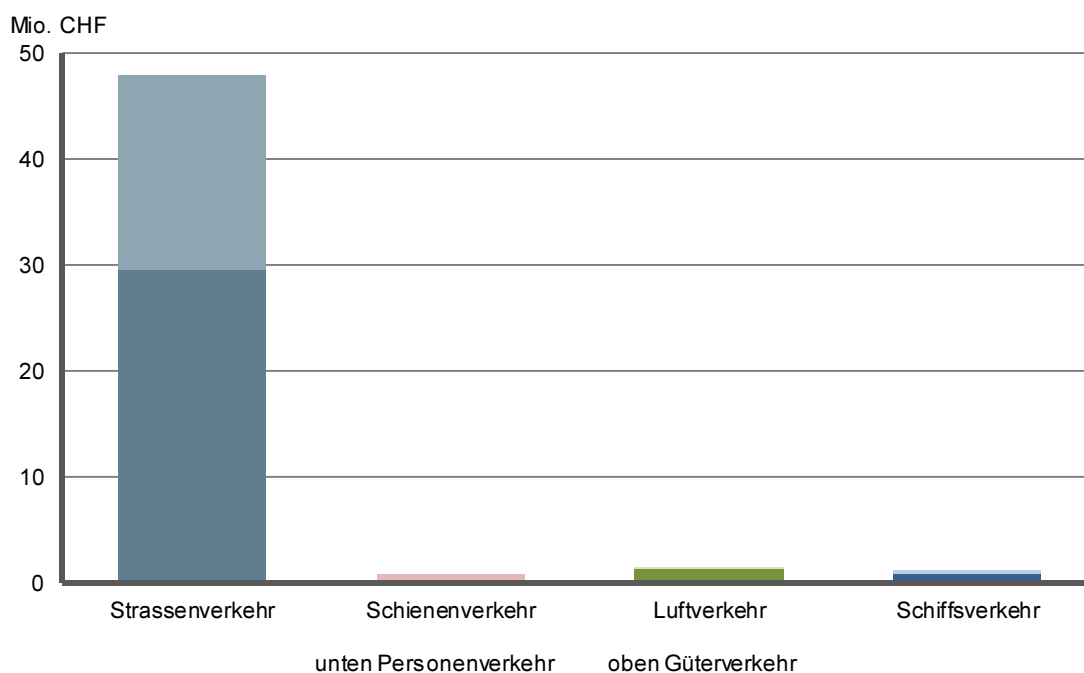


Abbildung 6-8: Überblick über die externen Kosten durch Waldschäden 2010

Waldschäden in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	29.4	18.5	<b>47.9</b>	93.9%
Schienenverkehr	0.1	0.6	<b>0.7</b>	1.3%
Luftverkehr	1.2	0.1	<b>1.3</b>	2.6%
Schiffsverkehr	0.7	0.5	<b>1.2</b>	2.3%
<b>Total</b>	<b>31.4</b>	<b>19.7</b>	<b>51.0</b>	100.0%
in % des Totals	61.5%	38.5%	100.0%	

### b) Strassenverkehr

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die Aufteilung der Waldschäden durch Luftschadstoffemissionen des Strassenverkehrs auf die einzelnen Fahrzeugkategorien sowie die drei Kostenbestandteile (a. vermindertes Holzwachstum durch Ozon, b. vermindertes Holzwachstum durch Versauerung, c. verstärkter Windwurf durch Versauerung). Gut die Hälfte der Kosten (25 Mio. CHF) des Strassenverkehrs wird durch die Personenwagen verursacht. Der öffentliche Strassenverkehr ist verantwortlich für 6% der Kosten (3 Mio. CHF) und der Strassengüterverkehr für 39% (18 Mio. CHF).

Abbildung 6-9: Externe Kosten durch Waldschäden 2010 nach Fahrzeugkategorien

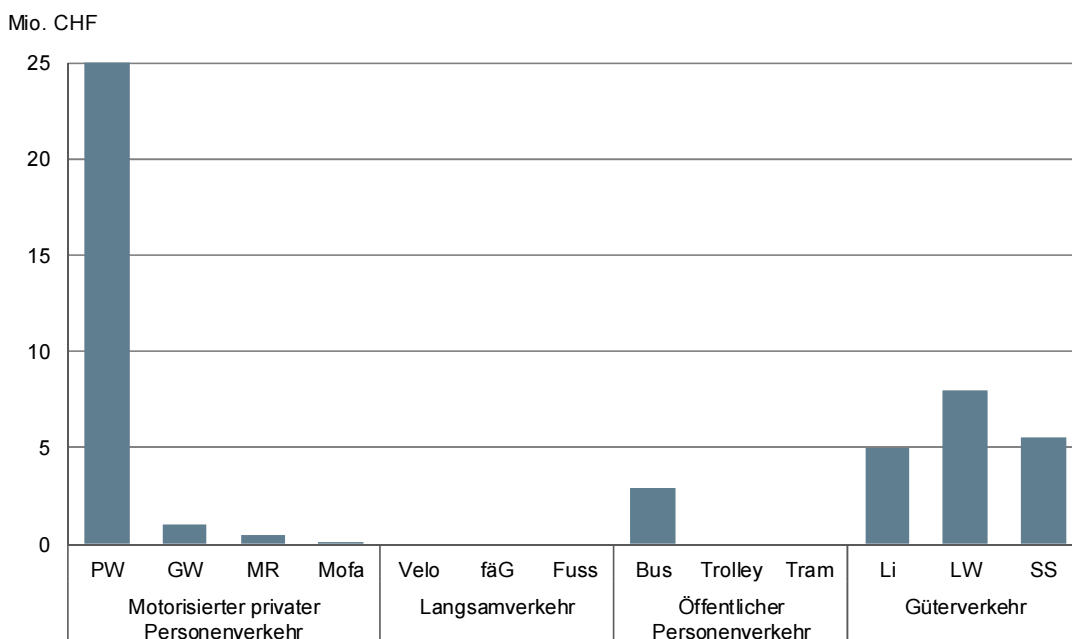


Abbildung 6-10: Externe Kosten durch Waldschäden des Strassenverkehrs 2010 nach Fahrzeugkategorien und Kostenbestandteilen

Waldschäden in Mio. CHF	Personenverkehr								Güterverkehr			Gesamt- total		
	Motorisierter privater Personenverkehr				Langsamverkehr			Öffentlicher Personenverkehr						
	PW	GW	MR	Mofa	Velo	fäG	Fuss	Bus	Trolley	Tram	Li	LW	SS	
Vermindertes Holzwachstum: Ozon	11.9	0.5	0.3	0.0	-	-	-	1.6	-	-	2.7	4.4	3.0	24.4
Vermindertes Holzwachstum: Versauerung	10.2	0.3	0.2	0.0	-	-	-	1.0	-	-	1.8	2.8	1.9	18.2
Verstärkter Windwurf (Versauerung)	3.0	0.1	0.0	0.0	-	-	-	0.3	-	-	0.5	0.8	0.6	5.3
<b>Total Waldschäden</b>	<b>25.0</b>	<b>1.0</b>	<b>0.5</b>	<b>0.0</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>2.9</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>4.9</b>	<b>8.0</b>	<b>5.5</b>	<b>47.9</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	<b>52.3%</b>	<b>2.0%</b>	<b>1.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>6.1%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>10.3%</b>	<b>16.7%</b>	<b>11.5%</b>	<b>100.0%</b>
<b>Total Teilbereiche</b>	<b>26.5</b>				<b>0.0</b>			<b>2.9</b>			<b>18.5</b>			<b>47.9</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	<b>55.3%</b>				<b>0.0%</b>			<b>6.1%</b>			<b>38.6%</b>			<b>100.0%</b>

PW = Personenwagen, GW = Gesellschaftswagen, MR = Motorrad, fäG = fahrzeugähnliches Gerät, Fuss = Fussverkehr, Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper.

**c) Schienenverkehr**

Der Schienenverkehr verursacht lediglich sehr geringe externe Kosten durch luftverschmutzungsbedingte Waldschäden. Im Jahr 2010 waren es 0.7 Mio. CHF. Der grösste Teil davon wird durch den Güterverkehr verursacht, weil im Güterverkehr deutlich mehr Dieselloks eingesetzt werden als im Personenverkehr.



**Abbildung 6-11: Externe Kosten durch Waldschäden des Schienenverkehrs 2010 nach Personen- und Güterverkehr**

Waldschäden in Mio. CHF	Personen- verkehr	Güter- verkehr	Total
Vermindertes Holzwachstum: Ozon	0.1	0.3	<b>0.4</b>
Vermindertes Holzwachstum: Versauerung	0.0	0.2	<b>0.2</b>
Verstärkter Windwurf (Versauerung)	<b>0.0</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>
<b>Schieneverkehr Total</b>	<b>0.1</b>	<b>0.6</b>	<b>0.7</b>

#### d) Luftverkehr

Die externen Kosten durch Waldschäden des Luftverkehrs sind ebenfalls sehr tief. Im Jahr 2010 betragen diese Schäden 1.3 Mio. CHF, wovon der überwiegende Teil durch den Personenverkehr verursacht wird. 97% dieser Kosten fallen an Landesflughäfen an. Teilt man die Kosten auf die einzelnen Flugarten auf, sind 95% dem Linien- und Charterverkehr zuzuordnen, die Kosten der Helikopter sind vernachlässigbar klein und die General Aviation verursacht 5% der Kosten.

**Abbildung 6-12: Externe Kosten durch Waldschäden des Luftverkehrs 2010 nach Personen- und Güterverkehr (Halbstreckenprinzip)**

Waldschäden in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Luftverkehr total
Vermindertes Holzwachstum: Ozon	0.6	0.1	<b>0.7</b>
Vermindertes Holzwachstum: Versauerung	0.4	0.0	<b>0.5</b>
Verstärkter Windwurf (Versauerung)	0.1	0.0	<b>0.1</b>
<b>Luftverkehr total</b>	<b>1.2</b>	<b>0.1</b>	<b>1.3</b>

#### e) Schiffsverkehr

Der Schiffsverkehr verursachte im Jahr 2010 externe Kosten durch Waldschäden im Umfang von 1.2 Mio. CHF. Davon entfällt gut die Hälfte auf die öffentliche Personenschiffahrt und der Rest auf den Güterverkehr.

**Abbildung 6-13: Externe Kosten durch Waldschäden des Schiffsverkehrs 2010 nach Personen- und Güterverkehr**

Waldschäden in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Schiffsverkehr total	
Vermindertes Holzwachstum: Ozon		0.4	0.3	<b>0.6</b>
Vermindertes Holzwachstum: Versauerung		0.2	0.2	<b>0.4</b>
Verstärkter Windwurf (Versauerung)		0.1	0.0	<b>0.1</b>
<b>Schiffsverkehr total</b>		<b>0.7</b>	<b>0.5</b>	<b>1.2</b>

## 6.6 Sensitivitätsanalyse

### 6.6.1 Zusammenfassung der Annahmen und Unsicherheiten

Bei der Ermittlung der Waldschäden durch Luftverschmutzung werden verschiedene Datengrundlagen verwendet, die mit Unsicherheiten behaftet sind. In der folgenden Abbildung werden die Unsicherheiten der wichtigsten Inputdaten aufgelistet. Im anschliessenden Teilkapitel wird dann untersucht, wie sensitiv die Ergebnisse reagieren, wenn diese Annahmen verändert werden.

**Abbildung 6-14: Übersicht über Inputdaten, Annahmen und Bandbreiten bei den Waldschäden durch Luftverschmutzung**

Bereich / Annahme	Wissenstand	Vorgehen	Bandbreite
<b>Immissionen (Belastung)</b>			
Ozonimmissionen	Messungen mit kl. Unsicherheiten	Datenauswertung	± 5%
Bodenversauerung (Anteil versauerter Böden)	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 25%
<b>Effekte / Schäden</b>			
Expositions-Wirkungsbeziehung: Ozon > Holzwachstum	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 25%
Expositions-Wirkungsbeziehung: Bodenversauerung > Holzwachstum	Wissen mit erhebl. Unsicherheiten	best guess	± 50%
Expositions-Wirkungsbeziehung: Bodenversauerung > Windwurfrisiko	Wissen mit erhebl. Unsicherheiten	best guess	± 50%
Holznutzung (Ernteerträge)	aktuelle statistische Grundlagen	Datenauswertung	± 5%
<b>Wertgerüst</b>			
Holzpreise	aktuelle statistische Grundlagen	Datenauswertung	± 5%
Kosten grosser Sturmereignisse	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 25%
<b>Verkehrsanteil</b>			
Verkehrsbedingter Anteil an NO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub> - & SO <sub>2</sub> -Emissionen	aktuelle statistische Grundlagen	Datenauswertung	± 10%

### 6.6.2 Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

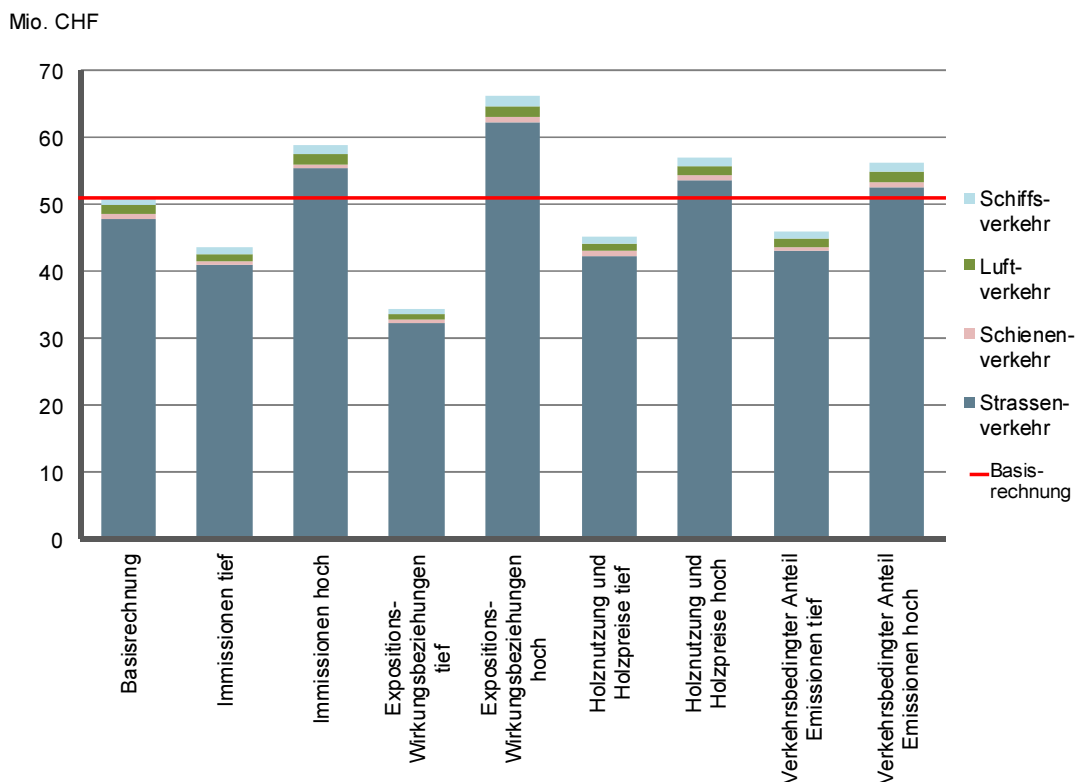
Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die Ergebnisse der einfachen Sensitivitätsanalyse. Es wurden vier verschiedene Szenarien jeweils mit hohen und tiefen Inputdaten gerechnet: 1. Immissionen (Ozonbelastung, Anteil versauerter Böden), 2. Alle Expositions-Wirkungs-Beziehungen, 3. Holznutzungsdaten und Wertgerüst (Holzpreise, Kosten Sturmrossereignis), 4. verkehrsbedingter Anteil der Emissionen (Schäden).

Am sensitivsten reagieren die Ergebnisse auf die Veränderung der Expositions-Wirkungs-Beziehungen (-32%, +30%). Diese Schwankungsbreite ist allerdings zu gross, da die drei Belastungs-Wirkungs-Beziehungen unabhängig voneinander sind (vgl. Fussnote 157). Am sensitivsten reagiert das Resultat auf die Belastungs-Wirkungs-Beziehung zwischen Bodenversauerung und Holzwachstum ( $\pm 19\%$ ). Die anderen Inputgrössen führen bei den Gesamtkosten zu einer Schwankungsbreite von weniger als 16%.

**Abbildung 6-15: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für die Waldschäden durch Luftverschmutzung 2010**

<b>Biodiversitätsverluste in Mio. CHF</b>	Strassen- verkehr	Schiene- verkehr	Luft- verkehr	Schiffs- verkehr	<b>Total</b>
<b>Basisrechnung</b>	<b>47.9</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>	<b>1.2</b>	<b>51.0</b>
Immissionen tief	40.9	0.6	1.1	1.0	<b>43.6</b>
Immissionen hoch	55.3	0.8	1.5	1.3	<b>58.9</b>
Expositions-Wirkungsbeziehungen tief	32.4	0.5	0.9	0.8	<b>34.5</b>
Expositions-Wirkungsbeziehungen hoch	62.2	0.8	1.7	1.5	<b>66.2</b>
Holznutzung und Holzpreise tief	42.4	0.6	1.2	1.0	<b>45.2</b>
Holznutzung und Holzpreise hoch	53.6	0.7	1.5	1.3	<b>57.1</b>
Verkehrsbedingter Anteil Emissionen tief	43.1	0.6	1.2	1.0	<b>45.9</b>
Verkehrsbedingter Anteil Emissionen hoch	52.7	0.7	1.5	1.3	<b>56.1</b>
<b>Abweichung von Basisrechnung in %</b>					
Immissionen tief	-14.5%	-13.7%	-14.2%	-13.7%	<b>-14.5%</b>
Immissionen hoch	15.5%	14.6%	15.2%	14.6%	<b>15.5%</b>
Expositions-Wirkungsbeziehungen tief	-32.4%	-31.0%	-31.9%	-31.1%	<b>-32.3%</b>
Expositions-Wirkungsbeziehungen hoch	29.8%	28.7%	29.4%	28.7%	<b>29.8%</b>
Holznutzung und Holzpreise tief	-11.4%	-11.3%	-11.4%	-11.3%	<b>-11.4%</b>
Holznutzung und Holzpreise hoch	11.9%	11.8%	11.8%	11.8%	<b>11.9%</b>
Verkehrsbedingter Anteil Emissionen tief	-10.0%	-10.0%	-10.0%	-10.0%	<b>-10.0%</b>
Verkehrsbedingter Anteil Emissionen hoch	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%	<b>10.0%</b>

Abbildung 6-16: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für die Waldschäden durch Luftverschmutzung 2010



### Sensitivitätsrechnung über verringerte CO<sub>2</sub>-Speicherung

Zusätzlich zur Variation der Inputvariablen ist bei den Waldschäden eine Sensitivitätsrechnung mit einem alternativen Ansatz zur Monetarisierung durchgeführt worden: Für die beiden Kostenbestandteile vermindertes Holzwachstum durch Ozon sowie durch Versauerung ist eine grobe Kostenschätzung basierend auf der verringerten CO<sub>2</sub>-Speicherung und dem CO<sub>2</sub>-Kostensatz (107 CHF/t CO<sub>2</sub>, siehe Kap. 9.4.1) vorgenommen worden. Die Ergebnisse liegen erstaunlich nahe an den Hauptergebnissen und sind gut 20% höher als diese: Beim verminderten Holzwachstum durch Ozon ergibt die Sensitivitätsrechnung für den Gesamtverkehr knapp 32 Mio. CHF (vs. 26 Mio. CHF in der Basisrechnung). Beim verminderten Holzwachstum durch Versauerung ergibt die Sensitivitätsrechnung Gesamtkosten von 24 Mio. CHF verglichen mit 19 Mio. CHF in der Basisrechnung. Für die gesamten Waldschäden des Verkehrs (inkl. verstärkter Windwurf) ergibt die Sensitivitätsrechnung gut 61 Mio. CHF (Basisrechnung 51 Mio. CHF).

### 6.6.3 Zusätzliche Unter- oder Überschätzungen

Für verschiedene Einflüsse von Luftschadstoffen auf den Wald sind keine quantitativen Aussagen möglich (Dosis-Wirkungszusammenhänge nicht bekannt oder nicht quantifizierbar). Ein Beispiel sind die Kosten zusätzlicher Naturgefahren, wenn Schutzwälder durch die Im-

mission von Luftschadstoffen beeinträchtigt werden. Die vorliegenden Ergebnisse unterschätzen deshalb die tatsächlichen Waldschäden tendenziell.

## 6.7 Vergleich zu den bisherigen Berechnungen

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen grafisch und tabellarisch den Vergleich der Waldschäden 2010 mit den Ergebnissen der Berechnungen mit der früheren Methodik. Dabei sind sowohl die Daten für 2005 als auch die Daten für 2010 mit der früheren Methodik dargestellt. Der Vergleich der Ergebnisse von 2010 zwischen neuer und bisheriger Methodik zeigt den Effekt der angepassten Methodik. Da in der früheren Studie lediglich die externen Kosten des Strassen- und Schienenverkehrs ermittelt wurden, kann der Vergleich nur für diese beiden Verkehrsträger durchgeführt werden.

Der Strassenverkehr verursachte 2005 gemäss früherer Methodik 64 Mio. CHF Waldschäden. Mit der gleichen Methodik sanken die Kosten bis 2010 deutlich auf 34 Mio. CHF. Dieser Rückgang hat folgende Gründe:

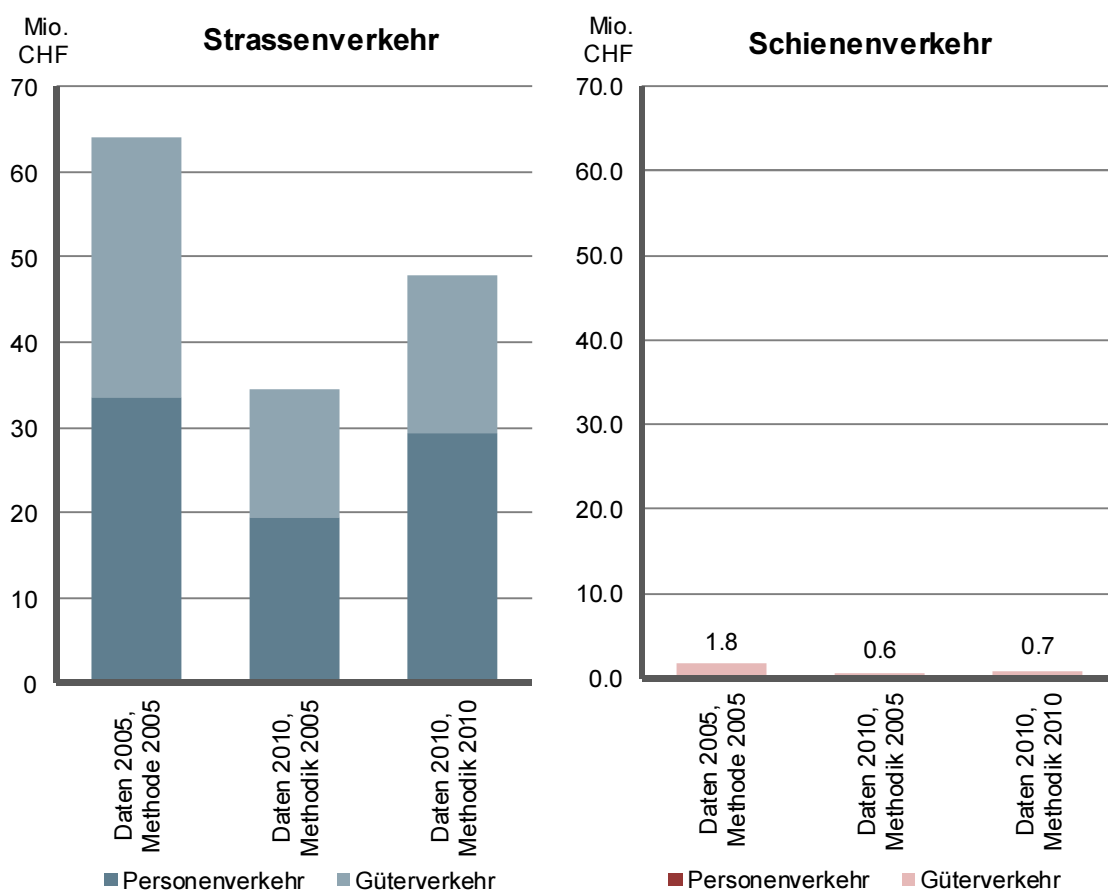
- Die Ozonimmissionen sind von 2005 bis 2010 um 15-25% (je nach Region) gesunken. Dies führt zu einer deutlichen Reduktion der Kosten.
- Die für die Aktualisierungsrechnung verwendeten Holzermengungen (es werden der Einfachheit halber lediglich drei Holzarten betrachtet) sind zwischen 2005 und 2010 um 9% zurückgegangen. Wenn man die Gesamtmengen betrachtet, zeigt sich jedoch, dass die Holzermengungen insgesamt etwa konstant blieben (+3%). Der leichte Rückgang beim Stammholz wird kompensiert durch die Zunahme beim Energieholz. Der Effekt ist also lediglich eine Folge der vereinfachten Fortschreibung (Aktualisierung) und für die Ergebnisse mit der neuen Methodik nicht mehr relevant.
- Weil die NO<sub>x</sub>-Emissionen des Strassenverkehrs zwischen 2005 und 2010 stärker abgenommen haben als die gesamten NO<sub>x</sub>-Emissionen in der Schweiz, sinkt auch der Anteil der Kosten durch Waldschäden, die dem Strassenverkehr anzulasten sind.

Mit der neuen Methodik steigen die Kosten durch Waldschäden wieder deutlich auf 49 Mio. CHF. Hauptgrund für diese Zunahme ist die Anpassung der Inputgrösse zum Anteil versauerter Waldböden, der um über einen Fünftel höher ist (40% statt 33%) als in der alten Methodik. In der neuen Methodik sind zudem auch die Inputdaten zu den NH<sub>3</sub>-Emissionen angepasst worden, die im Strassenverkehr stark zugenommen haben. Deshalb steigt in der neuen Methodik auch der Verkehrsanteil an der Bodenversauerung leicht an. Einen leicht dämpfenden Einfluss auf das Ergebnis hat die angepasste Expositions-Wirkungs-Beziehung zwischen Ozonbelastung und Holzwachstum.

Beim Schienenverkehr ist die Differenz der Ergebnisse von 2005 und 2010 bereits in der früheren Methodik sehr gross. Der Rückgang der Kosten durch Waldschäden ist unter anderem auf angepasste Datengrundlagen zurückzuführen: Mit der Überarbeitung der Offroad-Emissionen im Rahmen der BAFU-Studie (BAFU 2008) wurden die Luftschadstoffemissionen des Schienenverkehrs deutlich (z.B. NO<sub>x</sub> um fast 50%) nach unten korrigiert. Diese Korrektur erklärt den grössten Teil des Rückgangs der Waldschäden des Schienenverkehrs zwischen

2005 und 2010. Ein weiterer wichtiger Grund für die Reduktion der Kosten ist ein tatsächlicher Effekt, nämlich die Abnahme der Ozonbelastung um rund 15-25%. Die Zunahme der Kosten 2010 zwischen früherer und neuer Methodik ist wie beim Strassenverkehr auf verschiedene Faktoren zurückzuführen (höherer Anteil versauerter Böden, angepasste Expositions-Wirkungs-Beziehungen).

**Abbildung 6-17: Vergleich der Berechnungen für die Waldschäden durch Luftbelastung 2005 und 2010**



Die Abbildung 6-19 zeigt zusammenfassend die wichtigsten Veränderungen infolge der Methodenanpassung.

Abbildung 6-18: Vergleich der Berechnungen für die Waldschäden durch Luftbelastung 2005 und 2010

	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
<b>Daten 2005, Methodik 2005</b>			
Strassenverkehr	33.5	30.6	64.1
Schiennenverkehr	0.2	1.5	1.8
<b>Total</b>	<b>33.8</b>	<b>32.1</b>	<b>65.9</b>
<b>Daten 2010, Methodik 2005</b>			
Strassenverkehr	19.5	14.9	34.4
Schiennenverkehr	0.1	0.5	0.6
<b>Total</b>	<b>19.5</b>	<b>15.4</b>	<b>35.0</b>
<b>Daten 2010, Methodik 2010</b>			
Strassenverkehr	29.4	18.5	47.9
Schiennenverkehr	0.1	0.6	0.7
<b>Total</b>	<b>29.5</b>	<b>19.1</b>	<b>48.6</b>
<b>Veränderung Daten 2005 - 2010</b>			
Strassenverkehr	-42.0%	-51.2%	-46.4%
Schiennenverkehr	-65.6%	-65.6%	-65.6%
<b>Total</b>	<b>-42.1%</b>	<b>-51.9%</b>	<b>-46.9%</b>
<b>Veränderung Methodenanpassung</b>			
Strassenverkehr	51.1%	24.0%	39.3%
Schiennenverkehr	24.9%	5.5%	8.0%
<b>Total</b>	<b>51.0%</b>	<b>23.4%</b>	<b>38.8%</b>

Abbildung 6-19: Hauptgründe für die Unterschiede durch die Methodenanpassung

Inputgrösse	Unterschiede angepasste Methodik	Wirkung auf Ergebnis
Ozonimmissionen	Keine Unterschiede zwischen bisheriger und neuer Methodik.	→
Versauerte Böden	Anpassung Datengrundlage aufgrund neuer wissenschaftliche Erkenntnisse.	↗
Expositions-Wirkungs-Beziehungen	Aktualisierung für vermindertes Holzwachstum infolge Ozonimmissionen. Leichter Rückgang der Wirkungen.	(↘)
Holznutzung (Holzernteerträge)	Aktualisierung der Datengrundlagen, Holzernteerträge damit höher.	↗
Produzentenpreise Holz	Umfassende Aktualisierung, die jedoch kaum zu einer Veränderung des Gesamtergebnisses führt.	→
NO <sub>x</sub> -Emissionen	Strasse: leichte Anpassung der Emissionsfaktoren nach oben. Schiene: keine Änderung der Emissionsfaktoren bzw. Emissionen.	Strasse: (↗) Schiene: →

## 7 Biodiversitätsverluste durch Luftverschmutzung

### 7.1 Berechnungsgegenstand

Der Eintrag von Luftschadstoffen in die Umwelt kann zu Eutrophierung (Überdüngung) und Versauerung natürlicher Ökosysteme (Böden, Gewässer etc.) führen. Eutrophierung und Versauerung wiederum führen zu Biodiversitätsverlusten in diesen Ökosystemen:

- Der Eintrag von stickstoffhaltigen Luftschadstoffen wie Stickoxide ( $\text{NO}_x$ ) und Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) führt zu einer Düngung von Böden oder Gewässern. Diese Düngung (Eutrophierung) hat beispielsweise bei Landökosystemen einen negativen Einfluss auf die Biodiversität: Auf nährstoffreichen Böden gedeihen weniger Pflanzenarten als auf schlecht mit Nährstoff versorgten Böden. Grund dafür ist die hohe Konkurrenzfähigkeit einiger nährstoffliebenden Arten, die die übrigen Arten verdrängen. Insgesamt führt die Eutrophierung von Ökosystemen zu einem Biodiversitätsverlust.
- Säurebildende Luftschadstoffe wie Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ), Stickoxide ( $\text{NO}_x$ ) und Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) führen zu einer Versauerung von Böden und Gewässern. Ähnlich wie die Eutrophierung hat auch die Versauerung einen negativen Einfluss auf die Biodiversität: Auf versauerten Böden ist das Gedeihen vieler grundsätzlich standorttypischer Pflanzenarten gehemmt. Auf diese Weise führt die Versauerung zu einem Biodiversitätsverlust.

Im vorliegenden Kapitel werden die Biodiversitätsverluste infolge des Eintrags von versauernden und eutrophierenden Luftschadstoffen monetarisiert.

Es ist jedoch wichtig zu erwähnen, dass Biodiversitätsverluste auch durch andere Umweltbelastungen verursacht werden können, z.B. durch die Versiegelung oder Zerschneidung natürlicher Ökosysteme. Jene Biodiversitätsverluste sind jedoch nicht Teil des vorliegenden Kapitels, sondern sind im Kapitel 10 (Natur und Landschaft) abgedeckt. Das vorliegende Kapitel fokussiert auf die Biodiversitätsverluste, die durch Luftschadstoffe verursacht werden.

### 7.2 Bewertungsmethodik

#### 7.2.1 Methodischer Ansatz, Erkenntnisse aus der Forschung

Die Biodiversitätsverluste durch Luftschadstoffemissionen wurden in den bisherigen Studien zu den externen Kosten des Verkehrs in der Schweiz nicht ermittelt. In den früheren Studien wurden lediglich die Biodiversitätsverluste infolge von Habitatverlusten und Habitatfragmentierungen quantifiziert (als Teil der Kategorie ‚Natur und Landschaft‘). Bei den Biodiversitätsverlusten durch Luftschadstoffemissionen handelt es sich somit um eine neue Kostenkategorie.

Eine umfassende Monetarisierung der Biodiversitätsverluste infolge Luftverschmutzung wurde im Rahmen des EU-Forschungsprojekts NEEDS (‚New Energy Externalities Development for Sustainability‘) erstmals vorgenommen. Dabei wird von Ott et al. (2006) eine Methodik



entwickelt, wie die Auswirkungen der Emissionen von versauernden und eutrophierenden Luftschadstoffen wie  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$  und  $\text{SO}_2$  auf die Biodiversität berechnet werden können. Resultat der Studie sind spezifische Kostensätze für die externen Kosten durch Biodiversitätsverluste infolge Luftschadstoffemissionen (NEEDS 2008). Ausgewiesen werden Kostensätze pro emittierter Tonne  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$  und  $\text{SO}_2$  für alle Länder der EU-28 plus einige weitere Länder wie die Schweiz.

Die Ergebnisse aus der NEEDS-Studie sind in der Zwischenzeit in verschiedenen Arbeiten zur Monetarisierung von Umweltkosten angewandt worden. So sind die Kostensätze für die Biodiversitätsverluste infolge Luftschadstoffemissionen in die neue UBA Methodenkonvention 2.0 eingeflossen (UBA 2013). Auch in der UIC-Studie zur Monetarisierung der externen Kosten des Verkehrs in Europa 2008 (CE Delft, Infrass, ISI 2012) sind die Biodiversitätsverluste durch Luftverschmutzung berechnet worden. In diesem Sinne sind Methodik und Kostensätze aus NEEDS mittlerweile durchaus etabliert.

#### **Exkurs zur NEEDS-Methodik**

Grundlage der NEEDS-Methodik zur Monetarisierung der Biodiversitätsverluste infolge Luftschadstoffemissionen bildet das Konzept der Potentially Disappeared Fraction (PDF). Der Terminus PDF steht für den Anteil der Arten, die durch den Eintrag von Nährstoffen verloren gehen. Je grösser der PDF (ausgedrückt in %), desto grösser der Artenverlust. Als Wertgerüst zur Monetarisierung des Artenverlustes werden von Ott et al. (2006) dieselben Ersatzkosten verwendet, wie sie auch für die Berechnung der Habitatverluste (als Teil der Kategorie ‚Natur und Landschaft‘) zur Anwendung gelangen (Ecoplan, Nateco 2004).

Ott et al. (2006) haben für die Herleitung der Kostensätze für die Biodiversitätsverluste pro Tonne Luftschadstoffemissionen u.a. folgende Grundlagen und Annahmen verwendet:

- Mit Hilfe von Modellrechnungen in Holland (Eco-Indicator 99, 2000) konnte gezeigt werden, dass rund 75% (PDF = 0.75) der Arten (Gefässpflanzen<sup>188</sup> als Stellvertreter) in Holland auf Grund der Eutrophierung durch die natürliche Hintergrundbelastung verschwunden sind. Der Rückgang der Biodiversität durch anthropogene Luftschadstoffe kommt als zusätzlicher Effekt dazu. Basierend auf dem bekannten Eintrag der Luftschadstoffe (in kg pro  $\text{m}^2$  und Jahr) wurde errechnet, wie gross der Artenschwund pro Eintrag ist (PDF pro  $\text{m}^2$  und Jahr pro kg Eintrag). Für Schwefeldioxid ( $\text{SO}_x$ ) resultiert so ein Wert von 1.73, d.h. 1 kg  $\text{SO}_x$ -Eintrag erhöht den PDF um 1.73. Für Stickoxid ( $\text{NO}_x$ ) ergibt sich ein Faktor von 9.52 und für Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) ein Wert von 25.9 PDF pro  $\text{m}^2$  und Jahr pro kg Eintrag. Es wird angenommen, dass dieselben Raten auch für andere europäische Länder gelten.
- Um die Kosten für die Wiederherstellung bzw. den Ersatz zu rechnen, haben Ott et al. (2006) anhand von Modelldaten aus Deutschland berechnet, wie hoch die Kosten für die

<sup>188</sup> Gefässpflanzen (Tracheophyta): Bezeichnung für Pflanzen mit spezialisierten Leitbündeln („Gefässen“), in denen sie im Pflanzeninneren Wasser und Nährstoffe transportieren.

Wiederherstellung von artenreicherem Land sind. Als Rahmenbedingung wird angenommen, dass die Wiederherstellung möglichst kostengünstig erreicht und mit der Wiederherstellung ein minimaler Artengewinn von 20% erzielt werden soll. Durch Kalkulation von verschiedenen Umwandlungstypen (Landtyp 1 als Ausgangszustand wird in Landtyp 2 als Zielzustand umgewandelt) gelangt die Studie schliesslich zum Schluss, dass die Rahmenbedingungen am besten erfüllt werden, wenn konventionell bewirtschaftetes Landwirtschaftsland in biologisch bewirtschaftetes Landwirtschaftsland umgewandelt wird. Dabei fallen in Deutschland jährliche Kosten von 0.49 Euro pro PDF und m<sup>2</sup> an.<sup>189</sup> Dieser Kostensatz wird anhand der Kaufkraftparität für andere europäische Länder umgerechnet.

- Versiegelte Flächen und landwirtschaftlich bewirtschaftete Flächen werden gemäss Ott et al. (2006) nicht durch einen Artenverlust infolge von Eutrophierung betroffen. Es muss daher lediglich der Anteil an ‚natürlichem Land‘ kompensiert werden (gemäss CORINE-Klassifikation<sup>190</sup> alle Landkategorien ausser Klasse 1 (bebautes Land) und 2 (Ackerland)).
- Je nährstoffreicher die Böden von Natur aus sind, desto weniger wirkt sich der Eintrag von Luftschadstoffen aus. Diese ‚Grundbelastung‘ ist von Land zu Land verschieden. Um die Berechnungen von Holland (als Ausgangsland für die Modellrechnungen bezüglich Artenveränderungen) übertragbar zu machen, berechnen Ott et al. (2006) Korrekturfaktoren, mit welchen die Grundbelastungen anderer Länder (u.a. der Schweiz) korrekt ausgewiesen werden können. Dieser Korrekturfaktor wird ‚Acidification / Eutrophication Pressure‘ genannt und ist ein Mass für die oben erwähnte ‚Grundbelastung‘.

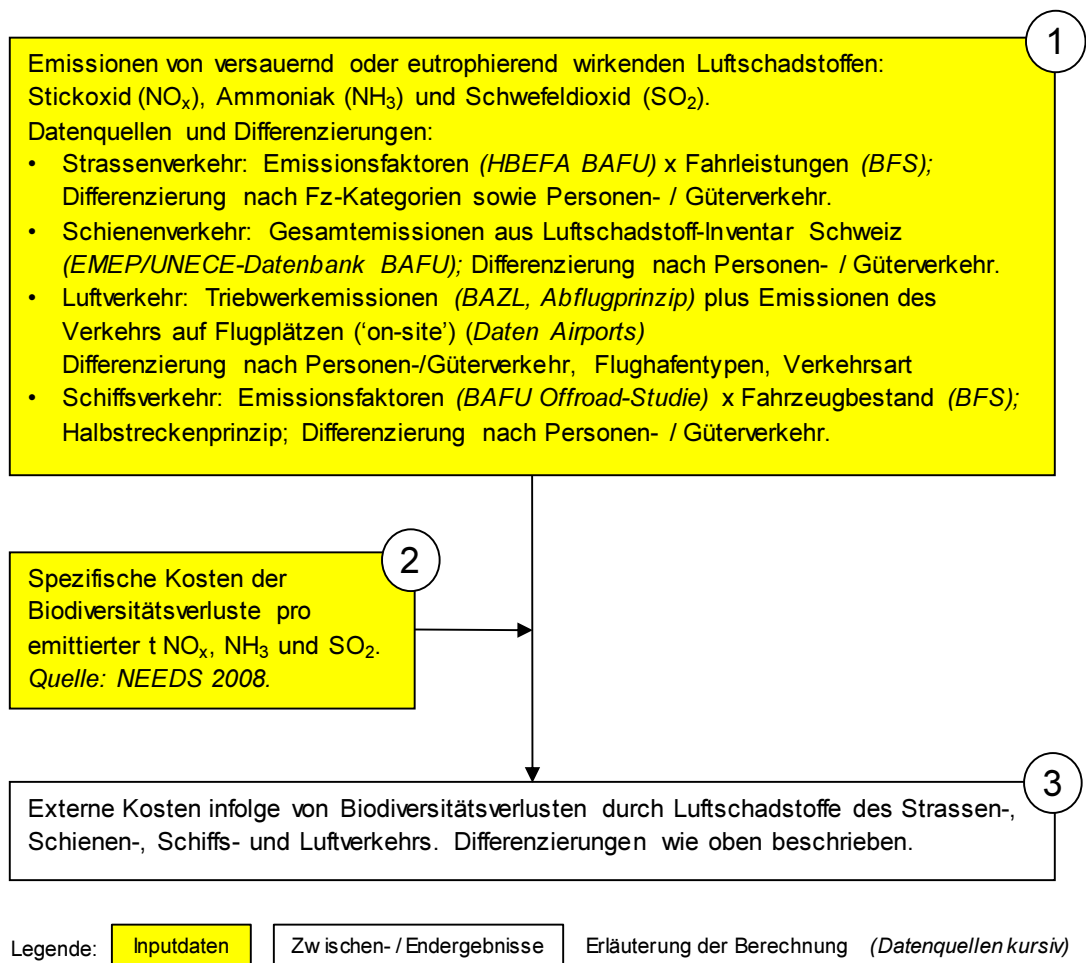
### 7.2.2 Bewertungsmethodik

Die Monetarisierung der Biodiversitätsverluste durch Luftverschmutzung erfolgt auf Basis der Ergebnisse, die im EU-Forschungsprojekt NEEDS erarbeitet worden sind (Ott et al. 2006 und NEEDS 2008). Die hier angewandte Berechnung greift direkt auf spezifische Kostensätze pro emittierte Menge Luftschadstoffe zurück. Somit ist der Berechnungsalgorithmus relativ einfach. Die folgende Abbildung zeigt die Bewertungsmethodik im Detail. Für die Berechnungen werden zwei zentrale Inputgrössen benötigt. Zum einen sind Emissionsmengen der versauernden und/oder eutrophierenden Luftschadstoffe Stickoxid (NO<sub>x</sub>), Ammoniak (NH<sub>3</sub>) und Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) nötig (Schritt 1). Die detaillierten Informationen zu den Datenquellen der Emissionsmengen sind im Kapitel 7.3 aufgeführt. Zum anderen werden für die Monetarisierung Kostensätze pro Tonne NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> und SO<sub>2</sub> angewandt, die auf den Ergebnissen von NEEDS (2008) basieren (Schritt 2). Auf diese Weise resultieren die externen Kosten infolge von Biodiversitätsverlusten durch Luftschadstoffemissionen des Verkehrs (3).

<sup>189</sup> Dieser Kostensatz wurde hergeleitet aus den Ersatzkosten pro m<sup>2</sup> für die Wiederherstellung von Biotopen (aus Econcept, Nateco 2004) sowie der unterschiedlichen Artenzahl (ausgedrückt in PDF) verschiedener Biotop- bzw. Landtypen.

<sup>190</sup> CORINE (Coordination of Information on the Environment) Land Cover ist eine Nomenklatur zur einheitlichen Klassifikation der wichtigsten Formen der Landnutzung.

Abbildung 7-1: Bewertungsmethodik Biodiversitätsverluste durch Luftverschmutzung



## 7.3 Mengengerüst

### 7.3.1 Emission von versauernden und eutrophierenden Luftschadstoffen

Als Mengengerüst dienen die aktuellen Emissionsdaten für  $\text{NO}_x$  (Stickoxide),  $\text{NH}_3$  (Ammoniak) und  $\text{SO}_2$  (Schwefeldioxid) der verschiedenen Verkehrsträger. Für die einzelnen Verkehrsträger werden folgende Grundlagen und Quellen verwendet:

- Strassenverkehr: Verwendung der differenzierten Emissionsfaktoren (Gramm Luftschadstoff pro Fzkm) nach Fahrzeugkategorien aus dem Handbuch für Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs (HBEFA) Version 3.1 (Infras 2010). Diese Werte werden mit den aktuellen Fahrleistungen des BFS multipliziert. Mit diesem Vorgehen resultieren die gesamten Emissionsmengen gemäss Territorialprinzip.
- Schienenverkehr: Für den Schienenverkehr werden direkt die Emissionsmengen 2010 aus dem aktuellsten Luftschadstoff-Inventar der Schweiz verwendet (EMEP/UNECE-

- Datenbank, BAFU 2013). Die Emissionen von  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$  und  $\text{SO}_2$  im Schienenverkehr stammen aus der Treibstoffverbrennung in Dieselloks.
- Luftverkehr: Die  $\text{NO}_x$ -Emissionen des Luftverkehrs werden direkt aus der Grundlagenstudie zur Transportrechnung Luftverkehr übernommen (Infras, EcoPlan 2012). Dort wurden die  $\text{NO}_x$ -Triebwerkemissionen anhand des Treibstoffverbrauchs vom BAZL ermittelt. Zusätzlich wurden die Treibhausgasemissionen des ‚on-site‘ Verkehrs auf Flugplätzen (Busverkehr, Rangierung der Flugzeuge, Abfertigung etc.) berücksichtigt. Letztere Daten wurden auf Basis einer Umfrage bei den Flughäfen ermittelt.  
Für die Emissionen von  $\text{NH}_3$  und  $\text{SO}_2$  (wurden in Infras, EcoPlan 2012 nicht ermittelt) wird auf Daten des aktuellsten Luftschadstoff-Inventars der Schweiz (EMEP/UNECE-Datenbank, BAFU 2013) zurückgegriffen, die mit Hilfe der  $\text{NO}_x$ -Emissionen (EMEP vs. Ergebnisse Transportrechnung Luftverkehr) vom Absatzprinzip auf das Halbstreckenprinzip korrigiert werden. Diese eher grobe Herleitung ist deshalb gerechtfertigt, weil die Biodiversitätsverluste durch  $\text{NH}_3$ - und  $\text{SO}_2$ -Emissionen des Luftverkehrs äusserst gering sind (<0.1 Mio. CHF pro Jahr). Die  $\text{NH}_3$ -Emissionen des Luftverkehrs sind gemäss Luftschadstoff-Inventar sogar null.
  - Schiffsverkehr: Die  $\text{NO}_x$ -Emissionen des Schiffsverkehrs werden ebenfalls aus der Grundlagenstudie zur Transportrechnung Schiffsverkehr übernommen (IRENE, Ecosys 2013). Dort werden spezifische Emissionsfaktoren (g  $\text{NO}_x$  pro Schiff und Jahr) je Schiffskategorie aus der Studie ‚Treibstoffverbrauch und Schadstoffemissionen des Offroad-Sektors‘ (BAFU 2008) verwendet und mit dem Fahrzeugbestand je Schiffskategorie aus aktuellen BFS-Statistiken multipliziert. Für die Emissionen von  $\text{NH}_3$  und  $\text{SO}_2$  (wurden in IRENE, Ecosys 2013 nicht ermittelt) wird auf Daten des aktuellsten Luftschadstoff-Inventars der Schweiz (EMEP/UNECE-Datenbank, BAFU 2013) zurückgegriffen, die mit Hilfe der  $\text{NO}_x$ -Emissionen (EMEP vs. Ergebnisse Transportrechnung Schiffsverkehr) vom Absatzprinzip auf das Halbstreckenprinzip korrigiert werden.

Die folgenden Abbildungen zeigen die in der vorliegenden Studie verwendeten Emissionsmengen der vier Verkehrsträger.

Abbildung 7-2: NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>- und SO<sub>2</sub>-Emissionen des Strassenverkehrs 2010

Emissionen in Tonnen pro Jahr (t/a)	Personenverkehr Strasse						
	Motorisierter privater Personenverkehr				Öffentl. Personenverkehr		
	Personenwagen	Gesellschaftswagen (Car)	Motorrad	Motorfahrrad	Bus	Trolleybus	Tram
NO <sub>x</sub>	17'554	786	379	10	2'379	0	0
NH <sub>3</sub>	2'421	0	3	0	1	0	0
SO <sub>2</sub>	53	1	1	0	2	0	0
Emissionen in Tonnen pro Jahr (t/a)	Güterverkehr Strasse			Strassenverkehr total			
	Lieferwagen	Lastwagen	Sattelschlepper				
	NO <sub>x</sub>	3'954	6'521	4'497	36'081		
NH <sub>3</sub>	61	4	2	2'493			
SO <sub>2</sub>	5	6	4	72			

Quellen siehe obiger Text. Der Langsamverkehr (Fussgänger, Velo, FäG) verursacht keine direkten Emissionen von NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> und SO<sub>2</sub>.

Abbildung 7-3: NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>- und SO<sub>2</sub>-Emissionen des Schienenverkehrs 2010

Emissionen in Tonnen pro Jahr (t/a)	Personenverkehr	Güterverkehr	Schieneverkehr total
NO <sub>x</sub>	81	455	537
NH <sub>3</sub>	0.05	0.27	0.32
SO <sub>2</sub>	0.04	0.20	0.24

Quellen siehe obiger Text.

Abbildung 7-4: NO<sub>x</sub>-Emissionen des Luftverkehrs 2010 nach Flugart und Infrastrukturtyp

NO <sub>x</sub> -Emissionen in Tonnen pro Jahr (t/a)	Landesflughäfen	Regionalflugplätze	Luftverkehr total
Linien- & Charterverkehr intercontinental	250	0.1	250
Linien- & Charterverkehr continental + domestic	711	11	722
Helikopter	0.3	2.6	2.9
Business Aviation	13	5	18
Rest General Aviation	20	8	28
<b>Total alle Flugarten (in t NO<sub>x</sub>)</b>	<b>994</b>	<b>27</b>	<b>1'021</b>

Quelle: Transportrechnung Luftverkehr (Infras, Ecoplan 2012). Daten inklusive 'on-site' Emissionen auf den Flugplätzen.

**Abbildung 7-5: NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>- und SO<sub>2</sub>-Emissionen des Luftverkehrs 2010 nach Personen- und Güterverkehr (gemäss Halbstreckenprinzip)**

Emissionen in Tonnen pro Jahr (t/a)	Personenverkehr	Güterverkehr	Luftverkehr total
NO <sub>x</sub>	931	90	1'021
NH <sub>3</sub>	0	0	0
SO <sub>2</sub>	78	8	86

Quelle: Transportrechnung Luftverkehr (Infras, Ecoplan 2012) für NO<sub>x</sub>. Eigene Berechnungen auf Basis der EMEP/UNECE-Datenbank (BAFU 2013) für NH<sub>3</sub> und SO<sub>2</sub>. Daten inklusive 'on-site' Emissionen auf den Flugplätzen.

**Abbildung 7-6: NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>- und SO<sub>2</sub>-Emissionen des Schiffsverkehrs 2010**

Emissionen in Tonnen pro Jahr (t/a)	Personenverkehr	Güterverkehr	Schiffsverkehr total
NO <sub>x</sub>	539	396	934
NH <sub>3</sub>	0.5	0.3	0.8
SO <sub>2</sub>	1.8	1.3	3.1

Quelle: Transportrechnung Schiffsverkehr (IRENE, Ecosys 2013) sowie eigene Berechnungen auf Basis der EMEP/UNECE-Datenbank (BAFU 2013).

## 7.4 Wertgerüst

### 7.4.1 Kostensätze pro Tonne Luftschadstoff

Die Grundlage für die Monetarisierung bilden die Kostensätze aus dem EU-Projekt NEEDS (Ott et al. 2006 bzw. NEEDS 2008). In der NEEDS-Studie erfolgte die Monetarisierung basierend auf Ersatzkosten. Schliesslich wurden dort spezifischen Kostensätze pro emittierter Tonne Stickoxid (NO<sub>x</sub>), Ammoniak (NH<sub>3</sub>) und Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) abgeleitet und für alle EU-Länder sowie weitere europäische Länder wie die Schweiz ausgewiesen.

Die folgende Abbildung zeigt die Kostensätze für die Schweiz aus NEEDS (2008) für das Jahr 2000 (in EUR<sub>2000</sub>/t) sowie die für die vorliegende Studie verwendeten Kostensätze in CHF für das Jahr 2010 (CHF<sub>2010</sub>/t). Die Umrechnung in Schweizer Franken erfolgt auf Basis des mittleren Wechselkurses des Jahres 2000. Anschliessend werden die Kostensätze vom Jahr 2000 auf das Jahr 2010 auf Basis der Konsumentenpreisentwicklung der Schweiz fortgeschrieben (BFS 2013, Landesindex der Konsumentenpreise LIK).

**Abbildung 7-7: Externe Kosten durch Biodiversitätsverluste infolge Luftverschmutzung. Kosten pro Tonne Luftschadstoff (NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>).**

Kostensätze pro emittierte Tonne	EUR <sub>2000</sub> pro Tonne (Originaldaten NEEDS 2008)	CHF <sub>2010</sub> pro Tonne (angepasste Daten 2010)
NO <sub>x</sub>	1'690	2'871
NH <sub>3</sub>	8'767	14'895
SO <sub>2</sub>	544	925

Quelle: NEEDS 2008 sowie eigene Berechnung. Die Umrechnung der Kostensätze von EUR<sub>2000</sub> in CHF<sub>2010</sub> ist im obigen Abschnitt beschrieben.

## 7.5 Ergebnisse

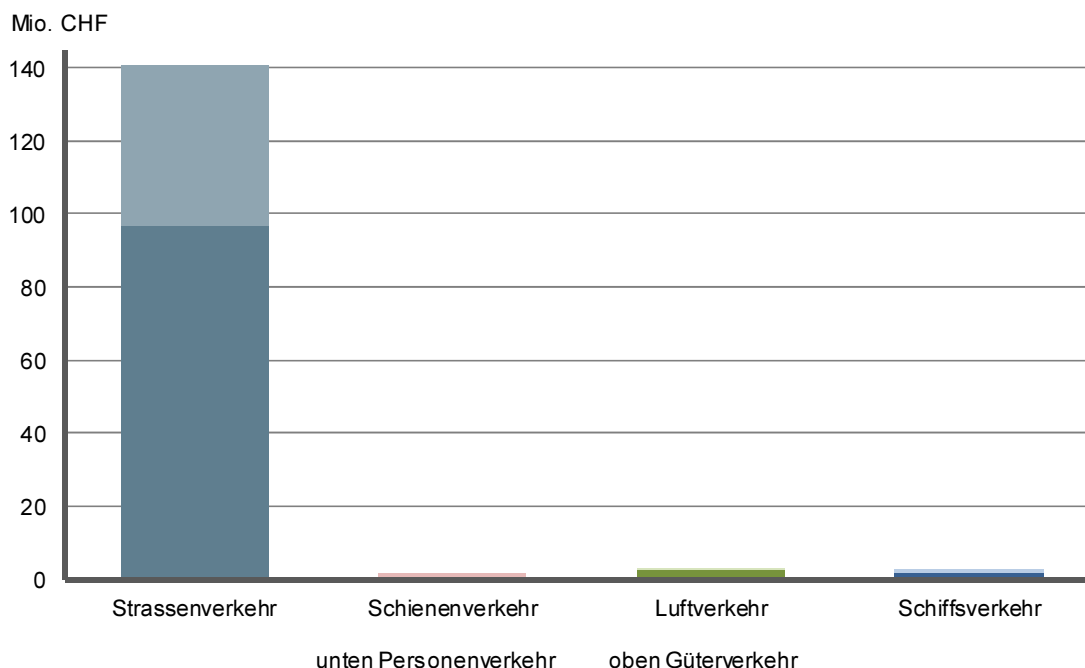
### 7.5.1 Externe Kosten

#### a) Überblick Gesamtverkehr

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die gesamten externen Kosten<sup>191</sup> durch Biodiversitätsverluste infolge Luftverschmutzung im Jahr 2010 nach Verkehrsträgern. Die Gesamtkosten des Verkehrs betragen 2010 **148 Mio. CHF**. Davon verursachte der Strassenverkehr 95% bzw. 141 Mio. CHF, der Schienenverkehr 1% und der Luft- und Schiffsverkehr je rund 2%. In absoluten Zahlen verursachen die letztgenannten drei Verkehrsträger jeweils nicht mehr als 3 Mio. CHF pro Jahr an Biodiversitätsverlusten durch Luftschadstoffemissionen. 75% der Kosten entfallen auf die Stickoxid-Emissionen, 25% auf die Ammoniak-Emissionen, während der Anteil des Schwefeldioxids lediglich bei 0.1% liegt und somit irrelevant ist.

<sup>191</sup> Bei dieser Kostenkategorie entsprechen die externen den sozialen Kosten, da es keinen Internalisierungsbeitrag gibt. Zudem sind die externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger, aus Sicht Verkehrsart Schwerverkehr und aus Sicht Verkehrsteilnehmende genau gleich hoch.

**Abbildung 7-8: Überblick über die externen Kosten durch Biodiversitätsverluste infolge Luftverschmutzung 2010**



**Abbildung 7-9: Überblick über die externen Kosten durch Biodiversitätsverluste infolge Luftverschmutzung 2010**

Biodiversitätsverluste in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	96.8	44.0	<b>140.8</b>	95.1%
Schienenverkehr	0.2	1.3	<b>1.5</b>	1.0%
Luftverkehr	2.7	0.3	<b>3.0</b>	2.0%
Schiffsverkehr	1.6	1.1	<b>2.7</b>	1.8%
<b>Total</b>	<b>101.3</b>	<b>46.7</b>	<b>148.0</b>	100.0%
in % des Totals	68.4%	31.6%	100.0%	

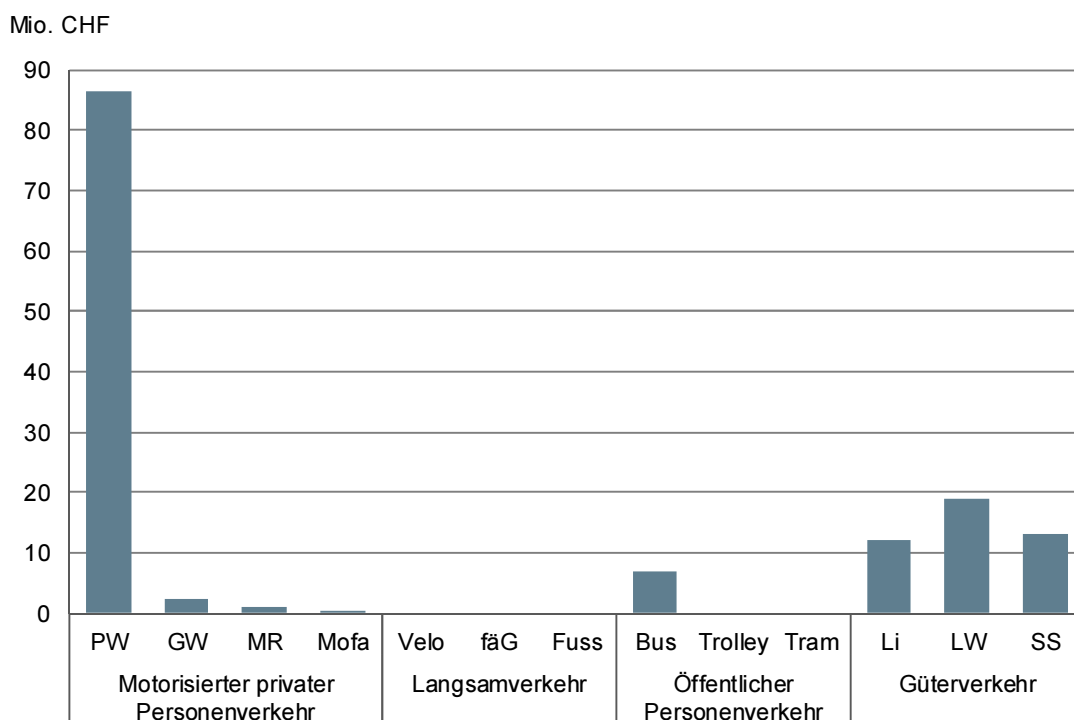
### b) Strassenverkehr

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die Aufteilung der Biodiversitätsverluste durch Luftschadstoffemissionen des Strassenverkehrs auf die einzelnen Fahrzeugkategorien. 90 Mio. CHF bzw. 64% der Kosten des Strassenverkehrs werden durch den motorisierten privaten Personenverkehr verursacht (davon gut 86 Mio. CHF durch die Personenwagen). Der öffentliche Strassenverkehr ist verantwortlich für 5% der Kosten bzw. 7 Mio. CHF und der Güterverkehr für 44 Mio. CHF (31%). Beim Strassenverkehr ist ebenfalls das Stickoxid mit



74% die Hauptursache der Kosten, gefolgt vom Ammoniak (26%), während der Anteil des Schwefeldioxids bei 0.05% liegt.

**Abbildung 7-10: Externe Kosten durch Biodiversitätsverluste infolge Luftverschmutzung 2010 nach Fahrzeugkategorien**



**Abbildung 7-11: Externe Kosten durch Biodiversitätsverluste infolge Luftverschmutzung des Strassenverkehrs 2010 nach Fahrzeugkategorien sowie Luftschadstoff**

Biodiversitätsverluste in Mio. CHF	Personenverkehr									Güterverkehr			Gesamt- total	
	Motorisierter privater Personenverkehr				Langsamverkehr			Öffentlicher Personenverkehr			Li	LW		SS
	PW	GW	MR	Mofa	Velo	fäG	Fuss	Bus	Trolley	Tram				
NO <sub>x</sub>	50.4	2.3	1.1	0.0	-	-	-	6.8	-	-	11.4	18.7	12.9	103.6
NH <sub>3</sub>	36.1	0.0	0.1	0.0	-	-	-	0.0	-	-	0.9	0.1	0.0	37.1
SO <sub>2</sub>	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	0.0	-	-	0.0	0.0	0.0	0.1
<b>Total Biodiversitätsverluste</b>	<b>86.5</b>	<b>2.3</b>	<b>1.1</b>	<b>0.0</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>6.8</b>	<b>n.a.</b>	<b>n.a.</b>	<b>12.3</b>	<b>18.8</b>	<b>13.0</b>	<b>140.8</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	<b>61.4%</b>	<b>1.6%</b>	<b>0.8%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>4.9%</b>	<b>n.a.</b>	<b>n.a.</b>	<b>8.7%</b>	<b>13.3%</b>	<b>9.2%</b>	<b>100.0%</b>
<b>Total Teilbereiche</b>	<b>89.9</b>				<b>0.0</b>			<b>6.8</b>			<b>44.0</b>			<b>140.8</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	<b>63.9%</b>				<b>0.0%</b>			<b>4.9%</b>			<b>31.3%</b>			<b>100.0%</b>

PW = Personenwagen, GW = Gesellschaftswagen, MR = Motorrad, fäG = fahrzeugähnliches Gerät, Fuss = Fussverkehr, Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper.

### c) Schienenverkehr

Der Schienenverkehr verursacht lediglich minime externe Kosten durch Biodiversitätsverluste infolge Luftverschmutzung. Für das Jahr 2010 sind es 1.5 Mio. CHF, wovon der grösste Teil auf den Güterverkehr entfällt. Der Grund dafür liegt darin, dass im Güterverkehr deutlich mehr Dieselloks eingesetzt werden als im Personenverkehr. Die Kosten stammen fast ausschliesslich aus den Emissionen von Stickoxiden (NO<sub>x</sub>).

**Abbildung 7-12: Externe Kosten durch Biodiversitätsverluste infolge Luftverschmutzung des Schienenverkehrs 2010 nach Personen- und Güterverkehr sowie Luftschadstoff**

Biodiversitätsverluste in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
NO <sub>x</sub>	0.2	1.3	1.5
NH <sub>3</sub>	0.0	0.0	0.0
SO <sub>2</sub>	0.0	0.0	0.0
<b>Schienenverkehr Total</b>	<b>0.2</b>	<b>1.3</b>	<b>1.5</b>

### d) Luftverkehr

Die folgende Abbildung zeigt die Aufteilung der Biodiversitätsverluste durch Luftverschmutzung auf den Personen- und Güterverkehr sowie die einzelnen Luftschadstoffe. Von den insgesamt 3 Mio. CHF werden 95% durch den Linien- und Charterverkehr verursacht und 5% durch die General Aviation (inkl. Business Aviation) und Helikopter. 97% der Kosten werden durch die NO<sub>x</sub>-Emissionen verursacht, 3% durch das SO<sub>2</sub>.

**Abbildung 7-13: Externe Kosten durch Biodiversitätsverluste infolge Luftverschmutzung des Luftverkehrs 2010 nach Personen- und Güterverkehr sowie Luftschadstoff (Halbstreckenprinzip)**

Biodiversitätsverluste in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
NO <sub>x</sub>	2.7	0.3	2.9
NH <sub>3</sub>	0.0	0.0	0.0
SO <sub>2</sub>	0.1	0.0	0.1
<b>Luftverkehr Total</b>	<b>2.7</b>	<b>0.3</b>	<b>3.0</b>

### e) Schiffsverkehr

Die externen Kosten durch Biodiversitätsverluste infolge Luftschadstoffemissionen des Schiffsverkehrs betragen im Jahr 2010 2.7 Mio. CHF. Davon werden 58% durch den öffentli-

chen Schiffsverkehr verursacht, der Rest durch den Güterverkehr auf dem Rhein sowie den Seen (inkl. Fischer- und Arbeitsboote). Die Kosten werden zu über 99% durch die NO<sub>x</sub>-emissionen verursacht.

**Abbildung 7-14: Externe Kosten durch Biodiversitätsverluste infolge Luftverschmutzung des Schiffsverkehrs 2010 nach Personen- und Güterverkehr sowie Luftschadstoff**

Biodiversitätsverluste in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Schiffsverkehr total	
NO <sub>x</sub>		1.5	1.1	2.7
NH <sub>3</sub>		0.0	0.0	0.0
SO <sub>2</sub>		0.0	0.0	0.0
<b>Schiffsverkehr total</b>		<b>1.6</b>	<b>1.1</b>	<b>2.7</b>

## 7.6 Sensitivitätsanalyse

### 7.6.1 Zusammenfassung der Annahmen und Unsicherheiten

Aufgrund der beschränkten Zahl an Inputdaten ist für die Biodiversitätsverluste durch Luftschadstoffemissionen lediglich eine einfache Sensitivitätsanalyse möglich. Die folgende Abbildung zeigt die Unsicherheiten der beiden zentralen Inputdaten.

**Abbildung 7-15: Übersicht über Inputdaten, Annahmen und Bandbreiten bei den Biodiversitätsverlusten infolge Luftverschmutzung**

Bereich / Annahme	Wissenstand	Vorgehen	Bandbreite
<b>Emissionen</b>			
Luftschadstoffemissionen (NO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> )	aktuelle statistische Grundlagen	Datenauswertung	± 5%
<b>Wertgerüst</b>			
Kostensätze pro Tonne (NO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> )	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 20% Basis NEEDS (2008)

### 7.6.2 Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

Weil die Berechnung der luftverschmutzungsbedingten Biodiversitätsverluste mittels einfacher Multiplikation von Emissionsmengen mal Kostensatz erfolgt, widerspiegeln die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse direkt die verwendeten Bandbreiten der Inputdaten. Entsprechend variieren die Gesamtergebnisse bei der Wahl tiefer bzw. hoher Emissionsmengen um -5% bzw. +5% gegenüber dem Basisszenario. Werden die Kostensätze gemäss unterer und

oberer Bandbreiten gewählt, liegen die Ergebnisse -20% bzw. +20% über dem Basisszenario (siehe Abbildung 7-16).

**Abbildung 7-16: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für die Biodiversitätsverluste infolge Luftverschmutzung 2010**

<b>Biodiversitätsverluste in Mio. CHF</b>	<b>Strassen- verkehr</b>	<b>Schiene- verkehr</b>	<b>Luft- verkehr</b>	<b>Schiffs- verkehr</b>	<b>Total</b>
<b>Basisrechnung</b>	<b>140.8</b>	<b>1.5</b>	<b>3.0</b>	<b>2.7</b>	<b>148.0</b>
Emissionen (NO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> ) hoch	147.8	1.6	3.2	2.8	<b>155.4</b>
Emissionen (NO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> ) tief	133.7	1.5	2.9	2.6	<b>140.6</b>
Kostensätze pro Tonne NO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> ) hoch	168.9	1.9	3.6	3.2	<b>177.6</b>
Kostensätze pro Tonne NO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> ) tief	112.6	1.2	2.4	2.2	<b>118.4</b>
<b>Abweichung von Basisrechnung in %</b>					
Emissionen (NO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> ) hoch	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	<b>5.0%</b>
Emissionen (NO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> ) tief	-5.0%	-5.0%	-5.0%	-5.0%	<b>-5.0%</b>
Kostensätze pro Tonne NO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> ) hoch	20.0%	20.0%	20.0%	20.0%	<b>20.0%</b>
Kostensätze pro Tonne NO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> ) tief	-20.0%	-20.0%	-20.0%	-20.0%	<b>-20.0%</b>

## 7.7 Vergleich zu den bisherigen Berechnungen

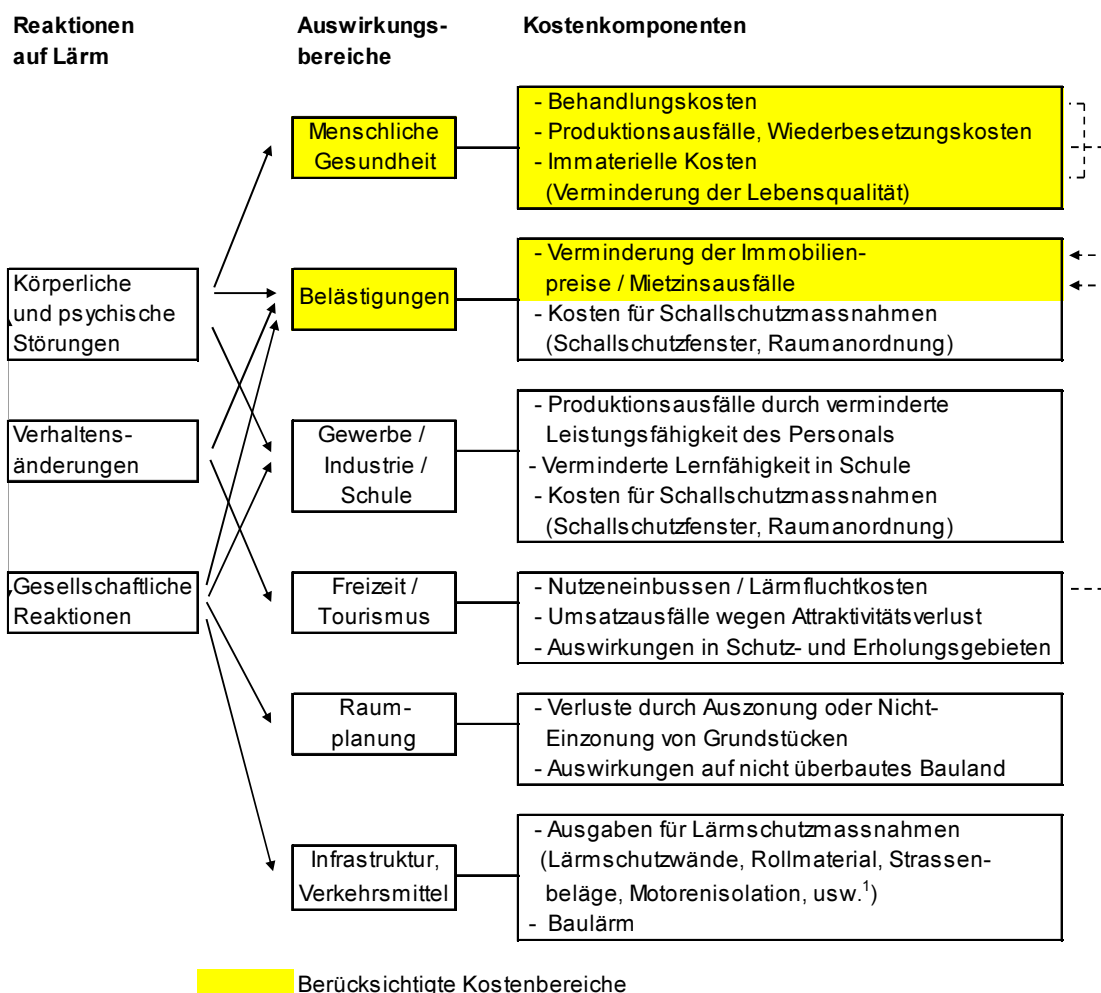
Da diese Kostenkategorie in den früheren Berechnungen der externen Kosten des Verkehrs in der Schweiz noch nicht abgedeckt war, ist ein Vergleich mit bisherigen Berechnungen nicht möglich.

## 8 Lärm

### 8.1 Berechnungsgegenstand

Lärm führt zu zahlreichen individuellen und gesellschaftlichen Störungen / Belästigungen. Diese Reaktionen verursachen meist volkswirtschaftliche Kosten. Einen Überblick über die Verhaltensmuster und davon betroffenen Auswirkungsbereiche ist in Abbildung 8-1 dargestellt. In den Berechnungen zu den Lärmkosten werden die beiden folgenden Kostenbereiche quantifiziert und monetarisiert:

Abbildung 8-1: Auswirkungen des Lärms und bisher ermittelte Kosten



<sup>1</sup> Die Kosten an der Strasseninfrastruktur (Lärmschutzwände, Strassenbeläge) sind in der Strassenrechnung enthalten, aber nicht einzeln ausgewiesen.

- **Belästigungen:** Lärm wird von den Betroffenen zum Teil bewusst als störend oder belästigend wahrgenommen. So führen zum Beispiel einzelne Zugdurchfahrten oder weg-

rende Autos zu Störungen von Aktivitäten und der Kommunikation, zu Unterbrüchen des Schlafs oder zu Störungen von Ruhe und Erholung. Die Kosten dieser Belästigungen werden oft über die Reduktion der Wohnungspreise von belärmten Wohnungen bewertet: Die grundsätzliche Überlegung dabei ist, dass Wohnungen mit einer Lärmbelastung weniger stark nachgefragt werden und daher auf dem Wohnungsmarkt einen geringeren Marktwert haben, als vergleichbare Wohnungen an ruhiger Wohnlage.<sup>192</sup>

- **Gesundheitsschäden** durch Lärmbelastung: Lärm kann nebst den beschriebenen bewussten Belästigungen bei den Betroffenen auch zu gesundheitlichen Problemen führen, insbesondere zu körperlichen und psychischen Krankheiten. Gesundheitliche Folgen ergeben sich dabei meist aufgrund von mittel- bis langfristig auftretenden Lärmbelastungen.

Weitere Kostenkomponenten werden wie in den bisherigen Berechnungen gemäss der Darstellung in Abbildung 8-1 nicht erfasst. So werden auch die Vermeidungskosten vernachlässigt. Damit sind jene Kosten gemeint, welche in Form von Vermeidungsmassnahmen anfallen (z.B. Freizeitaufenthalt in wenig belärmten Gebieten, Wechsel des Wohnorts usw.). Zuverlässige Schätzungen zu diesen Kosten gibt es bisher kaum. Allgemein besteht aber die Ansicht, dass sie eher von untergeordneter Bedeutung sind.<sup>193</sup>

Bei der Berücksichtigung von Belästigung über den Indikator der verminderten Wohnungspreise sowie der separaten Ermittlung von lärmbedingten Gesundheitsschäden stellt sich die Frage, ob es bei der Addition der beiden Effekte nicht zu Doppelzählungen kommen könnte. Diese wären dann zu befürchten, wenn die gesundheitlichen Folgen der Lärmbelastung den Bewohnern bekannt sind und dementsprechend auch bewusst in die Bewertung (Nachfrage) einer angebotenen Wohnung einfließen. Es ist jedoch davon auszugehen, dass lärmbedingte Gesundheitsschäden wie z.B. ischämischen Herzkrankheiten und Bluthochdruck bedingten Krankheiten der Bevölkerung kaum bewusst sind. Der Unterschied ist also, dass sich belärmte Personen der Belästigungen bewusst sind, während sie sich der Gesundheitsschäden meist nicht bewusst sind. Hinzu kommt, dass Gesundheitsauswirkungen, die möglicherweise erst in fernen Zukunft auftreten, typischerweise wenig Gewicht haben bei aktuellen Entscheidungsprozessen (vgl. z.B. das Rauchverhalten vieler Personen).<sup>194</sup>

Im **Schiffsverkehr** führt der Lärm zu **vernachlässigbar kleinen Kosten**.<sup>195</sup> Der Schiffsverkehr wird im Folgenden deshalb nicht weiter betrachtet.

---

<sup>192</sup> Die Lärmkosten trägt dabei der Eigentümer der Liegenschaft, da die Mieter durch die tieferen Mietpreise für die Lärmexposition kompensiert werden.

<sup>193</sup> EcoPlan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, S. 92.

<sup>194</sup> Die Studie der WHO (2011, Burden of disease from environmental noise) stützt diese Annahme: Die Studie verfolgt zwar einen anderen Ansatz (Bewertung von Belästigung, Schlafstörung und Gesundheitseffekten über DALY, vgl. Kapitel 1.1.1a), addiert aber die Gesundheitseffekte mit den Effekten auf Belästigungen und Schlafstörungen.

<sup>195</sup> IRENE und Ecosys (2013), L'integration de la navigation dans le compte des transports.

## 8.2 Bewertungsmethodik und wichtigste neue Erkenntnisse

### 8.2.1 Belästigungen

#### a) Drei mögliche Bewertungsmethoden für Belästigungen

Um die Lärmkosten in Bereich **Belästigungen** (inkl. Schlafstörungen) zu berechnen, haben sich in den letzten Jahren im Wesentlichen drei Vorgehensweisen etabliert:<sup>196</sup>

- In den bisherigen Studien zu den externen Lärmkosten in der Schweiz wurde der Weg über die **Abnahme der Wohnungspreise** (Mietzinsausfälle) gewählt: Für eine belärmte Wohnung kann ein weniger hoher Preis verlangt werden als für eine vergleichbare Wohnung an ruhiger Lage. Grund dafür ist, dass sich die Bewohner bewusst sind, dass in einer belärmten Wohnung mit Belästigungen (inkl. Schlafstörungen) zu rechnen ist. Mit sogenannten Hedonic Pricing-Studien wird der Wohnungsmarkt statistisch untersucht, um den Einfluss des Lärms auf den Wohnungspreis bestimmen zu können.
- Um den Wert der Ruhe (bzw. des vermiedenen Lärms) zu bestimmen, können auch direkt Umfragen durchgeführt werden, in denen die Zahlungsbereitschaft (**WTP** = willingness to pay) **für Ruhe** ermittelt wird.
- Aktuelle Studien<sup>197</sup> erlauben es, die Lärmkosten über **DALY** (disability adjusted life years<sup>198</sup>) **und VLYL** (value of life year lost) zu bestimmen: Im ersten Schritt wird die Beeinträchtigung des normalen beschwerdefreien Lebens durch lärmbedingte Belästigungen und Schlafstörungen bestimmt und in DALY ausgedrückt. Im zweiten Schritt werden die verlorenen Lebensjahre monetarisiert. Da ein DALY einem verlorenen Lebensjahr entspricht, macht der Wert eines verlorenen Lebensjahres (VLYL – ermittelt aus dem VOSL, d.h. einer WTP) die Monetarisierung möglich.

Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über die wichtigsten Charakteristika der drei Methoden.

Die Lärmbewertung wird international dominiert durch Studien zur Abnahme der Wohnungspreise.<sup>199</sup> Studien, welche den Lärm über DALY und VLYL bewerten, sind uns hingegen kei-

---

<sup>196</sup> Eine vierte Möglichkeit würde der Entschädigungsansatz bieten (gerichtlich zugesprochene Entschädigungsleistungen). Dieser Ansatz ist aber aus verschiedenen Gründen weniger geeignet (Ecoplan et al. 2004, Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, S. 52).

<sup>197</sup> WHO (2011), Burden of disease from environmental noise und Ecoplan (2013), Auswirkungen des Verkehrslärms auf die Gesundheit.

<sup>198</sup> DALYs sind eine Masszahl für die Sterblichkeit und die Beeinträchtigung des normalen beschwerdefreien Lebens durch eine Krankheit. Ein DALY entspricht einem verlorenen Lebensjahr bei einwandfreier Gesundheit. DALYs sind die Summe aus verlorenen Lebensjahren aufgrund von frühzeitigen Todesfällen sowie dem Verlust an Lebenszeit durch Krankheit. Dabei wird Letzteres auch in verlorene Lebensjahre umgerechnet, indem mit einem bestimmten Prozentwert (disability weight DW) multipliziert wird. Die Höhe des DWs ist abhängig von der gesundheitlichen Beeinträchtigung durch die Krankheit.

<sup>199</sup> Bickel et al. (2006), HEATCO D5: Proposal for Harmonized Guidelines, S. 145 und Navrud (2002), The State of the Art on Economic Valuation of Noise, S. 6.

Abbildung 8-2: Vergleich der drei Bewertungsmethoden für Belästigungen

	Mietzinsausfälle	WTP für Ruhe	DALY und VLVL
Preisgrundlage	Mietmarkt. Preis der Ruhe indirekt über Mietpreis	WTP für den Preis der Ruhe direkt erhebbar	1. Bestimmung der Beeinträchtigung des normalen beschwerdefreien Lebens durch lärmbedingte Belästigung und Schlafstörung, um die verlorenen DALY zu bestimmen. 2. Bewertung der DALY mit WTP-Ansatz für verlorenes Lebensjahr
Zuverlässigkeit der Schätzung	Marktpreis Hohe Zuverlässigkeit der Berechnung der Mietzinsausfälle, aber möglicherweise unterschätzen die Mietzinsausfälle die negativen Effekte durch Schlafstörungen und Belästigung: In der Schweiz – insbesondere in den Agglomerationen und damit in den stärker lärmbelasteten Gebieten – besteht ein Nachfragesüßerhang nach Wohnungen. Aufgrund der resultierenden Wohnungsknappheit sehen sich Mieter gegebenenfalls dazu gezwungen, Wohnungen zu einem Preis zu mieten, der über ihrer wahren Zahlungsbereitschaft für eine lärmbelastete Wohnung liegt. Es wäre möglich, dass sich die Lärmbelastung in einem perfekt funktionierenden Mietmarkt stärker im Mietpreis widerspiegeln würde. Lärmbelastung ist vor Einzug bzw. bei Abschluss Mietvertrag möglicherweise zu wenig bekannt Wegen hohen Umzugskosten (bzw. Transaktionskosten) bleibt man trotzdem (eine Weile) Ergebnisse reagieren sensitiv auf die Spezifikation der Schätzgleichung. <sup>1</sup>	Kein Markt Zuverlässigkeit angezweifelt, weil kein Anreiz, wahre Präferenzen zu nennen, hypothetische und ungewohnte Zahlungssituation -> Durch gute Befragungstechniken deutlich abgeschwächt <sup>2</sup> Teilweise schwierige Umrechnung der Umfrageergebnisse <sup>3</sup> in Kostensatz pro dB(A)	Kein Markt Zuverlässigkeit angezweifelt, da die Ermittlung des Disability Weighths mit verschiedenen Problemen verbunden ist. <sup>4</sup> Bei der Bewertung der DALY durch Zahlungsbereitschaft für verlorenes Lebensjahr bestehen die gleichen Probleme wie beim WTP-Ansatz
Internationale Übertragbarkeit der Ergebnisse	Die Präferenzen bzgl. Ruhe können international unterschiedlich stark ausgeprägt sein (sozio-kulturelle Unterschiede). <sup>5</sup> Zudem hat – bei gleichem Aussenlärm – die landestypische Bauweise einen Einfluss auf den Lärmpegel im Innern. <sup>6</sup> Je nachdem wo eine Grundlagenstudie durchgeführt wird, kann das Ergebnis also unterschiedlich sein.		
Schweizer Studien	Bei den Mietzinsausfällen beeinflussen zudem unterschiedliche Gesetzgebungen im Wohnungsmarkt sowie die Marktsituation die Schätzung.	Eine aktuelle Schweizer Studie	Keine Schweizer Studien
Schallschutzfenster	Aktuelle Schweizer Studien liegen vor		
	Der Einbau von Schallschutzfenstern kann die Nachteile durch den Lärm und damit auch die Bewertung des Lärms verkleinern. Daten zu Schallschutzfenstern sind jedoch in den Studien unseres Wissens nie enthalten.		

Quellen: ZKB (2011), Ruhe bitte, S. 13, EcoPlan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, S.51-54, Navrud (2002), The State of the Art on Economic Valuation of Noise.

<sup>1</sup> Navrud (2002), The State of the Art on Economic Valuation of Noise, S. 6.

<sup>2</sup> ZKB (2011), Ruhe bitte, S. 13.

<sup>3</sup> Das Studienresultat ist oft eine WTP für eine „Halbierung des Lärms“ (Navrud 2002, The State of the Art on Economic Valuation of Noise, S. 19-20).

<sup>4</sup> Individuen schrecken normalerweise davor zurück, Gesundheitszustände in der Nähe der Endpunkte anzusehen (End-of-Scale Bias) oder sie bewerten mehrere Gesundheitszustände so, dass sie etwa gleichmässig auf der ganzen Skala zwischen 0-1 verteilt sind (Spacing-Out Bias) (Breyer et al. (2005), Gesundheitsökonomik, S. 36).

<sup>5</sup> ZKB (2011), Ruhe bitte, S. 36.

<sup>6</sup> EcoPlan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, S. 56.



ne bekannt (es werden – wie auch in der WHO-Studie – DALY bestimmt, doch werden diese nicht monetarisiert).<sup>200</sup> Studien zur WTP für Ruhe gibt es einige wenige; möglicherweise weil es schwierig ist, die Umfrage zu konzipieren.<sup>201</sup> Im EU-Projekt HEATCO und in den deutschen Sachstandspapieren (IER 2012) wird empfohlen, Werte für WTP für Ruhe zu verwenden. Als Sensitivität werden auch Resultate für Mietzinsausfälle verwendet, was zu etwa doppelt so hohen Ergebnissen führt.<sup>202</sup> Gemäss einer älteren Schweizer Studie (1996) führen die beiden Ansätze Mietzinsausfälle und WTP für Ruhe hingegen zu etwa gleich hohen Werten.<sup>203</sup> Banfi et al. (2007) haben die Lärmkosten einmal über Mietzinsausfälle und einmal über eine Zahlungsbereitschaftsstudie bestimmt. Während für Lugano identische Ergebnisse resultieren, führt der Zahlungsbereitschaftsansatz in Zürich zu gut doppelt so hohen Ergebnissen wie mit den Mietzinsausfällen. Es scheint also, dass die Details der Studie sowie der gewählte Untersuchungsraum ebenfalls eine bedeutende Rolle spielen.

Vor der Methode über **DALY und VLYL raten wir ab**: Gemäss einer Überschlagsrechnung dürfte das über DALY und VLYL berechnete Ergebnis gut doppelt so hoch liegen wie das Ergebnis über die Abnahme der Wohnungspreise. Das Ergebnis würde somit nicht dem at least Ansatz entsprechen.<sup>204</sup>

Es gibt unseres Wissens nur eine aktuelle Studie zur WTP für Ruhe in der Schweiz (Banfi et al. 2007). Für die Schweiz gibt es hingegen viele Studien zur Abnahme der Wohnungspreise. Zudem beruhen viele Studien zur Abnahme der Wohnungspreise auf Tausenden von Daten, die Studie der ZKB gar auf mehr als 850'000 Datensätzen, während die Studie von Banfi et al. (2007) zur Zahlungsbereitschaft auf lediglich 650 Haushalten basiert. Zwei Einwände, die gegen die Verwendung der Abnahme der Wohnungspreise sprechen, können zudem für die Schweiz entkräftet werden:

- Die Annahme, dass die Preisabnahme linear verläuft wird oft kritisiert, da vermutet wird, dass bei höheren Lärmniveaus ein zusätzliches dB(A) einen grösseren Einfluss hat als bei tieferen Lärmniveaus. Die ZKB (2011, S. 32) untersuchte dies mit ihren Daten und zeigte, dass die Annahme der Linearität getroffen werden darf.

---

<sup>200</sup> Ausnahme: Müller-Wenk und Hofstetter (2003), Monetarisierung verkehrslärmbedingter Gesundheitsschäden. Diese Studie ist jedoch kritisch zu beurteilen (vgl. Ecoplan et al. 2004, Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, S. 130).

<sup>201</sup> Navrud (2002), The State of the Art on Economic Valuation of Noise, S. 7.

<sup>202</sup> Bickel et al. (2006), HEATCO D5: Proposal for Harmonized Guidelines, S. 145 und Annex E.

<sup>203</sup> Ecoplan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, S. 53 bzw. Soguel (1996), Contingent Valuation of Traffic Noise Reduction Benefits, S. 119-120.

<sup>204</sup> Zudem gibt es weitere Gründe, die dagegen sprechen: Erstens beruht dieser Ansatz nicht auf Schweizer Studien: Gerade beim Lärm wird immer wieder betont, dass die Belästigungswirkung und die gesundheitlichen Folgen von Lärm international nicht gleich sein müssen, weil der gleiche Lärm je nach gesellschaftliche Gepflogenheiten und kulturellem Umfeld als unterschiedlich störend empfunden wird, die Art des Lärm und dessen zeitliche Verteilung unterschiedlich sein kann und weil je nach Baustandard die Differenz zwischen Aussenlärm und Innenlärm unterschiedlich ist. Zweitens gibt es methodische Bedenken bei der Bestimmung der disability weights (Umrechnung Belästigung bzw. Schlafstörung in DALY). Drittens gibt es unseres Wissens bisher praktisch keine Studien, die diesen Weg beschritten haben (die DALY werden am Schluss nicht monetarisiert).

- Insbesondere die Studien der ZKB berücksichtigen viele andere Einflussfaktoren auf die Wohnungspreise, darunter 12 Einflussfaktoren der Mikrolage (neben dem Lärm). Damit kann sich die ZKB-Studie auch weitgehend der Kritik entziehen, dass der Schätzer für Lärm zu hoch ausfalle, da in diesen oft auch andere Aspekte der Mikrolage einfließen würden.

Aufgrund dieser Ausgangslage / Datenlage **verwenden wir wie bisher nur Studien zur Abnahme der Wohnungspreise.**

#### **b) Wichtigste Neuerungen gegenüber bisheriger Methodik**

Im Folgenden sollen die wichtigsten Neuerungen gegenüber der bisherigen Methodik im Strassen- und Schienenverkehr kurz erläutert werden. Bei der Bewertung der Reduktion der Wohnungspreise konnten in den letzten Jahren einige Fortschritte erzielt werden, die nun in die Berechnungen einfließen können:

- Die Lärmdatenbank **SonBase** des BAFU wurde weiter **verbessert**. Insbesondere wird neu der Lärm pro Etage anstatt wie bisher pro Gebäude ermittelt, was genauere Abschätzungen erlaubt. Im Schienenverkehr können neu Berechnungen für das Jahr 2010 vorgenommen werden anstatt sich wie bisher auf Prognosen für das Jahr 2015 abstützen zu müssen. Auch in vielen weiteren Punkten wurde SonBase verbessert (vgl. Kapitel 8.3.1 unten).
- Die **Aufteilung der Lärmkosten auf den Personen- und Güterverkehr** erfolgte bisher grob gemäss Normemissionen pro Fahrzeugtyp und der jährlichen Fahrleistung (Strassenverkehr) bzw. mittels Messungen an 6 Messorten (Schienenverkehr). Dabei wurde nicht berücksichtigt, dass der Schwerverkehr sich meist auf Hauptstrassen / Nationalstrassen bewegt und weniger auf Nebenstrassen / im Siedlungsgebiet. Dies könnte zu einer Verzerrung bei der Zuweisung der Lärmkosten auf den Schwerverkehr führen. SonBase erlaubt nun genauere Auswertungen getrennt für den Personen- und Güterverkehr.
- Für die Abnahme der Wohnungspreise liegen neue, sehr umfassende Studien vor. Dabei wurde insbesondere untersucht, welcher Lärm (Taglärm, Nachtlärm etc.) relevant ist und ab welchem Lärmniveau die Abnahme der Wohnungspreise beginnt. Dabei hat die ZKB eine neues Lärmmass definiert (im Weiteren **ZKB-Lärmmass** genannt), das statistisch gesehen den besten Zusammenhang mit den Wohnungspreisen aufweist:
  - Anzahl Dezibel über 40 dB(A) Nachtlärm bzw. falls Nachtlärm unter 40 dB(A),
  - Anzahl Dezibel über 50 dB(A) Taglärm

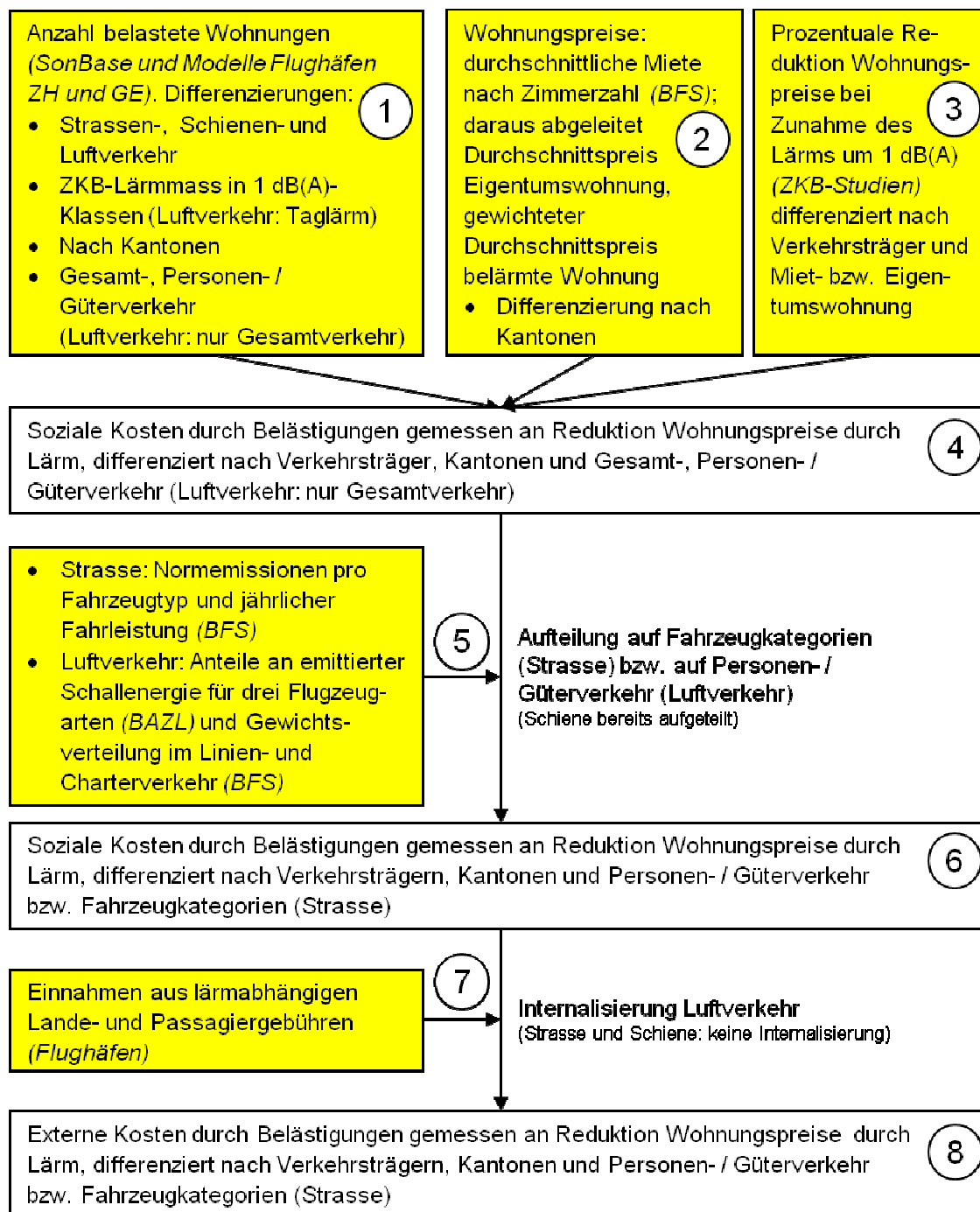
Damit werden zwei grössere Neuerungen eingeführt: Erstens wird nun primär auf den Nachtlärm statt wie bisher auf den Taglärm abgestellt. Zweitens beginnt die Lärmabnahme bei einem tieferen Schwellenwert von 50 dBA (bisher 55 dB(A)) Taglärm. Zudem erlaubt die ZKB-Studie auch, erstmals die Effekte nach Strassen-, Schienen- und Luftverkehr zu differenzieren. Schliesslich liegen die Ergebnisse erstmals nicht nur für Mietwohnungen vor, sondern auch für Eigentumswohnungen.

- Die Berechnung der Reduktion der Wohnungspreise erfolgt erstmals kantonal differenziert, da sich die Wohnungspreise zwischen den Kantonen um bis zu einem Faktor 1.9 unterscheiden.
- Der Preis einer durchschnittlichen Wohnung (Durchschnitt Miet- und Eigentumswohnungen) kann dank neuen Datengrundlagen zum Anteil der belärmten Miet- und Eigentumswohnungen genauer bestimmt werden (vgl. 8.4.1b).

### **c) Verwendete Bewertungsmethodik für Belästigungen**

Die verwendete Bewertungsmethodik wird in der folgenden Abbildung dargestellt: Aus den Lärmdaten (1) der Lärmdatenbank SonBase, den Wohnungspreisen gemäss BFS (2) und der Abnahme der Wohnungspreise pro dB(A) gemäss ZKB-Studie (3) werden die Kosten für Belästigung ermittelt (4). Mittels weiterer Inputdaten (5) werden diese auf die Fahrzeugkategorien im Strassenverkehr bzw. auf Personen- und Güterverkehr im Schienen- (1) und Luftverkehr (5) aufgeteilt. Daraus resultiert das Endresultat (6). Die ausführliche Beschreibung der Methodik folgt in den Kapiteln 8.3.1, 8.4.1 und 8.4.3.

Abbildung 8-3: Bewertungsmethodik für Belästigungen durch Lärm: Reduktion der Wohnpreise durch Lärmbelastung



Legende:

Inputdaten

Zwischen- / Endergebnisse

Erläuterung der Berechnung (*Datenquellen kursiv*)

## 8.2.2 Gesundheitskosten

### a) Ausgangslage

Neben Belästigung, die über die Reduktion der Wohnungspreise quantifiziert werden, sind auch lärmbedingte Krankheitskosten zu berücksichtigen. Seit dem Jahr 2000 haben mehrere epidemiologische Studien chronische Effekte der Lärmbelastung auf kardiovaskuläre Erkrankungen untersucht. Die WHO hat im Jahr 2011 in ihrem Bericht „Burden of disease from environmental noise“ die Auswirkungen des Lärms geschätzt.<sup>205</sup> Eine Übertragung dieser Resultate auf die Schweiz ergibt, dass für das Jahr 2000 durch ischämische Herzkrankheiten des Strassen-, Bahn- und Fluglärms 1'800 Lebensjahre (DALYs) verloren gingen.<sup>206</sup> Weiter verursacht Verkehrslärm kognitive Beeinträchtigungen bei Kindern (1'300 DALYs).<sup>207</sup> Seit der Publikation des WHO-Berichtes sind viele weitere Studien zu kardiovaskulären Auswirkungen publiziert worden. Besonders relevant sind eine schweizerische Kohortenstudie zu Fluglärm<sup>208</sup>, eine dänische Kohortenstudie zu Strassenverkehrslärm<sup>209</sup> sowie zwei grosse Studien zu Fluglärm aus Grossbritannien<sup>210</sup> und Kanada.<sup>211</sup> Neben ischämischen Erkrankungen wurden in einigen Studien auch Hinweise gefunden, dass chronische Lärmbelastung Schlaganfälle verursachen können. Diese und andere neuen Studien werden als besonders aussagekräftig beurteilt und ermöglichen es, eine – im Vergleich zum WHO Bericht – aktualisierte Expositions-Wirkungs-Beziehung herzuleiten.

Es gibt auch Hinweise, dass die Lärmbelastung bei Kindern zu einer kognitiven Beeinträchtigung führt.<sup>212</sup> Die untersuchten Endpunkte sind aber verschieden (z.B. Reaktionszeit, Lesefähigkeit) und in den meisten Studien wurde die Lärmbelastung im Schulhaus untersucht und

---

<sup>205</sup> WHO (2011) Burden of Disease from Environmental Noise: Quantification of Healthy Life Years Lost in Europe.

<sup>206</sup> EcoPlan (2013), Auswirkungen des Verkehrslärms auf die Gesundheit.

<sup>207</sup> Zudem berechnet die WHO (2011) auch für Tinnitus (Ohrensausen) DALYs. Tinnitus ist aber v.a. auf Freizeitlärm wie Musik hören, Schiessen und Sportanlässe zurückzuführen und ist für den Verkehr nicht relevant. Im Jahr 2000 gehen in der Schweiz durch Lärm zudem 26'000 DALYs durch Schlafstörungen und 16'000 DALYs durch Belästigungen verloren.

<sup>208</sup> Huss et al. (2010), Aircraft noise, air pollution, and mortality from myocardial infarction.

<sup>209</sup> Sorensen et al. (2011), Road traffic noise and stroke: a prospective cohort study und Sorensen et al. (2012), Road traffic noise and incident myocardial infarction: a prospective cohort study.

<sup>210</sup> Hansell, et al (2013), Aircraft noise and cardiovascular disease near Heathrow airport in London: small area study.

<sup>211</sup> Correia, et al. (2013), Residential exposure to aircraft noise and hospital admissions for cardiovascular diseases: multi-airport retrospective study.

<sup>212</sup> Belojevic, et al. (2012), Traffic noise and executive functioning in urban primary school children: The moderating role of gender.

Clark et al. (2012), Does traffic-related air pollution explain associations of aircraft and road traffic noise exposure on children's health and cognition?

Stansfeld et al. (2010), Night time aircraft noise exposure and children's cognitive performance.

van Kempen et al. (2012), Neurobehavioral effects of exposure to traffic-related air pollution and transportation noise in primary schoolchildren.

van Kempen et al. (2010), Neurobehavioral effects of transportation noise in primary schoolchildren: a cross-sectional study.

nicht am Wohnort. Da diese Expositionsverteilung für die Schweiz nicht verfügbar ist, werden diese Effekte im Rahmen der weiteren Berechnungen nicht quantifiziert.

Eine neue, qualitativ gute Kohortenstudie lässt zudem einen Zusammenhang zwischen Strassenlärm und dem Auftreten von Diabetes vermuten.<sup>213</sup> Auf einen Einbezug dieses Effektes wird aber im Weiteren ebenfalls verzichtet, da es sich noch um einen Einzelbefund handelt und die Datenlage als zu wenig robust gewertet wird.

#### **b) Wichtigste Neuerungen gegenüber bisheriger Methodik**

- Zu den bisherigen Krankheitsbildern ischämische Herzerkrankungen und Bluthochdruckbedingte Krankheiten werden **zusätzlich** neu auch **Schlaganfälle** berücksichtigt.
- Da in den letzten Jahren einige neue Studien zu kardiovaskulären Erkrankungen (hauptsächlich Hinweise über ischämische Erkrankungen und Schlaganfälle) Zusammenhänge mit der Lärmbelastung beobachtet haben, wird die Expositions-Wirkungs-Beziehungen für diese beiden Krankheitsbilder auf der Basis einer systematischen Literaturübersicht mit Hilfe einer eigenen Meta-Analyse aktualisiert. Für Bluthochdruckbedingte Krankheiten wird auf der Basis von zwei neuen Meta-Analysen zu Flug- und Strassenlärm eine **neue Expositions-Wirkungsbeziehung** hergeleitet.<sup>214</sup>
- Der **Schwellenwert**, ab dem Gesundheitseffekte auftreten, wird auf der Basis der neu verfügbaren Literatur für alle drei Krankheitsbilder analysiert.
- Die Quantifizierung der **Gesundheitsauswirkungen** des Lärms erfolgt – im Gegensatz zu bisher und den Belästigungen – neu mit dem Lärmmass **L<sub>DEN</sub>**. Dabei steht DEN für eine Tag-Abend-Nacht-Gewichtung (Day-Evening-Night), bei der abendlicher Lärm (18.00 – 22.00 Uhr) einen Zuschlag von 5 dB erhält und nächtlicher Lärm (22.00 – 6.00 Uhr) mit einem Zuschlag von 10 dB versehen wird. **L<sub>DEN</sub>** wird international immer häufiger in der Lärmforschung und Lärmregulierung eingesetzt. Unter Berücksichtigung der zeitlichen Variabilität der Lärmquelle, lässt sich der **L<sub>DEN</sub>** aus nächtlichem Lärm (**L<sub>N</sub>**) oder dem Tageslärmpegel (**L<sub>DAY</sub>**) abschätzen (siehe Kapitel 8.3.2 a).
- Bezüglich der **verbesserten Lärmdatenbank SonBase** und der **Aufteilung der Lärmkosten auf den Personen- und Güterverkehr** gelten die gleichen Ausführungen wie für die Reduktion der Wohnungspreise (vgl. b).

#### **c) Verwendete Bewertungsmethodik für Gesundheitskosten**

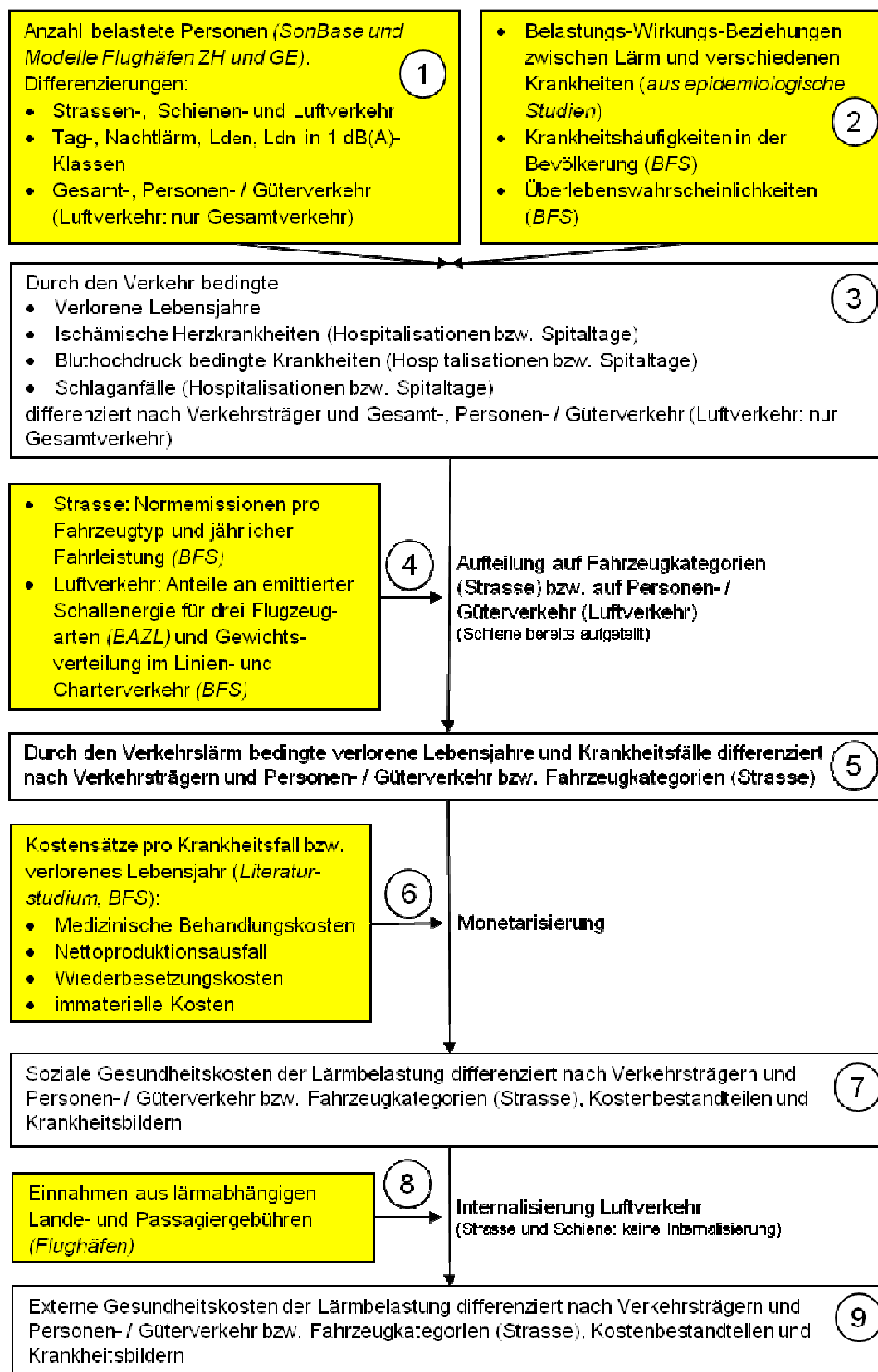
Die folgende Abbildung zeigt das Vorgehen bei der Bewertung der Gesundheitskosten durch die Lärmbelastung: Grundlage bildet dieselbe Auswertung der Lärmdatenbank SonBase wie bei den Belästigungen (Schritt 1 in Abbildung 8-3), wobei diesmal nicht nach Wohnungen,

---

<sup>213</sup> Sorensen et al. (2013), Long-Term Exposure to Road Traffic Noise and Incident Diabetes: A Cohort Study.

<sup>214</sup> van Kempen und Babisch (2012), The quantitative relationship between road traffic noise and hypertension: a meta-analysis und Babisch und Kamp (2009), Exposure-response relationship of the association between aircraft noise and the risk of hypertension.

Abbildung 8-4: Bewertungsmethodik für Gesundheitskosten durch Lärm



Legende: Inputdaten Zwischen- / Endergebnisse Erläuterung der Berechnung (*Datenquellen kursiv*)

sondern nach Personen ausgewertet wird (Schritt 1). Zusammen mit dem aus epidemiologischen Studien bekannten Zusammenhang zwischen Lärmbelastung und Krankheitshäufigkeiten bzw. der Sterblichkeit (Schritt 2) können die verlorenen Lebensjahre sowie die Hospitalisationen für drei Krankheitsbilder bestimmt werden (Schritt 3). Das Ergebnis wird mit derselben Methodik wie bei den Belästigungen (Schritt 5 in Abbildung 8-3) weiter auf den Personen- und Güterverkehr bzw. auf Fahrzeugkategorien aufgeteilt (Schritt 4). Die Monetarisierung erfolgt analog zur Monetarisierung der Gesundheitskosten durch Luftbelastung (vgl. Schritt 8 in Abbildung 3-1) über verschiedene Kostensätze (Schritt 6). Das Ergebnis entspricht den sozialen Gesundheitskosten der Lärmbelastung.<sup>215</sup>

### 8.3 Mengengerüst

Wichtigste Bestandteile des Mengengerüsts sind die Anzahl belärmter Personen und Wohnungen durch die verschiedenen Verkehrsträger, welche mit der Lärmdatenbank SonBase berechnet werden.<sup>216</sup> Die Lärmbelastung der Wohnungen bildet direkt das Mengengerüst für die Abnahme der Wohnungspreise bzw. für die Bewertung von Belästigungen. Für die Gesundheitskosten müssen die Lärmbelastungen der Personen zuerst noch in Krankheitsfälle umgerechnet werden (vgl. Kapitel 8.3.2). Dazu wird aus der wissenschaftlichen Literatur die Expositions-Wirkungsbeziehung hergeleitet.

#### 8.3.1 Lärmbelastung

##### a) Die Lärmdatenbank SonBase: Ermittlung der Lärmbelastung

Die Lärmdatenbank SonBase des BAFU bildet die Grundlage für die Berechnung von Belästigungen sowie Gesundheitskosten (Schritt 1 in Abbildung 8-3 bzw. Schritt 1 in Abbildung 8-4). SonBase wurde auf das Jahr 2010 hin überarbeitet und verbessert.<sup>217</sup> So wurde unter anderem ein genaueres topologisches Modell (DTM = digital terrain modell) implementiert, wodurch die Lärmausbreitung besser ermittelt werden kann. Zudem wurden die neuen Bevölkerungszahlen für 2010 sowie genauere Verkehrszahlen berücksichtigt. Beispielsweise wurden die Lärmemissionen im Schienenverkehr bisher aus dem Emissionsplan 2015 des BAV verwendet, d.h. es wurden Prognosen für 2015 verwendet (da keine besseren Zahlen vorlagen). Neu werden die Bahnemissionen mit dem sonRAIL-Emissionsmodell direkt berechnet und dazu die aktuellsten verfügbaren Bahnverkehrsdaten verwendet.<sup>218</sup>

---

<sup>215</sup> Auf die Darstellung des Berechnungsschritts zur Berücksichtigung der Lärmabgabe im Luftverkehr als Internalisierungsmassnahme wird hier verzichtet. Das Vorgehen ist identisch zu den Schritten 7 und 8 in Abbildung 8-3.

<sup>216</sup> Alle Berechnungen zur Lärmbelastung wurden von Büro n-Sphere durchgeführt und uns vom BAFU zur Verfügung gestellt.

<sup>217</sup> Persönliche Kommunikation von n-Sphere, die SonBase rege benutzen und weiterentwickeln.

<sup>218</sup> Die Datengrundlagen im Personen- und Güterverkehr können wie folgt zusammengefasst werden:



Bisher wurde in den Auswertungen von SonBase jeweils der lauteste Punkt pro Gebäude zugrunde gelegt. Neu wurde dies verfeinert und es wird der lauteste Punkt je Etage eingesetzt, was zu einer genaueren Einschätzung der tatsächlichen Lärmbelastung führt.

Mit SonBase werden die benötigten Daten zur Anzahl belärmter Wohnungen und Personen durch den Strassen- und Schienenverkehr ermittelt – und zwar nach 1 dB(A)-Lärmklassen ab 40 dB(A). Für die Berechnung der Reduktion der Wohnungspreise wird erstmals das ZKB-Lärmass ausgewertet (und zwar differenziert nach Kantonen).

Für die Auswertungen wurden die Statistikdaten für Wohnungen bzw. Personen mit den Lärmdaten für die Gebäude verknüpft. Dabei wurden Statistikpunkte, welche eine maximale Distanz von 20 Metern zum nächsten Gebäude überschritten, nicht verwendet. Dadurch sind in den Resultaten lediglich ca. 96% der Wohnungen bzw. 95% der Bevölkerung enthalten.<sup>219</sup> Die Ergebnisse werden deshalb linear auf den tatsächlichen Wohnungsbestand bzw. die tatsächliche Bevölkerung im Jahr 2010 hochgerechnet.

Gewisse Gebäude bzw. Personen werden von mehreren Lärmquellen (Strassen-, Schienen- und Luftverkehr) gleichzeitig belastet. Dies wird in SonBase nicht berücksichtigt, weil sich bisher noch kein allgemein anerkanntes Modell zur Mehrfachlärmbelastung etabliert hat<sup>220</sup> und weil die Betroffenen die „Lärmarten differenziert und unterschiedlich wahrnehmen“.<sup>221</sup> Aufgrund dieser Ausgangslage muss im Rahmen dieser Studie auf eine Abbildung von Mehrfachbelastungen verzichtet werden.

In den Berechnungen von SonBase wird standardmässig der sogenannte **Schienenbonus** berücksichtigt. Bei der damaligen Festlegung der Lärmschutzverordnung wurde der Bahnlärm als weniger lästig empfunden als der Strassenlärm und erhielt daher einen Bonus von mindestens 5 dB(A). Die Ergebnisse der ZKB-Studie basieren auf den Lärmdaten inkl. Schienenbonus, so dass bei Verwendung der daraus abgeleiteten Mietzinsabschläge auch die Inputdaten unter Berücksichtigung des Schienenbonus berechnet werden müssen. Bei den Datengrundlagen zu den Gesundheitsschäden wird jedoch auf den Schienenbonus ver-

- 
- Im Strassenverkehr basieren die Verkehrszahlen auf den nationalen Verkehrsmodellen für Personen- und Güterverkehr (NPVM und NGVM). Diese wurden mit dem Verkehrsmodell von Michael Arendt ergänzt, der anhand von Volks- und Betriebszählungsdaten des BFS das Modell auf das gesamte Strassennetz erweitert hat. Die Aufteilung Tag / Nacht erfolgte anhand von Defaultwerten je Strassenkategorie, die anhand der Strassenverkehrszählungsdaten des ASTRA berechnet wurden.
  - Beim Schienenverkehr bildet das System PandA der SBB (ausgewertet für 2010) die Grundlage. PandA umfasst das ganze SBB-Netz sowie grosse Teile des Netzes von BLS, RhB und auch weiteren Bahnbetrieben. Es liefert relativ exakte Angaben, wie viele Personen- und Güterzüge täglich auf den einzelnen Streckenabschnitten (Bahnhof zu Bahnhof) verkehren. Das System PandA unterscheidet nach einzelnen Zugstypen wie IC / EC / Regio. Je nach Zugstyp werden andere Zugkompositionen und Geschwindigkeiten verwendet. Beim Bahnverkehr werden für die Bestimmung des Nachtanteils für jeden Streckenabschnitt die Nachtanteile aus dem Emissionsplanes 2015 verwendet (getrennt für Personen- und Güterzüge).

<sup>219</sup> Diese Daten wurden uns von n-Sphere bzw. dem BAFU geliefert.

<sup>220</sup> Schriftliche Auskunft des BAFU vom 17.12.2013.

<sup>221</sup> „Dies führte letztlich auch zur getrennten Beurteilung der Lärmarten in der Schweizerischen Lärmschutz-Verordnung“ (BAFU 2009, Lärmbelastung in der Schweiz. Ergebnisse des nationalen Lärmmonitorings SonBase, S. 44.).

richtet: Bisher gibt es keine empirische Evidenz, dass Bahnlärm beim gleichen Pegel weniger starke Auswirkungen auf das kardiovaskuläre System hat als andere Lärmarten. Leider gibt es nur sehr wenige epidemiologische Untersuchungen, die kardiovaskuläre Auswirkungen von verschiedenen Verkehrsarten verglichen haben. In der Schweizerischen SAPALDIA Studie (Swiss study on Air Pollution And Lung Disease in Adults) wurde jedoch für nächtlichen Bahnlärm ein signifikanter Zusammenhang mit Veränderungen des Blutdrucks festgestellt jedoch nicht für Strassenlärm.<sup>222</sup> So zeigt auch eine deutsche Studie, dass im Bereich der Krankheitsfolgen der Schienenbonus nicht begründbar ist.<sup>223</sup> Aus diesem Grund erscheint es nicht gerechtfertigt, dem Bahnlärm einen Bonus bei der Bewertung der kardiovaskulären Auswirkungen zu geben (dies gilt für alle hier untersuchten drei Krankheitsbilder). Entsprechend wurden die SonBase-Daten ohne Lärmbonus ausgewertet.

## **b) Strassenverkehr**

### **Wohnungen**

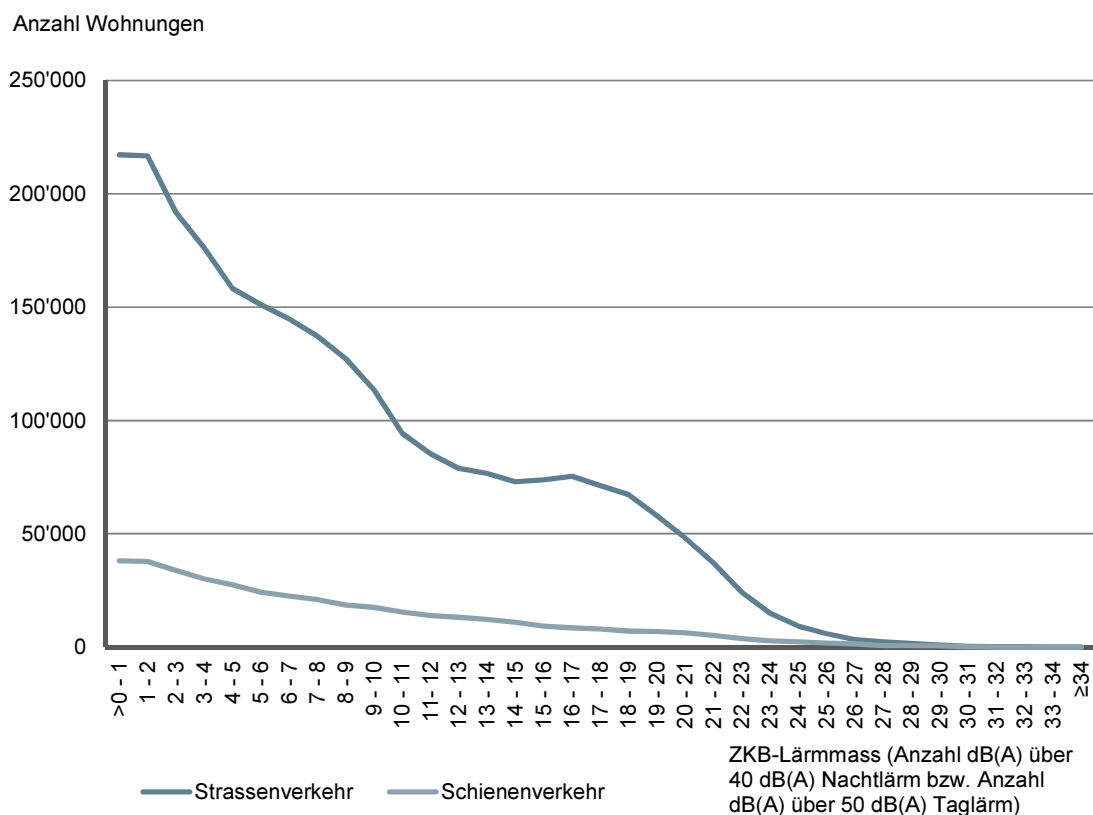
Im Folgenden werden die Ergebnisse aus SonBase für den Strassenverkehr (und Schienenverkehr) 2010 erläutert. Es wird nur das Ergebnis für die gesamte Schweiz dargestellt, die Ergebnisse nach Kantonen finden sich in Anhang C. Wie die folgende Abbildung zeigt, nimmt die Zahl der betroffenen Wohnungen mit steigender Lärmbelastung ab. Je gut 200'000 Wohnungen sind mit 0-1 bzw. 1-2 dB(A) belastet. Insgesamt leiden gut 2.5 Mio. Wohnungen unter – gemäss ZKB-Lärmass – relevanten Lärmbelastungen, während gut 1.5 Mio. Wohnungen Lärmbelastungen unter 40 dB(A) Nachtlärm und 50 dB(A) Taglärm ausgesetzt sind.

---

<sup>222</sup> Dratva et al, (2012) Transportation Noise and Blood Pressure in a Population-Based Sample of Adults.

<sup>223</sup> Universitätsklinikum Freiburg (2010), Macht Schienenlärm krank?

**Abbildung 8-5: Anzahl lärmbelastete Wohnungen im Strassen- und Schienenverkehr nach Ausmass der Überschreitung der ZKB-Schwellenwerte**

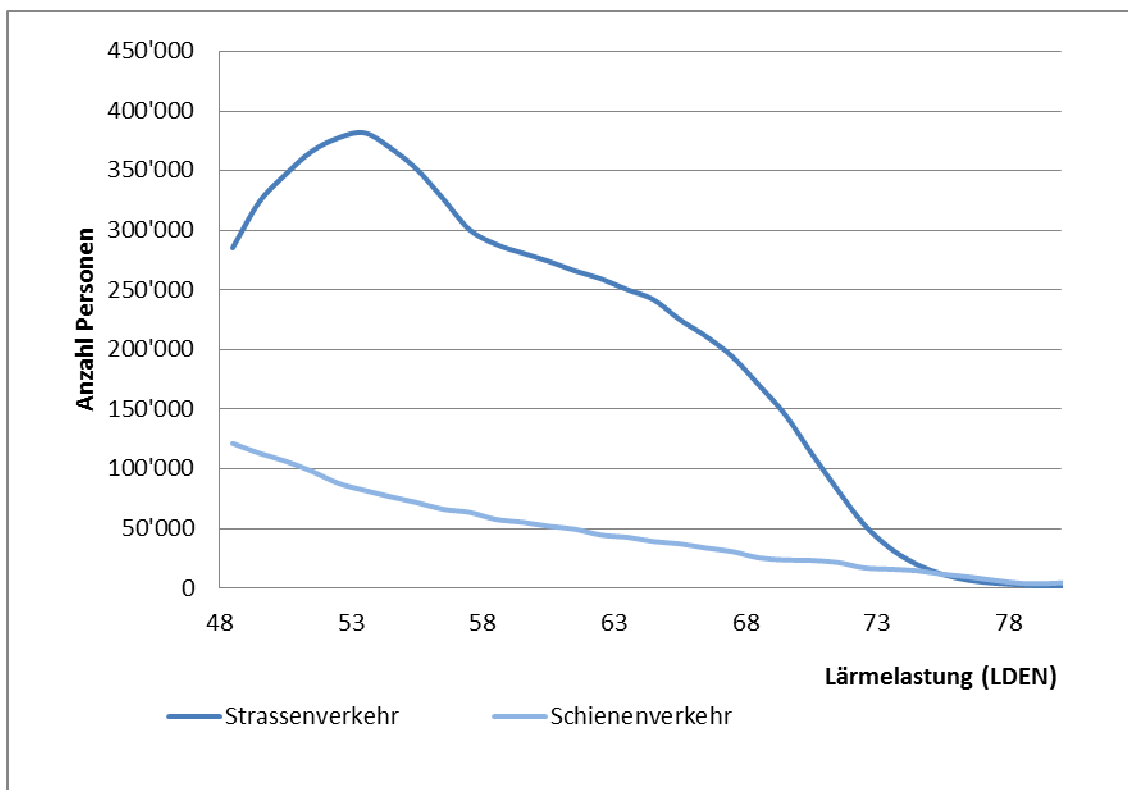


## Personen

In Abbildung 8-6 ist für jede Expositionskategorie in Dezibel die Anzahl lärmbelasteter Personen dargestellt (die detaillierten Ergebnisse finden sich in Anhang C). Rund 6.6 Millionen Personen ist durch Strassenlärm einer  $L_{DEN}$ -Lärmbelastung von 48 dB(A) oder mehr ausgesetzt. Gegenüber dem Strassenlärm – wiederum gemessen in  $L_{DEN}$  – sind am meisten Personen zwischen 50 und 60 dB(A) exponiert.

Für die Berechnung der Auswirkungen auf Mortalität und Morbidität wurde oberhalb des Schwellenwertes von  $L_{DEN}=48$  dB (A) (Herleitung siehe Kapitel 8.3.2a) die bevölkerungsgewichtete mittlere Dezibelbelastung berechnet. Diese beträgt für Strassenverkehr 8.74 dB(A).

**Abbildung 8-6: Anzahl lärmbelastete Personen im Strassen- und Schienenverkehr pro Dezibel modelliert als L<sub>DEN</sub>**



### Aufteilung auf die Fahrzeugkategorien

#### Gesundheitskosten

Wie in Kapitel b) erläutert, wurden die Berechnungen in SonBase nicht nur für den gesamten Strassenverkehr durchgeführt, sondern zusätzlich separat nur für den schweren Güterverkehr (schwere Nutzfahrzeuge SNF) und nur für den Restverkehr ermittelt.<sup>224</sup> Dies erlaubt es, den Anteil des Schwerverkehrs approximativ zu berechnen.<sup>225</sup> Die Ergebnisse zeigen, dass der Kostenanteil der schweren Nutzfahrzeuge bei den Gesundheitskosten 27% beträgt.

<sup>224</sup> Gesellschaftswagen gehören dabei zum Restverkehr, anstatt wie eigentlich erwünscht zum Schwerverkehr. Dies ist aufgrund der fehlenden Daten zu den Fzkm der Gesellschaftswagen nicht anders möglich (Daten nicht einzeln verfügbar, sondern nur als Summe des Personenverkehrs).

<sup>225</sup> Die gesamten Berechnungen werden dreimal durchgeführt, nämlich für die beiden Fahrzeuggruppen (SNF, Restverkehr) und das Total. Mit den Spezialauswertungen werden die Lärmimmissionen berechnet, die sich ergeben würden, wenn nur SNF bzw. nur der Restverkehr zu Lärm führen würden. Die Summe der Berechnungen für die beiden Fahrzeuggruppen stimmt allerdings nicht mit dem Total überein, denn die Aufsummierung des Lärms der beiden Fahrzeuggruppen kann so nicht berücksichtigt werden: Beträgt z.B. der Lärm auf einer Strasse durch SNF 60dB(A) und der Lärm durch den Restverkehr ebenfalls 60 dB(A), so sind dies insgesamt 63 dB(A) durch den Gesamtverkehr. Bei den gesonderten Berechnungen wird zweimal mit 60 dB(A) gerechnet, im Total einmal mit 63 dB(A). Das korrekte Total für den Gesamtverkehr wird dann entsprechend den Ergebnissen für die beiden Fahrzeuggruppen aufgeteilt (d.h. Anteil SNF = Ergebnis SNF / (Ergebnis SNF + Ergebnis Restverkehr)). Auf den Ausweis der detaillierten Ergebnisse zum SNF und zum Restverkehr wird verzichtet.

Die weitere Aufteilung des Schwer- bzw. Restverkehrs auf die einzelnen Fahrzeugkategorien erfolgt wie bisher auf der Basis von Normemissionen pro Fahrzeugkategorie und den jährlichen Fahrleistungen.<sup>226</sup> Gegenüber den bisherigen Berechnungen werden die Fahrleistungen auf 2010 aktualisiert.<sup>227</sup> Zudem werden dem Langsamverkehr (wie bisher) keine Lärmkosten angelastet. Das Ergebnis wird in der folgenden Abbildung gezeigt. Im Restverkehr sind vor allem die Personenwagen (59%), Motorräder (23%) und die Lieferwagen (13%) relevant. Die Lärmkosten der schweren Nutzfahrzeuge können zu 63% den Lastwagen und zu 37% den Sattelschleppern zugeordnet werden.

**Abbildung 8-7: Aufteilung des Lärms auf die Fahrzeugkategorien: Akustische Gewichtung der Fahrleistungen innerhalb des Restverkehrs bzw. innerhalb der schweren Nutzfahrzeuge**

	PW	GW	MR	Mofa	Velo	fäG	Fuss	Bus	Trolley	Tram	Li	Total
Anteil	59.0%	1.6%	22.9%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	3.2%	0.0%	0.1%	13.1%	100.0%

PW = Personenwagen, GW = Gesellschaftswagen, MR = Motorrad, fäG = fahrzeugähnliches Gerät, Fuss = Fussverkehr, Li = Lieferwagen

	Lastwagen	Sattelschlepper	Total
Anteil	62.9%	37.1%	100.0%

## Belästigungen

Die Belästigungen werden häufig aufgeteilt in Schlafstörungen und Belästigungen im engeren Sinne (Störungen von Aktivitäten und der Kommunikation). Zudem schlagen die EU und die WHO vor, für die Belästigung im engeren Sinne den LDEN zu verwenden und für die Schlafstörungen vom Nachtlärm auszugehen.<sup>228, 229</sup> Zudem ist aus einer WHO-Studie für diese beiden Lärmauswirkungen bekannt, welchen Beitrag sie einzeln zur Gesamtwirkung aus Belästigungs- und Schlafstörung – gemessen in DALY (disability adjusted life years) –

<sup>226</sup> Bisher wurde die Aufteilung mit Normemissionen und Fahrleistungen auch für die Aufteilung auf SNF und Restverkehr verwendet.

<sup>227</sup> Ecoplan, Infrac (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz, S. 123. Quellen: Fzkm gemäss offiziellen Daten des BFS. Gemäss Nachfrage bei Planteam GHS AG können dieselben Normemissionen wie bisher weiterhin verwendet werden (Mail vom 25.3.13).

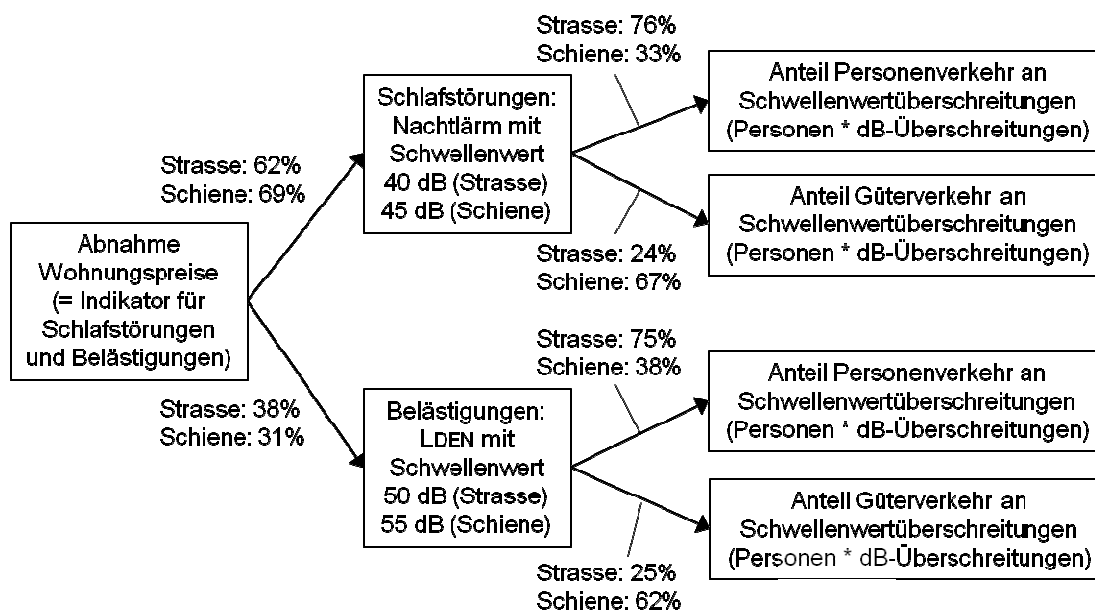
<sup>228</sup> WHO (2011), Burden of disease from environmental noise, S. 5 bzw. Directive 2002/49/EC.

<sup>229</sup> Das analoge Vorgehen wie bei den Gesundheitskosten (Berechnung des ZKB-Lärmmasses nur für den Personen- bzw. nur für den Güterverkehr ist hier nicht möglich: Die ZKB hat in ihrer Studie für die Spezifikation ihrer Schätzungen verschiedenste Lärmmasse untersucht (Taglärm mit verschiedenen Schwellenwerten, Nachtlärm mit verschiedenen Schwellenwerten, Kombinationen von Tag- und Nachtlärm mit verschiedenen Schwellenwerten usw.). Das schliesslich gewählte ZKB-Lärmmass weist den besten statistischen Zusammenhang mit den Wohnungspreisen auf. Andere von der ZKB geprüfte Lärmmasse mit praktisch gleich hoher Erklärungskraft gewichten den Tag- und Nachtlärm aber deutlich anders und würden damit zu einer deutlich anderen Aufteilung zwischen Personen- und Güterverkehr führen. Somit ist das ZKB-Lärmmass dazu geeignet, die Reduktion der Wohnungspreise zu bestimmen, aber nicht verwendbar für die Aufteilung der Lärmkosten auf den Tag- und Nachtlärm bzw. auf den Personen- und Güterverkehr.

beitragen: In der Schweiz sind auf Schlafstörungen im Strassenverkehr insgesamt 62% der verlorenen DALY zurückzuführen.<sup>230</sup>

Mit Hilfe dieser Grundlagen lässt sich die Aufteilung auf den Personen- und Güterverkehr unter Verwendung der SonBase Lärmdaten wie folgt vornehmen (vgl. folgende Abbildung):

**Abbildung 8-8: Vorgehen für die Aufteilung der Abnahme der Wohnungspreise auf den Personen- und Güterverkehr (mi Strassen- und Schienenverkehr)**



- Für die **Schlafstörungen** wird ausgehend vom **Nachtlärm** das Ausmass der Schwellenwertüberschreitungen (in der Einheit Personen \* Dezibel über Schwellenwert) bestimmt, die je durch den Personen- bzw. Güterverkehr verursacht werden. Als Schwellenwert wird hierzu von 40 dB im Strassenverkehr (analog dem ZKB-Lärmass) ausgegangen.<sup>231</sup> Die Auswertung von SonBase ergibt, dass im Strassenverkehr 76% der Schwellenwertüberschreitungen vom Personenverkehr stammen und 24% vom Güterverkehr.<sup>232</sup>

<sup>230</sup> Diese Prozentzahlen basieren auf Ecoplan (2013, Auswirkungen des Verkehrslärms auf die Gesundheit. Berechnung von DALY für die Schweiz). Die entsprechenden Ergebnisse für die Lärmdaten 2000 haben wir für die vorliegende Abschätzung mit den neusten Lärmdaten 2010 aktualisiert. Die Prozentzahlen spielen für das Endergebnis kaum eine Rolle, insbesondere im Strassenverkehr.

<sup>231</sup> Im Schienenverkehr wird ein Schwellenwert von 45 dB verwendet. Grund für die unterschiedlichen Schwellenwerte im Strassen- und Schienenverkehr ist der Schienenbonus: In den Berechnungen zur Reduktion der Wohnungspreise wird der Schienenbonus berücksichtigt, in den Lärmdaten zu den Personen hingegen nicht (vgl. Kapitel 8.3.1a). Deshalb muss im Schienenverkehr noch der Schienenbonus von 5 dB berücksichtigt werden.

<sup>232</sup> Streng genommen handelt es sich im Strassenverkehr nicht um die Aufteilung zwischen Güter- und Personenverkehr sondern zwischen schweren Nutzfahrzeugen und Restverkehr, wobei Lieferwagen zum Restverkehr gehören.

- Für die **Belästigungen** (im engeren Sinn) kommt grundsätzlich das gleiche Verfahren zur Aufteilung auf den Personen- und Güterverkehr zur Anwendung. Ausgangspunkt ist jedoch nicht der Nachtlärm, sondern der **LDEN**. Als Schwellenwerte wird 50 dB bei der Strasse<sup>233</sup> zugrunde gelegt. Die entsprechenden Berechnungen ergeben, dass im Strassenverkehr 75.2% der Überschreitungen durch den Personenverkehr verursacht werden und 24.8% durch den Güterverkehr.

Die so vorgenommene Aufschlüsselung für Schlafstörung und Belästigung lässt sich in einem abschliessenden Berechnungsschritt zusammenfassen, indem die Ergebnisse für Schlafstörungen und Belästigungen mit dem entsprechenden Anteil an der gesamten Reduktion der Wohnungspreise gewichtet werden: Der Personenverkehr auf der Strasse ist für 76% der Reduktion der Wohnungspreise verantwortlich, 24% entfallen auf den Güterverkehr.

Die Feinverteilung auf die einzelnen Fahrzeugkategorien erfolgt genau gleich wie bei den Gesundheitskosten oben (vgl. Abbildung 8-7).

### c) Schienenverkehr

#### Wohnungen

Die Ergebnisse aus SonBase zur Lärmbelastung (gemäss ZKB-Lärmass) durch den Schienenverkehr wurden bereits in Abbildung 8-5 dargestellt (Detailergebnisse finden sich in Anhang C). Wie im Strassenverkehr nimmt die Zahl der belasteten Wohnungen mit steigendem Lärmniveau ab. Die Zahl der belasteten Wohnungen ist jedoch etwa um den Faktor 6 tiefer als im Strassenverkehr. Insgesamt leiden gut 0.4 Mio. Wohnungen unter Lärmbelastungen über den Grenzwerten des ZKB-Lärmasses, während knapp 3.7 Mio. Wohnungen Lärmbelastungen unter 40 dB(A) Nachtlärm und 50 dB(A) Taglärm ausgesetzt sind.

#### Personen

Die Ergebnisse aus SonBase zur Lärmbelastung durch den Schienenverkehr (gemessen in **LDEN**) wurden bereits in Abbildung 8-6 dargestellt. Vom Bahnlärm sind deutlich weniger Personen betroffen als vom Strassenverkehr. Rund 1.5 Millionen Personen sind einem Bahnlärm von 48 dB(A) oder höher exponiert. Für Bahnlärm beträgt die bevölkerungsgewichtete mittlere Dezibelbelastung oberhalb von 48 dB(A) 1.89 dB(A).

#### Aufteilung auf den Personen- und Güterverkehr

Wie im Strassenverkehr werden auch für den Schienenverkehr in SonBase detaillierte Berechnungen für den Personen- und Güterverkehr durchgeführt (vgl. Abbildung 8-8). Dies

---

<sup>233</sup> Die beiden ZKB-Schwellenwerte entsprechen beide 50 dB **LDEN** (Taglärm ab 50 dB und Nachtlärm ab 40 dB, wobei Nachtlärm in **LDEN** mit 10 dB bestraft wird: 40 + 10 = 50 dB). Im Schienenverkehr wird als Schwellenwert 55 dB (inkl. Lärmbonus) verwendet.

erlaubt es, den Anteil des Personen- bzw. Güterverkehrs approximativ zu bestimmen. Es zeigt sich, dass 34% der Lärmkosten durch Belästigungen (inkl. Schlafstörungen) durch den Personenverkehr ausgelöst werden (und damit 66% durch den Güterverkehr).

Dieses Ergebnis mag in Anbetracht der Tatsache, dass 87% der Zugkm im Personenverkehr anfallen, überraschen: Obwohl der Güterverkehr beinahe 7-mal tiefere Zugkm hat, sind seine Lärmkosten knapp doppelt so hoch (= 66% / 34%). Im Folgenden wird erläutert, warum die Lärmkosten pro Zugkm im Güterverkehr so viel höher sind als im Personenverkehr. Dazu wurden die Emissionen des Schienenverkehrs in SonBase genauer ausgewertet (vgl. folgende Abbildung): Im Bahnverkehr ist in der Nacht der Güterverkehr ganz klar die dominante Lärmquelle (69.2 dB versus 60.4 dB im Personenverkehr, was im Total 69.8 dB ergibt). Grund dafür ist, dass der Güterverkehr aufgrund der verfügbaren Trassenkapazitäten vielfach in den Nachtstunden verkehrt, während denen es praktisch keinen Personenverkehr gibt (abgesehen von einigen Nachtzügen). Dies erklärt die hohen Lärmkosten des Schienengüterverkehrs, da bei den Belästigungen und Schlafstörungen 69% der Kosten über den Nachtlärm verteilt werden (vgl. Abbildung 8-8).

**Abbildung 8-9: Energetisch gemittelte durchschnittliche Lärmemissionen auf dem Schweizer Gleisnetz**

<b>Bahnemission [dB]</b>	<b>Taglärm</b>	<b>Nachtlärm</b>
Güterverkehr	70.8	69.2
Personenverkehr	69.3	60.4
Total	73.1	69.8

In den bisherigen Berechnungen sind wir von einem Lärmkostenanteil des Güterverkehrs von 28% ausgegangen (anstatt neu 66%).<sup>234</sup> Gründe für die deutlichen Unterschiede sind die Folgenden:

- Bisher wurde für die Bewertung von Belästigungen (inkl. Schlafstörungen) nur der Taglärm berücksichtigt, neu werden 69% über den Nachtlärm bewertet und 31% über den LDEN.
- Die bisherigen Berechnungen beruhen auf 6 Mess-Standorten in der Schweiz, die neuen Berechnungen auf einer flächendeckenden Berechnung für die gesamte Schweiz. Letzteres ist natürlich viel genauer.

Die neuen Ergebnisse basieren damit auf wesentlich besseren Datengrundlagen und insbesondere darauf, dass neu der Nachtlärm mitberücksichtigt wird, der im Güterverkehr sehr bedeutend ist. Grundlage dafür ist, dass sich Personen vom Nachtlärm deutlich stärker ge-

<sup>234</sup> Ecoplan, Infrac (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz, S. 126.



stört fühlen als vom Taglärm. Entsprechend fällt der Anteil des Güterverkehrs nun auch wesentlich höher aus.

Bei den Gesundheitseffekten ist die Verteilung etwas ausgeglichener: Die Auswirkungen auf Mortalität und Morbidität sind zu 41% auf den Personenverkehr und zu 59% auf den Güterverkehr zurückzuführen.<sup>235</sup>

#### d) Luftverkehr

Im Luftverkehr stammen die Daten der Landesflughäfen Zürich und Genf direkt von den Flughafenbetreibern, welche die flughafenspezifische Lärmmodelle jährlich auswerten lassen. Die Daten für Basel und die Regionalflughäfen stammen hingegen ebenfalls aus Son-Base und stellen keinen aktuellen Zustand dar, sondern entsprechen in den meisten Fällen einer Prognose, was eher zu einer Überschätzung der Lärmkosten im Vergleich zur aktuellen Belastung führt. Es handelt sich jedoch um die besten verfügbaren Daten. Die Lärmbelastungen wurden bereits im Projekt zum Luftverkehr erhoben (für Details siehe Infrac, Ecoplan 2012, S. 131-135). Zwei Anpassungen wurden vorgenommen:

- Wie in Kapitel 2.5.2 erläutert werden Flugfelder nicht mehr berücksichtigt.
- Die Hochrechnung der Anzahl Wohnungen bzw. der Anzahl Personen auf 2010 konnte in der Studie Infrac, Ecoplan (2012) noch nicht mit den tatsächlichen Daten 2010 durchgeführt werden, da diese damals noch nicht publiziert waren.

Die Ergebnisse werden in den folgenden beiden Abbildungen präsentiert. Es ist darauf hinzuweisen, dass im Luftverkehr für die Bewertung der Belästigungen nicht das ZKB-Lärmass verwendet wird, sondern der Taglärm ab 50 dB(A) (vgl. Kapitel 8.4.1a). Die Daten der Landesflughäfen Zürich und Genf liegen nach 1 dB(A)-Klassen vor, die Daten für Basel und die Regionalflugplätze hingegen nur nach 5 dB(A)-Klassen. In den Berechnungen werden die detaillierten Daten verwendet, hier werden jedoch der Übersichtlichkeit halber nur die Daten nach 5 dB(A)-Klassen gezeigt. Gesamthaft sind gut 200'000 Wohnungen mit einem Lärmniveau über 50 dB(A) Taglärm belastet. Dies sind ziemlich genau halb so viele Wohnungen wie im Schienenverkehr. 73% dieser Wohnungen werden von den drei Landesflughäfen belärmt, 26% von der Regionalflugplätzen, wobei die Belastung bei den Landesflughäfen durchschnittlich höher ist als bei den Regionalflugplätzen.

Aufgrund des Nachtflugverbots in der Schweiz sind  $L_{day}$  und  $L_{DEN}$  praktisch identisch.<sup>236</sup> Aus diesem Grund wurde der  $L_{day}$  als (gute) Approximation für den  $L_{DEN}$  verwendet.<sup>237</sup> Da für die Auswirkungen auf Morbidität und Mortalität eine Exposition ab 48 dB(A) relevant ist und diese

---

<sup>235</sup> Der Unterschied ist auf das unterschiedliche Lärmass und die unterschiedlichen Schwellenwerte zurückzuführen: Bei der Reduktion der Wohnungspreise wird zu 69% der Nachtlärm ab 45 dB verwendet bzw. zu 31% der  $L_{DEN}$  ab 55 dB, bei den Gesundheitseffekten hingegen der  $L_{DEN}$  ab 48 dB(A).

<sup>236</sup> Ecoplan (2013), Auswirkungen des Verkehrslärms auf die Gesundheit S. 20: Auswertung für 2000.

<sup>237</sup> Die bisher benötigten, aber umstrittenen Daten zum Nachtlärm im Luftverkehr werden deshalb nicht mehr benötigt (vgl. Infrac, Ecoplan 2012, Integration des Luftverkehrs in die Transportrechnung, S. 131-133).

Daten nicht zur Verfügung stehen, werden die Anzahl Personen in den Dezibelklassen 48-49 bzw. 49-50 anhand der Expositionsverteilung zwischen 50 und 65 dB(A) mittels einer linearen Regression abgeschätzt. Rund 581'000 Personen sind in der Schweiz einer  $L_{DEN}$  Belastung von mindestens 48 dB(A) durch Fluglärm ausgesetzt (siehe Abbildung 8-10). Durchschnittlich sind die betroffenen Personen einem Lärmniveau von 4.93 dB(A) über dem Schwellenwert von 48 dB(A) ausgesetzt. Umgerechnet auf die gesamte Schweizer Bevölkerung ergibt sich eine bevölkerungsgewichtete mittlere Dezibelbelastung oberhalb von 48 dB(A) von 0.37 dB(A).

Abbildung 8-10: Lärmbelastung durch den Luftverkehr

#### WOHNUNGEN TAGLÄRM

Lärmklasse in dB(A)	Landesflughäfen	Regionalflugplätze	Total
50.0 - 54.9	92'525	44'625	137'150
55.0 - 59.9	41'563	9'378	50'941
60.0 - 64.9	12'150	1'162	13'312
65.0 - 69.9	1'443	168	1'611
70.0 - 74.9	-	-	-
<b>Total &gt;50 dB</b>	<b>147'679</b>	<b>55'334</b>	<b>203'013</b>

#### PERSONEN $L_{DEN}$

Lärmklasse in dB(A)	Landesflughäfen	Regionalflugplätze	Total
48.0 - 49.9	108'176	42'174	150'350
50.0 - 54.9	204'342	79'770	284'112
55.0 - 59.9	93'881	18'366	112'248
60.0 - 64.9	28'434	2'774	31'209
65.0 - 69.9	3'025	362	3'386
70.0 - 74.9	-	-	-
<b>Total &gt;48 dB</b>	<b>437'859</b>	<b>143'446</b>	<b>581'305</b>

Die Differenzierung der Lärmkosten nach Verkehrsart (Linien- und Charterverkehr interkontinental, Linien- und Charterverkehr europäisch, General Aviation) wurde in Infrac, Ecoplan (2012, S. 143-144) hergeleitet: Approximativ wird die Verteilung der Schallenergie (energetische Anteile) verwendet (vgl. Abbildung 8-12). Dazu erstellte das BAZL spezifische Berechnungen.

Die Aufteilung der Ergebnisse nach dem Personen- und Güterverkehr erfolgt beim Lärm genau gleich wie bei der Luftbelastung (vgl. Kapitel 3.3.1):<sup>238</sup> Der Linien- und Charterverkehr wird wiederum nach dem transportierten Gewicht aufgeteilt (90.8% Personenverkehr, 9.2% Güterverkehr). Dies macht auch im Lärmbereich Sinn, denn die lärmabhängigen Landgebühren hängen teilweise vom Gewicht ab. Bei der General Aviation wird wiederum angenommen, dass der Güterverkehr keine Kosten verursacht.

<sup>238</sup> Siehe auch Infrac, Ecoplan (2012), Integration des Luftverkehrs in die Transportrechnung, S. 145.

Abbildung 8-11: Lärmbelastung durch den Luftverkehr

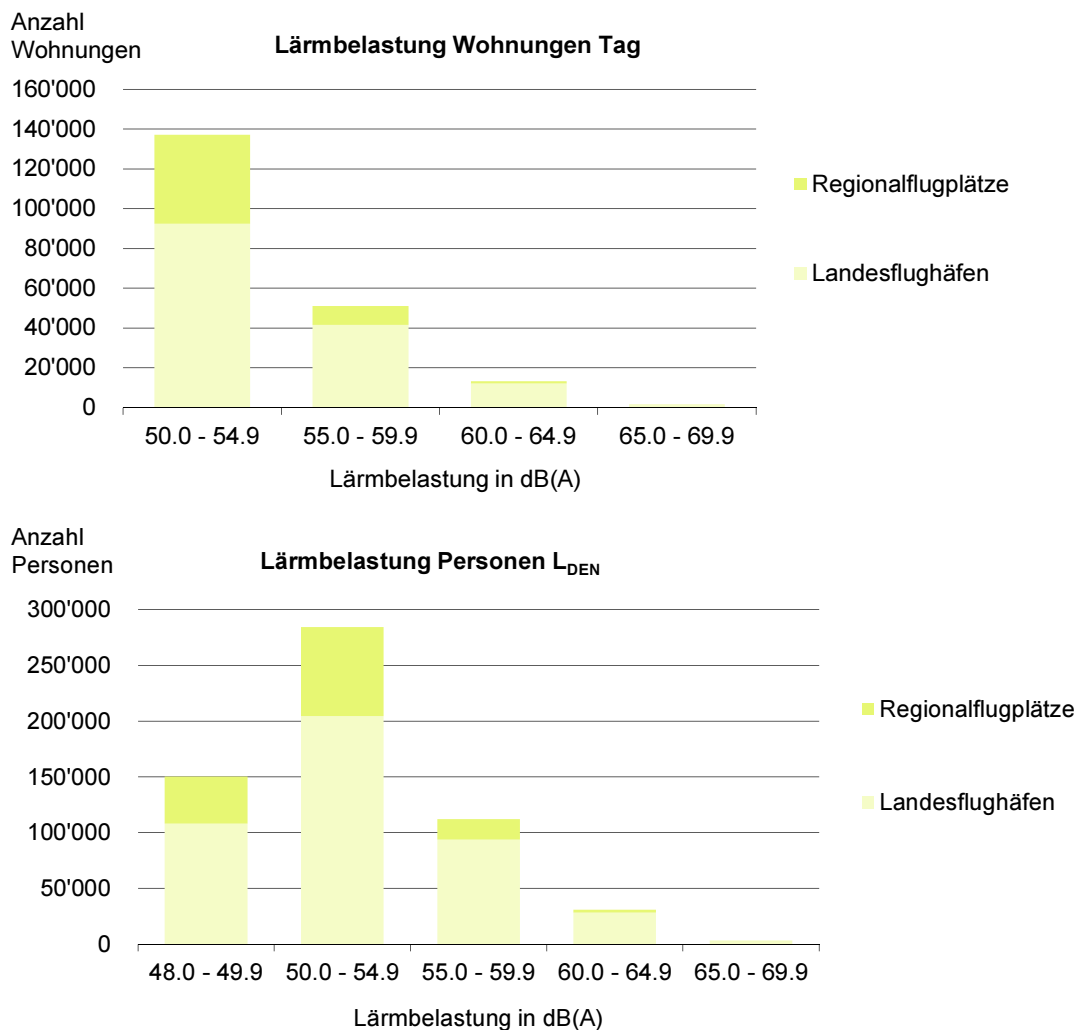


Abbildung 8-12: Aufteilung auf die Verkehrsart: Verteilung der Schallenergie am Tag

	Landesflughäfen	Regionalflugplätze
Linien- und Charterverkehr interkontinental	17%	
Linien- und Charterverkehr europäisch	72%	6%
General Aviation	11%	94%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Die leichten Abweichungen bei den Landesflughäfen gegenüber Tabelle 52 in Infrac, Ecoplan (2012, S. 144) sind auf die Gewichtung der Ergebnisse der einzelnen Landesflughäfen mit den Lärmkosten pro Landesflughafen zurückzuführen.

### e) Unsicherheit der Lärmberechnungen

Die Lärmberechnungen sind mit Unsicherheiten belastet. Diese Unsicherheiten beziehen sich auf die Modellierung der Emissionen und auf die Abschätzung der Lärmausbreitung.<sup>239</sup> Plan-Team hat hierzu spezifische Abschätzungen mit folgendem Ergebnis zur Bandbreite der Unsicherheiten (95%-Konfidenzintervall) vorgenommen:

- Strassenverkehrsemissionen:  $\pm 1.6$  dB(A)
- Ausbreitung des Strassenverkehrslärms:  $\pm 3.5$  dB(A)
- Schienenverkehrsemissionen:  $\pm 0.8$  dB(A)
- Ausbreitung des Schienenverkehrslärms:  $\pm 2.9$  dB(A).

Gesamthaft ergibt sich daraus ein Schwankungsbreite (95%-Konfidenzintervall) von

- $\pm 4.2$  dB(A) im Strassenverkehr,
- $\pm 3.0$  dB(A) im Schienenverkehr und
- $\pm 0.5$  dB(A) im Luftverkehr.

Diese Schwankungsbreiten werden im Rahmen der Sensitivitätsanalyse (vgl. Kapitel 8.6) berücksichtigt. Die Schwankungsbreite für den Luftverkehr stammt dabei aus den Arbeiten zum Luftverkehr.<sup>240</sup>

Die Auswertungen werden getrennt für den Tag- und Nachtlärm durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Unsicherheiten zwischen Tag- und Nachtlärm nicht unterscheiden. Folglich können diese Unsicherheiten auch für das ZKB-Lärmass und den LDEN verwendet werden.

### 8.3.2 Gesundheitskosten

Die Berechnung der verlorenen Lebensjahre und der verlorenen Erwerbsjahre wird wie bei den Gesundheitskosten der Luftbelastung vollständig aktualisiert (vgl. Kapitel 3.3.2). Es werden nur die verlorenen Lebensjahre bei den über 30-Jährigen berücksichtigt. Für einen Zusammenhang zwischen der Lärmbelastung und Kindersterblichkeit gibt es keine Evidenz und sie wird entsprechend nicht berücksichtigt.

Analog zum Vorgehen im Bereich Luft wird für die Abschätzung der Gesundheitsauswirkungen die bevölkerungsgewichtete mittlere Lärmbelastung von den Modellierungen abgeleitet, wobei nur die Exposition oberhalb des Schwellenwertes berücksichtigt wird. Dabei wird die Anzahl exponierter Personen pro 1 dB-Expositionsklasse multipliziert mit der Differenz aus

---

<sup>239</sup> Weitere Unsicherheiten – wie z.B. die Verkehrsbelastung, Geschwindigkeiten, Steigungen, die Höhe von Lärmschutzwänden, die genaue Lage und Höhe der Gebäude – sind zwar für die Lärmschätzung für einzelne Häuser relevant, gleichen sich aber über die gesamte Schweiz aus und sind für die Genauigkeit der Summe der Lärmkosten in der Schweiz praktisch irrelevant.

<sup>240</sup> Infrac, Ecoplan (2012), Integration des Luftverkehrs in die Transportrechnung, S. 145-146. Es wird die Unsicherheit des Tageslärms übernommen, da LDEN über den Taglärm approximiert wird.

der Expositionshöhe der entsprechenden Expositionsklasse abzüglich des Schwellenwerts. Die erhaltene Grösse wird dann dividiert durch die Populationsgrösse. Damit erhält man die bevölkerungsgewichtete mittlere Dezibelbelastung oberhalb des Schwellenwertes.

### a) Expositions-Wirkungsbeziehungen

Für die Quantifizierung der lärmbedingten Gesundheitsauswirkungen wurden auf der Basis der neuesten verfügbaren wissenschaftlichen Literatur aktualisierte Expositions-Wirkungs-Beziehungen hergeleitet. Dabei wurde für ischämische Herzerkrankungen und Schlaganfälle eine systematische Literatursuche durchgeführt und die Expositions-Wirkungsbeziehung mittels Meta-Analyse bestimmt.

Es wurden sowohl Studien zu Morbidität (Inzidenz<sup>241</sup>) wie Mortalität berücksichtigt. Nicht berücksichtigt worden sind Studien zu Prävalenzen<sup>242</sup> von ischämischen Erkrankungen und Schlaganfällen, da diese für akute Erkrankungen nicht aussagekräftig sind. Berücksichtigte Studien mussten eine Expositions-Wirkungsbeziehung inkl. Konfidenzintervall (oder Standardfehler) für mindestens eine verkehrsbedingte Lärmbelastung (Strassen-, Schienen-, Luftverkehr) quantifiziert haben. Die Expositions-Wirkungsbeziehung musste für relevante Ko-Faktoren adjustiert worden sein. Die meisten neueren Studien haben die Lärmanalysen auch für Luftbelastung adjustiert und entsprechend wurde, wenn immer möglich, dieser Effektschätzer extrahiert. Die Extraktion der Effektschätzer aus den Studien erfolgte jeweils durch zwei voneinander unabhängig arbeitende Wissenschaftler und allfällige Diskrepanzen wurden im Konsensus gelöst. Falls in den Studien andere Lärmmasse als  $L_{DEN}$  benutzt wurden, wurden diese in  $L_{DEN}$  umgerechnet.<sup>243</sup> Die Originalstudien benutzten verschiedene Modelle für ihre Expositions-wirkungsbeziehung. Einige Studien quantifizieren den Risikoanstieg pro 10 dB Zunahme der Exposition (im Folgenden als lineare Expositions-Wirkungsbeziehung bezeichnet, obwohl leicht exponentiell), andere Studien führten kategoriale Analysen durch, d.h. die Gesundheitseffekte in verschiedenen Lärmexpositions-klassen (z.B. 55-59 dB, 60-64 dB) wurden mit einer nicht oder wenig exponierten Referenzpopulation verglichen. Der Schwellenwert für diese Unterscheidung ist in den verschiedenen Studien unterschiedlich gesetzt. Um eine gemeinsame Expositions-wirkungsbeziehung herzuleiten zu können, wurde deshalb für jede Studie die Zunahme des Risikos bei einer Expositionszunahme von 10 dB(A) berechnet. Diese lineare Expositions-Wirkungsbeziehung wurde für jede Studie mittels varianzgewichteter Methode der kleinsten Quadrate berechnet.<sup>244</sup> Die mittlere Expositions-

---

<sup>241</sup> Inzidenz: Häufigkeit von Neuerkrankungen in einer Population während einer bestimmten Zeitdauer (meistens pro 100'000 Personenjahre).

<sup>242</sup> Prävalenz: Häufigkeit einer Erkrankung in einer Population zu einem bestimmten Zeitpunkt.

<sup>243</sup> Die Umrechnung erfolgte anhand der folgenden Formeln:

- $L_{DEN}=L_{16h}+2\text{dB}$  (WHO 2011, Burden of Disease from Environmental Noise, S. 28)
- $L_{DEN}=L_{DN}+0.3\text{dB}$  (EEA 2010, Good practice guide on noise exposure and potential health effects)
- $L_{DEN}=L_{Aeq,24} + 1.5\text{dB}$  (California Department of Finance 1995, Stutter County General Plan)

<sup>244</sup> wls Funktion in der Statistiksoftware STATA.

Wirkungsbeziehung über alle Studien wurde mittels einer Meta-Analyse mit randomisierten Effekten bestimmt. Um den Schwellenwert zu bestimmen, ab welcher die lineare Expositionswirkungsbeziehung angewendet werden kann, wurde aus den studienspezifischen Schwellenwerten der mittlere Schwellenwert berechnet. Dabei wurde jede Studie mit der inversen Varianz ihres Effektschätzers gewichtet. Damit ergibt sich für alle kardiovaskulären Endpunkte einen Schwellenwert für Lärmwirkungen bei einer  $L_{DEN}$  von 48 dB(A).

Für Bluthochdruck bedingte Krankheiten wurde keine eigene Meta-Analyse durchgeführt, sondern es konnten zwei bestehende Meta-Analysen aus der Literatur verwendet werden.

Grundsätzlich wäre es wünschenswert, die Expositions-Wirkungs-Beziehung für Auswirkungen auf die Mortalität und Morbidität separat herzuleiten. Die Anzahl verfügbarer Studien ist dafür jedoch zu gering, so dass im Folgenden je Krankheitsbild jeweils derselbe Schätzer verwendet wird.<sup>245</sup>

Zudem werden für alle Verkehrsträger die gleichen Expositions-Wirkungs-Beziehungen verwendet, da sonst die Datenlage für einzelne Verkehrsmittel (insbesondere Bahnlärm) zu dünn geworden wäre, um robuste Beziehungen aus wissenschaftlichen Studien ableiten zu können. Es wird aber in der Lärmforschung vermutet, dass nicht nur der Schallpegel relevant ist, sondern auch die Lärmcharakteristik und die Tageszeit der Belärmung. Insbesondere Expositionen in der Nacht haben vermutlich stärkere gesundheitliche Auswirkungen als Tageslärm. Aus diesem Grund beruht die Abschätzung auf dem Lärmindikator  $L_{DEN}$ , bei dem nächtlicher Lärm stärker gewichtet wird. Darüber hinausgehende Unsicherheiten lassen sich aber beim heutigen Kenntnisstand nicht quantifizieren. Eine zusätzliche Unsicherheit betrifft die Übertragbarkeit der Situation von ausländischen Studien / Kontexten auf die Schweiz.

### **Ischämische Herzerkrankungen**

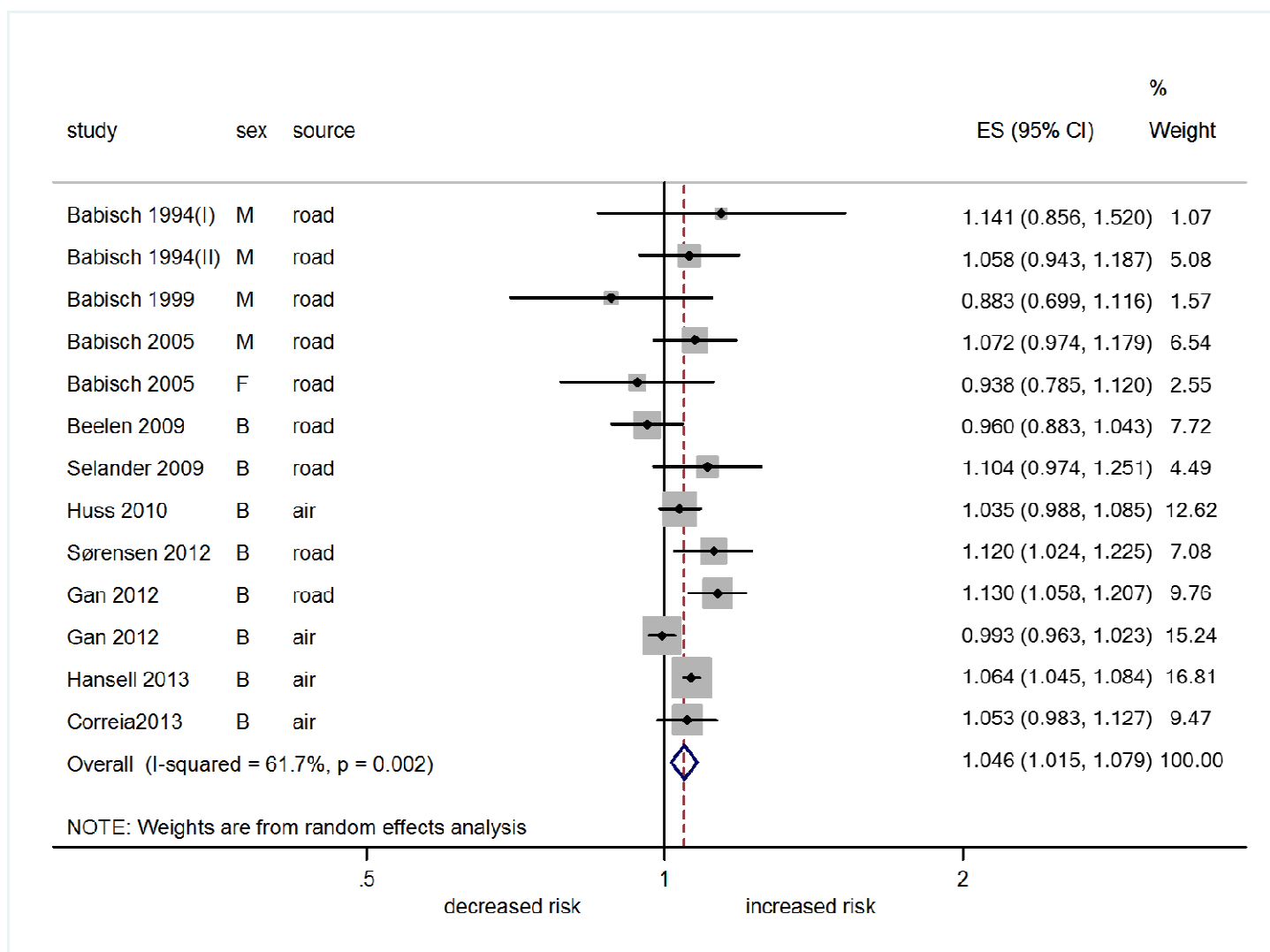
In der Meta-Analyse zu ischämischen Herzerkrankungen wurden Studien berücksichtigt, die Auswirkungen des Lärms auf ischämische Herzerkrankungen oder Herzinfarkt untersucht haben (kodiert als I20-I25 in ICD-10). Insgesamt wurden elf Studien identifiziert (Referenzen siehe Abbildung 8-13), die acht Expositions-Wirkungsbeziehungen für Strassenlärm und vier Expositions-Wirkungsbeziehungen für Fluglärm publiziert haben (eine Studien hat Strassen- und Fluglärm untersucht und eine Studie hat separate Risiken für Männer und Frauen publiziert). Bisher gibt es keine Studie zu den Auswirkungen von Bahnlärm auf ischämische Herzerkrankungen. Da die Anzahl Studien pro Verkehrsträger zu gering ist, um robust verkehrsmittelspezifische Expositionswirkungsbeziehungen herzuleiten, wurde eine einzige Expositions-Wirkungsbeziehung hergeleitet, die auf alle Verkehrsträger angewendet wird.

---

<sup>245</sup> Im Vergleich zur bisherigen Berechnung der externen Lärmkosten für 2005 werden teilstationäre Hospitalisationen, ambulante Behandlungen von Herzinfarkt und Tagesdosen von Bluthochdruckmedikamente nicht mehr berücksichtigt, da all diese Auswirkungen in der Berechnung für 2005 praktisch keine Kosten verursachten (je unter 50'000 CHF).

In Abbildung 8-13 ist ein Überblick über alle Studien zu Verkehrslärm und ischämischen Erkrankungen gegeben. Die Meta-Analyse ergibt, dass das Risiko eine ischämische Herzerkrankung zu erleiden um 4.6% (95%-Konfidenzintervall: 1.5% bis 7.9%) pro 10 dB(A) Verkehrslärm ansteigt (relatives Risiko RR=1.046, 95%-Konfidenzintervall: 1.015-1.079).

**Abbildung 8-13: Meta-Analyse der Studien zu Verkehrslärm und ischämischen Erkrankungen**

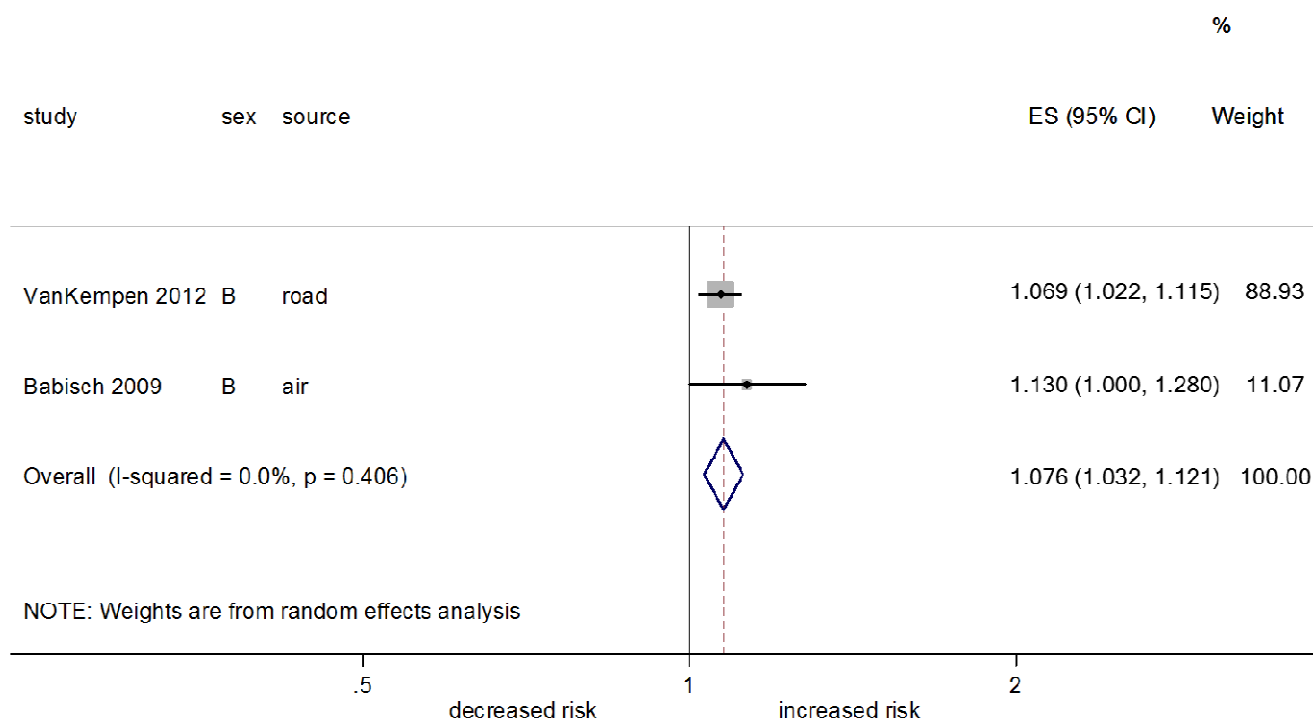


Ausgewiesen werden die verwendete Literatur, das Geschlecht der Studienpopulation (M=Männer, F=Frauen, B=beide) und der Verkehrsträger. Die letzte Spalte zeigt, das Gewicht der Studie bei der Mittelung (proportional zur inversen Varianz des Effektschätzers (ES)). Auf der vertikalen Achse sind die berücksichtigten Studien angeordnet, zuunterst der mittlere Effektschätzer aller Studien zusammen ("Overall"). Das Zentrum der Quadrate markiert den Effektschätzer der jeweiligen Studie, die horizontale Linie das Vertrauensintervall. Der mittlere Effektschätzer wird durch das Zentrum der Raute dargestellt, die Ecken der Raute bezeichnen sein Vertrauensintervall. Die Größe der Quadrate ist proportional zur Gewichtung der einzelnen Studie bei der Mittelwertbildung. Die Quellen sind im Literaturverzeichnis enthalten.

### Bluthochdruck-bedingte Krankheiten

Die mittlere Expositions-Wirkungsbeziehung für Bluthochdruck-bedingte Erkrankungen wurde von zwei neuen Meta-Analysen hergeleitet. Babisch und Van Kamp (2009) schlossen in ihre Meta-Analyse zehn Studien zu Bluthochdruck und Fluglärm ein. Die zweite Meta-Analyse von Van Kempen und Babisch (2012) beruht auf 45 Effektschätzer von 24 Studien zum Zusammenhang zwischen Bluthochdruck und Strassenlärmbelastung. In Abbildung 8-14 ist ein Überblick über dieser beiden Meta-Analysen und die daraus hergeleitete mittlere Expositions-Wirkungsbeziehung dargestellt. Es zeigt sich, dass das Risiko für Bluthochdruck um 7.6% (95%-Konfidenzintervall 3.2% bis 12.1%) pro 10 dB(A) Verkehrslärm ansteigt. Dieser Wert wird für alle Verkehrsträger verwendet.

**Abbildung 8-14: Meta-Analyse der Studien zu Verkehrslärm und Bluthochdruck (Lesehilfe siehe Abbildung 8-13)**



### Schlaganfälle

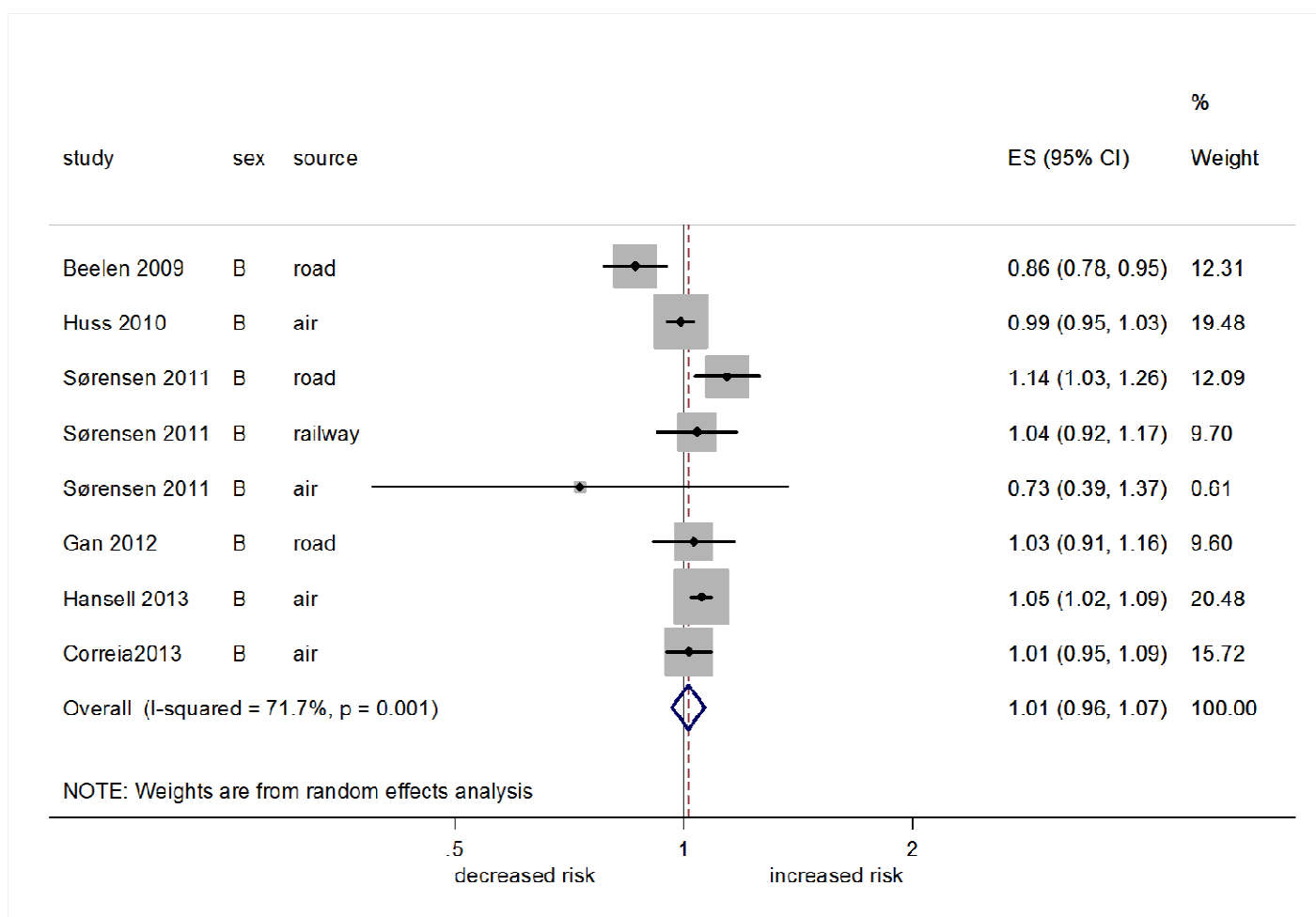
In diese Meta-Analyse wurden Studien miteinbezogen, die Auswirkungen des Lärms auf Schlaganfälle untersucht haben (kodiert als I60-I64 in ICD-10). Insgesamt wurden 6 Studien identifiziert (Referenzen siehe Abbildung 8-15), die drei Expositions-Wirkungsbeziehungen für Strassenlärm, vier Expositions-Wirkungsbeziehungen für Fluglärm und eine Expositions-Wirkungsbeziehungen für Bahnlärm publiziert haben (eine Studien hat alle drei Verkehrsträ-



ge untersucht). Wiederum wurde eine Expositions-Wirkungsbeziehung für alle drei Verkehrsmittel hergeleitet.

In Abbildung 8-15 ist ein Überblick über alle Studien zu Verkehrslärm und Schlaganfällen gegeben. Die Meta-Analyse ergibt, dass das Risiko für einen Schlaganfall um 1.4% (95%-Konfidenzintervall -3.6% bis 6.6%) pro 10 dB(A) Verkehrslärm ansteigt. Für die Berechnung der attributablen Spitaltage und der verlorenen Lebensjahre ist das untere Vertrauensintervall bei 0 zensiert, weil eine Abnahme der Schlaganfälle durch Lärm unplausibel ist.

**Abbildung 8-15: Meta-Analyse der Studien zu Verkehrslärm und Schlaganfällen (Lesehilfe siehe Abbildung 8-13)**



Obwohl der Effektschätzer statistisch nicht signifikant ist, wird die relative geringe Risikozunahme für Schlaganfälle quantifiziert, weil eine grosse biologisch Plausibilität für entsprechende Lärmwirkungen besteht. Bluthochdruck ist ein wichtiger Risikofaktor für Schlaganfälle und entsprechende Lärmwirkungen sind klar nachgewiesen worden. Zudem wurde in zwei qualitativ sehr guten Studien, statistisch signifikante Zusammenhänge mit Strassen- und

Fluglärm beobachtet.<sup>246</sup> Auf der anderen Seite ist die holländische Studie,<sup>247</sup> die eine Abnahme der Hirnschläge mit zunehmender Lärmbelastung fand, qualitativ am wenigsten aussagekräftig, da die Lärmeffektschätzer zusätzlich für Strassennähe adjustiert wurden, was mit grosser Wahrscheinlichkeit eine Verdünnung des Lärmeffekts bewirkte. Zudem haben viele der eingeschlossenen Studien durchaus signifikante Effekte in den höchsten Expositionsklassen beobachtet, die bei der Linearisierung teilweise nicht-signifikant wurden. Schliesslich machen die Schlaganfälle lediglich 7% der neu berechneten Gesundheitskosten aus.

## **b) Krankheitshäufigkeiten**

Die beobachteten Krankheitshäufigkeiten fliessen in die Berechnungen der Gesundheitsauswirkungen ein. Für die verlorenen Lebensjahre wurde gleich wie bei den Gesundheitskosten der Luftverschmutzung (vgl. Kapitel 3) vorgegangen. Die Hospitalisationsdaten für ischämische Herzkrankheiten (ICD-10: I20-I25), für Bluthochdruck-bedingte Krankheiten (ICD 10: I10-I15) und für Schlaganfälle (ICD-10: I60-I64) stammen von der Spitalstatistik 2010 des Bundesamts für Statistik. Die Anzahl Spitaltage ergeben sich aus der Multiplikation der Anzahl Hospitalisationen pro Diagnosecode mit der mittleren Aufenthaltsdauer. Das sind 39'652 Spitalaufenthalte (283'443 Spitaltage) wegen ischämischen Herzerkrankungen, 5'865 Spitalaufenthalte (51'871 Spitaltage) wegen Bluthochdruck-bedingten Erkrankungen und 16'946 Spitalaufenthalte (300'472 Spitaltage) wegen Schlaganfällen.

Die ambulanten Bluthochdruck-bedingten Konsultationen stammen von der Gesundheitsbefragung 2007.<sup>248</sup> Dort geben 15% der befragten Erwachsenen an, zurzeit oder im letzten Jahr wegen Bluthochdruck in Behandlung zu sein oder gewesen zu sein. Die Multiplikation dieses Anteils mit der Anzahl Erwachsenen minus die Anzahl Hospitalisationen ergibt 990'440 ambulante Behandlungen.

## **c) Lärmbedingte Morbidität und Mortalität**

Verknüpft man Lärmexposition, beobachtete Erkrankungshäufigkeit und Expositions-Wirkungsbeziehung miteinander erhält man die Gesundheitsauswirkungen.

Abbildung 8-16 zeigt die Anzahl verlorene Lebensjahre durch die Verkehrslärmbelastung. Insgesamt ergeben sich rund 5'500 verlorene Lebensjahre (wie bei der Luftbelastung abdiskontiert, vgl. Fussnote 112). Der grösste Teil ist auf den Strassenverkehr zurückzuführen und betroffen sind insbesondere ischämische Herzerkrankungen. Berücksichtigt man nur die ver-

---

<sup>246</sup> Sorensen et al. (2011), Road traffic noise and stroke: a prospective cohort study und Hansell, et al (2013), Aircraft noise and cardiovascular disease near Heathrow airport in London: small area study. Bei der englischen Studie war das Risiko ab 63 dB Taglärm bzw. 55 dB Nachtlärm signifikant erhöht, jedoch nicht der hergeleitete lineare Effektschätzer.

<sup>247</sup> Beelen et al. (2009), The joint association of air pollution and noise from road traffic with cardiovascular mortality in a cohort study.

<sup>248</sup> BFS (2007), Gesundheit und Gesundheitsverhalten in der Schweiz 2007, S. 13.

lorenen Erwerbsjahre, handelt es sich um 364 Jahre. Insgesamt sind es 47 Todesfälle von Erwerbstätigen.

**Abbildung 8-16: Abdiskontierte verlorene Lebensjahre für ischämische Herzerkrankungen, Bluthochdruck und Schlaganfälle**

Verlorene Lebensjahre	TOTAL	Strassenverkehr			Schienenverkehr			Luftverkehr Total
		Total	Schwere Nutzfahrzeug	Rest- verkehr	Total	Personen- verkehr	Güter- verkehr	
Ischämische Herzkrankheiten	3'804	3'024	808	2'216	653	267	386	126
Schlaganfälle	437	347	93	254	75	31	44	15
Bluthochdruck-bedingte Krankheiten	1'299	1'033	276	757	223	91	132	43
<b>Total</b>	<b>5'540</b>	<b>4'404</b>	<b>1'177</b>	<b>3'227</b>	<b>952</b>	<b>389</b>	<b>562</b>	<b>184</b>

Abbildung 8-17 gibt einen Überblick über die Anzahl berechneter lärmbedingter Krankheitsfälle für ischämische Herzkrankheiten, Bluthochdruck-bedingte Krankheiten und für Schlaganfälle. Insgesamt sind 2'650 Hospitalisationen bzw. 22'400 Spitaltage auf Lärm zurückzuführen. Der grösste Teil davon entfällt wiederum auf den Strassenlärm. Besonders betroffen sind ischämische Herzerkrankungen. Neben den stationären Behandlungen verursacht der Verkehrslärm rund 77'700 ambulante Behandlungen wegen Bluthochdruck-bedingten Krankheiten.

**Abbildung 8-17: Anzahl lärmbedingter Hospitalisationen und Spitaltage für ischämische Herzerkrankungen, Bluthochdruck und Schlaganfälle**

Krankheitsfälle	TOTAL	Strassenverkehr			Schienenverkehr			Luftverkehr Total
		Total	Schwere Nutzfahrzeug	Restverkehr	Total	Personen- verkehr	Güter- verkehr	
<b>Ischämische Herzkrankheiten</b>								
Hospitalisationen (stationär)	1'929	1'528	408	1'120	335	137	198	65
Anzahl Spitaltage (stationär)	13'789	10'926	2'920	8'006	2'397	981	1'416	466
<b>Bluthochdruck bedingte Krankheiten</b>								
Hospitalisationen (stationär)	460	364	97	267	81	33	48	16
Anzahl Spitaltage (stationär)	4'068	3'217	860	2'357	713	292	421	139
Ambulante Behandlungen (> 15-Jährige)	77'683	61'426	16'414	45'012	13'608	5'569	8'039	2'648
<b>Schlaganfall</b>								
Hospitalisationen (stationär)	258	205	55	150	44	18	26	9
Anzahl Spitaltage (stationär)	4'570	3'629	970	2'659	788	322	466	153
<b>Total Hospitalisationen</b>	<b>2'647</b>	<b>2'097</b>	<b>560</b>	<b>1'537</b>	<b>460</b>	<b>188</b>	<b>272</b>	<b>89</b>
<b>Total Spitaltage</b>	<b>22'427</b>	<b>17'772</b>	<b>4'749</b>	<b>13'023</b>	<b>3'898</b>	<b>1'595</b>	<b>2'303</b>	<b>757</b>
<b>Total ambul. Behandlungen</b>	<b>77'683</b>	<b>61'426</b>	<b>16'414</b>	<b>45'012</b>	<b>13'608</b>	<b>5'569</b>	<b>8'039</b>	<b>2'648</b>

## 8.4 Wertgerüst

### 8.4.1 Belästigungen

Wie in Kapitel 8.2.1 ausgeführt wird die lärmbedingte Abnahme der Wohnungspreise als Indikator für die monetäre Bewertung von Belästigungen (inkl. Schlafstörungen) durch Lärm verwendet. Hierzu wird einerseits die Höhe des Abschlags pro dB(A) ermittelt (vgl. Schritt 3 in Abbildung 8-3) und andererseits das durchschnittliche Mietzinsniveau (Schritt 2 in Abbildung 8-3). Auf diese beiden Punkte wird nachstehend eingegangen.<sup>249</sup>

#### a) Abnahme Wohnungspreise

##### Bisherige Studien für die Schweiz

In der folgenden Abbildung werden alle uns bekannten Studien zur lärmbedingten Abnahme der Wohnungspreise in der Schweiz aufgeführt.<sup>250</sup> Die Studien für Mietwohnungen kommen alle zu einem **Abschlag** zwischen 0.15% und 0.70% und liegen oft zwischen 0.15% und 0.3% pro dB(A). Bedeutsam ist aber nicht nur dieser prozentuale Abschlag, sondern auch der **Schwellenwert**, ab dem Mietzinsreduktionen betrachtet werden. Die meisten neueren Studien starten ab einem Schwellenwert von 50 dB(A) Tageslärm. Bei einem tieferen Schwellenwert ist mit einer geringeren Steigung der Kurve zu rechnen. So zeigen Banfi et al. (2007) dass der Schätzwert in Prozent pro dB(A) um den Faktor 1.2 bis 2 zunehmen kann, wenn der Schwellenwert um 5 dB(A) erhöht wird.

Interessant ist zudem, dass alle Ergebnisse, welche nicht Mietwohnungen betrachteten, sondern Eigentumswohnungen und Einfamilienhäuser, zu deutlich höheren Ergebnissen gelangen (vgl. Abbildung 8-18). Möglicherweise kann dies dadurch erklärt werden, dass die Lärmempfindlichkeit bei Eigentumswohnungen und Einfamilienhäusern durch die längere und intensivere Bindung sowie die höheren Ansprüche an das Wohnobjekt gegenüber Mietwohnungen zunimmt.<sup>251</sup> Deshalb wird für die Berechnungen für das Jahr 2010 erstmals zwischen Mietwohnungen und Eigentumswohnungen differenziert.

---

<sup>249</sup> Die gute Erreichbarkeit dank der Nähe zu Verkehrsinfrastrukturen (z.B. Autobahneinfahrten, Bahnhöfen und Flugplätzen) führt zu höheren Wohnungspreisen. Dieser Effekt ist unabhängig vom Verkehrslärm: Auch wenn der Verkehr keinen Lärm verursachen würde, so würden die Wohnungspreise dank der guten Erreichbarkeit steigen. Die Erreichbarkeit fliesst beim verwendeten hedonischen Mietzinsmodell in die Ermittlung des Mietzinses ein und muss bei der Bestimmung der Lärmkosten nicht weiter beachtet werden.

<sup>250</sup> In Abbildung 8-18 nicht berücksichtigt werden folgende Studien:

- Drei Studien basierend auf Daten von vor 1990, die alle relativ hohe Mietzinsausfälle zwischen 0.8% und 1.26% pro dB(A) ergaben (Ecoplan, Infrass 2008, Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz, S. 313).
- Die Studie ZKB (2011, Ruhe bitte!) wird nicht aufgeführt, weil dieselbe Schätzung in ZKB (2012) basierend auf einer grösseren Datenbasis (2002-2011 statt 2002-2009) aktualisiert wurde.
- In Wüest & Partner (2013) wurde im Gegensatz zu allen anderen Studien ein Schwellenwert von 0 dB(A) verwendet. Daraus resultierten sehr kleine Schätzwerte für die Mietzinsabnahme. Die Autoren empfehlen jedoch, nicht diese Ergebnisse zu verwenden, sondern diejenigen, die in Abbildung 8-18 enthalten sind.

<sup>251</sup> ZKB (2011), Ruhe bitte, S. 37 und ZKB (2010), Spezialgesetzliche Ausgleichsnorm für übermässige Lärmbelastung, S. 17. Eine andere Erklärung ist, dass sich in den Mietpreisen nicht die gesamten Kosten des Lärms reflek-

**Abbildung 8-18: Vergleich des Lärmeinflusses in verschiedenen Hedonic-Pricing-Studien für die Schweiz (Ergebnisse für Mietwohnungen grau hinterlegt)**

Autor	Ort	Anzahl Beobachtungen	Abnahme Wohnungspreis pro dB		Schwellenwert	
			Tageslärm	Nachtlärm	Tageslärm	Nachtlärm
Ecoplan 2001	Kanton Zürich 1995-99	380 Einfamilienhäuser / Eigentumswohnungen	Strasse: 0.66%		55 dB(A)	
Baranzini / Ramirez 2005	Kanton Genf	13'064 Mietwohnungen	0.28%		50 dB(A)	
	Agglomeration Genf	10'018 Mietwohnungen	0.20%		50 dB(A)	
	Land (Restkanton Genf)	3'073 Mietwohnungen	0.63%		50 dB(A)	
	Freier Markt	10'394 Mietwohnungen	0.15%		50 dB(A)	
	Staatlich subventioniert	2'640 Mietwohnungen	0.70%		50 dB(A)	
Baranzini et al. 2006	Kanton Genf	2794 Mietwohnungen	0.18% – 0.22%		50 / 55 dB(A)	
Baranzini / Schärer 2007	Kanton Genf	10'396 Mietwohnungen	Strasse: 0.20% – 0.23%		50 dB(A)	
Schaerer et al. 2008	Stadt Genf	3'327 Mietwohnungen	Strasse: 0.17% – 0.20%		50 dB(A)	
	Stadt Zürich	3'194 Mietwohnungen	Strasse: 0.37% – 0.38%		55 dB(A)	
Banfi et al. 2007	Stadt Zürich	6'204 Mietwohnungen	Strasse: 0.2%	0.31%	55 dB(A)	50 dB(A)
	Stadt Lugano	547 Mietwohnungen	Strasse: 0.5%	0.60%	55 dB(A)	50 dB(A)
ZKB (2005), MIFLU <sup>1</sup>	Flughafen Zürich	Eigentumswohnungen	Luftfahrt: 1.2%		50 dB(A)	
		Einfamilienhäuser	Luftfahrt: 0.87%		50 dB(A)	
Scognamiglio <sup>2</sup>	Schweiz	ca. 2'000 Transaktionen von Renditeliegenschaften	Luftfahrt: 1.2% Luftfahrt: 1.8%		45 dB (A) 50 dB (A)	
ZKB 2012	Schweiz	855'693 Mietwohnungen	Strasse: 0.21%	Schiene: 0.24%	50 dB(A), falls Nachtlärm < 40 dB	40 dB(A)
		83'856 Stockwerkeigentumswohnungen	Strasse: 0.59%	Schiene: 0.47%	50 dB(A), falls Nachtlärm < 40 dB	40 dB(A)
		850'000 Mietwohnungen	Strasse: 0.15%	Schiene: 0.15%	50 dB(A), falls Nachtlärm < 40 dB bzw. 45 dB(A) Luft	40 dB(A)
Wüest & Partner 2013 <sup>3</sup>	Schweiz	78'000 Stockwerkeigentumswohnungen	Strasse: 0.22%	Schiene: 0.35%	50 dB(A), falls Nachtlärm < 40 dB bzw. 45 dB(A) Luft	40 dB(A)
		67'000 Einfamilienhäuser	Strasse: 0.72%	Schiene: 0.71%	50 dB(A), falls Nachtlärm < 40 dB	40 dB(A)

<sup>1</sup> MIFLU = Minderwert Fluglärm, zitiert in SIV (2006), SIVinfos Nr. 21, S. 10, bzw. ZKB (2010), Ruhe Bitte, S. 37.

<sup>2</sup> Bundesverwaltungsgericht. Urteil vom 19. Januar 2011 (A 2684/2010). Unklar, ob die Koeffizienten für Tag- oder Nachtlärm gelten.

<sup>3</sup> Unveröffentlichte Resultate, die wir direkt von Wüest & Partner erhalten haben. Sie beruhen auf einer Weiterentwicklung des Modells in Wüest & Partner (2013, Mikrolage neu gesehen), insbesondere wurde neu das gleiche Lärmass wie in der ZKB-Studie (2012) verwendet.

Die in Abbildung 8-2 erläuterten Probleme mit der Zuverlässigkeit der Schätzung (insbesondere der Nachfrageüberhang nach Wohnungen, aber auch die zu wenig bewusste Lärmbelastung vor dem Einzug) könnten Grund dafür sein, dass die Schätzwerte in Abbildung 8-18 relativ tief ausfallen. Hinweise zum dämpfenden Effekt einer geringen Leerwohnungsziffer (Anteil der leerstehenden Wohnungen am gesamten Wohnungsbestand) lassen sich aus der Abbildung 8-19 gewinnen: Die Leerwohnungsziffer ist in den Städten Zürich und Genf sehr tief (0.03% bis 0.28%, Ausnahme Genf 2000 und 2001). Selbst in der Gesamtschweiz liegt die Leerwohnungsziffer zwischen 2002 und 2011 zwischen 0.90% und 1.07% und damit auf

tieren (beispielsweise Vernachlässigung von erhöhtem Leerstandsrisiko bei Lärm, erhöhtem Mieterwechsel und in der Folge höheren Unterhalts- / Reparaturaufwendungen usw. (vgl. hierzu FPRE 2013, Berechnungsmodell für die LAN). Diesem zweiten Erklärungsansatz wird im Sinne des at least Ansatz in den weiteren Berechnungen nicht Rechnung getragen.

einem tiefen Niveau. In Lugano, wo die Leerwohnungsziffer deutlich höher ist, haben Banfi et al. deutlich höhere Mietzinsausfälle geschätzt (vgl. Abbildung 8-18). Dies könnte darauf hindeuten, dass der **Nachfrageüberhang im Mietmarkt** dazu führt, dass die **wahren Präferenzen für Ruhe sich in den Schätzungen nur teilweise widerspiegeln**. Dagegen kann eingewendet werden, dass es in der Schweiz ausreichend viele Mieterwechsel gibt, um den Markt „spielen“ zu lassen, denn viele Mieterwechsel finden ohne Leerstand statt, was in der Leerwohnungsziffer nicht ersichtlich ist.<sup>252</sup> Ob der Nachfrageüberhang tatsächlich dazu führt, dass der Effekt des Lärms auf Mietwohnungen unterschätzt wird, muss an dieser Stelle offen bleiben.

**Abbildung 8-19: Leerwohnungsziffer in Prozent in drei Städten und der Schweiz**

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Durchschnitt
Zürich	0.19	0.07	0.04	0.07	0.15	0.08	0.13	0.09	0.03	0.05	0.07	0.06	<b>0.09</b>
Genf	1.00	0.45	0.28	0.19	0.13	0.20	0.13	0.19	0.19	0.21	0.25	0.27	<b>0.29</b>
Lugano	1.81	3.79	3.83	2.20	0.67	1.03	0.80	0.83	0.61	0.65	0.73	1.40	<b>1.53</b>
Schweiz	1.49	1.26	1.04	0.91	0.91	0.99	1.06	1.07	0.97	0.90	0.94	0.92	<b>1.04</b>

### Festlegung der Preisabnahme

Für die Berechnung der Preisreduktion wird von ZKB (2012) ausgegangen: Diese Studie basiert auf sehr umfassenden, schweizweiten Datengrundlagen (während sich die anderen Studien oft nur auf den Daten von Stadt oder Kanton Zürich bzw. Genf abstützen). Die Ergebnisse der ZKB beruhen auf Inseraten des Immobilienportals Homegate aus den Jahren 2002-2011: Beim Stockwerkeigentum sind es 83'856 Inserate und bei den Mietwohnungen 855'693 Inserate. Zudem erreicht die ZKB-Studie den höchsten Erklärungsgehalt: Das Mietmodell für den Strassenverkehr erzielt ein  $R^2$ <sup>253</sup> von 82% während die Studien von Baranzini, Schaerer und Banfi (vgl. Abbildung 8-18) ein  $R^2$  von 48% – 68% erreichen.<sup>254</sup> Das Stockwerkeigentummodell der ZKB (2012) erreicht ein  $R^2$  von 79%.<sup>255</sup>

Alternativ könnten die Ergebnisse von Wüest & Partner verwendet werden, trotzdem ziehen wir die Ergebnisse der ZKB für die weiteren Berechnungen aus folgenden Gründen vor: Erstens wurde die Studie der ZKB speziell für die Abschätzung des Lärmeffektes durchgeführt, bei den Ergebnissen von Wüest & Partner wurde demgegenüber der Lärmeinfluss nur als ein Faktor unter vielen Faktoren zur Mikrolage einer Wohnung betrachtet. Zweitens wurden die

<sup>252</sup> Mündliche Angabe von Wüest & Partner vom 9.7.2013.

<sup>253</sup>  $R^2$  ist ein Mass für den erklärten Anteil in der Varibilität einer abhängigen Variablen (hier Mietpreis) durch ein statistisches Modell.

<sup>254</sup> ZKB (2011), Ruhe bitte, S. 37. Mit den neueren Daten in ZKB (2012) erreicht das Mietmodell gar ein  $R^2$  von 83%. Das  $R^2$  der Ergebnisse von Wüest & Partner ist nicht bekannt.

<sup>255</sup> E-Mail des BAFU, des Auftraggebers der ZKB-Studie.

Ergebnisse von Wüest & Partner nicht publiziert. Die Studie von Wüest & Partner wird jedoch im Rahmen der Sensitivitätsanalyse (vgl. unten) berücksichtigt.

Wie bereits erwähnt kann mit Hilfe der ZKB-Studie die Belästigungswirkung von Strassen- und Schienenlärm erstmals differenziert erhoben werden. Tatsächlich sind selbst bei gleichem Lärmniveau Unterschiede zwischen Strassen- und Bahnlärm plausibel, da der Strassenlärm gleichmässig anfällt, demgegenüber der Bahnlärm durch Einzelereignisse mit ihrem rasch anschwellenden Lärmpegel charakterisiert ist. So betonen einige Autoren<sup>256</sup> die Rolle von Einzelereignissen und ihrer Maximalpegel für die Störwirkung (**Lärmdynamik**). Eine Betrachtung von Dosis-Wirkungs-Zusammenhängen auf den äquivalenten Dauerschallpegel allein (bzw.  $L_{den}$ ) erscheint nicht ausreichend. Allerdings gibt es bisher keine validierten Expositions-Wirkungs-Beziehungen, die sich auf andere Lärmmasse beziehen. Näherungsweise wird diesem Argument dadurch Rechnung getragen, dass die Abnahme der Wohnungspreise getrennt nach Verkehrsträger erfasst wird.<sup>257</sup>

Die ZKB hat in ihren Berechnungen verschiedene Lärmmasse und Schwellenwerte (z.B. nur Tageslärm über 50 oder 55 dB(A), nur Nachtlärm, oder Kombinationen von Tag- und Nachtlärm) getestet und dabei festgestellt, dass folgendes Lärmmass den höchsten Erklärungsgehalt aufweist (im Weiteren **ZKB-Lärmmass** genannt): Anzahl dB(A) über 40 dB(A) Nachtlärm bzw. falls der Nachtlärm unter 40 dB(A) liegt, Anzahl dB(A) über 50 dB(A) Tageslärm.<sup>258</sup> Mit diesem Lärmmass sind gleichzeitig auch die Schwellenwerte festgelegt, ab denen der Lärm berücksichtigt wird.<sup>259</sup>

Die für die Berechnungen vorgeschlagene Abnahme der Wohnungspreise wird in der folgenden Abbildung dargestellt. Im Strassen- und Schienenverkehr können die Werte direkt aus der ZKB-Studie (bzw. Abbildung 8-18) übernommen werden. Die ZKB-Studie gilt nur für Stockwerkeigentum, aber nicht für Einfamilienhäuser, Doppel-Einfamilienhäuser, Reihenhäuser etc. Für Einfamilienhäuser etc. erstellte die ZKB keine Schätzungen.

Im Luftverkehr ist der Kenntnisstand zur Lärmwirkung auf die Wohnungspreise in der Schweiz jedoch relativ schlecht: Die ZKB hat zwar 2005 in der MIFLU-Studie (Minderwert Fluglärm<sup>260</sup>) Ergebnisse für Stockwerkeigentum und Einfamilienhäuser bestimmt (vgl. Abbildung 8-20), doch liegen für die Schweiz keine Ergebnisse für den Mietmarkt vor.<sup>261</sup> Der

---

<sup>256</sup> Beispielsweise Ising und Kruppa (2004), Health Effects caused by Noise: Evidence in the Literature from the Past 25 Years und UBA Fluglärm (2004), Stellungnahme des Interdisziplinären Arbeitskreises für Lärmwirkungsfragen beim Umweltbundesamt.

<sup>257</sup> IER (2012), Sachstandspapier zu Lärm, S. 8.

<sup>258</sup> Dieses Lärmmass wurde von Wüest & Partner übernommen.

<sup>259</sup> Bisher wurde ein Schwellenwert von 55 dB(A) Tageslärm verwendet. Dieser beruhte auf den damals verfügbaren Studien und entspricht dem Planungswert für Wohnzonen in der Schweizer Lärmschutzverordnung.

<sup>260</sup> Unveröffentlicht, zitiert in SIV (2006), SIVinfos Nr. 21, S. 10.

<sup>261</sup> ZKB (2011, Ruhe bitte, S. 56) weist zwar Ergebnisse für den Mietmarkt aus, doch raten die Autoren dringend davon ab, dieses Ergebnis zu verwenden, da der Luftverkehr nicht der Fokus der Studie war und deshalb das Ergebnis für den Luftverkehr verzerrt und unbrauchbar sei.

Schätzer für den Mietmarkt wird deshalb wie folgt approximiert: Die Abbildung 8-20 zeigt, dass das Ergebnis für Eigentumswohnungen für den Luftverkehr doppelt so hoch ist wie der Durchschnitt aus Strassen- und Schienenverkehr. Deshalb wird auch im Mietmarkt unterstellt, dass die Abnahme der Wohnungspreise doppelt so hoch ist wie der Durchschnitt aus Strassen- und Schienenverkehr, was 0.45% pro dB(A) ergibt.<sup>262</sup> Verglichen mit internationalen Werten für den Luftverkehr, die zwischen 0.50% und 0.92% liegen,<sup>263</sup> kann der Schätzwert von 0.45% als vorsichtig bezeichnet werden. Zudem hat Sconamiglio für Renditeliegenschaften, die Mietwohnungen beinhalten,<sup>264</sup> für den Luftverkehr ein 4-mal höheres Ergebnis von 1.8% pro dB(A) ermittelt (vgl. Abbildung 8-18). Wüest & Partner finden zwar tiefere Schätzwerte, doch sind diese bereits ab einem Schwellenwert von 45 dB(A) (statt 50 dB(A)) anzusetzen. Aus den Ergebnissen von Wüest & Partner resultieren somit leicht höhere Lärmkosten als aus den hier vorgeschlagenen Preisreduktionen. Folglich kann die Wahl von 0.45% pro dB(A) als at least Annahme bezeichnet werden.

**Abbildung 8-20: Abnahme der Wohnungspreise pro dB(A)**

Verkehr	Lärmass	Miet- wohnungen	Stockwerk- eigentum	Einfami- lienhaus	Durchschnitt Eigentumswohnung	Durchschnitt alle Wohnungen
Strassenverkehr	Nachtlärm > 40 dB(A) / Tageslärm > 50 dB(A)	0.21%	0.59%	n.a.	0.59%	0.25%
Schienenverkehr	Nachtlärm > 40 dB(A) / Tageslärm > 50 dB(A)	0.24%	0.47%	n.a.	0.47%	0.27%
Luftverkehr	Tageslärm > 50 dB(A)	0.45%	1.20%	0.87%	1.04%	0.52%
<b>Berechneter Wert.</b>						

Quelle: ZKB (2012), Wie Lage und Umweltqualität die Eigenheimpreise bestimmen, S. 9 bzw. Luftverkehr ZKB (2005), MIFLU.

Für eine exakte Bewertung der Abnahme der Wohnungspreise müssten die Lärmdaten differenziert nach Miet- und Eigentumswohnungen vorliegen. Leider kann die Lärmdatenbank SonBase jedoch nicht zwischen Miet- und Eigentumswohnungen unterscheiden, da dazu keine Daten vorliegen. Deshalb ist ein Durchschnitt aus Miet- und Eigentumswohnungen zu bilden. Grundlage dazu bildet die Wohneigentumsquote 2010 des BFS (36.8% – je nach Kanton 15% (BS) bis 58% (JU)<sup>265</sup>). Dies kann aber nicht direkt angewendet werden, denn Eigentumswohnungen befinden sich aufgrund der höheren Ansprüche tendenziell an ruhigerer Lage als Mietwohnungen. So zeigt die ZKB (2012, S. 9), dass 63% der Mietwohnungen in

<sup>262</sup> Dieses Vorgehen wurde mit den Autoren der ZKB-Studie besprochen und von diesen als plausibel erachtet.

<sup>263</sup> Nelson (2008), Hedonic Property Value Studies of Transportation Noise – Aircraft and Road Traffic zitiert in: FPRE (2013), Berechnungsmodell für die LAN, Tabelle 13 und SWECO et al. (2008), noise case study, S. 26.

<sup>264</sup> Unter Renditeliegenschaften werden Liegenschaften verstanden, die vom Eigentümer an Dritte vermietet werden. Dabei handelt es sich um Mehrfamilienhäuser mit Mietwohnungen, um Geschäftsliegenschaften und Liegenschaften mit Mischnutzung, aber auch vermietete Eigentumswohnungen und Einfamilienhäuser werden dazu gezählt.

<sup>265</sup> Aufgrund der kantonal stark unterschiedlichen Wohnungspreise wird eine kantonal differenzierte Betrachtung durchgeführt (vgl. unten).



ihrer Stichprobe belärmt sind (gemäss ZKB-Lärmass), aber nur 15% der Eigentumswohnungen.<sup>266</sup> Daraus folgt, dass 12% (je nach Kanton 4% (BS) bis 25% (JU)) aller belärmten Wohnungen Eigentumswohnungen sind.

Folglich muss die Abnahme der Wohnungspreise pro Dezibel kantonal differenziert werden. Es ist zu betonen, dass grundsätzlich für die ganze Schweiz von derselben Abnahme der Wohnungspreise ausgegangen wird (d.h. es werden keine regionalen Unterschiede betreffend Präferenzen für ruhiges Wohnen gemacht) und dass nur die unterschiedlich hohe Eigentumsquote zu Differenzen führt. Wie die letzte Spalte von Abbildung 8-20 zeigt, wird in der Schweiz also durchschnittlich mit einer Abnahme der Wohnungspreise von 0.25% (Strasse, je nach Kanton 0.22% bis 0.30%), 0.27% (Schiene, je nach Kanton 0.25% bis 0.30%) bzw. 0.52% (Luft, je nach Kanton 0.47% bis 0.59%) gerechnet.

Im Rahmen der **Sensitivitätsanalyse** wird den Unsicherheiten bei der Abschätzung der Lärmwirkung auf die Wohnungspreise Rechnung getragen. Hierzu gehen wir von einer Bandbreite von  $\pm 30\%$  aus. Grundlage für diese Schwankungsbreite bildet insbesondere die Ergebnisse von Wüest & Partner (vgl. Abbildung 8-18): Bei den Mietwohnungen ergeben sich ca. 30% tiefere Werte.<sup>267</sup> Eine ähnliche grosse Abweichung – diesmal gegen oben – ergibt sich, wenn man die Ergebnisse für Eigentumswohnungen von Wüest & Partner mit den Ergebnissen der ZKB für Stockwerkeigentum kombiniert.<sup>268</sup>

## b) Festlegung der Preisniveaus von Wohnungen

Um die Abnahme einer bestimmten Prozentzahl des Wohnungspreises pro dB(A) in Geldeinheiten ausdrücken zu können, muss das Preisniveau für Wohnungen bekannt sein bzw. ermittelt werden (vgl. Schritt 2 in Abbildung 8-3).

Für die Mietwohnungen können die regelmässig vom BFS publizierten durchschnittlichen Mietpreise verwendet werden.<sup>269</sup> Es ist anzunehmen, dass in Ballungszentren sowohl die Wohnungspreise<sup>270</sup> als auch die Verkehrsdichte und damit der Lärm hoch sind. Daher wird eine kantonal differenzierte Berechnung durchgeführt.<sup>271</sup>

---

<sup>266</sup> Diese Daten liegen nicht kantonal differenziert vor.

<sup>267</sup> Ausser im Luftverkehr, der aufgrund des anderen Schwellenwertes nicht direkt vergleichbar ist.

<sup>268</sup> In FPRE (2013, Berechnungsmodell für die LAN) werden noch höhere Preisreduktionen von 0.5% bis 1.0% pro dB(A) vorgeschlagen. Diese gelten aber ab einem viel höheren Schwellenwert (dem Immissionsgrenzwert) und sind deshalb nicht direkt vergleichbar.

<sup>269</sup> Dabei handelt es sich um sogenannte Bestandesmieten, nicht um Marktmieten. Die Marktmiete ergibt sich auf dem Markt, wenn Wohnungen neu vermietet werden. Bleibt ein Mieter aber lange in seiner Wohnung, so gibt das Schweizer Mietrecht vor, wie die Mieten bei bestehenden Mietverhältnissen angepasst werden können. Deshalb liegt die Bestandesmiete – insbesondere bei langer Mietdauer – unter der Marktmiete. Mit der Verwendung der Bestandesmiete werden die Zahlungsbereitschaft bzw. die Lärmkosten eher unterschätzt.

<sup>270</sup> Tatsächlich zeigt sich, dass sich die durchschnittlichen Mietpreise zwischen den Kantonen im Jahr 2010 um bis zu Faktor 1.9 unterscheiden,

<sup>271</sup> Alternativ wäre auch eine Differenzierung nach Stadt / Land bzw. Raumtypen denkbar, doch werden die benötigten Daten nur nach Kantonen ausgewiesen.

Für Eigentumswohnungen gibt es verständlicherweise keine offiziellen Mietpreise, sondern nur Angaben zum Eigenmietwert. Diese für die Steuerbemessung erhobene Grundlage unterschätzt aber den wahren Wert je nach Kanton in unterschiedlichem Ausmass.<sup>272</sup> Zudem gibt es gemäss Auskunft des ESTV keine schweizweiten Daten zum Eigenmietwert.<sup>273</sup> Um den Preis von Eigentumswohnungen zu approximieren, wird deshalb wie folgt vorgegangen (die Berechnung erfolgt differenziert nach Kantonen):

- Das BFS publiziert die Mietpreise für Mietwohnungen differenziert nach der Anzahl Zimmer der Wohnung.
- Zudem publiziert das BFS das Gesamttotal aller Wohnungen nach Anzahl Zimmer der Wohnung.<sup>274</sup>
- Aus diesen beiden Datensätzen kann der durchschnittliche Preis aller Wohnungen berechnet werden, der deutlich über dem durchschnittlichen Mietpreis der Mietwohnungen liegt (im Durchschnitt um 11%, je nach Kanton um 2% (GR) bis 22% (AI)).
- Wird zudem die Wohneigentumsquote 2010 des BFS mitberücksichtigt (36.8%, je nach Kanton 15% (BS) bis 58% (JU)), kann aus dem Preis der Mietwohnung und dem Preis aller Wohnungen der Preis der Eigentumswohnungen abgeschätzt werden, der im Durchschnitt um 29% (je nach Kanton um 4% (GR) bis 52% (VD)) über dem Durchschnittspreis der Mietwohnungen liegt.

Mit dieser Abschätzung wird der Preis von Eigentumswohnungen eher unterschätzt, da Eigentumswohnungen im Durchschnitt besser ausgestattet sind als Mietwohnungen (höhere Ansprüche an Eigentumswohnungen). In die Abschätzung flossen jedoch nur die unterschiedliche Zimmerzahl nicht aber Unterschiede in der Ausstattung ein.

Die sich ergebenden Wohnungspreise nach Kantonen sind in der folgenden Abbildung in der zweiten bis vierten Spalte dargestellt: Die Mietpreise pro Monat liegen bei 1'284 CHF (je nach Kanton 902 (JU) bis 1'740 CHF (ZG)). Der Durchschnittspreis aller Wohnungen liegt bei 1'422 CHF (je nach Kanton 993 (BS) bis 1'919 CHF (ZG)), derjenige der Eigentumswohnungen gar bei 1'659 CHF (je nach Kanton 1'059 (BS) bis 2'239 CHF (ZG)).

Wie oben erwähnt, kann aber in SonBase nicht zwischen Miet- und Eigentumswohnungen differenziert werden. Deshalb ist wie bei der Abnahme der Wohnungspreise ein Durchschnitt aus Miet- und Eigentumswohnungen zu bilden. Dabei wird wie bei der Abnahme der Wohnungspreise berücksichtigt, dass 63% der Mietwohnungen belärmt sind (gemäss ZKB-Lärmass), aber nur 15% der Eigentumswohnungen. Der Durchschnittspreis einer belärmten Wohnung beträgt somit 1'330 CHF (je nach Kanton 941 (JU) bis 1'799 CHF (ZG) – vgl. fünfte Spalte in Abbildung 8-21).

---

<sup>272</sup> FPRE (2013), Berechnungsmodell für die LAN.

<sup>273</sup> Telefonische Auskunft der ESTV vom 16.4.2013. Die Daten müssten bei den 26 Kantonen gesammelt werden, was sehr aufwändig wäre.

<sup>274</sup> Die Anzahl Wohnungen nach Anzahl Zimmer und differenziert nach Eigentums- und Mietwohnungen sind nicht verfügbar (Auskunft des BFS vom 18.3.2013).

Schliesslich ist noch zu berücksichtigen, dass die Daten des BFS zu den tatsächlichen Mietpreisen die Abnahme der Mietpreise aufgrund des Lärms beinhalten. Ausgangsbasis für die Abnahme der Wohnungspreise ist jedoch ein Wohnungspreis ohne Lärm.<sup>275</sup> Der lärmfreie Wohnungspreis liegt um 1.66% über dem Durchschnittspreis aller Wohnungen (je nach Kanton um 0.7% bis 3.1% – vgl. letzte Spalte in Abbildung 8-21).<sup>276</sup> Damit würde der durchschnittliche Wohnungspreis der belärmten Wohnungen ohne Lärm bei 1'352 CHF pro Monat liegen (je nach Kanton bei 952 (JU) bis 1'824 CHF (ZG)).

**Abbildung 8-21: Durchschnittliche Wohnungspreise in CHF pro Monat im Jahr 2010**

Kanton	Miet- wohnungen	Alle Wohnungen	Eigentums- wohnungen	Belärmte Wohnungen	Belärmte Wohnung ohne Lärm
Zürich	1'485	1'635	2'031	1'530	1'560
Bern	1'166	1'264	1'416	1'199	1'214
Luzern	1'278	1'389	1'599	1'314	1'332
Uri	1'157	1'204	1'261	1'174	1'194
Schwyz	1'493	1'632	1'818	1'542	1'564
Obwalden	1'266	1'335	1'413	1'292	1'300
Nidwalden	1'429	1'601	1'874	1'487	1'506
Glarus	1'067	1'149	1'242	1'098	1'111
Zug	1'740	1'919	2'239	1'799	1'824
Freiburg	1'172	1'292	1'451	1'215	1'230
Solothurn	1'145	1'311	1'487	1'208	1'225
Basel-Stadt	1'241	1'298	1'631	1'256	1'289
Basel-Landschaft	1'384	1'567	1'791	1'450	1'474
Schaffhausen	1'132	1'303	1'539	1'192	1'208
Appenzell A.Rh.	1'159	1'246	1'344	1'191	1'206
Appenzell I.Rh.	1'244	1'515	1'770	1'350	1'361
St.Gallen	1'200	1'337	1'538	1'247	1'264
Graubünden	1'222	1'244	1'270	1'230	1'241
Aargau	1'298	1'474	1'656	1'365	1'386
Thurgau	1'169	1'311	1'479	1'221	1'237
Tessin	1'143	1'239	1'393	1'175	1'193
Waadt	1'237	1'439	1'879	1'300	1'327
Wallis	1'040	1'122	1'184	1'074	1'085
Neuenburg	967	1'078	1'332	1'001	1'022
Genf	1'334	1'424	1'864	1'359	1'400
Jura	902	993	1'059	941	952
<b>Total (Schweiz)</b>	<b>1'284</b>	<b>1'422</b>	<b>1'659</b>	<b>1'330</b>	<b>1'352</b>

<sup>275</sup> In den hedonischen Modellen, die für die Ermittlung der Abnahme des Wohnungspreises durch den Lärm verwendet werden, ist die Ausgangsbasis ein Wohnungspreis ohne Lärm.

<sup>276</sup> Dabei stammen 1.32% (0.6% (OW) bis 2.4% (GE)) aus dem Strassenverkehr, 0.10% (0.02% (JU) bis 0.7% (UR)) aus dem Schienenverkehr und 0.10% (0.00% (viele Kantone) bis 0.42% (GE)) aus dem Luftverkehr.

## 8.4.2 Gesundheitskosten

### a) Allgemeines

Für die Kostensätze zu den Gesundheitskosten (vgl. Schritt 6 in Abbildung 8-4) wird prinzipiell gleich vorgegangen wie bei den Gesundheitskosten der Luftbelastung. Wir verweisen deshalb hier auf die Ausführungen zum Wertgerüst in Kapitel 3.4.

### b) Medizinische Heilungskosten

Die Bestimmung der Spitalkosten beruht auf denselben Datengrundlagen wie bei den luftverschmutzungsbedingten Spitalkosten (vgl. Kapitel 3.4.2). Für die lärmbedingten Krankheitsbilder ergeben sich die folgenden Ergebnisse (vgl. folgende Abbildung): Pro Spitalaufenthalt liegen die Kosten je nach Krankheitsbild zwischen 9'000 CHF und 13'000 CHF. Da die Aufenthaltsdauern aber stark variieren (zwischen 6.7 und 16.9 Tagen), streuen die Kosten pro Spitaltag deutlich stärker (ca. 1'900 CHF für ischämische Herzkrankheiten, ca. 1'000 CHF für Bluthochdruck bedingte Krankheiten und ca. 700 CHF für Schlaganfälle).

Abbildung 8-22: Spitalkosten durch lärmbedingte Krankheitsbilder

	Ischämische Herzkrank- heiten	Bluthochdruck bedingte Krankheiten	Schlag- anfall
Anzahl relevante Krankheitsbilder	13	5	11
Anzahl relevante Fälle	29'541	11'204	21'918
<b>Durchschnittliche Kosten pro Spitalaufenthalt in CHF</b>	<b>13'008</b>	<b>9'051</b>	<b>11'657</b>
Durchschnittliche Aufenthaltsdauer in Tagen	6.72	8.67	16.88
<b>Kosten pro Spitaltag in CHF</b>	<b>1'935</b>	<b>1'044</b>	<b>690</b>

Für die ambulanten Behandlungen von Bluthochdruck bedingten Krankheiten werden wie bisher keine medizinischen Heilungskosten berücksichtigt, da dazu kein Kostensatz vorliegt. Dies führt tendenziell zu einer Unterschätzung der wahren Kosten.

### c) Produktionsausfall

Wie in Kapitel 3.4.3 gehen wir von einem Nettoproduktionsausfall von knapp 15'000 CHF pro Jahr und erwerbstätige Person oder 40 CHF pro Tag und erwerbstätige Person aus. Bei den Todesfällen werden wiederum die abdiskontierten verlorenen Erwerbsjahre sehr detailliert berechnet. Bei den verlorenen Erwerbstagen durch Spitalaufenthalte gehen wir wie bei der Luftbelastung von der „Official Disability Guideline“ aus (vgl. Kapitel 3.4.3). Für die hier betrachteten drei Krankheitsbilder verwenden wir den in Kapitel 3.4.3 hergeleiteten Wert von 62 Ausfalltagen für Herz-Kreislauf-erkrankungen. Bisher wurden die Ausfalltage vorsichtig abgeschätzt, indem die Spitaltage mit den Faktor 3 multipliziert wurden. Neu würden die entsprechenden Faktoren 9.2, 7.2 und 3.7 betragen (62 dividiert durch Anzahl Spitaltage in Abbil-

dung 8-22). Bei den ambulanten Behandlungen gehen wir wie bisher von 0.5 Tagen Arbeitsausfall aus.

Nicht alle Spitaltage betreffen jedoch Erwerbstätige. Mit dem gleichen Verfahren wie bei der Luftbelastung (vgl. Fussnote 138) wird der Anteil von 26.6% für ischämische Herzkrankheiten, 12.9% für Bluthochdruck und 19.4% für Schlaganfälle bestimmt. Daraus resultieren Kostensätze pro Hospitalisation (eines beliebigen Patienten) von ca. 660, 320 und 480 CHF bzw. 3 CHF für ambulante Behandlungen von Bluthochdruck bedingten Krankheiten.

#### **d) Wiederbesetzungskosten**

Es wird das gleiche Vorgehen angewendet wie in Kapitel 3.4.4: Die Wiederbesetzungskosten fallen wiederum nur bei Todesfällen von Erwerbstätigen an. Diese werden mit einem Kostensatz von 38'350 / 30'560 CHF (Männer / Frauen) monetarisiert.

#### **e) Immaterielle Kosten**

Für die verlorenen Lebensjahre wird derselbe Kostensatz von 99'900 CHF verwendet wie in Kapitel 3.4.5a).

Trotz Literaturrecherche konnten für die hier betrachteten (nicht-tödlichen) Krankheitsbilder keine neuen Datengrundlagen gefunden werden. Somit werden die bisherigen Kostensätze weiterverwendet und mit dem Nominallohnwachstum auf 2010 fortgeschrieben. Es ergeben sich damit Kosten von 15'300 CHF pro Hospitalisierung mit einer ischämischen Herzkrankheit bzw. 1'500 CHF pro Spitaltag aufgrund einer Bluthochdruck bedingten Krankheit.

Für Schlaganfälle konnte keine Studie gefunden werden. Deshalb muss der Kostensatz eines anderen Krankheitsbildes auf den Schlaganfall übertragen werden. Dabei wird – entsprechend dem at least Ansatz – dasjenige Krankheitsbild verwendet mit den geringsten Kosten pro Spitaltag. Dies ist der Kostensatz aus dem Bereich Luftverschmutzung von 807 CHF pro Spitaltag (vgl. Kapitel 3.4.5b). Derselbe Kostensatz wurde für Schlaganfälle – mit derselben Begründung – auch bereits bei der Bewertung der Gesundheitskosten des Passivrauchens angewendet.<sup>277</sup>

#### **f) Zusammenfassung der verwendeten Kostensätze**

Die folgende Abbildung fasst die verwendeten Kostensätze zusammen. Dabei ist zu beachten, dass die Kostensätze nicht immer auf die gleiche Einheit zurückgreifen (Kosten pro Lebensjahr oder Erwerbsjahr bzw. pro Hospitalisation oder Spitaltag).<sup>278</sup>

---

<sup>277</sup> ISPM et al. (2009), Gesundheitskosten des Passivrauchens in der Schweiz.

<sup>278</sup> Beispielsweise sind die immateriellen Kosten bei ischämischen Herzkrankheiten im Vergleich zu den immateriellen Kosten bei den anderen Krankheitsbildern deshalb so hoch, weil sie pro Hospitalisation statt pro Spitaltag gemessen werden.

Abbildung 8-23: Übersicht über die verwendeten Kostensätze (in CHF)

	CHF pro	Medizinische Behandlungskosten	Nettproduktions- ausfall	Widerbesetzungs- kosten	Immaterielle Kosten	Total
Verlorenes Lebensjahr	Lebensjahr	-	-	-	99'907	99'907
Verlorenes Erwerbsjahr	Erwerbsjahr	-	14'686	-	-	14'686
Pro Todesfall eines Erwerbstätigen ( Mann / Frau)	Todesfall	-	-	38350 / 30560	-	38350 / 30560
<b>Ischämische Herzkrankheiten</b>						
- Hospitalisationen (stationär)	Hospitalisation	-	663	-	15'338	16'001
- Anzahl Spitaltage (stationär)	Spitaltag	1'935	-	-	-	1'935
<b>Bluthochdruck bedingte Krankheiten</b>						
- Hospitalisationen (stationär)	Hospitalisation	-	322	-	-	322
- Anzahl Spitaltage (stationär)	Spitaltag	1'044	-	-	1'523	2'568
- Ambulante Behandlungen	Behandlung	-	3	-	1'523	1'526
<b>Schlaganfall</b>						
- Hospitalisationen (stationär)	Hospitalisation	-	485	-	-	485
- Anzahl Spitaltage (stationär)	Spitaltag	690	-	-	807	1'497

### 8.4.3 Internalisierungsbeiträge

Bei den Internalisierungsbeiträgen im Lärmbereich gilt es zu unterscheiden zwischen Lärmschutzwänden, Schallschutzfenstern und den Lärmabgaben im Flugverkehr. Der Umgang mit diesen Massnahmen wird nachstehend kurz erläutert:

- Lärmschutzwände:** Die im Strassen- und Schienenverkehr erstellten Lärmschutzwände sind in den Grunddaten von SonBase enthalten. Die Anzahl belärmter Wohnungen bzw. Personen wird dementsprechend unter Berücksichtigung dieser Lärmschutzmassnahmen ermittelt. Folglich entsprechen die Lärmkosten aus Belästigungen und Gesundheitsschäden den verbleibenden Restkosten, nach Berücksichtigung der ergriffenen Lärmschutzmassnahmen.  
Dieses Vorgehen ergibt ein konsistentes Ergebnis, da die Erstellung der Lärmschutzwände bei der Ermittlung der Infrastrukturkosten in die Berechnungen für die Verkehrsträger Strassen- und Schienenverkehr einfliesst.<sup>279</sup>
- Schallschutzfenster:** Der Einbau von Schallschutzfenstern führt dazu, dass der Verkehrslärm weniger störend wirkt. Die Wirkung von Schallschutzfenstern sind im Effektschätzer enthalten (sowohl in Bezug auf die Wohnungspreise als auch auf die Gesundheitsschäden), weil Wohnungen mit und ohne Schallschutzfenster in die Erhebung einfließen und in den Schätzungen nicht zwischen Wohnungen mit bzw. ohne Schallschutzfenster differenziert werden kann.<sup>280</sup> Die eingebauten Schallschutzfenster führen deshalb

<sup>279</sup> Rein theoretisch könnten die Lärmkosten in einem ersten Schritt nach dem Bruttoprinzip (also ohne Beachtung der Lärmschutzwände) ermittelt und anschliessend den verbleibenden Lärmkosten unter Beachtung der Lärmschutzwände gegenübergestellt werden. Dieses Vorgehen wäre jedoch auf Seite SonBase mit einem sehr hohen Aufwand verbunden, ohne dass sich am Nettoergebnis der verbleibenden externen Lärmkosten etwas ändern würde.

<sup>280</sup> Sowohl die Auswertungen in SonBase als auch alle Lärmstudien beruhen auf dem Aussenlärm (d.h. die Dosis-Wirkungs-Beziehungen wurden ermittelt zwischen dem Aussenlärm und den Störungen / Krankheiten, die im Gebäudeinnern entstehen).

dazu, dass die Effektschätzer tendenziell geringer ausfallen. Folglich werden die Kosten für Schallschutzfenster bei der Ermittlung der Lärmkosten nicht in Abzug gebracht, da es sonst (aufgrund des tendenziell bereits verminderten Effektschätzer) zu einer doppelten Anrechnung dieser Internalisierungsmassnahme käme.<sup>281</sup>

- **Lärmabgabe im Flugverkehr:** Wie in Kapitel 2.6.2 erläutert, werden die Lärmabgaben (lärmabhängige Lande- und Passagiergebühren, insbesondere in Zürich und Genf) als Internalisierungsbeitrag berücksichtigt.<sup>282</sup> Mittels einer Umfrage bei den Landesflughäfen und den Regionalflugplätzen wurde ermittelt, dass die Einnahmen aus den lärmabhängigen Landegebühren im Jahr 2010 insgesamt **34.0 Mio. CHF** betragen.<sup>283</sup>

Schliesslich ist nochmals zu erwähnen, dass die LSVA erst in Kapitel 16 abgezogen wird, da sie nicht einfach auf Luftbelastung, Lärm etc. verteilt werden kann (vgl. Kapitel 2.6.2).

## 8.5 Ergebnisse

### 8.5.1 Externe Kosten

#### a) Überblick Gesamtverkehr

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die Ergebnisse für die externen Lärmkosten. Insgesamt fallen im Verkehr Lärmkosten von rund 1'800 Mio. CHF an. Der Grossteil davon (81% oder 1'464 Mio. CHF) wird vom Strassenverkehr verursacht, 15% oder 269 Mio. CHF vom Schienenverkehr und die verbleibenden 4% oder 66 Mio. CHF vom Luftverkehr.<sup>284</sup> Im Schiffsverkehr wurden keine Lärmkosten berechnet. 62% der gesamten Lärmkosten sind vom Personenverkehr verursacht, 38% vom Güterverkehr. Dies ist vor allem auf den Strassenverkehr zurückzuführen, wo die Aufteilung 65% zu 35% ausfällt. Im Schienenverkehr hingegen ist der Personenverkehr nur für 38% der Kosten verantwortlich, da der Schienengüterverkehr den Nachtlärm dominiert. Im Luftverkehr schliesslich ist der Personenverkehr mit 94% klar dominant.

---

<sup>281</sup> Im Luftverkehr wurden in Infrac, Ecoplan (2012, Integration des Luftverkehrs in die Transportrechnung) die Investitionen in die Schallschutzfenster (4 Mio. CHF) hingegen von den Lärmkosten abgezogen. Aus den oben dargelegten Gründen verzichten wir künftig darauf.

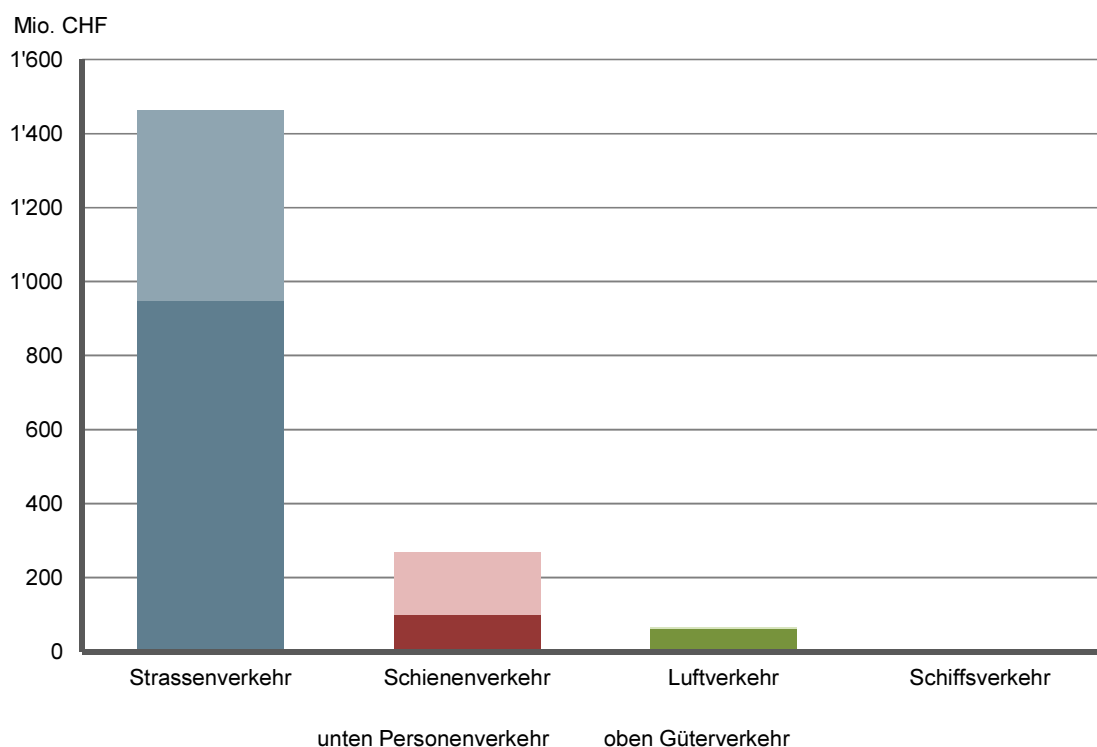
<sup>282</sup> Die Einnahmen aus diesen Abgaben dienen in Zürich und Genf dazu, die Lärmfonds zu alimentieren, aus welchen Schallschutzfenster und künftig auch Lärmentschädigungen finanziert werden (Infrac, Ecoplan (2012, Integration des Luftverkehrs in die Transportrechnung, S. 142).

<sup>283</sup> Infrac, Ecoplan (2012), Integration des Luftverkehrs in die Transportrechnung, S. 142-143.

<sup>284</sup> Das Ergebnis im Strassen- und Schienenverkehr mit kantonalen Daten – wie hier berechnet – ist ca. 1.7% tiefer als wenn das Ergebnis mit Schweizer Durchschnittswerten berechnet worden wäre. Grund dafür ist, dass in den dicht besiedelten Gebieten mit hohen Lärmniveaus die Eigentumsquote gering ist, so dass der Preisabschlag pro dB(A) kleiner ist.

Die sozialen Lärmkosten sind im Strassen- und Schienenverkehr genau identisch mit den externen Lärmkosten. Im Luftverkehr liegen die sozialen Kosten aufgrund der lärmabhängigen Lande- und Passagiergebühren um 34 Mio. CHF höher (vgl. Kapitel 8.4.3) und betragen somit gerade 100 Mio. CHF.

**Abbildung 8-24: Überblick über die externen Lärmkosten 2010**



**Abbildung 8-25: Überblick über die externen Lärmkosten 2010**

Lärmkosten total in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	949.4	514.0	<b>1'463.5</b>	81.4%
Schienenverkehr	101.0	168.1	<b>269.1</b>	15.0%
Luftverkehr	62.4	3.8	<b>66.2</b>	3.7%
Schiffsverkehr	-	-	-	0.0%
<b>Total</b>	<b>1'112.9</b>	<b>685.9</b>	<b>1'798.7</b>	100.0%
in % des Totals	61.9%	38.1%	100.0%	



## b) Strassenverkehr

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die Aufteilung der Lärmkosten im Strassenverkehr auf die einzelnen Fahrzeugkategorien. Etwas weniger als die Hälfte der Kosten ist auf Personenwagen zurückzuführen (44% oder 644 Mio. CHF). Auch Motorräder verursachen 17% der Lärmkosten (oder 250 Mio. CHF). Die übrigen Fahrzeugkategorien des Personenverkehrs sind hingegen wenig relevant (insgesamt nur 4%). Der Güterverkehr ist für die verbleibenden 35% verantwortlich, wobei davon der schwere Güterverkehr 25% der Kosten verursacht (371 Mio. CHF).

Abbildung 8-26: Externe Lärmkosten im Strassenverkehr 2010 nach Fahrzeugkategorien

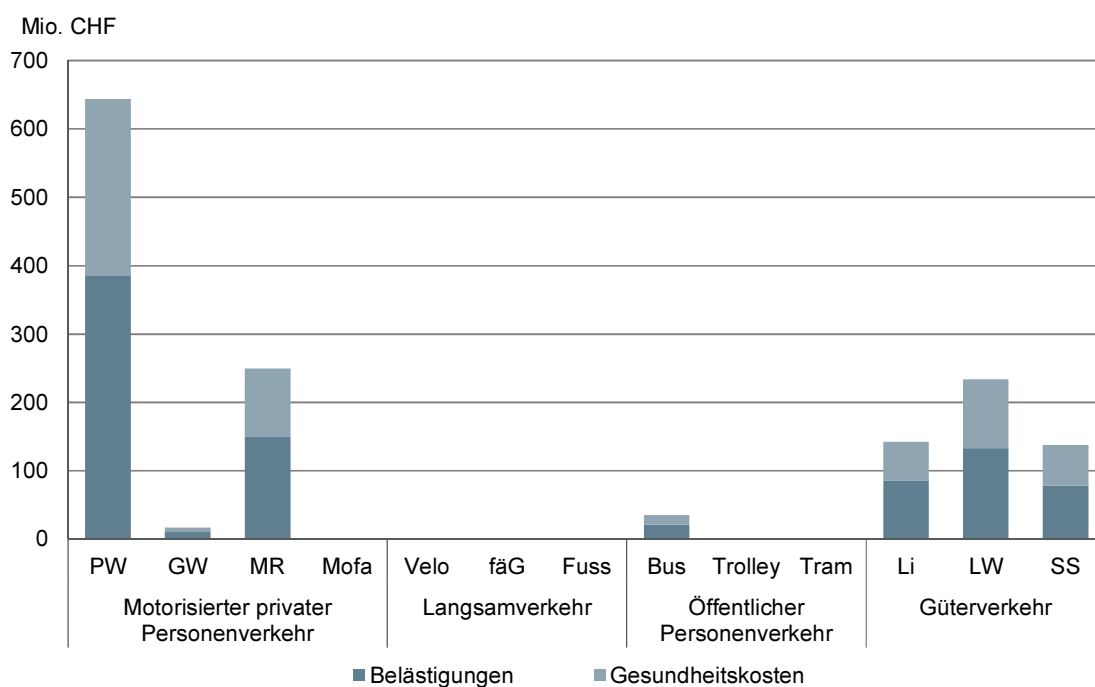


Abbildung 8-27: Externe Lärmkosten im Strassenverkehr 2010 nach Kostenbestandteilen und Fahrzeugkategorien

in Mio. CHF	Personenverkehr									Güterverkehr			Gesamttotal	
	Motorisierter privater Personenverkehr				Langsamverkehr			Öffentlicher Personenverkehr		Li	LW	SS		
	PW	GW	MR	Mofa	Velo	fäG	Fuss	Bus	Trolley	Tram				
Belästigungen	385.3	10.3	149.3	1.0	-	-	-	21.2	0.2	0.7	85.3	132.9	78.4	864.6
Gesundheitskosten	258.8	6.9	100.3	0.7	-	-	-	14.2	0.1	0.4	57.3	100.6	59.4	598.9
<b>Total Fahrzeugkategorien</b>	<b>644.1</b>	<b>17.2</b>	<b>249.7</b>	<b>1.7</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>35.4</b>	<b>0.3</b>	<b>1.1</b>	<b>142.6</b>	<b>233.6</b>	<b>137.8</b>	<b>1'463.5</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	<b>44.0%</b>	<b>1.2%</b>	<b>17.1%</b>	<b>0.1%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>2.4%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.1%</b>	<b>9.7%</b>	<b>16.0%</b>	<b>9.4%</b>	<b>100.0%</b>
<b>Total Teilbereiche</b>	<b>912.6</b>				<b>0.0</b>			<b>36.9</b>			<b>514.0</b>			<b>1'463.5</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	<b>62.4%</b>				<b>0.0%</b>			<b>2.5%</b>			<b>35.1%</b>			<b>100.0%</b>

PW = Personenwagen, GW = Gesellschaftswagen, MR = Motorrad, fäG = fahrzeugähnliches Gerät, Fuss = Fussverkehr, Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper.

Von den gesamten Lärmkosten sind 59% oder 865 Mio. CHF auf Belästigungen (inkl. Schlafstörungen) zurückzuführen, die restlichen 41% oder 599 Mio. CHF entfallen auf Gesundheitseffekte.

Die Gesundheitskosten des gesamten Strassenverkehrs von 599 Mio. CHF werden in der folgenden Abbildung nach Krankheitsbildern und Kostenbestandteilen differenziert dargestellt. Es zeigt sich, dass 59% der Kosten durch ischämische Herzkrankheiten entstehen und 34% durch Bluthochdruck bedingte Krankheiten, während lediglich 7% durch Schlaganfälle verursacht werden. Knapp drei Viertel der Kosten sind auf verlorene Lebensjahre zurückzuführen, 10% auf Krankenhausaufenthalte und 15% auf ambulante Behandlungen von Bluthochdruck. Der klar dominante Kostenbestandteil sind die immateriellen Kosten mit 94%. Die medizinischen Heilungskosten machen 5% aus, der Nettoproduktionsausfall 1% und die Wiederbesetzungskosten sind praktisch vernachlässigbar.

Die prozentualen Aufteilungen in der letzten Spalte und der letzten Zeile von Abbildung 8-28 gelten praktisch unverändert auch für den Schienen- und Luftverkehr. Wir verzichten deshalb im Folgenden darauf, diese Ergebnisse nochmals detailliert dazustellen.

**Abbildung 8-28: Lärmbedingte Gesundheitskosten durch den gesamten Strassenverkehr nach Krankheitsbildern und Kostenbestandteilen in Mio. CHF**

	Medizinische Behandlungskosten	Nettoproduk- tionsausfall	Wiederbeset- zungskosten	Immaterielle Kosten	<b>Total</b>	Anteil am Total
<b>Ischämische Herzkrankheiten</b>	<b>21.15</b>	<b>4.37</b>	<b>1.11</b>	<b>325.56</b>	<b>352.19</b>	58.8%
– Verlorene Lebensjahre	-	3.36	1.11	302.11	<b>306.58</b>	51.2%
– Hospitalisationen	21.15	1.01	-	23.44	<b>45.60</b>	7.6%
<b>Bluthochdruck bedingte Krank.</b>	<b>3.36</b>	<b>0.87</b>	<b>0.22</b>	<b>201.66</b>	<b>206.11</b>	34.4%
– Verlorene Lebensjahre	-	0.59	0.22	103.19	<b>104.00</b>	17.4%
– Hospitalisationen	3.36	0.12	-	4.90	<b>8.38</b>	1.4%
– Ambulante Behandlungen	-	0.16	-	93.57	<b>93.73</b>	15.7%
<b>Schlaganfall</b>	<b>2.51</b>	<b>0.39</b>	<b>0.09</b>	<b>37.60</b>	<b>40.59</b>	6.8%
– Verlorene Lebensjahre	-	0.29	0.09	34.67	<b>35.05</b>	5.9%
– Hospitalisationen	2.51	0.10	-	2.93	<b>5.53</b>	0.9%
<b>Total</b>	<b>27.01</b>	<b>5.64</b>	<b>1.41</b>	<b>564.82</b>	<b>598.89</b>	100.0%
– Verlorene Lebensjahre	-	4.25	1.41	439.98	<b>445.64</b>	74.4%
– Hospitalisationen	27.01	1.23	-	31.27	<b>59.51</b>	9.9%
– Ambulante Behandlungen	-	0.16	-	93.57	<b>93.73</b>	15.7%
Anteil am Gesamttotal	4.5%	0.9%	0.2%	94.3%	100.0%	

### c) Schienenverkehr

Gemäss der folgenden Abbildung mit den Detailergebnissen im Schienenverkehr zeigt sich, dass die Kosten durch Belästigungen nur knapp höher sind als die Gesundheitskosten (52% zu 48%). Insgesamt fallen Kosten von 269 Mio. CHF an.

Abbildung 8-29: Externe Lärmkosten im Schienenverkehr 2010 nach Kostenbestandteilen

Lärmkosten in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
Belästigungen	47.7	91.2	139.0
Gesundheitskosten	53.3	76.9	130.1
<b>Total</b>	<b>101.0</b>	<b>168.1</b>	<b>269.1</b>

### d) Luftverkehr

Die folgende Abbildung zeigt das Ergebnis des Luftverkehrs von 66 Mio. CHF nach verschiedenen Differenzierungen:

- Der obere Teil der Abbildung zeigt nochmals die Aufteilung nach Personen- und Güterverkehr (94% zu 6%). Zudem wird ersichtlich, dass drei Viertel der Kosten durch Belästigungen (inkl. Schlafstörungen) verursacht werden und folglich nur ein Viertel durch die Gesundheitseffekte. Der Anteil der Belästigungen ist damit höher als im Strassen- und Schienenverkehr.
- Der untere Teil der Abbildung zeigt auf, dass 69% der Kosten bei den drei Landesflughäfen entstehen (vor allem Zürich und Genf) und lediglich 31% bei den zehn Regionalflughäfen. 62% der Kosten werden vom Linien- und Charterverkehr verursacht, 38% durch die General Aviation.

Abbildung 8-30: Externe Lärmkosten im Luftverkehr 2010

Lärmkosten in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
Belästigungen	46.7	2.8	49.5
Gesundheitskosten	15.7	0.9	16.7
<b>Total</b>	<b>62.4</b>	<b>3.8</b>	<b>66.2</b>

Lärmkosten in Mio. CHF	Landesflughäfen	Regionalflugplätze	Total
Linien- und Charterverkehr interkontinental	6.7	-	6.7
Linien- und Charterverkehr europäisch	32.9	1.3	34.2
General Aviation	6.1	19.2	25.3
<b>Total</b>	<b>45.7</b>	<b>20.5</b>	<b>66.2</b>

Wie erwähnt liegen die sozialen Kosten des Luftverkehrs um 34 Mio. CHF höher bei 100 Mio. CHF. Damit wird eine Drittel der sozialen Kosten internalisiert. Da der Internalisierungsbeitrag jedoch praktisch nur auf Landesflughäfen erhoben wird, ist der Anteil der Landesflughäfen am Total bei den sozialen Kosten höher (79% statt 69%). Folglich sinkt auch der Anteil der General Aviation (von 38% auf 28%), weil die General Aviation vor allem die Regionalflughäfen benutzt.

## 8.6 Sensitivitätsanalyse

### 8.6.1 Zusammenfassung der Annahmen und Unsicherheiten

Für die Ermittlung der Lärmkosten war es unumgänglich, bei verschiedenen Berechnungsschritten Annahmen zu treffen. Dies vor allem weil die Modellberechnungen / Erhebungen mit Unsicherheiten verbunden sind (z.B. Auswertungen SonBase, Belastungs-Wirkungs-Beziehungen, Höhe der Zahlungsbereitschaft).

Wie in Kapitel 2.4 erläutert, verwenden wir bei Unsicherheiten wo möglich und sinnvoll eine bestmögliche Schätzung (best guess). Ansonsten beruht der Wert auf einer vorsichtigen Schätzung (at least Ansatz). In der Abbildung 8-31 fassen wir die wesentlichen Unsicherheiten im Lärmbereich zusammen:

Abbildung 8-31: Übersicht über Inputdaten, Annahmen und Bandbreiten bei den Lärmkosten

Bereich / Annahme	Wissenstand	Vorgehen	Bandbreite
<b>Lärmbelastung</b>			
Fahrleistungen pro Fahrzeugtyp	Gesichertes Wissen	Datenauswertung	
Strassenverkehr ZKB-Lärmass ( $\pm 4.2$ dB(A))	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	-41% / +50%
Schienenverkehr ZKB-Lärmass ( $\pm 3.0$ dB(A))	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	-32% / +37%
Luftverkehr Taglärm Wohnungen ( $\pm 0.5$ dB(A))	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	$\pm 12\%$
Strassenverkehr $L_{DEN}$ ( $\pm 4.2$ dB(A))	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	-36% / +43%
Schienenverkehr $L_{DEN}$ ( $\pm 3.0$ dB(A))	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	-27% / +35%
Luftverkehr $L_{DEN}$ ( $\pm 0.5$ dB(A))	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	$\pm 10\%$
<b>Belastung-Wirkungs-Beziehungen</b>			
Reduktion Wohnungspreise pro dB(A)	Wissen mit Unsicherheiten	best guess / Luftverkehr at least	$\pm 30\%$
Ischämische Herzkrankheiten	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	$\pm 66\%$
Bluthochdruck bedingte Krankheiten	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	-56% / +53%
Schlaganfall	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	-100% / +348%
<b>Wertgerüst Gesundheitskosten</b>			
Immaterielle Kosten bei verlorenen Lebensjahren	Wissen mit Unsicherheiten	at least	-50% / +100%
Immaterielle Kosten für Krankheiten	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	$\pm 50\%$
Übriges Wertgerüst	Wissen mit Unsicherheiten	at least	

- Die Unsicherheit in der Lärmbelastung ergibt sich aus den Modellunsicherheiten in der Lärmdatenbank SonBase (vgl. Kapitel 8.3.1e). Im Strassenverkehr liegen die Unsicherheiten in der Grössenordnung von gut  $\pm 40\%$ , im Schienenverkehr bei knapp  $\pm 35\%$  und im Luftverkehr lediglich bei  $\pm 10\%$ .
- Die Reduktion der Wohnungspreise kann aufgrund verschiedener Studien auf ca.  $\pm 30\%$  festgelegt werden (vgl. Kapitel 8.4.1a).
- Die Unsicherheiten bei den Belastungs-Wirkungsbeziehungen zu den lärmbedingten Krankheiten leiten sich von den 95%-Konfidenzintervallen der meta-analytischen Effektschätzer ab.<sup>285</sup> Die Unsicherheiten sind hier mit  $\pm 55\%$  bis  $-100\%$  /  $+370\%$  teilweise sehr gross.
- Bei den immateriellen Kosten, die auf Umfrageergebnissen zu Zahlungsbereitschaften beruhen, sind ebenfalls grössere Unsicherheiten vorhanden: Der VLYL (value of life year lost) schwankt um  $-50\%$  /  $+100\%$ , die übrigen immateriellen Kosten um  $\pm 50\%$ .

### 8.6.2 Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

Wie sich die externen Lärmkosten verändern, wenn diese Annahmen verändert werden, wird in den folgenden beiden Abbildungen dargestellt:

- Werden alle sechs Annahmen zur Lärmbelastung in Abbildung 8-31 gleichzeitig reduziert bzw. erhöht, so schwanken die Lärmkosten im Strassenverkehr um ca.  $\pm 43\%$ , im Schienenverkehr um ca.  $\pm 33\%$  und im Luftverkehr um  $\pm 17\%$ . Diese Schwankungsbreiten ergeben sich direkt aus der Genauigkeit der Schätzungen der Lärmniveaus (vgl. Abbildung 8-31).<sup>286, 287</sup>
- Würden die Wohnungspreise um 30% mehr oder weniger abnehmen als in der Hauptrechnung unterstellt, so schwanken die Lärmkosten um  $\pm 18\%$ . Die Schwankungsbreite ist im Luftverkehr mit  $\pm 34\%$  besonders hoch.<sup>288</sup>
- Werden die drei Belastungs-Wirkungsbeziehungen der drei Krankheitsbilder gleichzeitig erhöht bzw. reduziert, so schwanken die Lärmkosten um  $-28\%$  /  $+34\%$ , wobei die Unterschiede zwischen den Verkehrsträgern begrenzt sind. Diese Schwankungsbreiten sind eigentlich zu hoch, weil die Expositionswirkungsbeziehungen der drei Krankheitsbilder un-

---

<sup>285</sup> Nicht berücksichtigt sind individuelle Adaptionenmassnahmen wie Schallschutzfenster, das Schliessen von Fenstern oder das Tragen von Ohrstöpseln. Es ist zu beachten, dass solche Massnahmen in den Originalstudien implizit mitberücksichtigt sind.

<sup>286</sup> Würden die sozialen Kosten betrachtet würden die Lärmkosten um  $\pm 11\%$  schwanken, was dem Durchschnitt der Angaben in Abbildung 8-31 entspricht.

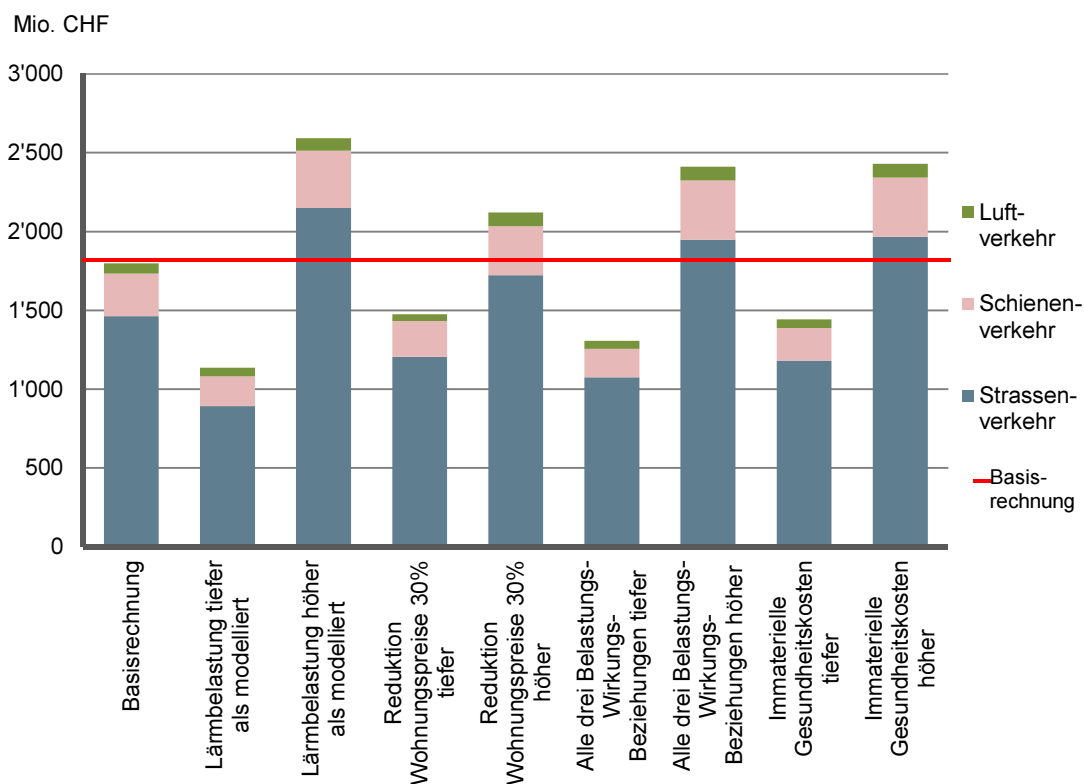
<sup>287</sup> Bei dieser Sensitivität wird lediglich die Schwankungsbreite des Ergebnisses für den Gesamtverkehr überschätzt, weil die Unsicherheiten der drei Verkehrsträger unabhängig voneinander sind (vgl. Fussnote 157). Die Bandbreiten der einzelnen Verkehrsträger sind jedoch korrekt, da den Schwankungsbreiten des ZKB-Lärmmasses bzw. des LDEN die gleiche Unsicherheit zugrunde liegt.

<sup>288</sup> Die Schwankungsbreite ist mit  $\pm 34\%$  grösser als die Schwankung der Preisabnahme von  $\pm 30\%$ . Dies lässt sich damit erklären, dass der Internalisierungsbeitrag unverändert bleibt (die sozialen Kosten schwanken lediglich um  $\pm 22\%$ ).

Abbildung 8-32: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für die externen Lärmkosten 2010

Externe Lärmkosten in Mio. CHF	Strassen- verkehr	Schienen- verkehr	Luft- verkehr	Total
<b>Basisrechnung</b>	<b>1'463.5</b>	<b>269.1</b>	<b>66.2</b>	<b>1'798.7</b>
Lärmbelastung tiefer als modelliert	892.4	189.3	54.6	<b>1'136.3</b>
Lärmbelastung höher als modelliert	2'148.6	366.2	77.7	<b>2'592.5</b>
Reduktion Wohnungspreise 30% tiefer	1'204.1	227.4	43.7	<b>1'475.2</b>
Reduktion Wohnungspreise 30% höher	1'722.8	310.8	88.6	<b>2'122.3</b>
Alle drei Belastungs-Wirkungs-Beziehungen tiefer	1'073.3	184.2	49.7	<b>1'307.2</b>
Alle drei Belastungs-Wirkungs-Beziehungen höher	1'948.5	375.1	86.8	<b>2'410.4</b>
Immaterielle Gesundheitskosten tiefer	1'181.1	207.8	54.3	<b>1'443.1</b>
Immaterielle Gesundheitskosten höher	1'965.9	378.0	87.3	<b>2'431.1</b>
<b>Abweichung von Basisrechnung in %</b>				
Lärmbelastung tiefer als modelliert	-39.0%	-29.7%	-17.5%	<b>-36.8%</b>
Lärmbelastung höher als modelliert	46.8%	36.1%	17.5%	<b>44.1%</b>
Reduktion Wohnungspreise 30% tiefer	-17.7%	-15.5%	-33.9%	<b>-18.0%</b>
Reduktion Wohnungspreise 30% höher	17.7%	15.5%	33.9%	<b>18.0%</b>
Alle drei Belastungs-Wirkungs-Beziehungen tiefer	-26.7%	-31.6%	-24.9%	<b>-27.3%</b>
Alle drei Belastungs-Wirkungs-Beziehungen höher	33.1%	39.4%	31.1%	<b>34.0%</b>
Immaterielle Gesundheitskosten tiefer	-19.3%	-22.8%	-18.0%	<b>-19.8%</b>
Immaterielle Gesundheitskosten höher	34.3%	40.5%	31.9%	<b>35.2%</b>

Abbildung 8-33: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für die Lärmkosten



abhängig voneinander sind (vgl. Fussnote 157).<sup>289</sup> Trotzdem ist die Schwankungsbreite geringer als aufgrund der Ungenauigkeit bei der Schätzung der Lärmbelastung.

- Wird der immaterielle Wert eines verlorenen Lebensjahres verdoppelt bzw. halbiert und werden gleichzeitig die übrigen immaterielle Kosten um  $\pm 50\%$  variiert, so steigen die Lärmkosten um 35% bzw. sie sinken um 20%. Wiederum ist diese Schwankungsbreite eigentlich zu hoch, da der VLYL und die übrigen immateriellen Kosten voneinander unabhängig sind (vgl. Fussnote 157). Wird der VLYL alleine variiert, so schwanken die Lärmkosten um +30% / -15%.

Gesamthaft schwanken die externen Lärmkosten des Verkehrs in den Sensitivitätsanalysen zwischen 1.14 und 2.59 Mrd. CHF.

### 8.6.3 Zusätzliche Unter- oder Überschätzungen

Es ist nochmals zu betonen, dass in dieser Studie **nur** die Auswirkungen des **Lärms am Wohnort** ermittelt werden. **Weitere Lärmkosten** werden **nicht berücksichtigt** (vgl. Kapitel 8.1):

- Auswirkungen des Lärms in Schutz- und Erholungsgebieten
- Auswirkungen des Lärms am Arbeitsplatz sowie in der Schule (eine Grobschätzung zeigt, dass Lernschwierigkeiten zu zusätzlichen Lärmkosten im Umfang von ca. 110 Mio. CHF im Jahr 2000 führen könnten<sup>290</sup>)
- Verluste durch Auszonung oder Nicht-Einzonung von Grundstücken
- Kosten von Schallschutzmassnahmen
- Lärmfluchtkosten
- Baulärm
- Lärm auf dem Flugplatz
- Kosten in Freizeit und Tourismus
- Auswirkungen auf die Fauna.

**Deshalb unterschätzen die ausgewiesenen Lärmkosten die tatsächlich durch den Lärm verursachten externen Kosten klar.**

Ausserdem werden in einigen Bereichen gemäss dem at least Ansatz konservative Annahmen getroffen, die zu einer **weiteren Unterschätzung der Lärmkosten** führen. Folgende Faktoren sprechen für diese Einschätzung:

---

<sup>289</sup> Auf der anderen Seite bilden die Konfidenzintervalle nicht die ganze Unsicherheit in der Epidemiologie ab.

<sup>290</sup> Basierend auf aktuellen Ergebnissen der WHO (2011, Burden of disease from environmental noise) wurde als Grobschätzung berechnet, dass die Kosten von Lernschwierigkeiten bei Kindern in den Grössenordnung von insgesamt 110 Mio. CHF liegen könnten, wovon 93 Mio. CHF auf den Strassenlärm, 14 Mio. CHF auf den Schienenlärm und 3 Mio. CHF auf den Fluglärm zurückzuführen sind (Ecoplan 2013, Auswirkungen des Verkehrslärms auf die Gesundheit und Ecoplan 2011, Vergleich der Berechnung von lärmbedingten DALY und externen Lärmkosten).

### Lärmbelastung

- Zumindest einige Personen fühlen sich auch durch **Lärm unterhalb des Schwellenwertes** (40 dB(A) nachts bzw. 50 dB(A) tags) gestört. Die **Störwirkung** tritt insbesondere bei einem Aufenthalt im Garten / auf dem Balkon auf. Auch seltene Ereignisse wie ein Flugzeug oder eine Zugsdurchfahrt (deren durchschnittliches Lärmniveau aufgrund der Seltenheit tief ist) führen zu Belästigungen und damit zu einer Zahlungsbereitschaft für deren Vermeidung.
- Beim Flughafen Basel wird nur der Lärm auf Schweizer Territorium (kleiner Teil des Lärms) berücksichtigt (weil nur Daten für die Schweiz vorhanden sind).

### Belästigungen

- Neben der Reduktion der Wohnungspreise dürfte es auch noch andere lärmbedingte Mehrkosten geben wie z.B. erhöhter Leerstand der Wohnung wegen Lärm oder erhöhte Mieterfluktuationen. Diese zusätzlichen Effekte sind hier nicht berücksichtigt.
- Die **tiefe Leerwohnungsziffer** bzw. der Nachfrageüberhang in der Schweiz und insbesondere in Zürich und Genf könnte Grund dafür sein, dass die wahren Präferenzen der Mieter für Ruhe sich nicht vollständig in den Mietpreisen widerspiegeln bzw. dass die **Mietzinsausfälle unterschätzt** werden (vgl. Kapitel 8.4.1).
- Die Herleitung der „Mietpreise“ für Eigentumswohnungen dürfte tendenziell eher zu einer Unterschätzung führen, da Eigentumswohnungen im Durchschnitt besser ausgestattet sind als Mietwohnungen (höhere Ansprüche an Eigentumswohnungen).

### Gesundheitskosten

- Der **Schwellenwert** für Gesundheitseffekte wurde bei einem  $L_{DEN}$  von 48 dB(A) gesetzt. Der hergeleitete Schwellenwert ist zwar tiefer als in bisherigen Kostenstudien. Dennoch ist zu betonen, dass einige Studien auch unterhalb dieser Schwelle Effekte auf das kardiovaskuläre System beobachtet haben.
- **Ambulante Behandlungen** und der **Medikamentenverbrauch** für ischämische Herzkrankheiten und Schlaganfälle werden **nicht berücksichtigt**.
- **Für Personen bis 30 Jahre** werden keine verlorenen Lebensjahre ermittelt. Die Berücksichtigung der jüngeren Personen würde die verlorenen Lebensjahre jedoch lediglich um 0.2% erhöhen.
- Für **weitere Krankheiten**, die durch den Lärm verschlimmert werden dürften (wie z.B. überhöhte Blutfettwerte, Diabetes etc.), liegen (noch) keine gesicherten Zusammenhänge vor. Diese Krankheitsbilder mussten deshalb **vernachlässigt** werden.
- Bei den verlorenen Lebensjahren wird nicht berücksichtigt, dass die **Lebenserwartung** der Bevölkerung in Zukunft weiter zunehmen wird.
- Die Gesundheitseffekte von Lärm und Luftverschmutzung beeinflussen sich gegenseitig: Kommt der Lärm zur Luftbelastung hinzu, so wirkt sich der Lärm nur noch auf die durch die Luftbelastung verminderte Bevölkerung aus. Die Berechnung erfolgt jedoch vereinfachend vollständig unabhängig für Luftbelastung und Lärm. Dies führt tendenziell zu einer Unterschätzung der Kosten (vgl. Kapitel 3.3.2d).



- Die **Anpassung des VOSL an den Risikokontext** könnte im Bereich Lärm zu doppelt (oder sogar dreimal) so hohen Kosten führen.<sup>291</sup> Die verfügbaren empirischen Grundlagen reichen aber zurzeit für eine Anpassung der Zahlungsbereitschaft nicht aus.
- Die **administrativen Kosten** der Gesundheitsschäden werden nicht mit einbezogen, dürften aber weniger als 0.5% der Kosten ausmachen.<sup>292</sup>
- Auch die **Vermeidungskosten** werden vernachlässigt, dürften aber ebenfalls klein sein (vgl. Kapitel 8.4.2a).
- Bei der Bestimmung der **übrigen Kostensätze** wurden gemäss dem at least Ansatz ebenfalls **vorsichtige Werte** verwendet (vgl. Fussnote 165 in Kapitel 3.6.3).

Als gegenläufigen Effekt zur Unterschätzung muss beachtet werden, dass die Bestimmung der Lärmbelastung gemäss der maximalen Lärmimmission pro Etage dazu führt, dass alle Wohnungen bzw. Personen der entsprechenden Etage mit der maximalen Lärmbelastung in das Mengengerüst einfließen (vgl. Kapitel 8.3.1a). Im Prinzip würde das zu einer Überschätzung führen. Jedoch wird sowohl bei den epidemiologischen Studien zu den lärmbedingten Krankheitsfolgen wie auch bei den Hedonic-Pricing-Studien zum Einfluss des Lärms auf die Wohnungsmieten diese potenzielle Überschätzung durch die Verwendung des gleichen oder ähnlichen Lärmmasses bereits kompensiert.<sup>293</sup>

Zudem werden gewisse Gebäude bzw. Personen von mehreren Lärmquellen (Strassen-, Schienen- und Luftverkehr) gleichzeitig belastet. Darauf wird in SonBase bewusst keine Rücksicht genommen. Dies führt zu einer gewissen Überschätzung. Gesamthaft sind die Gründe für eine Unterschätzung der Lärmkosten jedoch klar dominant.

## 8.7 Vergleich zu den bisherigen Berechnungen

Wie bei den vorangehenden Kostenbereichen werden auch hier die Ergebnisse für das Jahr 2010 mit den bisherigen Werten aus dem Jahr 2005 verglichen. Wiederum beschränkt sich die Gegenüberstellung auf den Strassen- und Schienenverkehr, da für die übrigen Verkehrsarten keine Berechnungen zum Jahr 2005 vorliegen.

---

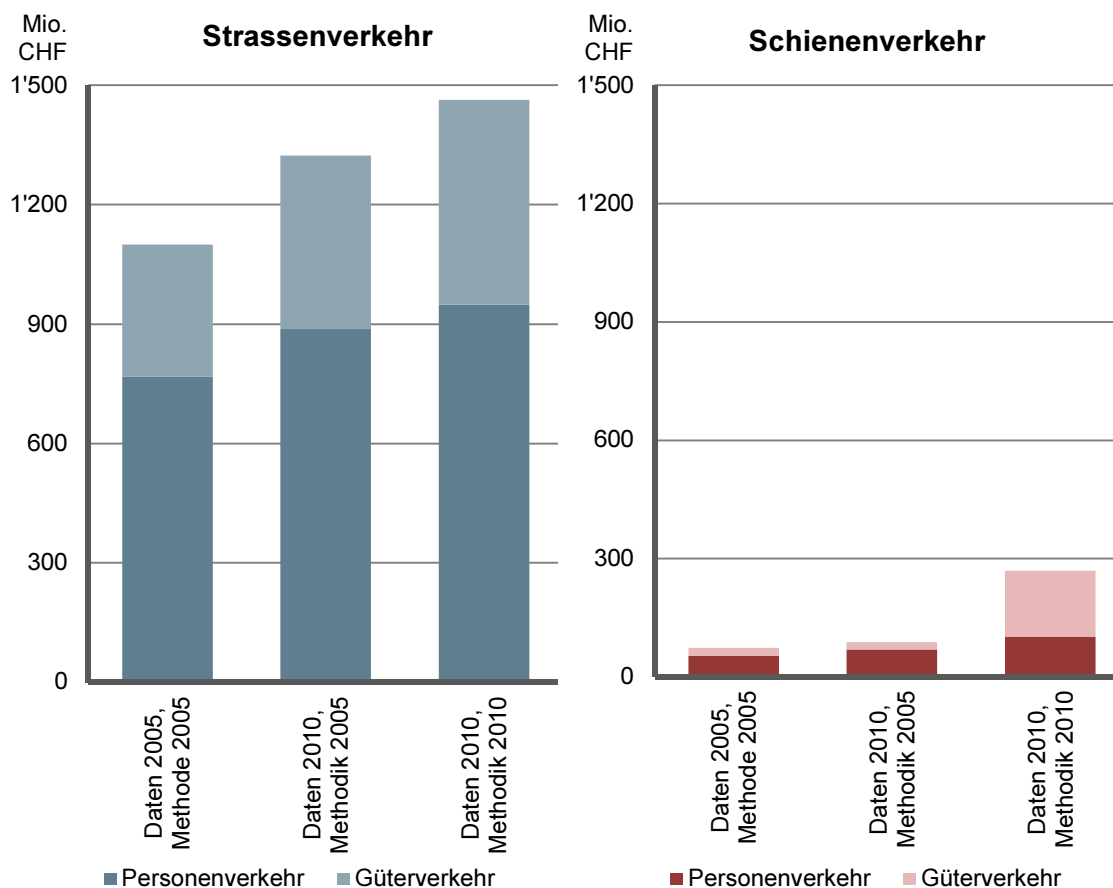
<sup>291</sup> Ecoplan, Infrac (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz.

<sup>292</sup> Ecoplan (1996), Monetarisierung der verkehrsbedingten externen Gesundheitskosten, S. 71-74.

<sup>293</sup> Am Beispiel von belärmten Wohnungen kann diese wie folgt erläutert werden: Nehmen wir (rein zu illustrativen Zwecken) an, dass in ein Sample für eine Hedonic Pricing-Studie nur zwei Häuser berücksichtigt werden. In Haus A sind alle Wohnungen unbelärmt. In Haus B mit je drei Wohnungen pro Etage seien jeweils zwei Wohnungen belärmt und eine unbelärmt. Die Lärmbestimmung in SonBase führt dazu, dass alle Wohnungen in Haus B als belärmt in die Stichprobe einfließen. Bezüglich der zu beobachtenden Wohnungsmieten werden aber unterschiedliche Werte für die belärmten Wohnungen in Haus B und die unbelärmten Wohnungen in Haus A und B in die Stichprobe einfließen. Wird nun basierend auf diesem (sehr vereinfachten) Sample der Zusammenhang zwischen Lärm und Mietpreis ermittelt, so wird dieser aufgrund der verzerrten Zuweisung eines Drittels der Wohnungen von Haus B (sie befinden sich im Topf „belärmt“ statt „unbelärmt“) etwas schwächer ausfallen, als wenn die unbelärmten Wohnungen in Haus B ebenfalls dem korrekten Topf „unbelärmt“ zugewiesen worden wären.

Um sowohl Veränderungen über die Zeit wie auch in der Berechnungsmethodik separat ausweisen zu können, wurden die Ergebnisse für das Jahr 2010 zusätzlich nach bisheriger Methodik ermittelt.<sup>294</sup> Die entsprechenden Ergebnisse sind in den beiden folgenden Abbildungen dargestellt. Nachstehend wird auf die wesentlichen Veränderungen eingegangen.

Abbildung 8-34: Vergleich der Berechnungen für die Lärmkosten 2005 und 2010



#### a) Zeitliche Entwicklung 2005 bis 2010

Zwischen 2005 und 2010 (berechnet nach Methodik 2005) nehmen die Lärmkosten um 20% zu. Dies ist auf folgende Gründe zurückzuführen:

- Die Mietzinsausfälle haben aufgrund der Zunahme der Mietpreise (+11%) und der Zunahme der Anzahl Wohnungen (+9%) um insgesamt 21% zugenommen. Da die Mietzins-

<sup>294</sup> Zum Berechnungshergang mit dem Aktualisierungstool 2005 und den damit verbundenen Einschränkungen siehe die Ausführungen in Abschnitt 3.7, S. 91).

ausfälle 2005 insgesamt 91% der Lärmkosten im Strassenverkehr ausmachen und 71% im Schienenverkehr erklärt dies bereits einen Grossteil der Zunahme.

- Auch die Gesundheitskosten haben um 18% zugenommen. Dies ist einerseits auf die Zunahme der Kostensätze (insbesondere Nominalwachstum um 8%) und andererseits auf das Bevölkerungswachstum von 9% zurückzuführen.<sup>295</sup>
- Im Strassenverkehr ist die Zunahme im Güterverkehr ausgeprägter, da gemäss den revidierten Fahrleistungen die Zunahme der Fzkm im Güterverkehr grösser ist als im Personenverkehr.
- Im Schienenverkehr haben gemäss BFS die Zugkm im Personenverkehr um 12% zugenommen, im Güterverkehr nahmen sie demgegenüber um 22% ab. Entsprechend ergibt sich im Güterverkehr eine Abnahme.

**Abbildung 8-35: Vergleich der Berechnungen für die Lärmkosten 2005 und 2010**

	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
<b>Daten 2005, Methodik 2005</b>			
Strassenverkehr	767.7	333.0	<b>1'100.7</b>
Schienenverkehr	53.3	20.4	<b>73.7</b>
<b>Total</b>	<b>821.0</b>	<b>353.4</b>	<b>1'174.4</b>
<b>Daten 2010, Methodik 2005</b>			
Strassenverkehr	887.8	435.6	<b>1'323.5</b>
Schienenverkehr	69.8	18.5	<b>88.3</b>
<b>Total</b>	<b>957.6</b>	<b>454.1</b>	<b>1'411.8</b>
<b>Daten 2010, Methodik 2010</b>			
Strassenverkehr	949.4	514.0	<b>1'463.5</b>
Schienenverkehr	101.0	168.1	<b>269.1</b>
<b>Total</b>	<b>1'050.4</b>	<b>682.1</b>	<b>1'732.6</b>
<b>Veränderung Daten 2005 - 2010</b>			
Strassenverkehr	15.7%	30.8%	<b>20.2%</b>
Schienenverkehr	30.9%	-9.2%	<b>19.8%</b>
<b>Total</b>	<b>16.6%</b>	<b>28.5%</b>	<b>20.2%</b>
<b>Veränderung Methoden Anpassung</b>			
Strassenverkehr	6.9%	18.0%	<b>10.6%</b>
Schienenverkehr	44.7%	809.0%	<b>204.8%</b>
<b>Total</b>	<b>9.7%</b>	<b>50.2%</b>	<b>22.7%</b>

<sup>295</sup> Das Bevölkerungswachstum bezieht sich dabei insbesondere auf die über 43-Jährigen, denn bei den Bluthochdruck bedingten Krankheiten treten die Todesfälle erst nach dem 43-igsten Lebensjahr auf.

## b) Methodenanpassung

Wie die Abbildung 8-34 und Abbildung 8-35 zeigen, führt der Methodenwechsel im Strassenverkehr zu einer Zunahme um 11%, im Schienenverkehr jedoch zu mehr als einer Verdreifachung. Die Gründe für diese teils massiven Veränderungen sollen im Folgenden genauer untersucht werden.

- **Lärmniveau:** Die Lärmmodellierung erfolgt mit einer verbesserten neuen SonBase-Version (siehe Kapitel 8.3.1). Sowohl im Strassen- als auch im Schienenverkehr haben sich die Lärmbelastungen durch die genaueren Verkehrsdaten und die verbesserten Lärmberechnungen etwas erhöht.<sup>296</sup> Bei der Ermittlung der Gesundheitseffekte gibt es zudem eine zusätzliche Änderung: Im Jahr 2005 erfolgte die Abschätzung der Lärmbelastung auf dem Beurteilungspegel  $L_r$ . Bei diesem Beurteilungspegel erhält der Schienenlärm einen Bonus von 5 dB(A). In der neuen Abschätzung der Gesundheitseffekte mit dem  $L_{DEN}$  erhält der Schienenlärm im Vergleich zu den anderen Lärmarten keinen Bonus mehr (vgl. Kapitel 8.3.1a).<sup>297</sup>
- **Belästigungen:** Bisher wurde für alle Lärmquellen eine Abnahme von 0.6% ab 55 dB(A) Tageslärm verwendet. In den aktuellen Berechnungen sind nun mehrere Anpassungen enthalten:
  - Die Abnahme der Wohnungspreise pro dB(A) wird im Strassen- und Schienenverkehr geringer veranschlagt als bisher (neu 0.21% bis 0.59% je nach Wohnung (Mietwohnung / Eigentumswohnung) und Lärmquelle (Strasse / Schiene) gegenüber bisher generell 0.6%). Dies führt neu zu tieferen Lärmkosten.
  - Die Abnahme beginnt bereits ab einem Tageslärmniveau von 50 dB(A), statt wie bisher ab 55 dB(A). Dies führt zu höheren Lärmkosten.
  - Es wird nicht nur der Tageslärm berücksichtigt, sondern neu primär der Nachtlärm. Es ist unklar, ob dies im Strassenverkehr zu höheren oder tieferen Lärmkosten führt. Im Schienenverkehr ist mit höheren Kosten zu rechnen, da der Nachtlärm durchschnittlich nur ca. 2 bis 4 dB(A) unter dem Tageslärm liegt.<sup>298</sup>

Zudem wurde auch die Festlegung der Preisniveaus von Wohnungen angepasst: Bisher wurde mangels Datengrundlagen der Durchschnitt aller Wohnungen verwendet, d.h. die Eigentumswohnungen waren bisher übervertreten. Mit den neu verfügbaren Daten fällt das durchschnittliche Preisniveau der belärmten Wohnungen um 5% tiefer aus (neu 1'352 statt 1'422 CHF pro Monat, vgl. Abbildung 8-21).

Zusammen mit den geänderten Lärmdaten (neuere Version von SonBase) ergibt sich somit im Strassenverkehr eine Abnahme um 28%. Im Schienenverkehr hingegen eine Zunahme um 120%. Im Schienenverkehr ist dies vor allem auf die Berücksichtigung des Nachtlärms zurückzuführen.

---

<sup>296</sup> Persönliche Kommunikation von n-Sphere.

<sup>297</sup> Bei der Bewertung von Belästigungen wird der Schienenbonus jedoch wie bisher weiterverwendet (vgl. Kapitel 8.3.1a).

<sup>298</sup> Vgl. Abbildung 8-2 in EcoPlan (2013), Auswirkungen des Verkehrslärms auf die Gesundheit.

- **Gesundheitseffekte:** Im Vergleich zum Jahr 2000 gibt es deutlich mehr epidemiologische Studien zu den Auswirkungen von Verkehrslärm auf kardiovaskuläre Erkrankungen. Dadurch hat sich die Expositions-Wirkungsbeziehung verändert.
  - **Ischämische Herzkrankheiten:** In der Berechnung für das Jahr 2005 wurde für ischämische Herzkrankheiten eine Zunahme des Risikos um 9% pro 5 dB(A) angenommen. In die neue Expositions-Wirkungsbeziehung für ischämische Herzkrankheiten sind elf Studien eingeflossen. Von diesen Studien ist eine Zunahme des Risikos um 4.6% pro 10 dB(A) hergeleitet worden. Das ist zwar ein deutlich kleinerer Risikoanstieg als früher. Jedoch hat sich der Schwellenwert, ab dem Auswirkungen quantifiziert werden, markant nach unten verschoben. Im Jahr 2000 ging man davon aus, dass erst ab einem Tageslärm von 65 dB(A) Gesundheitsauswirkungen auftreten. Mittlerweile haben viele Studien gezeigt, dass bereits bei deutlich tieferen Belastungen Auswirkungen auftreten. Eine Auswertung aller Schwellenwerte ergibt, dass kardiovaskuläre Erkrankungen ab einem  $L_{DEN}$  von 48 dB(A) auftreten. Da damit viel mehr Leute exponiert sind, führt dies – zusammen mit den neuen Lärmdaten – im Strassenverkehr zu rund zehn Mal höheren Kosten durch ischämische Herzkrankheiten (trotz des kleineren Risikoanstiegs pro Dezibel). Im Schienenverkehr ist die Zunahme mit einem Faktor 40 sogar noch ausgeprägter, wobei das bisherige Ergebnis von 1.9 Mio. CHF auch sehr tief war. Grund für die höhere Zunahme im Schienenverkehr als im Strassenverkehr ist wiederum die Berücksichtigung des Nachtlärms (in  $L_{DEN}$ ), der im Schienenverkehr nur knapp unter dem Tageslärm liegt sowie die Vernachlässigung des Schienenbonus von 5 dB.
  - **Bluthochdruck bedingte Krankheiten:** Früher wurde ab einem Belastungsschwellenwert von 50 dB(A) Nachtlärm von einer Zunahme von 41.5% pro 5 dB(A) ausgegangen. In die aktuelle Auswertung fliessen Daten von 34 Studien ein. Diese ergeben, dass das Risiko für Bluthochdruck-bedingte Erkrankungen ab einem  $L_{DEN}$  Schwellenwert von 48 dB(A) um 7.6% pro 10 dB(A) Verkehrslärm ansteigt. Da bei der  $L_{DEN}$ -Berechnung für nächtlichen Lärm 10 dB addiert werden, ist dieser Schwellenwert deutlich tiefer als der früher verwendete Wert. Dies führt gesamthaft im Strassenverkehr zu etwa 2.5-mal so hohen Kosten als gemäss bisheriger Methodik für 2010 berechnet wurde. Im Schienenverkehr ist die Zunahme mit einem Faktor 2 etwas geringer, weil der Nachtlärm neu weniger stark gewichtet wird (8 Stunden Nachtlärm in  $L_{DEN}$ ) als bisher (nur Nachtlärm).
  - **Schlaganfälle:** Neu sind in dieser Studie auch Auswirkungen auf Schlaganfälle quantifiziert worden. Die Schlaganfälle machen lediglich 7% der neu berechneten Gesundheitskosten aus.

Gesamthaft nehmen die Gesundheitskosten gegenüber der bisherigen Berechnungsmethodik damit um gut den Faktor 5 zu (im Strassen- und Schienenverkehr).

- **Zusammenfassend** ist festzuhalten, dass im Strassenverkehr die Kosten durch Belästigungen um 339 Mio. CHF abnehmen, aber die Kosten der Gesundheitseffekte um 479 Mio. CHF zunehmen, so dass sich die Kosten gesamthaft um 140 Mio. CHF oder 11% erhöhen (vgl. Abbildung 8-36 und Abbildung 8-35). Im Schienenverkehr nehmen die Kosten durch Belästigungen um 76 Mio. CHF zu (Faktor 2.2) und die Gesundheitskosten um

weitere 105 Mio. CHF (Faktor 5). Dies erklärt die Zunahme im Schienenverkehr insgesamt um 181 Mio. CHF bzw. den Faktor 3.

**Abbildung 8-36: Überblick über die Effekte der Methodenanpassung auf das Endergebnis**

	Veränderung in Mio. CHF			
	Strasse		Schiene	
	PV	GV	PV	GV
Neue Methodik für Belästigungen und neue Lärmdaten		-339		76
Neue Belastungs-Wirkungs-Beziehungen und Vernachlässigung Schienenbonus				
- Ischämische Herzkrankheiten		317		74
- Bluthochdruck bedingte Krankheiten		122		22
- Schlaganfall		41		9
Aufteilung auf Personen- und Güterverkehr	-32	32	-112	112
<b>Total</b>	<b>62</b>	<b>78</b>	<b>31</b>	<b>150</b>

Der Ergebnisvergleich für das Jahr 2010 zeigt nicht nur in den absoluten Kosten des Strassen- und Schienenlärms grosse Unterschiede, sondern insbesondere im Schienenverkehr auch bei der **Aufteilung auf den Personen- und Güterverkehr**. Dies ist auf folgende Umstände zurückzuführen: Sowohl im Strassen- als auch im Schienenverkehr konnte die Aufteilung auf den Personen- und Güterverkehr erstmals basierend auf Auswertungen von Son-Base durchgeführt werden und fällt damit viel präziser aus als die bisherigen, eher groben Abschätzungen:

- Im Strassenverkehr zeigt sich, dass der Anteil des Güterverkehrs dadurch von 33% auf 35% steigt. Damit werden 32 Mio. CHF vom Personen- auf den Güterverkehr verschoben (vgl. Abbildung 8-36). Dies erklärt die unterschiedliche Kostenentwicklung im Personen- und Güterverkehr (+7% versus +18% – vgl. Abbildung 8-35).
- Im Schienenverkehr wurde bereits in Kapitel 8.3.1c) erläutert, dass die neuen Datengrundlagen zu einer massiven Verschiebung der Lärmkosten vom Personen- auf den Güterverkehr führen. Neu entfallen 62% der Kosten auf den Güterverkehr, während es gemäss der alten Methodik (ausgewertet für 2010) nur 21% sind. Im Personenverkehr ergibt sich somit ein starke Zunahme aufgrund der allgemeinen Zunahme im Schienenverkehr, aber eine deutliche Abnahme aufgrund der Verteilung zwischen Personen- und Güterverkehr. Gesamthaft nimmt der Personenverkehr damit „nur“ um 45% zu. Im Güterverkehr hingegen kommt zur allgemeinen Erhöhung der Lärmkosten des Schienenverkehrs noch die Erhöhung des Güterverkehrsanteils hinzu. Beides zusammen erklärt die massive Zunahme um 810% (vgl. Abbildung 8-35). Damit werden 112 Mio. CHF neu dem Güter- statt dem Personenverkehr angelastet (vgl. Abbildung 8-36).

## 9 Klima

### 9.1 Berechnungsgegenstand

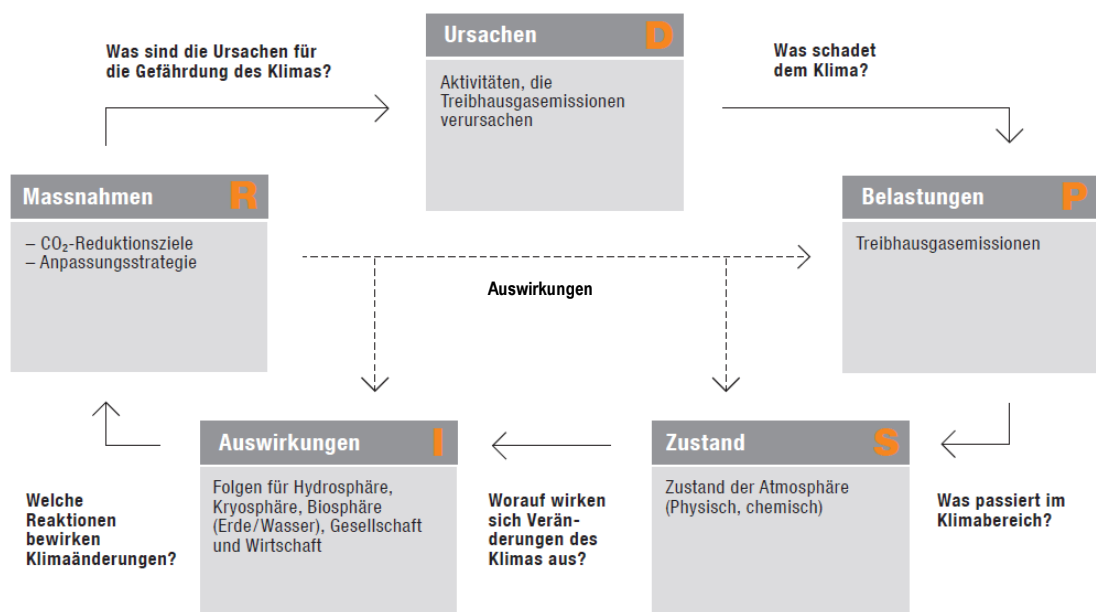
Verkehrsaktivitäten führen zu Emissionen von Treibhausgasen, insbesondere durch die Verbrennung von fossilen Treibstoffen wie Benzin, Diesel oder Kerosin. Diese Treibhausgasemissionen führen zu einer Veränderung des Klimas (Klimawandel). Die Folgen des Klimawandels sind vielfältig. Wissenschaftlich belegt sind unter anderem die folgenden Effekte:

- Anstieg des Meeresspiegels infolge globaler Temperaturerhöhung.
- Beeinträchtigung der Nahrungsmittelproduktion durch zunehmende Extremwetterereignisse (Dürren, Starkniederschläge, Wirbelstürme, Zunahme von Schädlingen, etc.); z.T. auch Ertragszunahme durch moderaten Temperaturanstieg.
- Zunehmende Extremwetterereignisse können überdies zu Schäden an Infrastrukturen, Unfällen von Menschen, veränderter Wasserverfügbarkeit (z.B. Wasserknappheit) und anderen Schäden führen.
- Gesundheitsschäden: direkte Wirkungen durch extreme Wetterereignisse, die das Risiko von Herz-Kreislaufkrankungen oder Asthma erhöhen (z.B. Hitze) oder aber zu Unfällen oder Wasserverunreinigungen führen können.
- Schäden an Ökosystemen und Verminderung der biologischen Vielfalt.

Möglich sind überdies eine grosse Zahl indirekter Folgen, u.a. durch grosse Migrationsbewegungen von Menschen als Folge verschlechterter Klima- und Lebensbedingungen oder gar unbewohnbar gewordener Gebiete. Ebenso werden nebst der Landwirtschaft verschiedene andere Wirtschaftszweige je nach Region sehr stark von den Klimaänderungen betroffen sein, z.B. der Tourismus oder die Fischerei. Die Forschung im Bereich der Quantifizierung der Folgen des Klimawandels hat sich in den letzten Jahren stark entwickelt. Dennoch sind insbesondere die Unsicherheiten in Bezug auf die langfristigen Folgen und Schäden erheblich (IPCC 2013, IPCC 2007, OcCC 2012).

Die folgende Figur zeigt schematisch die Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge des Klimawandels auf, das heisst die Ursachen- und Belastungsfaktoren des Klimawandels sowie dessen Folgen.

Abbildung 9-1: Ursache-Wirkungsketten von Klimawandel, eingebettet in das DPSIR-Modell<sup>299</sup>



Kryosphäre = Eis bzw. eisbedeckte Oberfläche.

Quelle: BAFU, MeteoSchweiz (2013)

## 9.2 Bewertungsmethodik und wichtigste neue Erkenntnisse

### 9.2.1 Wichtige methodische Entwicklungen

Die zentrale Frage für die Berechnung der klimabedingten Kosten bleibt die Höhe des CO<sub>2</sub>-Kostensatzes. In der letzten Berechnung der externen Kosten des Verkehrs (Ecoplan, Infrac 2008) wurden die Kostensätze aus dem EU-Handbuch (IMPACT) angewandt. Als zentraler Wert wurde (neben einem unteren und oberen Wert) ein Kostensatz von 90 CHF pro Tonne CO<sub>2</sub> verwendet. Dieser Wert wird in der vorliegenden Studie auf Basis der neusten wissenschaftlichen Erkenntnisse aktualisiert. Im Folgenden werden nach einleitenden Grundsatzüberlegungen zur Monetarisierung der Klimakosten wichtige Erkenntnisse aus der Forschung zur Bewertung der Kosten des Klimawandels dargestellt. Die abschliessenden Empfehlungen in Bezug auf den konkreten CO<sub>2</sub>-Kostensatz folgen im Kapitel 9.4.

<sup>299</sup> Das DPSIR-Modell steht für ein im Umweltbereich oft angewandtes Ursache-Wirkungsketten-Modell, das unterscheidet zwischen Ursachen (Drivers), Belastungen (Pressures), Zustand (State), Auswirkungen oder Folgen (Impacts) und Massnahmen (Responses) – vgl. Kapitel 2.2.



## a) Einleitung

Für die Monetarisierung der Klimakosten bieten sich grundsätzlich zwei Methoden an:

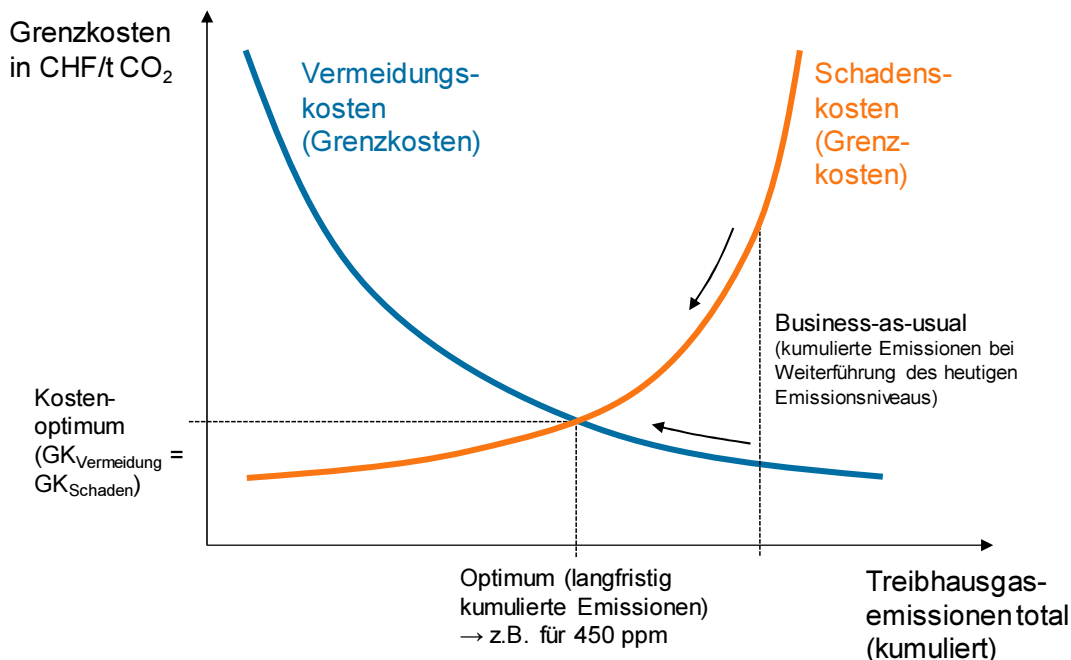
- **Schadenskosten:** Wenn immer möglich werden die externen Kosten des Verkehrs auf der Basis von Schadenskosten monetarisiert. Im Falle des Klimawandels bedeutet dies allerdings, dass man die durch den Klimawandel verursachten Schäden abschätzen und monetarisieren muss. Dies ist zwar grundsätzlich möglich, aber heute immer noch mit sehr grossen Unsicherheiten verbunden.
- **Vermeidungskosten:** Alternativ können die Kosten auch mit Hilfe von Vermeidungskosten ermittelt werden. Dazu muss allerdings ein explizites Vermeidungsziel für die Emission von Treibhausgasen festgelegt werden. Auch die Monetarisierung mittels Vermeidungskosten ist jedoch mit erheblichen Unsicherheiten verbunden.

Aus ökonomischer Sicht wäre es am effizientesten, die Treibhausgasemissionen so stark zu vermeiden, dass auf dem entsprechenden Emissionsniveau die Grenzsadenskosten pro Tonne CO<sub>2</sub> gerade so gross sind wie die Grenzvermeidungskosten (siehe Abbildung 9-2)<sup>300</sup>. Praktisch ist dieser optimale Punkt natürlich schwierig zu identifizieren. Grundsätzlich aber wird es nicht das Ziel sein, sämtliche Treibhausgasemissionen zu vermeiden, sondern nur bis zu einem gewissen Punkt, bei dem man die Schäden als noch tragbar einschätzt. Wo sich dieser Punkt genau befindet, d.h. welches Niveau des Klimawandels als noch akzeptabel betrachtet wird, müssen Wissenschaft und Politik definieren. In den letzten Jahren hat sich in der internationalen Forschung die Meinung durchgesetzt, dass die Klimaerwärmung im weltweiten Durchschnitt nicht mehr als 2 Grad Celsius über dem Niveau vor der Industrialisierung betragen sollte, damit die negativen Effekte des Klimawandels nicht zu gross werden und Kippeffekte wenn möglich vermieden werden können. Das 2-Grad-Ziel wurde vom internationalen Klimabeirat IPCC aus wissenschaftlicher Sicht definiert (IPCC 2007 sowie bereits in früheren Publikationen des IPCC ab den 90er Jahren) und ist später im Rahmen der internationalen Klimakonferenz von Cancun 2010 auch offiziell von den Mitgliedstaaten der UN-Klimarahmenkonvention anerkannt worden (UNFCCC 2010). Auch im revidierten CO<sub>2</sub>-Gesetz der Schweiz ist das 2-Grad-Ziel festgehalten. Im Moment wird mangels internationalen Abkommens mit verbindlichen Reduktionszielen (post-Kyoto) zwar bereits befürchtet, dass das 2-Grad-Ziel nicht einzuhalten ist. Dennoch wird das Ziel international weiterhin verfolgt und anerkannt. Selbstverständlich wissen wir heute nicht abschliessend, ob das formulierte 2-Grad-Ziel aus ökonomischer Sicht im Optimum liegt.

---

<sup>300</sup> Beim Klimawandel sind für ein bestimmtes Emissionsniveau die Grenzkosten identisch wie die Durchschnittskosten. Zwar verändern sich die Grenzvermeidungskosten in Abhängigkeit eines Emissionsziels (bzw. ppm-Ziels), d.h. die Grenzvermeidungskosten sind bei strengeren Zielen entsprechend höher. Für die Erreichung eines definierten Emissionsziels (z.B. 450 ppm CO<sub>2</sub>-eq) gibt es also einen fixen ‚mittleren‘ Vermeidungskostensatz; oder anders ausgedrückt: Gesamtkosten / Emissionsvermeidung (im Ausmass zur Erreichung von 450 ppm) = Durchschnittskostensatz. Entsprechend können z.B. die in Abbildung 9-4 angegebenen Grenzkosten zur langfristigen Erreichung des Stabilisierungsziels von 450 ppm für die Berechnung der gesamten Klimakosten ebenfalls als Durchschnittskostensatz verwendet und mit den Gesamtemissionen multipliziert werden.

**Abbildung 9-2: Vermeidungskosten und Schadenskosten von Klimawandel**  
 Darstellung bezieht sich auf die Grenzkosten, d.h. die Kosten pro zusätzliche Tonne CO<sub>2</sub>. Beim Klimawandel sind für ein bestimmtes Emissionsniveau die Grenzkosten identisch wie die Durchschnittskosten.<sup>301</sup>



Auch bei der Erreichung eines definierten Emissions- bzw. Erwärmungsziels werden die Schäden durch die Klimaänderung nicht null sein<sup>302</sup>. Das heisst, dass selbst bei Erreichung des 2-Grad-Ziels weiterhin negative Auswirkungen des Ausstosses von Treibhausgasen spürbar sein werden. Zu den bis zur Erreichung des 2-Grad-Ziels nötigen Vermeidungskosten kommen also zusätzlich noch Schadenskosten. Für die Monetarisierung der aktuellen, jährlichen Treibhausgasemissionen mittels Vermeidungskosten müssen diese allerdings nicht zusätzlich berechnet werden, wenn vereinfachend angenommen wird, dass sich das definierte Langfristziel (450 ppm) in etwa im Optimum befindet, in dem die Grenzschaadenskosten gleich hoch sind wie die Grenzvermeidungskosten<sup>303</sup>. Entsprechend kann der gewählte Kostensatz pro Tonne CO<sub>2</sub> für sämtliche heute anfallenden Emissionen angewandt werden.

Ein zurzeit intensiv diskutiertes Thema sind die Anpassungskosten an den Klimawandel. Da klar ist, dass die negativen Folgen des Klimawandels nicht vollständig vermieden werden

<sup>301</sup> Gesamtkosten / Emissionsvermeidung (im Ausmass zur Erreichung von 450 ppm bzw. 2-Grad-Ziel) = Durchschnittskostensatz.

<sup>302</sup> Aus ökonomischer Sicht ist eine komplette Verhinderung von Schäden in der Regel nie optimal, d.h. auch im ökonomischen Optimum und inklusive Internalisierung externer Effekte gibt es weiterhin Emissionen und somit Schäden.

<sup>303</sup> Dies ist eine vereinfachende Annahme, die tendenziell zu einer Unterschätzung der Kosten führt, u.a. weil die Grenzschaadenskosten beim Langfristziel möglicherweise immer noch höher sind als die Grenzvermeidungskosten. Die Schäden bei Erreichung des Langfristziels lassen sich jedoch nicht abschätzen und werden vernachlässigt.

können, sind Massnahmen nötig, um diese negativen Folgen abzuschwächen sowie das Risiko von schweren Schäden zu minimieren. Anpassungskosten müssen bei der hier vorzunehmenden Monetarisierung der Klimakosten *nicht* zusätzlich beachtet oder gar addiert werden. Denn grundsätzlich verfolgen die Anpassungsmassnahmen das Ziel, die Schadenskosten zu vermindern bzw. vor allem das Risiko von grossen Schadensereignissen zu minimieren. Insofern geht die Anpassung immer mit der Verminderung der Schadenskosten einher. Aus diesem Grund würde eine zusätzliche Berücksichtigung der Anpassungskosten zu einer Doppelzählung führen. Nur wenn die Bewertung des Schadens bereits die Umsetzung von bestimmten Anpassungsmassnahmen voraussetzt, müssten diese Anpassungskosten allenfalls zu den nach der Anpassung verbleibenden Schadenskosten addiert werden. Da die heute angewandten Schadenskosten-Modellen (z.B. FUND, siehe unten) in der Regel keine Anpassungsmassnahmen antizipieren und voraussetzen, sind im Rahmen des vorliegenden Projekts die Anpassungskosten nicht zusätzlich zu berücksichtigen.

Im Folgenden werden die neusten wissenschaftlichen Erkenntnisse zu den Schadens- und Vermeidungskosten des Klimawandels kurz dargelegt.<sup>304</sup>

## b) Schadenskosten

Bei den globalen Schadenskosten liegen wenig neue Daten vor. Als zentrale Grundlage werden immer noch die Arbeiten aus dem EU-Forschungsprojekt NEEDS sowie deren Fortschreibung (Anthoff 2007, auf Basis des „Integrierten Bewertungsmodells“<sup>305</sup> FUND, Waldhoff et al. 2011) betrachtet und zitiert, die auch Grundlage für die EU-Studie IMPACT (Handbuch externe Kosten) waren. Auch die neuste UBA Methodenkonvention verweist auf die Schadenskosten von Anthoff (2007).

Eine entscheidende Bedeutung bei der Bewertung der Schadenskosten kommt dem so genannten ‚Equity Weighting‘ zu. Dahinter steckt die Frage, ob Schäden, die weltweit an unterschiedlichen Orten entstehen rein auf Basis des lokalen Einkommensniveaus monetarisiert werden oder ob die Schäden entsprechend den Einkommensäquivalenten gewichtet werden. Ohne ‚Equity Weighting‘ ist ein identischer Schaden in einem ärmeren Land rein monetär erheblich kleiner als in einem reicheren Land. Andererseits ist in Bezug auf das Einkommensniveau in ärmeren Ländern ein entsprechender Schaden möglicherweise viel dramatischer, weil er einen grösseren Teil des Durchschnittseinkommens ausmacht. Mit ‚Equity Weighting‘ werden die Schäden entsprechend den Einkommensäquivalenten gewichtet. Auf diese Weise werden die Kosten bei einem tieferen Durchschnittseinkommen entsprechend höher gewichtet. Die Anwendung des ‚Equity Weighting‘ führt insgesamt zu höheren Schadenskosten des Klimawandels. Die Überlegungen zum ‚Equity Weighting‘ sind beim Klimawandel insbesondere deshalb relevant, weil gemäss vorliegenden wissenschaftlichen Erkenntnissen ärmere Länder stärker von den negativen Folgen des Klimawandels betroffen

---

<sup>304</sup> Die meisten verfügbaren und hier untersuchten Studien stammen aus dem europäischen Raum.

<sup>305</sup> Integrated Assessment Model IAM: umfassendes Modell zur Abschätzung von globalen Schadenskosten des Klimawandels.

sind als reichere Länder. Im Sinne der Verursachergerechtigkeit ist für die Berechnung von Schadenskosten ein ‚Equity Weighting‘ zu empfehlen. Dies empfiehlt auch die aktuellste UBA Methodenkonvention. Das UBA schlägt dabei vor, das ‚Equity Weighting‘ im Sinne des Verursacherprinzips mit dem durchschnittlichen EU-Einkommen durchzuführen. Alternativ ist auch denkbar, eine Gewichtung der Schadenskosten auf Basis der weltweiten Durchschnittseinkommens vorzunehmen. Letzteres führt zu klar tieferen Schadenskosten als das ‚EU Equity Weighting‘.

Eine weitere wichtige Rolle spielt die Diskontierung langfristiger Schäden. Bei intergenerationalen Folgen (Schäden) wie dem Klimawandel liegt der aktuelle wissenschaftliche Konsens für die Verwendung einer Diskontrate bei 1% (IER 2012, Sachstandspapier Klima als Grundlage für die UBA Methodenkonvention). Dieser Wert empfiehlt auch das UBA in der Methodenkonvention (UBA 2013). Unter Verwendung eines ‚EU Equity Weighting‘ und einer Diskontrate von 1% können auf Basis der Daten von Anthoff (2007) für das Jahr 2010 Schadenskosten von gut 120 EUR pro Tonne CO<sub>2</sub> abgeleitet werden. Die folgende Abbildung gibt einen Überblick zu den vom UBA empfohlenen Schadenskosten, in Abhängigkeit der Art des ‚Equity Weightings‘ sowie der Diskontrate.

**Abbildung 9-3: Schadenskosten in EUR<sub>2010</sub>/t CO<sub>2</sub> gemäss UBA Methodenkonvention**

Methoden	2005	2015	2025	2055
EU Equity Weighting, Diskontrate 0%	417	512	569	671
EU Equity Weighting, Diskontrate 1%	112	141	171	226
Weltdurchschnitt Equity Weighting, Diskontrate 0%	88	104	113	137
Weltdurchschnitt Equity Weighting, Diskontrate 1%	24	29	34	46

Quelle: UBA (2013), basierend auf IER (2012b) und Anthoff (2007). Die Werte entsprechen Durchschnittskosten.

Eine neue Studie von Cai, Judd und Lontzek (2012) versucht zudem erstmals auch mögliche Kippeffekte („Tipping Points“), das heisst abrupte Klimaänderungen, zu berücksichtigen und deren Schäden zu monetarisieren. Die Bandbreite der berechneten Schadenskosten ist sehr gross. Die Ergebnisse reichen von 35 bis 50 CHF pro Tonne CO<sub>2</sub> bei den konservativen Rechnungen und steigen rasch auf über 100 CHF/t an unter Berücksichtigung von gewissen Unsicherheiten und Kippeffekten. Werden auch ökonomische Schockwirkungen berücksichtigt, steigen die Kostensätze sogar auf mehr als 1'000 CHF pro Tonne CO<sub>2</sub>. Trotz der grossen Bandbreite unterstützen die Ergebnisse die Kostensätze des UBA.

Im aktuellen EU-Forschungsprojekt ClimateCost („the Full Costs of Climate Change“) werden nebst den Kosten und Nutzen von Klimaanpassung die ökonomischen Wirkungen des Klimawandels umfassend berechnet. Die Berechnung von Schadenskosten erfolgt wiederum

durch die erwähnten integrierten Bewertungsmodelle (u.a. PAGE<sup>306</sup>). Erste Ergebnisse beziffern die sozialen Kosten des Klimawandels gemäss Business-as-usual-Szenario auf 100 USD pro Tonne CO<sub>2</sub> (Hope 2011). Werden diese integrierten Bewertungsmodelle für Schadenskosten zukünftig noch besser, könnten sie eine gute Grundlage für die Abschätzung der Klimakosten darstellen. Im Moment ist die Spannweite der Ergebnisse aber noch sehr gross.

*Schadenskosten Schweiz:* Da der Klimawandel ein globaler Effekt ist und die Treibhausgasemissionen des Verkehrs in der Schweiz weltweit Schäden verursachen, stehen die weltweiten Schadenskosten an erster Stelle zur Ermittlung der Kosten pro Tonne CO<sub>2</sub>. Neuere Studien mit Schätzungen der volkswirtschaftlichen (Schadens-)Kosten des Klimawandels für die Schweiz liefern aber darüber hinaus eine gute Orientierungshilfe und Vergleichsmöglichkeit.

In zwei Studien des Bundesamtes für Umwelt wurden die volkswirtschaftlichen Auswirkungen des Klimawandels abgeschätzt. In der ersten Studie wurden die internationalen Einflüsse analysiert, insbesondere die Effekte auf die Exporte der Schweiz (Infras, Ecologic, Rütter + Partner 2007), in der zweiten Studie die nationalen Einflüsse (Ecoplan, Sigmoplan 2007). Die in diesen beiden Studien ermittelten volkswirtschaftlichen Kosten für die Schweiz betragen rund 4 bis 5.5 Mrd. CHF pro Jahr (davon nationale Einflüsse rund 1 Mrd. CHF/a im Durchschnitt zwischen 2005 und 2100). Auch wenn die Zahlen noch mit grossen Unsicherheiten verbunden sind, können daraus im Vergleich mit den aktuellen Treibhausgasemissionen (im Jahr 2010 gemäss Schweizer Treibhausgasinventar knapp 54 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-eq) beispielhaft mittlere Schadenskosten abgeleitet werden. Aus dieser Schätzung resultieren mittlere Kosten von 75-100 CHF pro Tonne CO<sub>2</sub>. Allerdings sind diese Werte nur als Vergleichsgrösse tauglich, da nur Schäden in der Schweiz abgedeckt sind und zudem die Gegenüberstellung von mittleren zukünftigen Schadenskosten mit aktuellen Emissionen nur bedingt zulässig ist.

Insgesamt ist festzuhalten, dass die Unsicherheiten bei der Ermittlung von Schadenskosten des Klimawandels immer noch sehr hoch sind. Nebst den grossen Bandbreiten bei der Quantifizierung der Schäden entstehen weitere Unsicherheiten durch den unterschiedlichen Umgang mit dem Thema ‚Equity Weighting‘ sowie der Diskontierung zukünftiger Schäden.

### **c) Vermeidungskosten**

Zu den Vermeidungskosten von Treibhausgasemissionen gibt es eine Vielzahl von Studien. Viele Arbeiten legen aber den Fokus auf die Vermeidungskosten einzelner Massnahmen oder bestimmter Sektoren und nicht auf die globalen Vermeidungskosten. Die in jüngster Zeit am meisten zitierte und als Grundlage verwendete Studie zu globalen Vermeidungskosten stammt von Kuik et al. (2009), die im Rahmen einer Metaanalyse 62 Studien zu den globalen Vermeidungskosten analysiert haben. Dabei wurden Studien mit unterschiedlichen Vermeid-

---

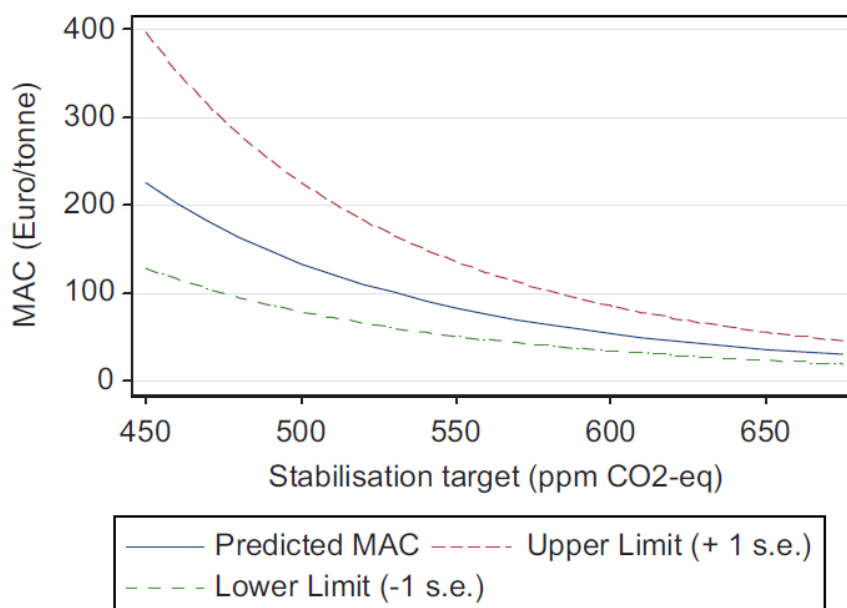
<sup>306</sup> PAGE ist ein „Integriertes Bewertungsmodell“ (IAM, siehe auch Fussnote 305) zur Abschätzung von Schadenskosten. PAGE ist die Abkürzung für ‚Policy Analysis for the Greenhouse Effect‘.

dungszielen (ausgedrückt in der angestrebten CO<sub>2</sub>-Atmosphärenkonzentration) und Zeithorizonten berücksichtigt.

Wie bereits erwähnt ist die Wahl des Vermeidungsziels für die Ermittlung der Vermeidungskosten entscheidend. Am breitesten abgestützt ist in Wissenschaft und Politik das 2-Grad-Ziel, das in etwa als langfristiges<sup>307</sup> Stabilisierungsziel (Atmosphärenkonzentration) von 450 ppm CO<sub>2</sub>-Äquivalenten interpretiert werden kann (IPCC 2007).<sup>308</sup> Bei der Umlegung des 2-Grad-Ziels auf eine durchschnittliche CO<sub>2</sub>-Atmosphärenkonzentration bestehen zwar Unsicherheiten (in beide Richtungen, d.h. tiefere oder höhere Werte sind möglich; siehe auch Meinshausen et al. 2009).<sup>309</sup> Das Niveau von 450 ppm CO<sub>2</sub>-eq scheint im Moment aber der am besten etablierte Wert für das 2-Grad-Ziel.

Die Wahl des 2-Grad-Ziels als Zielzustand ist mittlerweile etabliert und wird so auch in der Methodenkonvention des UBA (2013) empfohlen. Die folgende Abbildung 9-4 zeigt die von Kuik et al. (2009) berechneten Vermeidungskosten im Jahr 2050 in Abhängigkeit des Vermeidungsziels.

**Abbildung 9-4: Schätzung der Vermeidungskosten als Funktion des Vermeidungsziels (Atmosphärenkonzentration der Treibhausgase im ppm CO<sub>2</sub>-eq)**



Quelle: Kuik et al. (2009). MAC = Marginal Avoidance Costs = Grenzvermeidungskosten; s.e. = standard error (Standardfehler). Die Werte zeigen Grenzvermeidungskosten.

<sup>307</sup> Langfristig heisst hier bis ca. 2100.

<sup>308</sup> Bei 550 ppm CO<sub>2</sub>-eq wird eine durchschnittliche Erwärmung von 3 Grad erwartet, wobei die Unsicherheiten bzgl. Erwärmung bei zunehmender Atmosphärenkonzentration immer grösser werden.

<sup>309</sup> Daran gekoppelt ist auch die Festlegung, mit welcher Wahrscheinlichkeit das 2-Grad-Ziel erreicht werden soll, und welcher Bemessungszeitraum dafür verwendet wird.

Für 2050 werden die mittleren Vermeidungskosten für das Ziel 450 ppm auf 225 EUR<sub>2005</sub> pro t CO<sub>2</sub> geschätzt. Die Bandbreite der Kosten ist allerdings erheblich (128-396 EUR/t für das Jahr 2050), insbesondere bei den strikteren Emissionszielen wie dem 450 ppm-Ziel. Diese oberen und unteren Werte zeigen das Vertrauensintervall (+/- 1 Standardabweichung) und können als Maximal- bzw. Minimalwerte interpretiert werden.

Die Vermeidungskosten werden im Zeitverlauf stetig zunehmen. Der Hauptgrund dafür ist die Zeitpräferenz, d.h. der Umstand, dass in der Zukunft anfallende Vermeidungskosten (Investitionen o.ä.) heute tiefer bewertet werden.

Auf Basis der Ergebnisse von Kuik et al. (2009) können mittels Interpolation Vermeidungskosten für frühere Jahre (z.B. 2010) abgeschätzt werden. Einen wichtigen Einfluss hat dabei die Interpolations- bzw. Diskontierungsrate. In der Methodenkonvention des UBA wird basierend auf IER (2012) eine Diskontrate von 3% angewandt und basierend auf den Ergebnissen von Kuik et al. (2009) folgende Empfehlung zu den Vermeidungskosten abgegeben.

**Abbildung 9-5: Vermeidungskosten in EUR<sub>2010</sub>/t CO<sub>2</sub> gemäss UBA Methodenkonvention**

	2010	2020	2030	2040	2050
unterer Wert	44	59	79	106	143
mittlerer Wert (Empfehlung)	77	104	139	186	251
oberer Wert	135	182	244	329	442

Quelle: UBA (2013), basierend auf IER (2012) und Kuik et al. (2009). Grundlage bilden die Vermeidungskosten für das Jahr 2050 interpoliert mit einer Diskontrate von 3%. Die Daten basieren auf Grenzkosten, welche beim Klimawandel für die Bewertung jedoch mit den Durchschnittskosten gleichzusetzen sind.

Wird eine andere Diskontrate verwendet, verändern sich die Vermeidungskosten für das Jahr 2010 (mittlerer Wert) folgendermassen:

- 1%: 169 EUR<sub>2010</sub>/t CO<sub>2</sub>
- 2%: 114 EUR<sub>2010</sub>/t CO<sub>2</sub>
- 3%: 77 EUR<sub>2010</sub>/t CO<sub>2</sub>
- 4%: 52 EUR<sub>2010</sub>/t CO<sub>2</sub>
- 5%: 36 EUR<sub>2010</sub>/t CO<sub>2</sub>

Während die UBA Methodenkonvention (2013) für die Vermeidungskosten eine Diskontrate von 3% verwendet (siehe Abbildung 9-5), wird in der Schweizer VSS-Norm für Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr eine Diskontrate von 2% empfohlen (SN 641 821, 2006). Allerdings empfiehlt die VSS-Norm zusätzlich, für Sensitivitätsanalysen eine Diskontrate von 3% anzuwenden. Aus folgenden Gründen ist jedoch der international gebräuchlichere, höhere Diskontsatz von 3% für die globalen Vermeidungskosten des Klimawandels zweckmässiger:

- Klimaschutz (Vermeidung) als globales Phänomen: Es handelt sich um globale Kosten und das internationale Zinsniveau ist höher als in der Schweiz.

- Bei Vermeidungskosten macht die Anwendung eines höheren Diskontsatzes als bei Schadenskosten deshalb Sinn, weil die Vermeidungskosten ‚marktnaher‘ sind, d.h. direkter am Markt angewandt werden (siehe auch IER 2012).

Die Ergebnisse von Kuik et al. (2009) wurden auch von anderen aktuellen Studien als Grundlage zur Quantifizierung von Klimakosten des Verkehrs verwendet (CE Delft, Infras, ISI 2012 und TU Dresden 2012). Diese Studien stützen sich somit ebenfalls auf die globalen Vermeidungskosten basierend auf dem 2-Grad-Ziel ab. Auch das neuste überarbeitete Handbuch der EU zur Abschätzung von externen Kosten im Verkehr wird sich bei seinen Empfehlungen auf Kuik et al. (2009) stützen (DG MOVE 2013, noch unveröffentlicht).

Nebst den bisher thematisierten weltweiten Vermeidungskosten ist auch denkbar, eine nationale Sichtweise einzunehmen und die Vermeidungskosten für die Schweiz zu ermitteln. Da sich auch die Schweiz klare eigene politische Klimaziele gesetzt hat (20% bis 40% Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2020 gegenüber 1990<sup>310</sup>) und dabei politisch auch definiert ist, dass der grösste Teil der Vermeidung im Inland erfolgen muss, wäre auch eine auf die Schweiz fokussierte Betrachtung der Vermeidungskosten möglich. Weil es sich beim Klimawandel um ein globales Phänomen handelt und somit eine globale Lösung des Problems sinnvoll und ökonomisch effizient ist, werden für die Monetarisierung von Klimakosten in der Regel globale anstelle von nationalen Vermeidungskosten verwendet. Zwar sind in Realität bei einem globalen Ansatz aus Vollzugssicht erhebliche Ineffizienzen zu erwarten (zeichnen sich bei internationalen Klimaschutzprojekten bereits ab), z.B. hohe Transaktionskosten (Vollzugs- und Anrechnungsaufwand, Enforcement etc.). Dennoch ist aus ökonomischer Sicht der globale Ansatz vorzuziehen, was sich in der Literatur zur Monetarisierung externer Klimakosten widerspiegelt.

### **Exkurs EU Emissionshandelssystem**

Teilweise werden die aktuellen Preise des EU Emissionshandelssystems (EU ETS) als aktuelle Vermeidungskosten von CO<sub>2</sub> ins Spiel gebracht. Aus unserer Sicht und auf Basis des aktuellen Standes der Forschung sind diese Preise jedoch aus verschiedenen Gründen nicht für eine ökonomisch sinnvolle Monetarisierung der Klimakosten geeignet:

- Das EU ETS basiert bisher auf einer Zielgrösse zu den Gesamtemissionen (Obergrenze, Cap), welches auf das EU-Ziel der CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion von -20% bis 2020 (gegenüber 1990) ausgerichtet ist. Dieses Zwischenziel ist allerdings nicht auf jenen Zielpfad ausgerichtet, der zur Erreichung des langfristigen 2-Grad-Ziels nötig wäre (Infras, ETHZ 2012). Zur Erreichung des 2-Grad-Ziels müssen die Treibhausgasemissionen in den Industrieländern bis 2050 nach verschiedenen Schätzungen um 80-95% reduziert werden. Steigen die Vermeidungsanstrengungen also nicht sehr rasch deutlich an, dürften die weltweiten Schadenskosten in Zukunft sehr stark ansteigen (Stern 2006, IPCC 2007). In anderen Worten: Bei der aktuellen Zielsetzung befinden wir uns noch sehr weit rechts in

<sup>310</sup> Siehe Art. 3 Abs. 1 und 2 CO<sub>2</sub>-Gesetz (SR 641.71).



Abbildung 9-2, d.h. die Grenzschadenskosten liegen bei diesem Emissionsniveau mittelfristig deutlich höher als die Grenzvermeidungskosten. Aktuelle Studien zeigen zudem auf, dass mit der aktuellen internationalen Klimapolitik (weltweit und auf Stufe EU) das formulierte 2-Grad-Ziel bei weitem nicht erreicht wird. Die aktuell sehr tiefen Vermeidungskosten haben also mittel- und langfristig deutlich höhere Kosten zur Folge: Wenn nicht sehr rasch auf einen drastischen Vermeidungspfad eingebogen wird, dürfte das angestrebte 2-Grad-Ziel deutlich verfehlt werden. Im Moment deutet vieles darauf hin, dass die Entwicklung eher in Richtung 3 bis 5 Grad mittlerer Klimaerwärmung geht (UNEP 2012). In diesem Fall würden die mittel- und langfristigen Klimaschäden sowie die Risiken durch Kippeffekte dramatisch steigen (Stern 2006, IPCC 2007, OcCC 2012, Cai, Judd, Lontzek 2012). Wird in den nächsten Jahren in den entwickelten Ländern doch noch eine klare und wirksame Vermeidungsstrategie eingeschlagen, können die beschriebenen, sehr hohen Schäden zwar vermieden werden. Dafür steigen die Kosten für die Vermeidung immer mehr an, je länger heute auf wenig wirksame Massnahmen zur Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen gesetzt wird (Infras, ETHZ 2012). Erst wenn im EU ETS die Zielsetzungen strenger werden und sich auch am langfristigen 2-Grad-Zielpfad orientieren, werden die Preiseffekte deutlich und die Minderungsmaßnahmen wirksam.

- Darüber hinaus haben Überallokationen bei der Vergabe von Emissionsrechten dazu geführt, dass sich auf dem EU ETS Markt bisher zu viele CO<sub>2</sub>-Emissionsrechte befinden und damit ein zu wenig wirksames Knappheitssignal erreicht wird. Zudem – und dies ist besonders relevant – deckt das EU ETS nur einen Teil der gesamten Emissionen in Europa ab, d.h. die Preise sind allenfalls ein Spiegel der spezifischen Vermeidungskosten dieser Sektoren. In anderen Sektoren wie dem Verkehr und den privaten Haushalten ist auch das moderate EU-Ziel von -20% deutlich schwieriger zu erreichen, d.h. die Vermeidungskosten dieser Sektoren wären entsprechend höher. Überdies hat auch die Wirtschaftskrise in Europa einen erheblichen Einfluss auf das im Moment tiefe Preisniveau. Durch die aktuelle Krise widerspiegelt der aktuelle Preis in keiner Weise die zukünftigen durchschnittlichen Vermeidungskosten, wenn sich die Wirtschaft wieder erholt und wenn die Vermeidungsziele weiter verschärft werden (zurzeit schlägt die EU-Kommission ein Reduktionsziel von -40% bis 2030 vor, siehe „2030 Framework for Climate and Energy Policies“, EC 2014, sowie „Low Carbon Roadmap“ der EU Kommission, EC 2011). Würden nun diese aus verschiedenen Gründen sehr tiefen Preise aus dem EU ETS verwendet, würden damit die zukünftigen Vermeidungskosten enorm ansteigen, weil die Verantwortung zur Vermeidung von heute in die Zukunft (z.B. in 10 Jahre) verschoben wird, was weder ökonomisch effizient noch gerecht ist.

Aus all diesen Gründen greifen die meisten internationalen Studien und Handbücher zur Abschätzung externer Klimakosten für die Ermittlung von Vermeidungskosten auf Werte zurück, die auf der Erreichung des langfristigen, breit abgestützten 2-Grad-Ziels basieren.

#### d) Konkrete Empfehlungen anderer Studien

Die neuste UBA Methodenkonvention (2013) orientiert sich bei ihren Empfehlungen zu Klimakostensätzen stark an den Vermeidungskosten basierend auf Kuik et al. (2009). Allerdings empfiehlt das UBA, als Sensitivität auch die Schadenskosten zu berücksichtigen, um einen Anhaltspunkt über das Ausmass der möglichen Schäden zu erhalten. Auf Basis der Werte in Abbildung 9-5 und unter zusätzlicher Berücksichtigung der Schadenskosten (Abbildung 9-3) werden in der Methodenkonvention folgende Empfehlungen zu Klimakostensätzen abgeleitet:

- kurzfristig für das Jahr 2010: zentraler Wert von 80 EUR pro Tonne CO<sub>2</sub>. Für Sensitivitätsanalysen werden Kostensätze von 40 EUR/t bis 120 EUR/t als sinnvoll erachtet.
- mittelfristig für das Jahr 2030: 145 EUR/t
- langfristig für das Jahr 2050: 260 EUR/t.

In der aktuellsten Studie des internationalen Eisenbahnverbandes UIC (CE Delft, INFRAS ISI 2012) werden folgende Kostensätze angewandt: Als unterer Wert wird ein Wert von 25 EUR<sub>2008</sub>/t basierend auf den kurzfristigen EU-Vermeidungskosten (EU-Ziele 2020) verwendet, als oberer Wert 146 EUR<sub>2008</sub>/t (Maximalwert von Kuik für das Jahr 2008 mit einer Diskontrate von 3%).

Das überarbeitete Handbuch der EU zur Abschätzung externer Kosten des Verkehrs (DG MOVE 2014) basiert seine Empfehlungen ebenfalls auf den globalen Vermeidungskosten, orientiert am 2-Grad-Ziel. Die Basis für die empfohlenen Klimakostensätze bildet ebenfalls die Studie von Kuik et al. (2009). Der zentrale empfohlene CO<sub>2</sub>-Kostensatz liegt bei 90 EUR<sub>2010</sub> pro Tonne CO<sub>2</sub>.

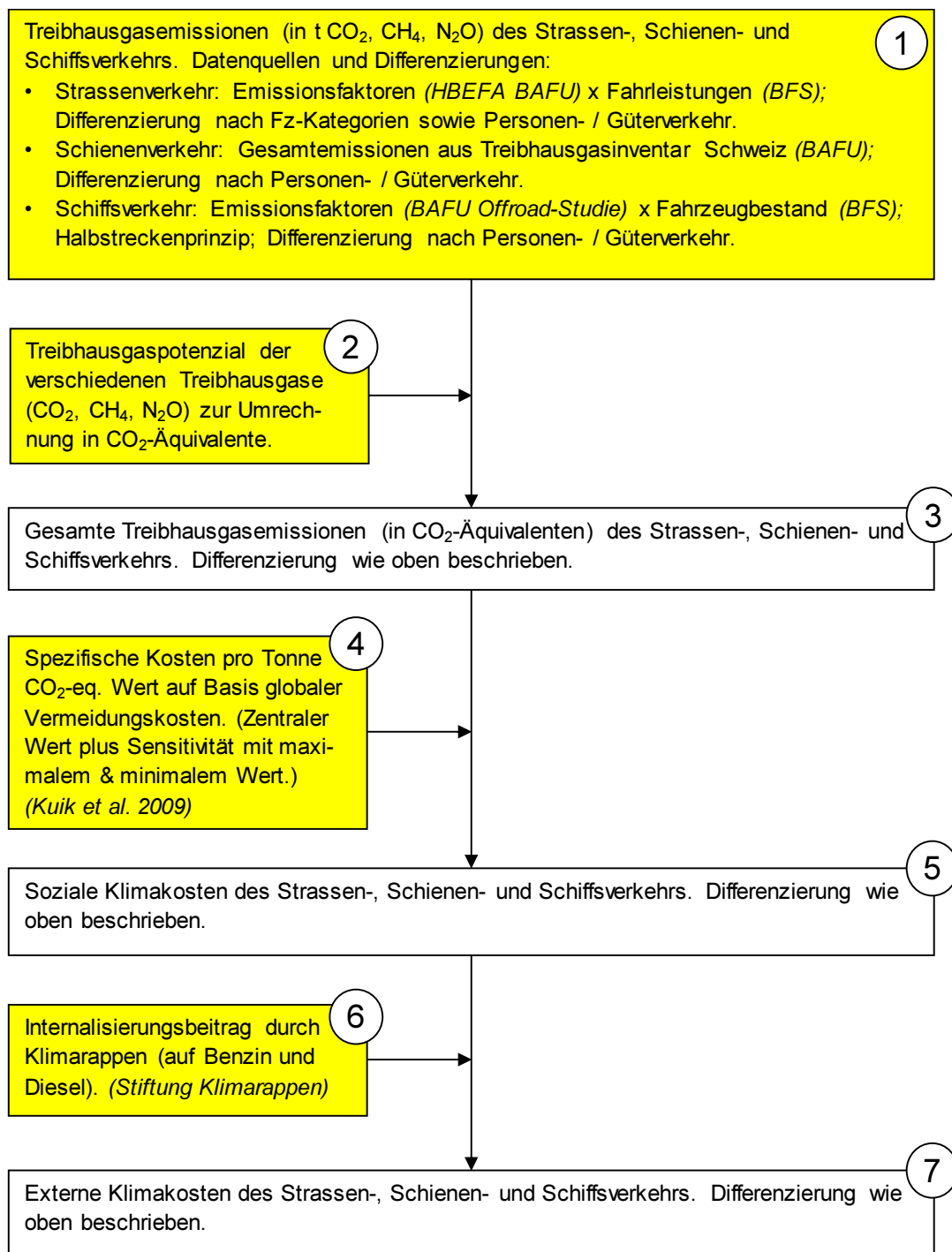
Die abschliessenden Empfehlungen bezüglich Festlegung des CO<sub>2</sub>-Kostensatzes für die vorliegende Berechnung sind im Kapitel 9.4 dargestellt, inklusive den tatsächlich angewandten Kostensätzen.

### 9.2.2 Bewertungsmethodik

Die Berechnung der Klimakosten des Verkehrs in der Schweiz ist rein rechnerisch relativ einfach. Grundsätzlich geht es darum, die Menge an Treibhausgasemissionen mit einem Kostensatz pro Tonne CO<sub>2</sub>-Äquivalent zu monetarisieren.

Für den Strassen-, Schienen- und Schiffsverkehr werden im Schritt 1 die Emissionsmengen der Treibhausgase Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) ermittelt. Details zur Herleitung der Emissionsmengen sowie den verwendeten Datenquellen finden sich im Kapitel 9.3. Anschliessend werden im Schritt 2 die drei Treibhausgase mit Hilfe ihrer Treibhausgaspotenziale in CO<sub>2</sub>-Äquivalente (3) umgerechnet. Die daraus resultierende Gesamtmenge an Treibhausgasemissionen in CO<sub>2</sub>-eq wird mit dem spezifischen Kostensatz pro Tonne CO<sub>2</sub>-eq multipliziert (4). Das Ergebnis dieser Rechnung sind die sozialen Klimakosten des Strassen-, Schienen- und Schiffsverkehrs (5). Um aus den sozialen die externen Klimakosten (7) zu ermitteln, wird schliesslich der Internalisierungsbeitrag abgezogen, der durch den Klimarappen auf Benzin und Diesel von den Nutzern bezahlt wird (Schritt 6).

Abbildung 9-6: Bewertungsmethodik Klima: Strassen-, Schienen- und Schiffsverkehr



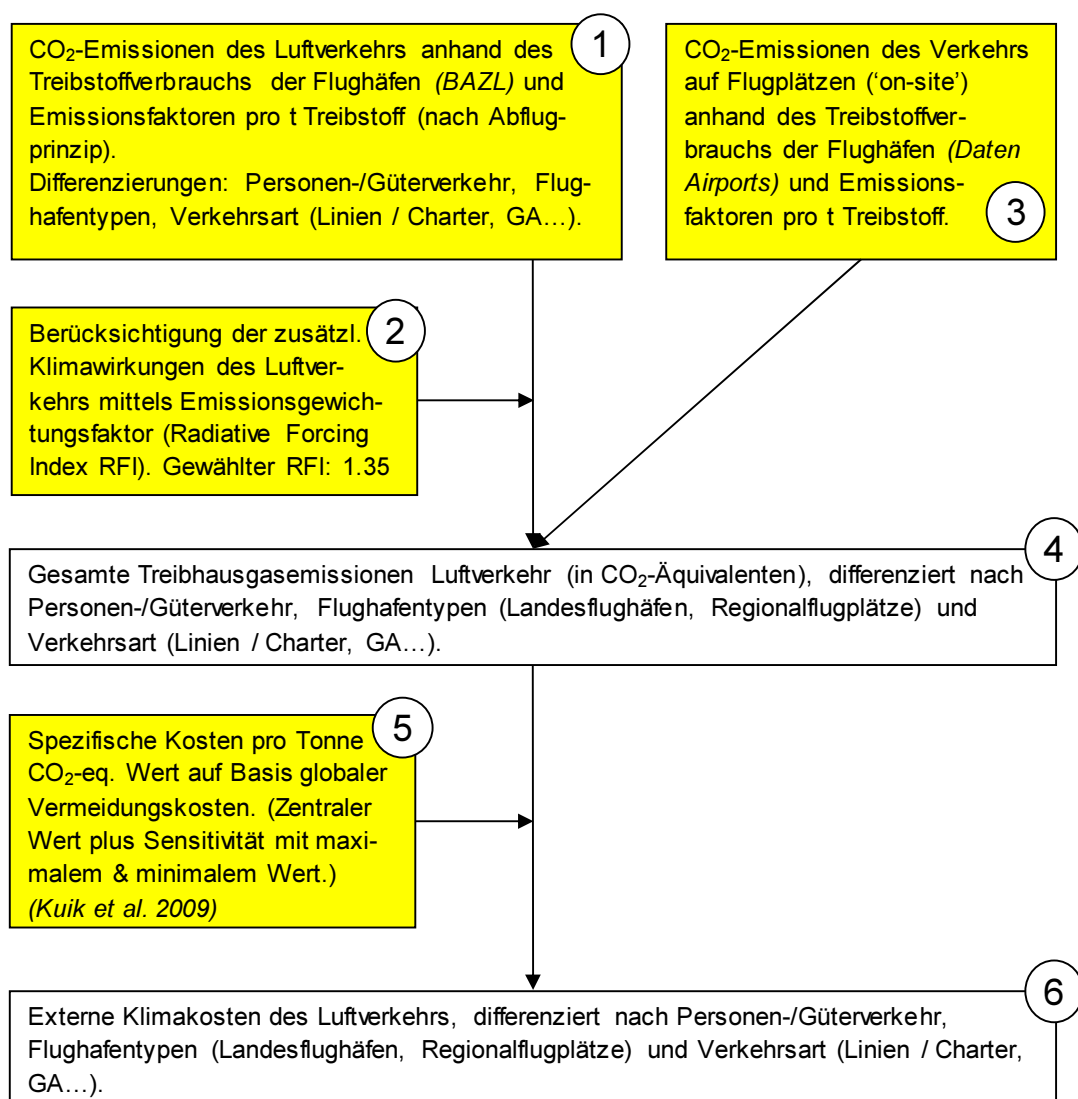
Legende: Inputdaten Zwischen- / Endergebnisse Erläuterung der Berechnung (*Datenquellen kursiv*)

Die Bewertungsmethodik beim Luftverkehr unterscheidet sich von den anderen Verkehrsträgern, weil auch die zusätzliche Treibhauswirkung von nicht-Kyoto-Gasen berücksichtigt wird. Für die Ermittlung der Treibhausgaswirkung aus dem Betrieb der Flugzeuge und Helikopter werden die entsprechenden Reiseflug-CO<sub>2</sub>-Emissionen (1) mit einem Emissionsgewichtungs-faktor multipliziert (2), der die zusätzliche Klimawirkung des Luftverkehrs beispielsweise von

Stickoxiden berücksichtigt (Details siehe Kapitel 9.3.1). Dazu werden noch die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs auf Flugplätzen (3) addiert, woraus insgesamt die gesamten Treibhausgasemissionen des Luftverkehrs in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten resultieren (4). Diese Emissionsmenge wird schliesslich wie bei den anderen Verkehrsträgern mit dem spezifischen Kostensatz pro Tonne CO<sub>2</sub>-eq multipliziert (5). Das Ergebnis sind die sozialen Kosten des Luftverkehrs, der in der Schweiz abgewickelt wird. Die sozialen Kosten sind in diesem Fall identisch mit den externen Kosten.

Ein weiterer grundsätzlicher Unterschied besteht beim Luft- und Schiffsverkehr im Vergleich zu den Verkehrsträgern Strasse und Schiene, weil das Halbstreckenprinzip angewendet wird und somit auch die kontinentalen und interkontinentalen Flüge bzw. Schiffsfahrten (jeweils halbe Flug- bzw. Schiffsstrecken) einbezogen werden (Details siehe Kap. 2.3.2).

Abbildung 9-7: Bewertungsmethodik Klima: Luftverkehr



Legende: Inputdaten Zwischen- / Endergebnisse Erläuterung der Berechnung (Datenquellen kursiv)

## 9.3 Mengengerüst

### 9.3.1 Allgemeines

Für die Berechnung des Mengengerüsts, d.h. der Menge an Treibhausgasemissionen, erfolgt das Vorgehen analog wie in den bisherigen Studien. Grundsätzlich bildet das Treibhausgasinventar der Schweiz die Grundlage für die Ermittlung der Treibhausgasemissionen des Verkehrs. Allerdings sind folgende Anpassungen nötig, insbesondere weil das Inventar auf dem Absatzprinzip basiert, hier aber das Territorial- bzw. Halbstreckenprinzip angewendet wird:

- Beim Strassenverkehr werden die spezifischen Emissionsfaktoren je Fahrzeugkategorie aus dem Handbuch HBEFA mit der Fahrleistung im Inland (Territorialprinzip) multipliziert. Dies bedeutet, dass die Gesamtemissionen beim Strassenverkehr wie in den bisherigen Rechnungen dem Territorialprinzip entsprechen und im Gegensatz zum Absatzprinzip, das im Treibhausgasinventar gilt, um den Tanktourismus korrigiert werden.
- Anwendung der aktuellsten Fahrleistungen (gemäss BFS-Statistik) für den Strassenverkehr: Im Treibhausgasinventar sind Fahrleistungen hinterlegt, die auf dem Handbuch für Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs (HBEFA, Infrac 2010) des BAFU basieren und zum Teil prognostisch sind. Wie in den bisherigen Rechnungen werden diese Daten mit den tatsächlichen Daten aus der Verkehrsstatistik des BFS korrigiert, d.h. die Emissionen des Treibhausgasinventars angepasst, indem die Emissionsfaktoren aus dem Handbuch HBEFA direkt mit der aktuellsten Fahrleistung im Inland gemäss BFS multipliziert werden.
- Die Faktoren für das Treibhausgaspotenzial (Global Warming Potential GWP) von Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) und Methan ( $\text{CH}_4$ ) müssen gemäss aktuellsten IPCC Vorgaben angepasst werden. Neu werden Faktoren von 25 für Methan und 298 für Lachgas empfohlen (IPCC 2007), während bisher Faktoren von 21 für Methan und 310 für Lachgas angewandt wurden. Die Anpassungen sind das Resultat geänderter Konventionen für die Berechnung der Faktoren.
- Treibhausgaswirkung des Luftverkehrs: Beim Luftverkehr werden nebst den direkten  $\text{CO}_2$ -Emissionen noch weitere Treibhausgaswirkungen (u.a. durch Emission von Stickoxiden, Spurengasen, Partikeln sowie durch Wolkenbildung, also durch „Nicht-Kyoto-Gase“) berücksichtigt. Wie hoch dieser „Emissionsgewichtungsfaktor“ (oder „Radiative Forcing Index“ RFI) ist, wird zurzeit wissenschaftlich intensiv diskutiert. Die Bandbreite der Schätzungen ist im Moment noch hoch und reicht von etwas über 1 bis zu einem Faktor 3 bis 4 (IPCC 2007, Lee et al. 2009). Die grösste Unsicherheit besteht insbesondere in Bezug auf den Effekt der von Flugzeugen verursachten Wolkenbildung und deren Netto-Effekt auf das Klima. Ferner ist der Wert – wie bei der generellen Berechnung von  $\text{CO}_2$ -Äquivalenten – abhängig vom gewählten Zeitraum für die Langzeitwirkung auf das Klima, also abhängig von einer Konvention. Im Rahmen des Projekts „Integration des Luftverkehrs in die Transportrechnung“ (Infrac, Ecoplan 2012) wurde im Sinne des ‚at least Ansatzes‘ beschlossen, die Wolkenbildung durch Flugzeuge aufgrund der noch grossen Unsicherheiten nicht zu berücksichtigen. Es wurde beschlossen, für die Berechnung der gesamten Treibhausgaswirkung des Luftverkehrs einen Faktor von 1.35 zu verwenden, der auf den Arbeiten von Lee et al. (2010) basiert. Dieser Wert wird auch in den vorliegenden

Berechnungen angewandt. Es ist jedoch zu erwähnen, dass z.B. die aktuellste Methodenkonvention des Umweltbundesamtes (UBA 2013) einen deutlich höheren Wert von 2.0 empfiehlt.<sup>311</sup>

Ebenso nicht berücksichtigt werden kann ein weiterer Spezialeffekt des Luftverkehrs: Bei den Triebwerken wird in kleiner Menge auch Methan, das sich in geringer Menge in der Luft befindet, mitverbrannt. Diese zusätzliche Senke von Methan ist in den IPCC-Berichten und den RFI-Daten von Lee et al. (2010) nicht enthalten. Allerdings gibt es zu diesem Effekt bisher noch keine Quantifizierungen. Der Effekt dürfte voraussichtlich sehr klein sein. Diese Wirkung unterstützt allerdings den Entscheid, den vorsichtigen RFI von 1.35 zu verwenden.<sup>312</sup>

Es gilt zudem anzumerken, dass auch andere Verkehrsträger (z.B. der Strassenverkehr) indirekte, treibhausgaswirksame Effekte nach sich ziehen, die in den Kyoto-Gasen<sup>313</sup> (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) nicht abgedeckt sind. So führen z.B. die NO<sub>x</sub>-Emissionen des Strassenverkehrs durch Verlagerung in grossen Höhen (Tropopause) dort ebenfalls zu Ozonbildung, die klimarelevant ist. Dieser Effekt kann heute allerdings noch nicht quantifiziert werden. Eine Vernachlässigung dieses noch unsicheren Effekts entspricht damit ebenso dem ‚at least Ansatz‘ wie die Vernachlässigung der Wolkenbildung im Luftverkehr.

### 9.3.2 Treibhausgasemissionen der einzelnen Verkehrsträger

Für die Ermittlung der Treibhausgasemissionen (Kohlendioxid CO<sub>2</sub>, Methan CH<sub>4</sub> und Lachgas N<sub>2</sub>O) der einzelnen Verkehrsträger werden folgende Grundlagen und Quellen verwendet:

- Strassenverkehr: Verwendung der differenzierten Emissionsfaktoren (Gramm Treibhausgas pro Fzkm) nach Fahrzeugkategorien aus dem Handbuch für Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs (HBEFA) Version 3.1 (Infras 2010). Diese Werte werden mit den aktuellen Fahrleistungen des BFS multipliziert. Damit wird – verglichen mit dem Treibhausgasinventar – der Effekt des Tanktourismus korrigiert, d.h. das Territorialprinzip angewandt.
- Schienenverkehr: Für den Schienenverkehr werden direkt die Emissionsdaten 2010 aus dem aktuellsten Schweizer Treibhausgasinventar (CRF) verwendet (Submission 2013, BAFU 2013). Die direkten Treibhausgasemissionen des Schienenverkehrs stammen aus den Dieselloks. Für die Aufteilung der Emissionen auf den Personen- und Güterverkehr werden Daten zur Anzahl im Betrieb stehender Dieselloks bei den SBB verwendet. Nicht Teil dieser Kostenkategorie sind indirekte Treibhausgasemissionen bei der Stromproduktion oder der Herstellung von Treibstoffen. Diese indirekten Emissionen sind Teil des Kapitels 12 ‚Kosten vor- und nachgelagerter Prozesse‘.

---

<sup>311</sup> Auch der vom UBA empfohlene Faktor von 2.0 basiert auf der gleichen Studie von Lee et al. (2010). Allerdings verwendet das UBA jenen Faktor, der auch die Wolkenbildung beinhaltet.

<sup>312</sup> CO<sub>2</sub>-Moleküle, welche in die Atmosphäre emittiert werden, haben eine mittlere Lebensdauer in der Grössenordnung von 100 Jahren. Der Faktor 1.35 berücksichtigt den Umstand, dass über lange Zeiträume der Klimaeffekt von CO<sub>2</sub> über andere Effekte überwiegt.

<sup>313</sup> Unter den Kyoto-Gasen werden alle Treibhausgase zusammengefasst, die im internationalen Kyoto-Protokoll abgedeckt sind. Dies sind CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> sowie die im Verkehr nicht relevanten F-Gase.

- Luftverkehr: Die Treibhausgasemissionen des Luftverkehrs werden direkt aus der Grundlagenstudie zur Transportrechnung Luftverkehr übernommen (Infras, EcoPlan 2012). Dort wurden die CO<sub>2</sub>-Triebwerkemissionen anhand des Treibstoffverbrauchs vom BAZL nach dem Halbstreckenprinzip ermittelt (siehe auch Kap. 2.3.2). Zusätzlich wurden die Treibhausgasemissionen des ‚on-site‘ Verkehrs auf Flugplätzen (Busverkehr, Rangierung der Flugzeuge, Abfertigung etc.) berücksichtigt. Letztere Daten wurden auf Basis einer Umfrage bei den Flughäfen ermittelt.
- Schiffsverkehr: Die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Schiffsverkehrs werden ebenfalls aus der Grundlagenstudie zur Transportrechnung Schiffsverkehr übernommen (IRENE, Ecosys 2013). Dort werden spezifische Emissionsfaktoren (g CO<sub>2</sub> pro Schiff und Jahr) je Schiffskategorie aus der Studie ‚Treibstoffverbrauch und Schadstoffemissionen des Offroad-Sektors‘ (BAFU 2008) verwendet und mit dem Fahrzeugbestand je Schiffskategorie aus aktuellen BFS-Statistiken multipliziert. Für die Emissionen von CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O (wurden in IRENE, Ecosys 2013 nicht ermittelt) wird auf Daten des Treibhausgasinventars (BAFU 2013) zurückgegriffen, die mit Hilfe der CO<sub>2</sub>-Emissionen (Inventar vs. Ergebnisse Transportrechnung Schiffsverkehr) vom Absatzprinzip auf das Halbstreckenprinzip korrigiert werden.

Die folgenden Abbildungen zeigen die in der vorliegenden Studie verwendeten Treibhausgasemissionen der vier Verkehrsträger.

**Abbildung 9-8: Treibhausgasemissionen des Strassenverkehrs 2010**

Treibhausgasemissionen in Tonnen pro Jahr (t/a)	Personenverkehr Strasse						
	Motorisierter privater Personenverkehr				Öffentl. Personenverkehr		
	Personenwagen	Gesellsch.-wagen	Motorrad	Motorfahrrad	Bus	Trolleybus*	Tram*
CO <sub>2</sub>	9'635'202	96'038	178'436	7'151	265'171	0	0
CH <sub>4</sub>	638	1	108	38	2	0	0
N <sub>2</sub> O	170	2	3	0	0	0	0
<b>Total THG (in t CO<sub>2</sub>-eq)</b>	<b>9'701'694</b>	<b>96'548</b>	<b>182'155</b>	<b>8'146</b>	<b>265'313</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Treibhausgasemissionen in Tonnen pro Jahr (t/a)	Güterverkehr Strasse			Strassenverkehr total			
	Lieferwagen	Lastwagen	Sattelschlepper				
	CO <sub>2</sub>	868'301	951'282	687'090	12'688'671		
CH <sub>4</sub>	37	6	4	833			
N <sub>2</sub> O	21	28	25	249			
<b>Total THG (in t CO<sub>2</sub>-eq)</b>	<b>875'531</b>	<b>959'905</b>	<b>694'546</b>	<b>12'783'838</b>			

Quellen: Infras (2010) für die Emissionsfaktoren und BFS (2013) für die Fahrleistungen. Der Langsamverkehr (Fussgänger, Velo, FäG) verursacht keine direkten Treibhausgasemissionen. THG = Treibhausgase. \* ohne indirekte Emissionen aus der Stromproduktion (sind im Kapitel ‚vor- und nachgelagerte Prozesse‘ abgedeckt).

**Abbildung 9-9: Treibhausgasemissionen des Schienenverkehrs 2010**

Treibhausgasemissionen in Tonnen pro Jahr (t/a)	Personenverkehr	Güterverkehr	Schieneverkehr total
CO <sub>2</sub>	5'722	32'046	37'768
CH <sub>4</sub>	0.06	0.35	0.41
N <sub>2</sub> O	0.24	1.34	1.58
<b>Total THG (in t CO<sub>2</sub>-eq)</b>	<b>5'795</b>	<b>32'453</b>	<b>38'248</b>

Quelle: Treibhausgasinventar der Schweiz, Submission 2013, Daten 2010 (BAFU 2013).

**Abbildung 9-10: Treibhausgasemissionen des Luftverkehrs 2010 nach Flugart und Infrastrukturtyp (gemäss Halbstreckenprinzip)**

Treibhausgasemissionen in Tonnen CO <sub>2</sub> -eq pro Jahr (t/a)	Landesflughäfen	Regionalflugplätze	Luftverkehr total
Linien- & Charterverkehr intercontinental	3'226'324	530	3'226'854
Linien- & Charterverkehr continental + domestic	2'694'734	21'106	2'715'840
Helikopter	5'297	12'388	17'685
Business Aviation	177'912	30'240	208'152
Rest General Aviation	219'773	35'377	255'150
<b>Total alle Flugarten (in t CO<sub>2</sub>-eq)</b>	<b>6'324'041</b>	<b>99'641</b>	<b>6'423'682</b>

Quelle: Transportrechnung Luftverkehr (Infras, Ecoplan 2012). Daten inklusive indirekter Treibhausgaswirkung des Luftverkehrs (Emissionsgewichtungsfaktor RFI) sowie inkl. 'on-site' Emissionen auf den Flugplätzen.

**Abbildung 9-11: Treibhausgasemissionen des Schiffsverkehrs 2010 (gemäss Halbstreckenprinzip)**

Treibhausgasemissionen in Tonnen pro Jahr (t/a)	Personenverkehr	Güterverkehr	Schiffsverkehr total
CO <sub>2</sub>	47'730	33'068	80'798
CH <sub>4</sub>	10	7	17
N <sub>2</sub> O	1.7	1.2	2.9
<b>Total THG (in t CO<sub>2</sub>-eq)</b>	<b>48'499</b>	<b>33'600</b>	<b>80'818</b>

Quelle: Transportrechnung Schiffsverkehr (IRENE, Ecosys 2013) sowie eigene Berechnungen auf Basis des Treibhausgasinventars der Schweiz, Submission 2013, Daten 2010 (BAFU 2013).



## 9.4 Wertgerüst

### 9.4.1 CO<sub>2</sub>-Kostensatz

Aus methodischer Sicht ist die Verwendung von Schadenskosten für die Bewertung von externen Kosten vorzuziehen (siehe dazu auch Kap. 9.2.1). Bei den Klimakosten empfehlen jedoch die meisten aktuellen Studien die Verwendung von Vermeidungskosten für die Monetarisierung von Kosten des Klimawandels. So empfiehlt beispielsweise die UBA Methodenkonvention basierend auf IER (2012) die in Abbildung 9-5 dargestellten Vermeidungskosten. Auch in aktuellen Studien zur Quantifizierung von Klimakosten des Verkehrs (CE Delft, Infraras, ISI 2012, TU Dresden 2012) sowie im soeben überarbeiteten EU-Handbuch zur Abschätzung externer Kosten des Verkehrs (DG MOVE 2013, unveröffentlicht) wird die Verwendung von Vermeidungskosten, basierend auf dem 2-Grad-Ziel, empfohlen. Das Hauptargument für die Vermeidungs- und gegen die Schadenskosten liegt darin, dass die Schätzungen der Schadenskosten vermutlich mit grösseren Unsicherheiten verbunden sind<sup>314</sup>. Auf der anderen Seite liegen gegenüber der letzten Aktualisierungsstudie (Ecoplan, Infraras 2008) erstmals anwendbare Grundlagen für globale Vermeidungskosten in Bezug auf das 2-Grad-Ziel vor (Kuik et al. 2009). In der früheren Berechnungsmethodik basierte der untere (kurzfristige) Wert auf Vermeidungskosten, der obere (langfristige) Wert auf Schadenskosten. Der zentrale Wert war lediglich ein arithmetisches Mittel dieser beiden Kostensätze.<sup>315</sup> In der vorliegenden Studie soll neu der zentrale Wert direkt besser abgestützt sein, d.h. nicht ein arithmetisch berechneter Mittelwert verwendet werden, sondern wie die neusten internationalen Grundlagen (v.a. UBA Methodenkonvention) auf die globalen Vermeidungskosten abstützen.

Auf Basis der Ausführungen im Kapitel 9.2.1 werden in der vorliegenden Studie für die Berechnung der Klimakosten des Verkehrs in der Schweiz die globalen Vermeidungskosten des Jahres 2050 basierend auf Kuik et al. (2009) verwendet, die sich am 2-Grad-Ziel orientieren (mit abgeschätztem 450 ppm CO<sub>2</sub>-eq Stabilisierungsziel).<sup>316</sup> Als **zentralen Wert** für 2010 wird folglich wie bei der UBA Methodenkonvention der Wert von 77 EUR<sub>2010</sub> pro Tonne CO<sub>2</sub> ver-

---

<sup>314</sup> Die grossen Unsicherheiten sind unter anderem bedingt durch die Frage nach dem Umgang mit Kippeffekten ('Tipping Points') des Klimas sowie dem Umgang mit 'Equity Weighting' (wie werden Schäden an verschiedenen Orten der Erde monetarisiert und gewichtet).

<sup>315</sup> Als zentraler Wert wurde in der früheren Berechnung (Ecoplan, Infraras 2008) ein CO<sub>2</sub>-Kostensatz von 90 CHF/t CO<sub>2</sub>-eq verwendet. Dieser wurde aus dem arithmetischen Mittel des tiefen (kurzfristigen) Wertes (40 CHF/t) und des hohen (langfristigen) Wertes (140 CHF/t) abgeleitet.

<sup>316</sup> Für die Verwendung der Basisdaten des Jahres 2050 (und nicht 2025) aus der Studie von Kuik et al. (2009) sprechen folgende Gründe: 1. Im Jahr 2050 ist man gemäss CO<sub>2</sub>-Vermeidungspfad näher am langfristigen Stabilisierungsziel von 450 ppm als 2025. Somit ist für die Vermeidungskosten des Jahres 2050 der Verlauf des Absenkpfad der Emissionen (bzw. die Annahmen zu diesem Verlauf) weniger relevant als 2025, was die Unsicherheit verringert. 2. Die Verwendung des Kostensatzes von 2025 ergäbe diskontiert auf das Jahr 2010 einen höheren Wert als wenn 2050 die Basis bildet. Die Verwendung des Kostensatzes von 2050 als Basis entspricht somit dem at least Ansatz. 3. Vorgehen und Kostensatz sind deckungsgleich mit der UBA Methodenkonvention.

wendet, basierend auf einem Diskontsatz von 3%.<sup>317</sup> Umgerechnet in Schweizer Franken (auf Basis des mittleren Wechselkurses von 2010) ergibt dies für das Jahr 2010 einen Kostensatz von **107 CHF<sub>2010</sub> pro t CO<sub>2</sub>**.

Der **obere und untere Wert für die Sensitivitätsanalyse** stützen sich ebenfalls auf die globalen Vermeidungskosten von Kuik et al. (2009) ab. Das heisst, es werden die Bandbreiten aus Abbildung 9-5 verwendet, die Kuik et al. als Minimal- bzw. Maximalwerte des Vertrauensintervalls angeben. Der untere Wert beträgt damit 44 EUR<sub>2010</sub> pro t CO<sub>2</sub> bzw. 61 CHF<sub>2010</sub>/t, der oberer Wert 135 EUR<sub>2010</sub>/t bzw. 188 CHF<sub>2010</sub>/t. Die Verwendung der Bandbreiten von Kuik et al. (2009) ist methodisch stringent, da damit die Unsicherheitsangaben derselben Quelle wie beim zentralen Wert verwendet werden.<sup>318</sup>

Grundsätzlich wäre auch denkbar, für die Maximalwerte Vermeidungskostensätze von Kuik et al. (2009) ohne Diskontierung heranzuziehen, z.B. die mittleren Vermeidungskosten für das Jahr 2030 (ca. 190 CHF<sub>2010</sub>/t CO<sub>2</sub>) oder 2050 (ca. 350 CHF<sub>2010</sub>/t CO<sub>2</sub>) in Abbildung 9-5. Diese Betrachtungsweise orientiert sich stärker am Vorsorgeprinzip, während die Fokussierung auf aktuelle, abdiskontierte Vermeidungskosten dazu führt, dass die Klimakosten zwar im Moment eher tief bleiben, in den nächsten 20 Jahren aber sehr stark ansteigen werden. Aus unserer Sicht sollte allerdings eine Vermischung der heutigen und der zukünftigen Vermeidungskosten für die Berechnung der aktuellen Klimakosten des Verkehrs vermieden werden. Dennoch muss die mittel- und langfristige Entwicklung der Vermeidungskosten unbedingt beachtet werden, insbesondere wenn es darum geht, mittel- und langfristige wirksame Instrumente im Bereich Klimaschutz zu entwickeln oder zu beurteilen.

Zusammenfassend zeigt die folgende Abbildung die in der vorliegenden Studie angewandten CO<sub>2</sub>-Kostensätze.

**Abbildung 9-12: Zusammenfassung: Verwendete Kostensätze für vorliegende Studie.**  
Alle Werte in CHF<sub>2010</sub>/t CO<sub>2</sub>

in CHF <sub>2010</sub> /t CO <sub>2</sub>	Verwendete Kostensätze für Berechnung 2010
<b>Zentraler Wert</b> (Basis globale Vermeidungskosten)	<b>107 CHF / t</b>
<i>Sensitivitätswerte:</i>	
Basis globale Vermeidungskosten	
- unterer Wert (Minimalwert)	61 CHF / t
- oberer Wert (Maximalwert)	188 CHF / t

<sup>317</sup> Die Verwendung einer gegenüber der VSS-Norm (2%) höheren Diskontrate ist angebracht, weil es sich hier um globale Vermeidungskosten handelt und das internationale Zinsniveau höher ist als in der Schweiz.

<sup>318</sup> Die absoluten Werte der unteren und oberen Grenze sind als methodisch stringentes Resultat der Studie von Kuik et al. zu verstehen. Sie unterliegen den getroffenen Konventionen u.a. für die Bemessung von Klimawirkungen.

Der zentrale Wert von 107 CHF<sub>2010</sub> / t CO<sub>2</sub> basiert auf folgenden Merkmalen:

- Globale Vermeidungskosten zur Erreichung des 2-Grad-Ziels bzw. zur langfristigen Stabilisierung der CO<sub>2</sub>-Atmosphärenkonzentration bei 450 ppm.
- Langfristiger Vermeidungspfad hinterlegt: Basis bilden Vermeidungskosten im Jahr 2050. Daraus werden kurzfristige Vermeidungskosten mit Hilfe einer Diskontrate von 3% berechnet.
- Zentrale Grundlage bildet die Metastudie von Kuik et al. (2009); Vorgehen und Kostensätze stimmen überein mit Empfehlungen der etablierten Methodenkonvention des deutschen UBA.

Der verwendete Kostensatz (diskontierter globaler Vermeidungskostensatz für 2050) wird für sämtliche Treibhausgasemissionen des Referenzjahres 2010 angewandt. Es fallen keine zusätzlichen Folgekosten im Jahr 2010 an.

Für die Berechnung der externen Kosten der folgenden Jahre nach 2010 wird der Verlauf des CO<sub>2</sub>-Kostensatzes entlang der diskontierten Eckwerte von Kuik et al. (2009) verwendet (siehe Abbildung 9-5). Das heisst die Kostensätze werden mit einem Zinssatz von 3% pro Jahr fortgeschrieben. Für 2020 resultiert entsprechend ein zentraler Wert von 144 CHF pro Tonne CO<sub>2</sub> (2015: 124 CHF/t).

#### 9.4.2 Internalisierungsbeiträge

In der Schweiz war bis Ende 2012 mit dem Klimarappen ein Instrument in Kraft, mit dem den Nutzern des motorisierten Verkehrs ein Teil der externen Klimakosten angelastet wurde.<sup>319</sup> Der Klimarappen war zwar grundsätzlich als freiwilliges Instrument der Wirtschaft zur Leistung eines Beitrags zur Erreichung der Schweizer CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele im Verkehr konzipiert. Im Rahmen einer Zielvereinbarung zwischen Wirtschaft (Stiftung Klimarappen) und Bund wurden konkrete Ziele festgelegt. Die Stiftung Klimarappen verpflichtete sich in dieser Vereinbarung, die CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Periode 2008 bis 2012 um mindestens 1.8 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr zu vermindern. Für den Endkonsumenten (private Haushalte oder Unternehmen) bestand keine Wahlfreiheit, da der Klimarappen in Form eines Aufschlags auf den Treibstoffpreis erhoben wurde. Damit stellte der Klimarappen ein Internalisierungsbeitrag dar, der den entsprechenden Verkehrsträgern angerechnet wurde (siehe auch Kap. 2.6.2).<sup>320</sup>

Der Klimarappen wurde auf allen Benzin- und Dieselimporten erhoben und betrug im Jahr 2010 1.5 Rappen pro Liter Treibstoff. Er wurde von allen Verbrauchern von Benzin- und Die-

---

<sup>319</sup> Der Klimarappen wurde mit der neuen CO<sub>2</sub>-Gesetzgebung per 1.1.2013 durch eine Kompensationspflicht für die Importeure fossiler Treibstoffe ersetzt. Referenzjahr für die Berechnungen im vorliegenden Bericht ist jedoch 2010. Daher müssen die Internalisierungsbeiträge auf Basis des Klimarappens in seiner damaligen Form ermittelt werden.

<sup>320</sup> Für die Frage, ob es sich beim Klimarappen um einen Internalisierungsbeitrag handelte und wie hoch dieser war, ist nicht entscheidend, was mit den Erträgen aus dem Klimarappen geschieht. Konkret wurden mit diesen Erträgen Klimaschutzprojekte im In- und Ausland unterstützt.

seltreibstoffen in der Schweiz bezahlt. Zum grössten Teil betraf dies den Strassenverkehr. Aber auch der Diesel- und Benzinverbrauch im Schienen- und Schiffsverkehr unterlagen dem Klimarappen. Damit leisteten alle Verbraucher von Benzin und Diesel einen Internalisierungsbeitrag an die Klimakosten. Auf das Kerosin musste hingegen der Luftverkehr keinen Klimarappen bezahlen.<sup>321</sup>

Im Jahr 2010 betrug der Ertrag des Klimarappens 105.75 Mio. CHF.<sup>322</sup> Die Aufteilung dieser Erträge auf die Verkehrsträger Strassen-, Schienen- und Schiffsverkehr sowie die einzelnen Fahrzeugkategorien erfolgt auf Basis des Benzin- und Dieserverbrauchs (Treibstoffmenge<sup>323</sup>).

## 9.5 Ergebnisse

### 9.5.1 Externe Kosten

#### a) Überblick Gesamtverkehr

Die folgende Abbildung zeigt die externen Klimakosten des Verkehrs 2010 nach Verkehrsträgern.<sup>324</sup> Nebst dem Hauptergebnis basierend auf dem zentralen CO<sub>2</sub>-Kostensatz sind als Sensitivität auch die Bandbreiten der möglichen Klimakosten angegeben, wenn der untere bzw. der obere CO<sub>2</sub>-Kostensatz verwendet würde. Mit dem **zentralen CO<sub>2</sub>-Kostensatz** ergeben sich für das Jahr 2010 externe Klimakosten des Verkehrs von **1'959 Mio. CHF**. Knapp zwei Drittel dieser Kosten entfallen auf den Strassenverkehr, gut ein Drittel auf den Luftverkehr. Schienen- und Schiffsverkehr verursachen nur sehr geringe (direkte) Klimakosten, nämlich 0.2% bzw. 0.4% des Gesamttotals (vgl. Abbildung 9-15). Wird im Rahmen der **Sensitivitätsrechnung** mit einem tiefen CO<sub>2</sub>-Kostensatz gerechnet, betragen die gesamten Klimakosten nur **knapp 1.1 Mrd. CHF**, das heisst sie liegen 45% tiefer als das Hauptergebnis. Wird als Maximalwert andererseits der hohe CO<sub>2</sub>-Kostensatz angewandt, ergeben sich Klimakosten von **gut 3.5 Mrd. CHF** im Jahr 2010 (80% höher als das Hauptergebnis). Die grosse Bandbreite der Ergebnisse widerspiegelt die erhebliche Unsicherheit bei der Wahl des CO<sub>2</sub>-Kostensatzes. Das Ergebnis basierend auf dem zentralen Kostensatz hat jedoch statistisch den höchsten Erwartungswert und steht damit als Hauptergebnis bei den weiteren Resultatbetrachtungen im Vordergrund. Es ist zu erwähnen, dass es auch bei anderen Kostenbereichen erhebliche und z.T. ähnlich hohe Unsicherheiten gibt wie im Klimabereich. Abbil-

<sup>321</sup> Keine Internalisierungsbeiträge stellen die Mineralölsteuern dar, da diese bereits in der Infrastrukturrechnung angerechnet werden (siehe dazu auch Kap. 2.6.2).

<sup>322</sup> Ertrag des Klimarappens abzüglich Rückvergütung an Fürstentum Liechtenstein, siehe Erfolgsrechnung 2010 der Stiftung Klimarappen (Stiftung Klimarappen 2011).

<sup>323</sup> Die Datenquellen für die Treibstoffmengen sind identisch wie bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen: Das Handbuch Emissionsfaktoren (HBEFA) für den Strassenverkehr, das Treibhausgasinventar für den Schienenverkehr und für den Schiffsverkehr die Transportrechnung Schiffsverkehr (IRENE, Ecosys 2013).

<sup>324</sup> Bei den Klimakosten sind die externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger, aus Sicht Verkehrsart Schwerverkehr und aus Sicht Verkehrsteilnehmende genau gleich hoch.

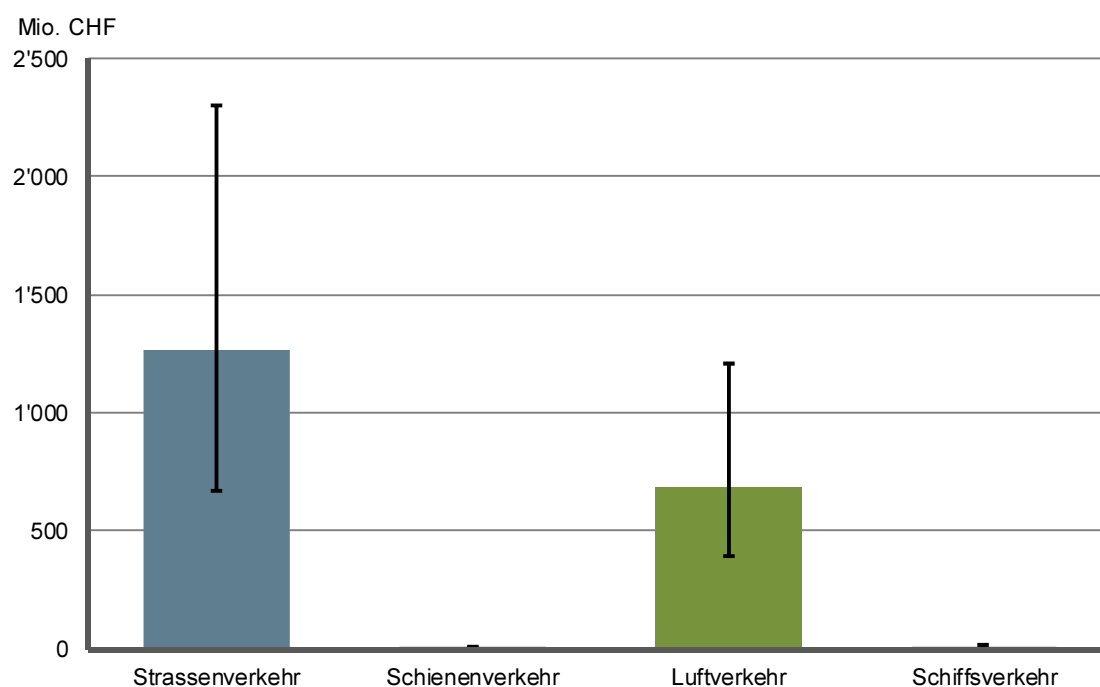
Abbildung 9-14 zeigt grafisch die Bandbreiten der gesamten externen Klimakosten des Verkehrs im Jahr 2010.

**Abbildung 9-13: Überblick über die externen Klimakosten des Verkehrs 2010**

Dargestellt sind die zentralen Ergebnisse (basierend auf dem zentralen CO<sub>2</sub>-Kostensatz) sowie als Sensitivität die Minimal- und Maximalwerte.

Klimakosten in Mio. CHF	Hauptergebnis (zentraler CO <sub>2</sub> -Wert)	Sensitivität Minimal (unterer CO <sub>2</sub> -Wert)	Sensitivität Maximal (oberer CO <sub>2</sub> -Wert)
Strassenverkehr	1'261	672	2'298
Schienenverkehr	4	2	7
Luftverkehr	686	390	1'208
Schiffsverkehr	8	4	15
<b>Total</b>	<b>1'959</b>	<b>1'069</b>	<b>3'528</b>

**Abbildung 9-14: Externe Klimakosten des Verkehrs 2010. Dargestellt sind Hauptergebnis (Säulen) und Bandbreiten (Fehlerbalken).**



Wie im Kapitel 9.4.2 erwähnt leistet der Klimarappen einen Internalisierungsbeitrag an die sozialen Klimakosten des Strassen-, Schienen- und Schiffsverkehrs. Die sozialen Klimakosten des Verkehrs sind somit 106 Mio. CHF (Gesamtertrag Klimarappen im Jahr 2010) höher als die oben ausgewiesenen externen Kosten. Die gesamten **sozialen Klimakosten** des Verkehrs in der Schweiz im Jahr 2010 betragen **2'064 Mio. CHF**. Unter Berücksichtigung des

minimalen bzw. maximalen CO<sub>2</sub>-Kostensatzes ergibt sich eine Bandbreite der sozialen Klimakosten von 1.17 bis 3.63 Mio. CHF.

Die folgende Abbildung zeigt die Ergebnisse differenziert nach Personen- und Güterverkehr. Die Zahlen basieren auf dem zentralen CO<sub>2</sub>-Kostensatz, das heisst sie zeigen die Hauptergebnisse.

**Abbildung 9-15: Überblick über die externen Klimakosten des Verkehrs 2010 (Hauptergebnis basierend auf zentralem CO<sub>2</sub>-Kostensatz)**

Klimakosten in Mio. CHF	Personen- verkehr	Güter- verkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	1'011	250	<b>1'261</b>	64.4%
Schienenverkehr	1	3	<b>4</b>	0.2%
Luftverkehr	627	59	<b>686</b>	35.0%
Schiffsverkehr	5	3	<b>8</b>	0.4%
<b>Total</b>	<b>1'643</b>	<b>316</b>	<b>1'959</b>	100.0%
in % des Totals	83.9%	16.1%	100.0%	

#### **b) Strassenverkehr**

Die externen Klimakosten des Strassenverkehrs betragen 2010 insgesamt **1'261 Mio. CHF** (zentraler CO<sub>2</sub>-Kostensatz). Die Bandbreite der Kosten (unterer und oberer Kostensatz) geht von 672 Mio. CHF bis knapp 2'300 Mio. CHF. Die Kosten verteilen sich proportional zu den Treibhausgasemissionen auf die einzelnen Fahrzeugkategorien. Rund 76% der Kosten (956 Mio. CHF) entfallen auf die Personenwagen.

Die sozialen Klimakosten des Strassenverkehrs betragen 1'365 Mio. CHF und sind somit 105 Mio. CHF höher als die externen Klimakosten. Die Differenz ergibt sich aus dem Beitrag des Strassenverkehrs an den Klimarappen.

Abbildung 9-16: Externe Klimakosten im Strassenverkehr 2010 nach Fahrzeugkategorien (Hauptergebnis basierend auf zentralem CO<sub>2</sub>-Kostensatz)

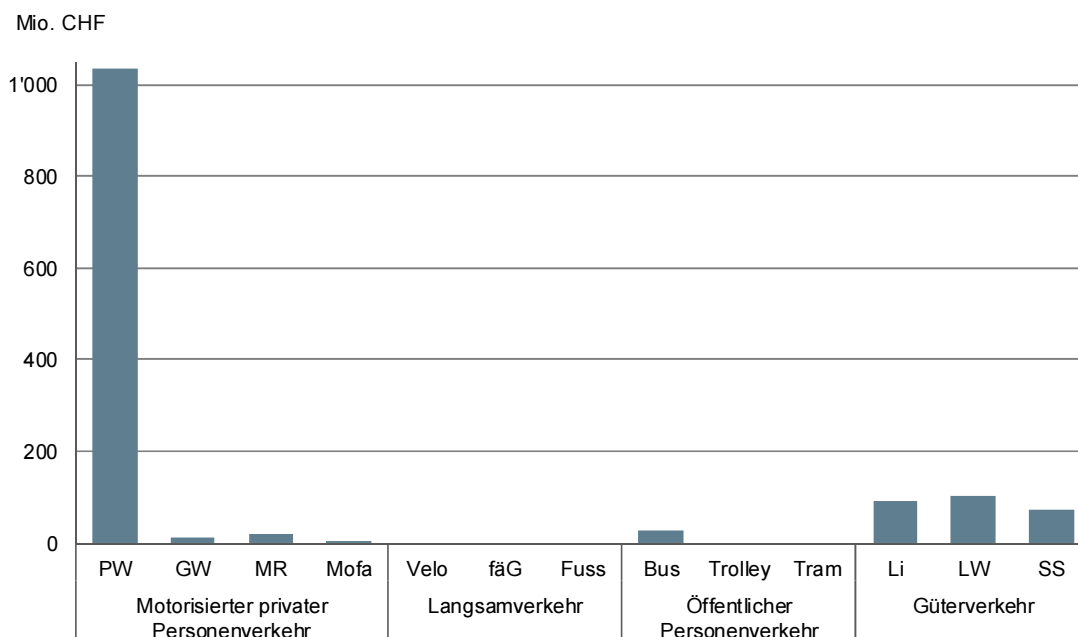


Abbildung 9-17: Externe Klimakosten im Strassenverkehr 2010 nach Fahrzeugkategorien

Klimakosten in Mio. CHF	Personenverkehr								Güterverkehr			Gesamt- total		
	Motorisierter privater Personenverkehr				Langsamverkehr			Öffentlicher Personenverkehr			Li		LW	SS
	PW	GW	MR	Mofa	Velo	fäG	Fuss	Bus	Trolley	Tram				
Hauptergebnis (zentraler CO <sub>2</sub> -Wert)	956.2	9.5	17.9	0.8	-	-	-	26.1	-	-	86.5	94.8	68.6	1'260.6
Sensitivität Minimal (unterer CO <sub>2</sub> -Wert)	509.5	5.0	9.5	0.4	-	-	-	13.9	-	-	46.2	50.6	36.7	672.0
Sensitivität Maximal (oberer CO <sub>2</sub> -Wert)	1'743.8	17.3	32.7	1.5	-	-	-	47.7	-	-	157.6	172.8	125.0	2'298.3
in % des Gesamttotals	75.9%	0.8%	1.4%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	2.1%	0.0%	0.0%	6.9%	7.5%	5.4%	100.0%
Total Teilbereiche	984.4				0.0			26.1			250.0			1'260.6
in % des Gesamttotals	78.1%				0.0%			2.1%			19.8%			100.0%

PW = Personenwagen, GW = Gesellschaftswagen, MR = Motorrad, fäG = fahrzeugähnliches Gerät, Fuss = Fussverkehr, Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper.

### c) Schienenverkehr

Die externen Klimakosten des Schienenverkehrs sind aufgrund der tiefen Treibhausgasemissionen gering und betragen 2010 insgesamt lediglich knapp **4 Mio. CHF**. Der grösste Teil (85%) dieser Kosten werden durch den Güterverkehr verursacht, wo deutlich mehr Dieselloks eingesetzt werden als im Personenverkehr.

Die sozialen Klimakosten des Schienenverkehrs sind lediglich 0.3 Mio. CHF höher als die externen Kosten und betragen somit 4.1 Mio. CHF.

**Abbildung 9-18: Externe Klimakosten im Schienenverkehr 2010 nach Personen- und Güterverkehr**

Klimakosten in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total Schienenverkehr
<b>Hauptergebnis (zentraler CO<sub>2</sub>-Wert)</b>	<b>0.6</b>	<b>3.2</b>	<b>3.8</b>
Sensitivität Minimal (unterer CO <sub>2</sub> -Wert)	0.3	1.7	2.0
Sensitivität Maximal (oberer CO <sub>2</sub> -Wert)	1.0	5.8	6.9

#### d) Luftverkehr

Die externen Klimakosten des Luftverkehrs im Jahr 2010 betragen mit dem zentralen CO<sub>2</sub>-Kostensatz **686 Mio. CHF**. Die Sensitivätsberechnungen mit dem tiefen bzw. hohen CO<sub>2</sub>-Kostensatz ergeben Bandbreiten der Klimakosten von **390 bis 1'208 Mio. CHF**. Gut 90% der Kosten entfallen auf den Personenverkehr, der Rest auf den Güterverkehr. Die Ergebnisse basieren auf dem Emissionen gemäss Halbstreckenprinzip (siehe Kapitel 2.3.2). Beim Luftverkehr sind die sozialen Klimakosten identisch mit den externen Kosten.

**Abbildung 9-19: Externe Klimakosten im Luftverkehr 2010 nach Personen- und Güterverkehr**

Klimakosten in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total Luftverkehr
<b>Hauptergebnis (zentraler CO<sub>2</sub>-Wert)</b>	<b>627</b>	<b>59</b>	<b>686</b>
Sensitivität Minimal (unterer CO <sub>2</sub> -Wert)	357	34	390
Sensitivität Maximal (oberer CO <sub>2</sub> -Wert)	1'104	104	1'208

Die folgende Abbildung zeigt die Aufteilung der Kosten auf die einzelnen Flugarten (Linien- und Charterverkehr, Helikopter und General Aviation). Dargestellt ist das Hauptergebnis basierend auf dem zentralen CO<sub>2</sub>-Kostensatz.



**Abbildung 9-20: Externe Klimakosten im Luftverkehr 2010 nach Personen- und Güterverkehr (Hauptergebnis basierend auf zentralem CO<sub>2</sub>-Kostensatz)**

Kosten in Mio. CHF pro Jahr	nach Flugart und Personen-/Güterverkehr Halbstreckenprinzip			
	2010	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
L/Ch intercontinental		313	32	345
L/Ch continental + domestic		263	27	290
Helikopter		1	1	2
Business Aviation		22	0	22
Rest General Aviation		27	0	27
<b>Total Klimakosten</b>		<b>627</b>	<b>59</b>	<b>686</b>

#### e) Schiffsverkehr

Die externen Klimakosten des Schiffsverkehrs im Jahr 2010 betragen gut **8 Mio. CHF**. (Basis zentraler CO<sub>2</sub>-Kostensatz). In diesen Kosten nicht enthalten ist gemäss Definition der Transportrechnung die Freizeitschiffahrt. Die Bandbreite der Klimakosten des Schiffsverkehrs beträgt 4 bis 15 Mio. CHF, wenn der untere bzw. obere CO<sub>2</sub>-Kostensatz verwendet wird. Knapp 60% der Kosten wird durch die öffentliche Personenschiffahrt verursacht, der Rest durch den Güterverkehr (Rheinschiffahrt, Güterschiffe auf Seen, Fischer- und Arbeitsboote).

Die sozialen Klimakosten des Schiffsverkehrs betragen knapp 9 Mio. CHF und sind somit 0.6 Mio. CHF (Beitrag an Klimarappen) höher als die externen Kosten.

**Abbildung 9-21: Externe Klimakosten im Schiffsverkehr 2010 nach Personen- und Güterverkehr (Halbstreckenprinzip für Rheinschiffahrt)**

Klimakosten in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total Schiffsverkehr
<b>Hauptergebnis (zentraler CO<sub>2</sub>-Wert)</b>	<b>4.8</b>	<b>3.3</b>	<b>8.1</b>
Sensitivität Minimal (unterer CO <sub>2</sub> -Wert)	2.6	1.8	4.4
Sensitivität Maximal (oberer CO <sub>2</sub> -Wert)	8.7	6.1	14.8

## 9.6 Sensitivitätsanalyse

### 9.6.1 Zusammenfassung der Annahmen und Unsicherheiten

Für die Klimakosten wurde bereits im Ergebniskapitel eine Sensitivitätsrechnung mit Hilfe eines unteren bzw. oberen CO<sub>2</sub>-Kostensatzes vorgenommen, weil der Kostensatz mit erheblichen Unsicherheiten verbunden und intensiv diskutiert wird. An dieser Stelle wird zudem auch für die anderen Inputgrössen (Emissionsmengen und Emissionsgewichtungsfaktor RFI beim Luftverkehr) eine einfache Sensitivitätsrechnung durchgeführt.<sup>325</sup>

Abbildung 9-22: Übersicht über Inputdaten, Annahmen und Bandbreiten bei den Klimakosten

Bereich / Annahme	Wissenstand	Vorgehen	Bandbreite
<b>Emissionen</b>			
Treibhausgasemissionen insgesamt	aktuelle statistische Grundlagen	Datenauswertung	± 5%
Emissionsgewichtung Luftverkehr (RFI)	Wissen mit Unsicherheiten	at least	1.30 - 2.00 Basis: Lee et al. 2010
<b>Wertgerüst</b>			
Kostensatz pro Tonne CO <sub>2</sub>	Wissen mit Unsicherheiten	best guess Anlehnung UBA 2013	61 / 107 / 188 CHF/t Basis Kuik et al. 2009

### 9.6.2 Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

Die folgende Abbildung zeigt die Ergebnisse der einfachen Sensitivitätsanalyse für die drei Inputgrössen Treibhausgasemissionsmenge, zusätzliche Emissionsgewichtung Luftverkehr (RFI) sowie CO<sub>2</sub>-Kostensatz. Besonders sensitiv ist das Ergebnis – wie bereits bei den Hauptergebnissen dargestellt – auf die Wahl des CO<sub>2</sub>-Kostensatzes sowie die Verwendung des hohen RFI. Beim Luftverkehr gibt es somit zwei Faktoren, die eine grosse Bandbreite der Ergebnisse zur Folge haben, insbesondere nach oben.<sup>326</sup>

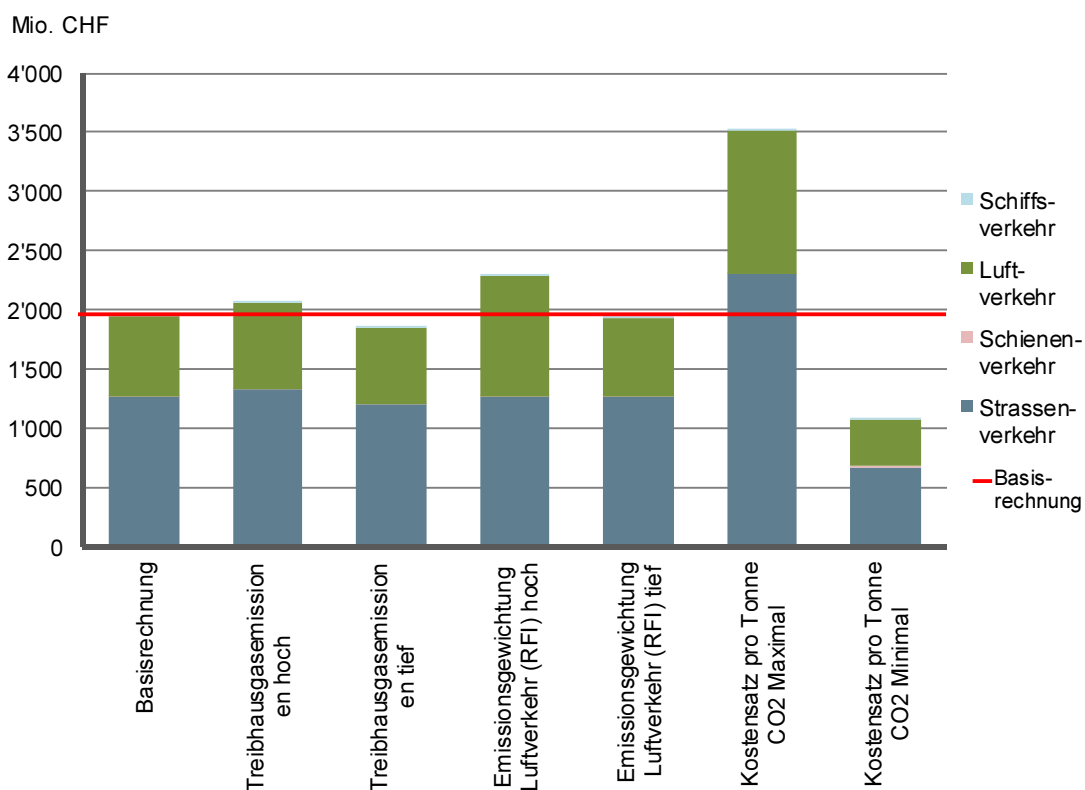
<sup>325</sup> Keine Sensitivitätsrechnungen werden für veränderte Systemgrenzen durchgeführt (z.B. Territorialprinzip statt Halbstreckenprinzip beim Luft- und Schiffsverkehr). Diese sind Rahmenbedingungen der Transportrechnung und gelten somit als gesetzt (siehe Kap. 2.3.2).

<sup>326</sup> Würden die Klimakosten beim Luftverkehr mit hohem RFI und dem maximalen CO<sub>2</sub>-Kostensatz berechnet, ergäben sich Gesamtkosten von fast 1.8 Mrd. CHF. Dieses Ergebnis weist jedoch eine geringe Wahrscheinlichkeit auf.

Abbildung 9-23: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für die externen Klimakosten 2010

Klimakosten in Mio. CHF	Strassen- verkehr	Schiene- verkehr	Luft- verkehr	Schiffs- verkehr	Total
<b>Basisrechnung</b>	<b>1'261</b>	<b>3.8</b>	<b>686</b>	<b>8.1</b>	<b>1'959</b>
Treibhausgasemissionen hoch	1'329	4.0	720	8.6	<b>2'062</b>
Treibhausgasemissionen tief	1'192	3.6	652	7.7	<b>1'855</b>
Emissionsgewichtung Luftverkehr (RFI) hoch	1'261	3.8	1'016	8.1	<b>2'288</b>
Emissionsgewichtung Luftverkehr (RFI) tief	1'261	3.8	661	8.1	<b>1'933</b>
Kostensatz pro Tonne CO <sub>2</sub> Maximal	2'298	6.9	1'208	14.8	<b>3'528</b>
Kostensatz pro Tonne CO <sub>2</sub> Minimal	672	2.0	390	4.4	<b>1'069</b>
<b>Abweichung von Basisrechnung in %</b>					
Treibhausgasemissionen hoch	5.4%	5.4%	5.0%	5.4%	<b>5.3%</b>
Treibhausgasemissionen tief	-5.4%	-5.4%	-5.0%	-5.4%	<b>-5.3%</b>
Emissionsgewichtung Luftverkehr (RFI) hoch	0.0%	0.0%	48.1%	0.0%	<b>16.8%</b>
Emissionsgewichtung Luftverkehr (RFI) tief	0.0%	0.0%	-3.7%	0.0%	<b>-1.3%</b>
Kostensatz pro Tonne CO <sub>2</sub> Maximal	82.3%	82.1%	76.0%	82.0%	<b>80.1%</b>
Kostensatz pro Tonne CO <sub>2</sub> Minimal	-46.7%	-46.6%	-43.1%	-46.5%	<b>-45.4%</b>

Abbildung 9-24: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für die externen Klimakosten 2010



### 9.6.3 Zusätzliche Unter- oder Überschätzungen

Die Berechnung der Klimakosten basiert auf den am meisten etablierten Annahmen (langfristige Vermeidungskosten, orientiert am 2-Grad-Ziel). Nicht abgedeckt sind damit allerdings mögliche Kosten, wenn Kippeffekte des Klimas eintreten bzw. andere unvorhersehbare Grossrisiken (Damokles-Risiken) im Zusammenhang mit der Klimaveränderung zum Tragen kämen. Solche Effekte hätten voraussichtlich deutlich höhere Kosten zur Folge.

## 9.7 Vergleich zu den bisherigen Berechnungen

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen grafisch und tabellarisch den Vergleich der Klimakosten 2010 mit den Ergebnissen der Berechnungen mit der früheren Methodik. Dabei sind sowohl die Daten für 2005 als auch die Daten für 2010 mit der früheren Methodik dargestellt. Der Vergleich der Ergebnisse von 2010 zwischen neuer und bisheriger Methodik zeigt den Effekt der angepassten Methodik. Da in der früheren Studie lediglich die externen Kosten des Strassen- und Schienenverkehrs ermittelt wurden, kann der Vergleich nur für diese beiden Verkehrsträger durchgeführt werden.

Abbildung 9-25: Vergleich der Berechnungen für die externen Klimakosten 2005 und 2010. Hauptergebnisse basierend auf zentralem CO<sub>2</sub>-Kostensatz.



Beim **Strassenverkehr** betragen die externen Klimakosten des Strassen- und Schienenverkehrs im Jahr 2005 (frühere Methodik) 1.26 Mrd. CHF. Mit der gleichen Methodik sind die Klimakosten im Jahr 2010 auf 1.17 Mrd. CHF gesunken, was ausschliesslich auf die Aktualisierung der Treibhausgasemissionen zurückzuführen ist (-8%). Die Veränderung ist allerdings nur teilweise auf eine effektive Emissionsreduktion zurückzuführen: Ein Teil des Rückgangs erklärt sich zwar mit den in der Zwischenzeit tatsächlich gesunkenen CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren der Strassenfahrzeuge<sup>327</sup>. Auf der anderen Seite ist die Kostenreduktion zu einem erheblichen Teil auf die korrigierten Fahrleistungsdaten des BFS zurückzuführen. So wurden beispielsweise die PW-Fahrleistungen des Jahres 2005 von 52.08 Mrd. Fzkm (Stand 2007) zuerst auf 50.46 Mrd. Fzkm (Stand 2009) auf aktuell 48.04 Mrd. Fzkm (Stand 2013) korrigiert. Dies entspricht einem Rückgang von fast 8%. Selbst die aktuelle PW-Fahrleistung für 2010 liegt mit 50.95 Mrd. Fzkm noch gut 2% unter dem in der alten Studie für 2005 verwendeten Wert. Zusammen mit dem Rückgang der Emissionsfaktoren für Treibhausgase sowie dem gemäss alter Methodik konstant gehaltenen CO<sub>2</sub>-Kostensatz führt dies zum beobachteten Rückgang der Klimakosten zwischen 2005 und 2010.

Die Ergebnisse für das Jahr 2010 mit der *aktualisierten Methodik* sind beim Strassenverkehr mit 1.26 Mrd. CHF rund 8% höher als mit der früheren Methodik. Für diese Entwicklung gibt es zwei Hauptgründe, die in eine entgegengesetzte Richtung wirken: Der neu angepasste CO<sub>2</sub>-Kostensatz (bisherige Methodik: 90 CHF/t, neue Methodik 107 CHF/t) führt zu einer Zunahme der Kosten um 19%. Auf der anderen Seite werden in der vorliegenden Rechnung neu die Erträge des Klimarappens als Internalisierungsbeitrag angerechnet, was die externen Klimakosten des Strassenverkehrs wieder um rund 9% verringert. Einen ganz leichten Rückgang der Kosten ergibt sich überdies durch die Anpassung der CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren beim Strassenverkehr. Keinen wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis hat die Aktualisierung der Faktoren für die Treibhausgaspotenziale von Methan und Lachgas (siehe Kap. 9.3.1).

Beim **Schieneverkehr** ist die Differenz der Ergebnisse von 2005 und 2010 bereits in der früheren Methodik sehr gross, was ausschliesslich auf die Aktualisierung der Treibhausgasemissionen zurückzuführen ist (-52%). Der Rückgang der Klimakosten ist jedoch ebenfalls hauptsächlich auf angepasste Datengrundlagen zurückzuführen und weniger auf eine tatsächliche Reduktion der Emissionen: Mit der Überarbeitung der Offroad-Emissionsstatistik im Rahmen der BAFU-Studie (BAFU 2008) wurden die Treibhausgasemissionen des Schienenverkehrs deutlich (um über 50%) nach unten korrigiert. Diese Korrektur wurde im Schweizer Treibhausgasinventar des Submissionjahres 2009 erstmals übernommen und erklärt den Einbruch der Klimakosten des Schienenverkehrs zwischen 2005 und 2010. Die Zunahme der Klimakosten 2010 zwischen früherer und neuer Methodik um 10% ist genau wie beim Strassenverkehr primär auf den höheren CO<sub>2</sub>-Kostensatz zurückzuführen und wird ebenfalls wieder etwas gedämpft durch die Anrechnung des Klimarappens als Internalisierungsbeitrag.

---

<sup>327</sup> So ist beispielsweise bei den Personenwagen der durchschnittliche Emissionsfaktor für fossiles CO<sub>2</sub> gemäss HBEFA von 210 g/Fzkm im Jahr 2005 auf 189 g/Fzkm im Jahr 2010 gesunken.

**Abbildung 9-26: Vergleich der Berechnungen für die externen Klimakosten 2005 und 2010. Hauptergebnisse basierend auf zentralem CO<sub>2</sub>-Kostensatz.**

	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
<b>Daten 2005, Methodik 2005</b>			
Strassenverkehr	1'030.1	226.3	<b>1'256.4</b>
Schienenverkehr	0.9	6.3	<b>7.2</b>
<b>Total</b>	<b>1'031.1</b>	<b>232.6</b>	<b>1'263.7</b>
<b>Daten 2010, Methodik 2005</b>			
Strassenverkehr	936.4	228.2	<b>1'164.6</b>
Schienenverkehr	0.5	3.0	<b>3.4</b>
<b>Total</b>	<b>936.8</b>	<b>231.2</b>	<b>1'168.1</b>
<b>Daten 2010, Methodik 2010</b>			
Strassenverkehr	1'010.6	250.0	<b>1'260.6</b>
Schienenverkehr	0.6	3.2	<b>3.8</b>
<b>Total</b>	<b>1'011.2</b>	<b>253.2</b>	<b>1'264.4</b>
<b>Veränderung Daten 2005 - 2010</b>			
Strassenverkehr	-9.1%	0.9%	<b>-7.3%</b>
Schienenverkehr	-52.5%	-52.5%	<b>-52.5%</b>
<b>Total</b>	<b>-9.1%</b>	<b>-0.6%</b>	<b>-7.6%</b>
<b>Veränderung Methodenanpassung</b>			
Strassenverkehr	7.9%	9.5%	<b>8.2%</b>
Schienenverkehr	26.9%	7.2%	<b>9.8%</b>
<b>Total</b>	<b>7.9%</b>	<b>9.5%</b>	<b>8.2%</b>

Die folgende Abbildung zeigt zusammenfassend die wichtigsten Veränderungen infolge der Methodenanpassung.

**Abbildung 9-27: Hauptgründe für die Unterschiede durch die Methodenanpassung**

Inputgrösse	Unterschiede angepasste Methodik	Wirkung auf Ergebnis
CO <sub>2</sub> -Kostensatz	Anpassung Kostensatz von 90 CHF auf 107 CHF pro t CO <sub>2</sub> -eq (+19%).	↗
Klimarappen als Internalisierungsbeitrag	Anrechnung der Erträge aus dem Klimarappen als Internalisierungsbeitrag führt zu einem Rückgang der externen Kosten (keine Veränderung bei sozialen Klimakosten).	↘ (Strasse, Schiene, Schiff)
Emissionen Strassenverkehr	Aktualisierte Emissionsfaktoren führen zu einem leichten Rückgang der Emissionen.	(↘)

## 10 Natur und Landschaft

### 10.1 Berechnungsgegenstand

#### 10.1.1 Einleitung und Begriffe

Der Verkehr hat sehr vielfältige Auswirkungen auf die Natur und die Landschaft. Im vorliegenden Kapitel werden die Auswirkungen des Verkehrs auf folgende Allgemeingüter betrachtet:

- **Natur:** Im Zweckartikel des Bundesgesetzes über den Natur- und Heimatschutz (NHG, SR 451, Art. 1) werden in Bezug auf den Naturschutz folgende Allgemeingüter genannt:
  - das heimatliche Landschafts- und Ortsbild, die geschichtlichen Stätten sowie die Natur- und Kulturdenkmäler des Landes zu schonen, zu schützen sowie ihre Erhaltung und Pflege zu fördern;
  - die einheimische Tier- und Pflanzenwelt sowie ihre biologische Vielfalt und ihren natürlichen Lebensraum zu schützen.
- **Biodiversität:** Biodiversität umfasst die verschiedenen Lebensformen (Arten von Tieren, Pflanzen, Pilzen, Bakterien), die unterschiedlichen Lebensräume, in denen Arten leben (Ökosysteme wie der Wald oder Gewässer), sowie die genetische Vielfalt innerhalb der Arten (z.B. Unterarten, Sorten und Rassen).<sup>328</sup>

Das Übereinkommen der Vereinten Nationen über die Biologische Vielfalt (Biodiversitätskonvention / CBD) definiert in Artikel 2 den Begriff ‚Biodiversität‘ als „die Variabilität unter lebenden Organismen jeglicher Herkunft, darunter unter anderem Land-, Meeres- und sonstige aquatische Ökosysteme und die ökologischen Komplexe, zu denen sie gehören; dies umfasst die Vielfalt innerhalb der Arten und zwischen den Arten und die Vielfalt der Ökosysteme“.

- **Landschaft:** Landschaft umfasst den gesamten Raum, innerhalb und ausserhalb von Siedlungen. Landschaft ist das Entstandene und Werdende natürlicher Faktoren wie Untergrund, Boden, Wasser, Luft, Licht, Klima, Fauna und Flora im Zusammenspiel mit kulturellen, gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Faktoren.<sup>329</sup>

Fazit: Unter Natur und Landschaft werden vier Ebenen von Allgemeingütern zusammengefasst:

- Landschaft umfasst den gesamten Raum, der auf Grund natürlicher und kultureller Faktoren entstanden ist und geformt wird.
- Der Begriff der Natur umfasst die drei Ebenen der Biodiversität:
  - Alle Lebensräume (Ökosysteme) die von Arten genutzt werden.

---

<sup>328</sup> BAFU (2010): Zitat Faktenblatt 1. Biodiversität – Definition und Bedeutung

<sup>329</sup> BAFU (1998), Landschaftskonzept Schweiz, p. 127.

- Die Gesamtheit der Arten (Pflanzen, Tiere, Pilze und Bakterien).
- Die Gesamtheit der Variationen innerhalb der einzelnen Arten.

### **Exkurs: Wandel und Wertung von Natur und Landschaft**

#### *Landschaft und Lebensräume*

Landschaft und Lebensräume sind einem stetigen Wandel unterworfen. Dabei spielen natürliche Prozesse wie Erosion, Klima, Bewuchs, usw. eine wichtige Rolle. Diese natürlichen Prozesse werden seit Jahrtausenden durch kulturelle Prozesse (Rodungen, Ackerbau, Siedlungen usw.) überlagert. Die kulturellen Prozesse haben sich in den letzten 200 Jahren auf Grund der Industrialisierung, der Bautätigkeit sowie der leichten Verfügbarkeit von Energie und der intensiveren Bewirtschaftung stark beschleunigt.

Auf der Ebene der Landschaften und Lebensräume kann festgehalten werden, dass flächendeckend alle Landschaften und Lebensräume als einheimisch und damit als Allgemeingut des Landes verstanden werden. Insbesondere wird kein Unterschied zwischen „natürlichen“ und „kulturell geformten“ Räumen beziehungsweise zwischen bebauten und nicht bebauten Räumen gemacht. Die Bewertung der verschiedenen Typen erfolgt auf Grund von Klassierungen in Bezug auf Häufigkeit und Vorkommen von seltenen und typischen Arten (z.B. Liste der schützenswerten Lebensraumtypen, Anhang NHV, SR 451.1).

#### *Arten*

Bedingt durch die Veränderungen der Landschaft und der Lebensräume sowie die Aktivitäten des Menschen unterliegen auch die Arten einem starken Wandel über die Jahrhunderte.

Auf der Ebene der Arten (teilweise auch auf der Ebene ihrer Variationen) wird klar zwischen einheimisch und nicht einheimisch unterschieden. Ein Schnitt wird in der Regel um 1500 gemacht. Arten die vorher in der Schweiz auftauchten, gelten als Allgemeingut des Landes. Später auftretende Arten sind fremd. Vor allem wenn sie invasiv (massenhaft) sind, stellen sie eine Bedrohung für die Vielfalt der einheimischen Arten (Biodiversität) dar.

### **10.1.2 Betrachtungsrahmen**

Aus dem komplexen Wirkungsgefüge Natur und Landschaft wurden in den bisherigen Arbeiten zu den externen Kosten des Verkehrs der Schweiz zwei Wirkungsketten quantifiziert und monetarisiert, Habitatverluste und Habitatfragmentierungen (Econcept, Nateco 2004; Eco-plan, Infrac 2008). Die wichtigste direkte negative Umweltfolge von Habitatverlusten und Habitatfragmentierungen ist die Beeinträchtigung der Biodiversität.

- **Habitatverluste:** Verkehrsinfrastrukturen führen durch ihren Flächenbedarf zu einem Verlust an natürlichen Ökosystemen, die Lebensräume für Pflanzen und Tiere darstellen. Durch diesen Flächenverbrauch gehen wertvolle Habitate verloren, was zu einer Verminderung der Biodiversität führt.
- **Habitatfragmentierungen:** Verkehrsinfrastrukturen können zusätzlich sehr oft eine Zerschneidungs- bzw. Trennwirkung für tierische Lebewesen haben. Diese Trennwirkung



schränkt den Lebensraum (Habitate) von Arten stark ein, was sich negativ auf die Fähigkeit der Arten auswirkt, neue oder verwaiste Lebensräume zu besetzen und generell zu einer Beeinträchtigung der Biodiversität führt. Von Habitatfragmentierungen durch Verkehrswege betroffen sind sowohl grössere Säugetiere (z.B. Wildtiere wie Reh, Feldhase, Dachs, Igel) als auch Kleintiere wie Amphibien oder Bachlebewesen. Besonders ausgeprägt sind Zerschneidungseffekte bei grossen Verkehrsinfrastrukturen wie Autobahnen oder grossen Schieneninfrastrukturen.

In der umfassenden Arbeit von Econcept, Nateco (2004) wurden zudem die Verluste der Habitatqualität vertieft betrachtet (der Verkehr verursacht z.B. Lärm, Staub, Luftschadstoffe und Erschütterungen, die die Qualität der Lebensräume beeinträchtigen), jedoch nicht monetarisiert.

Neben diesen drei erwähnten Wirkungen des Verkehrs auf Natur und Landschaft ist in der vorliegenden Arbeit die Frage nach allfälligen weiteren zu untersuchenden Ursache-Wirkungsketten nochmals bearbeitet worden (siehe folgendes Kapitel 10.2.1). Schliesslich blieb der Betrachtungsrahmen jedoch fast gleich wie in den bisherigen Studien. Neu abgedeckt wird in der vorliegenden Studie allerdings ein zusätzlicher Effekt, nämlich die negative *Wirkung von Eutrophierung und Bodenversauerung auf die Biodiversität* und damit auf Natur und Landschaft. Da dieser Effekt jedoch durch Luftschadstoffemissionen des Verkehrs verursacht wird (versauernd bzw. eutrophierend wirkende Schadstoffe wie Stickoxide oder Schwefeldioxid), wird diese Wirkungskategorie in einem eigenen Kapitel (7) ‚Biodiversitätsverluste durch Luftverschmutzung‘ beschrieben und monetarisiert.

## 10.2 Bewertungsmethodik und wichtigste neue Erkenntnisse

### 10.2.1 Relevante Ursache-Wirkungsketten und methodische Entwicklungen

Die ersten umfassenden Studien zu den Berechnungen der externen Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft (v.a. Vorstudie von Ökoskop 1998 sowie Hauptstudie von Econcept, Nateco 2004) stellten die Wirkungsketten des Verkehrs auf die Biodiversität ausführlich dar. Aus heutiger Sicht kann festgehalten werden, dass die damals identifizierten zentralen Ursache-Wirkungsketten immer noch gültig sind. Im Rahmen der Überprüfung der Methodik im vorliegenden Projekt wurden die relevanten Wirkungskategorien deshalb noch einmal untersucht und in Bezug auf ihre Relevanz sowie der Möglichkeit zur Monetarisierung beurteilt. Dabei sind folgende Wirkungen bzw. Schadensbereiche identifiziert worden:

- **Habitatverluste:** siehe oben.
- **Habitatfragmentierungen:** siehe oben.
- **Licht- und Lärmimmissionen:** Licht und Lärm können die Qualität der Lebensräume negativ beeinflussen. Sie beeinflussen ganz direkt vorwiegend Wirbeltiere und schränken deren Vorkommen ein. Der Effekt ist in einem Bericht des Bundes (BAFU 2012) beschrieben worden. Allerdings ist es weder auf Basis dieses Berichts noch auf der Grundlage

- anderer Studien möglich, eine Quantifizierung oder gar Monetarisierung dieser Schadenswirkungen durch den Verkehr vorzunehmen.
- **Eutrophierung und Versauerung durch Luftverschmutzung:** Die Emission von Luftschadstoffen (Stickoxide, Schwefeldioxid, Ammoniak) durch Verbrennungsmotoren führen zu einer Düngung (Eutrophierung) sowie Versauerung (veränderter pH-Wert) des Bodens. Beide Wirkungen beeinflussen die Biodiversität und die Lebensräume negativ. Eine Monetarisierung dieses Effekts wurde im Rahmen der EU-Forschungsstudie NEEDS erstmals vorgenommen (Ott et al. 2006). Diese Wirkungskette wird im Kapitel 7 bearbeitet und monetarisiert.
  - **Klimaveränderung:** Die Emission von Treibhausgasen führt zu Klimaveränderungen, was sich wiederum auf das Artenspektrum von Lebensräumen auswirkt. Es sind keine Quellen bekannt, auf Basis derer quantitative Aussagen zur Schadwirkung des Klimawandels auf Natur und Landschaft möglich sind. Weil jedoch bei den Klimakosten in der vorliegenden Studie die Monetarisierung über einen Vermeidungskostenansatz erfolgt (siehe Kapitel 9), sind allfällige Effekte der Klimaerwärmung auf Natur und Landschaft (Biodiversität) dort schon abgedeckt.
  - **Streusalz:** Der Eintrag von Streusalz, das im Rahmen des Winterdienstes ausgebracht wird, belastet Böden und Ökosysteme. Insbesondere die Vegetation leidet unter dem Salzeintrag stark. Eine Quantifizierung und Monetarisierung wäre auf Basis von Reparaturkosten für die Instandsetzung (Aufforstung) von Bäumen durch Grünbauämter bzw. Stadtgärtnereien möglich. Aufgrund der eher geringen erwarteten Relevanz dieser Schäden wurde entschieden, auf eine vertiefte Analyse dieses Bereichs zu verzichten (vgl. Anhang A).
  - **Invasive Neophyten:** Unter invasiven Neophyten werden Pflanzen verstanden, die bei uns nicht heimisch sind, sich aber so stark ausbreiten, dass sie einheimische Arten bedrängen und verdrängen. Im Zusammenhang mit dem Verkehr sind Neophyten ein Problem, weil sie a) durch den Verkehr verbreitet werden und weil b) der standardisierte Unterhalt der Grünflächen entlang von Verkehrswegen oft ideale Lebensbedingungen für eine ganze Reihe von invasiven Neophyten schafft. Invasive Neophyten werden heute als wichtige Bedrohung der Biodiversität beurteilt (siehe auch Strategie Biodiversität Schweiz, Bundesrat 2012). Eine Monetarisierung der Schäden durch Neophyten wäre mittels Reparaturkostenansatz grob möglich. Im Rahmen dieser Arbeit wurde aus Ressourcengründen auf eine Analyse verzichtet.
  - **Habitatdegradierung (Verlust Habitatqualität):** Der Unterhalt von Grünflächen entlang von Strassen und Bahnen ist in den letzten Jahren und Jahrzehnten stark rationalisiert worden. Dies hat dazu geführt, dass er den Anforderungen des NHG Art.3 nach einem naturschutzgerechten Unterhalt der Anlagen und Werke kaum mehr gerecht wird, was zu einem Verlust der Habitatqualität führt. Die Berechnung der Kosten wäre als Ersatzkostenansatz auf Basis der nötigen, gesetzeskonformen Unterhaltskosten möglich. Aus Ressourcengründen und der gemäss erster Einschätzung geringeren Relevanz im Vergleich zu den Habitatverlusten und -fragmentierungen wird im Rahmen der vorliegenden Studie auf eine Bearbeitung verzichtet.

- **Beeinträchtigung Landschaftsbild:** Verkehrsinfrastrukturen können das Landschaftsbild visuell stark beeinträchtigen und zum Beispiel zu einer Verminderung des Landschaftserlebnisses oder des Erholungswertes einer Landschaft führen (z.B. geringere touristische Attraktivität, geringere Qualität von Erholungsräumen), was mit volkswirtschaftlichen Kosten verbunden ist. Diese Wirkung beruht auf einer anthropogenen Betrachtungsweise. Sie wird im vorliegenden Kapitel nicht weiter verfolgt, insbesondere aufgrund methodischer Schwierigkeiten. Im Anhang A findet sich ein detaillierter Beschrieb zu diesem Bereich.

### **Habitatverluste und Habitatfragmentierungen innerhalb Siedlungsgebiet**

Ein spezieller Aspekt sind die Habitatverluste sowie die Habitatfragmentierungen *innerhalb* des Siedlungsgebiets. In der Grundlagenstudie von Econcept, Nateco (2004) sind ausschliesslich Kosten für den Verkehr *ausserhalb* der Siedlungen ermittelt worden. Das damals untersuchte Strassen- und Schienennetz umfasste alle Verkehrswege ausserhalb der in der digitalen Landeskarte definierten Siedlungen. Das gesamte Verkehrsnetz innerhalb von Siedlungen wurde nicht berücksichtigt. Im Rahmen der nun vorliegenden Studie wurde geprüft, ob die Habitatverluste und Habitatfragmentierungen innerhalb der Siedlungen ebenfalls berücksichtigt werden müssten.

- *Habitatverluste innerorts:* Grundsätzlich führen auch Verkehrswege innerhalb des Siedlungsgebietes aufgrund des damit verbundenen Flächenverbrauchs zu Habitatverlusten. Ein wichtiger Grund, die Verkehrswege innerorts neu ebenfalls zu berücksichtigen, ist die anhaltende Ausdehnung des Siedlungsgebietes. Weil sich das Siedlungsgebiet in den letzten zehn Jahren deutlich ausgedehnt hat, führt dies tendenziell zu einem Rückgang der Strassen- und Schienenfläche ausserorts (ein grösserer Anteil der Strassen ist damit innerorts). Würden weiterhin nur die Verkehrswege ausserhalb des Siedlungsgebiets berücksichtigt, führte dies zu einem zwischen 2000 und 2010 nicht sinnvoll zu erklärenden Rückgang bzw. mindestens einer Stagnation der Verkehrsweglänge und damit der Kosten. Aus diesem Grund ist der Einbezug von Verkehrsinfrastrukturen innerhalb des Siedlungsgebiets wichtig und nötig. Im Vordergrund stehen dabei die grossen Verkehrsinfrastrukturen, d.h. die höherklassigen Strassen sowie die Schienen. Wie bei den Verkehrswegen ausserorts werden auch innerhalb des Siedlungsgebiets nur jene Infrastrukturkosten berücksichtigt, die nach 1950/60 angefallen sind.
- *Habitatfragmentierungen innerorts:* Aus ökologischer Sicht gibt es zwar auch durch Strassen innerorts Habitatfragmentierungen, wobei diese hauptsächlich für Kleintiere (Bachlebewesen, Amphibien) relevant sind. Allerdings gibt es innerorts eine Reihe weiterer Ursachen für Fragmentierungen, die nicht mit dem Verkehr zusammenhängen, insbesondere die restliche Siedlungsfläche. Aus diesem Grund sowie aufgrund der geringen Relevanz wird im Rahmen dieser Studie auf eine Quantifizierung der Habitatfragmentierungen innerorts verzichtet. Die Berechnung der Habitatfragmentierungen beschränkt sich deshalb wie bisher auf die Infrastrukturen ausserorts.

In der vorliegenden Studie werden deshalb neu die Habitatverluste auch für Verkehrswege innerhalb des Siedlungsgebietes berechnet, nicht jedoch die Habitatfragmentierungen innerorts.

## Relevanz der Wirkungen

In der folgenden Abbildung sind zusammenfassend sämtliche erwähnte Ursache-Wirkungsketten im Bereich Natur und Landschaft und deren Relevanz in Bezug auf die verschiedenen Verkehrsträger dargestellt. Ebenso zeigt die Abbildung, welche Wirkungen in der vorliegenden Studie für welche Verkehrsträger berechnet werden (mit einem Kreis markiert).

Abbildung 10-1: Matrix der Wirkungen des Verkehrs auf Natur und Landschaft

Wirkung	Verortung (Schwerpunkt)	Strassen- verkehr	Schiene- verkehr	Luftverkehr	Langsam- verkehr	Schiffs- verkehr
Habitatverlust	ausserhalb Siedlung	○	○	○	○	○
Habitatverlust	innerhalb Siedlung	○	○		○	
Habitatfragmentierung	ausserhalb Siedlung	○	○	○		
Habitatfragmentierung	innerhalb Siedlung					
Licht- & Lärmimmissionen	ortsunabhängig					
Eutrophierung & Bodenversauerung durch Luftverschmutzung	ortsunabhängig	○	○	○		○
Klimaveränderung	ortsunabhängig					
Streusalzeintrag	ortsunabhängig					
Invasive Neophyten	ortsunabhängig					
Habitatdegradierung	ausserhalb Siedlung					
Beeinträchtigung Landschaftsbild	ausserhalb Siedlung					

Für jeden Verkehrsträger ist farblich markiert, wenn die Auswirkungen von den Autoren als relevant beurteilt werden. Die roten Felder stehen für die in Econcept, Nateco (2004) untersuchten Ursache – Wirkungsfelder, die seither regelmässig berechnet worden sind. Die orange markierten Felder wurden im Rahmen der Projekte ‚Transportrechnung Luftverkehr‘ (Infras, Ecoplan 2012) und ‚Transportrechnung Schiffsverkehr‘ (IRENE, Ecosys 2013) abgeschätzt. Alle grün bezeichneten Zusammenhänge sind in den bisherigen Studien nicht bearbeitet worden. Schraffierte Felder zeigen an, dass die Relevanz beschränkt bzw. gering ist. In der vorliegenden Studie wird für alle mit einem Kreis (O) markierten Felder eine Berechnung der externen Kosten vorgenommen.

### Exkurs: Referenzzustand vs. Berücksichtigung der gesamten Verkehrsinfrastruktur?

Unabhängig von der Art der Wirkung auf Natur und Landschaft stellt sich die Frage, welche Landschaft und welche Lebensräume den *Referenzzustand* bilden, um die externen Kosten des Verkehrs zu berechnen.

Für Landschaft und Lebensräume nimmt die Studie zu den externen Kosten des Verkehrs im Bereich Natur & Landschaft (Econcept, Nateco 2004) den Zeitraum zwischen 1950 und 1960 als Referenzzustand an und berechnet nur die Kosten von Verkehrsinfrastrukturen, welche *nach* diesem Referenzzustand gebaut wurden. Die *vor* diesem Zeitraum erstellten Verkehrsinfrastrukturen werden quasi als Bestandteil des Referenzzustandes angesehen und fließen

nicht in die Kostenberechnungen ein. Dieses Vorgehen – und insbesondere der Referenzzustand zwischen 1950 und 1960 – wird wie folgt begründet: Ein wichtiger Meilenstein im Naturschutz ist das Natur- und Heimatschutzgesetz NHG von 1966. Darin wird festgelegt, dass der damalige Artenbestand der Schweiz erhalten bleiben soll. Dieser widerspiegelt die Fünfzigerjahre. Das NHG kann auch als inhärente Referenz für die Kulturlandschaft von etwa 1950 bis 1960 angesehen werden. – Der verwendete Referenzzustand kann damit als gesetzlich verankert angesehen werden und ist damit als Grundlage für die Kostenberechnungen politisch abgesichert. Die gleiche Zeitperiode ist auch die Referenz für die Roten Listen geschützter und seltener Tier- und Pflanzenarten. Diese Listen werden beispielsweise für die Beurteilung der Umweltverträglichkeit von Projekten beigezogen.

In der erwähnten Studie (Econcept, Nateco 2004) wird dieser Referenzzustand – und vor allem die Tatsache, dass die im Zeitraum davor gebaute Verkehrsinfrastruktur nicht in die Berechnungen einfließt – auch kritisch hinterfragt: Mit der Vorgabe des Referenzzustandes "Natur und Landschaft in den fünfziger Jahren ausserhalb des Siedlungsgebietes" wird ein Standard vorgegeben. Dieser wird von Expertinnen und Experten weitgehend ökologisch-historisch begründet. Es gibt weder für den Referenzzustand der fünfziger Jahre noch für einen anderen eine stringente naturwissenschaftliche Begründung.

Es fragt sich, ob für die aktuelle Arbeit dieser Referenzzustand weiterhin Gültigkeit hat oder ob sich seit 2004 die Ausgangslage verändert hat. Unsere Recherchen zu dieser Frage haben folgende Resultate hervorgebracht:

- Der Bundesrat hat am 25. April 2012 die Strategie Biodiversität verabschiedet (Bundesrat 2012), die auf der in Rio 1992 ausgehandelten und seit 1993 rechtskräftigen Convention on Biological Diversity (CBD, Biodiversitätskonvention) basiert. Diese Konvention ist von der Schweiz 1994 ratifiziert worden. Der Bundesrat hat im Rahmen der Biodiversitätsstrategie 10 Ziele verabschiedet. Keines dieser Ziele beinhaltet eine direkte Aussage betreffend Referenzzustand unserer Landschaft. Die Ziele bauen aber auf den bereits bestehenden Instrumenten des Natur- und Landschaftsschutzes auf. So werden explizit erwähnt:
  - Der Aufbau eines Netzes von Schutzgebieten mit gefährdeten Lebensräumen (Ziel 2).
  - Erhaltung der Arten, für die die Schweiz eine besondere Verantwortung hat (national prioritäre Arten), sowie die Eindämmung des Schadenspotentials von invasiven gebietsfremden Arten (Ziel 3).
  - Die Biodiversität im Siedlungsraum soll so gefördert werden, dass sie zur Vernetzung der Lebensräume beitragen kann. (Ziel 8).

Nicht explizit aber implizit beziehen sich die Ziele und Instrumente, wie sie in der Biodiversitätsstrategie erwähnt werden, auf einen Referenzzustand aus der Mitte des letzten Jahrhunderts (Rote Listen und geschützte Lebensräume).

- Die Schweiz verpflichtete sich im europäischen Rahmen (Kiew 2003), den Verlust an biologischer Vielfalt bis 2010 ganz zu stoppen. Dieses Ziel wurde gemäss 4. Biodiversitätsbericht des Bundes klar verfehlt (BAFU 2010).

- Das Forum Biodiversität der Schweiz hat 2010 eine umfassende Studie zum „Wandel der Biodiversität in der Schweiz seit 1900“ (Lachat et al. 2010) veröffentlicht. Diese Publikation untersucht die Flächenverluste für die drei Lebensräume Auen, Moore und Trockenwiesen seit 1900. Dabei zeigt sich ein linearer Verlust zwischen 1900 und 1990, der danach, mit dem Inkrafttreten von nationalen Inventaren bzw. Schutzgebieten, verlangsamt wird. Für die Auen und Moore wird zudem angemerkt, dass der Verlust schon seit 1800 von statten geht.
- Mündliche Nachfragen im BAFU und beim Bundesamt für Naturschutz in Bonn (BfN) haben bestätigt, dass kein politisch-rechtlich verankerter Referenzzustand vorliegt, weder in der Schweiz noch in Deutschland.

### **Fazit**

Auch die neueren Untersuchungen und politischen Entwicklungen erlauben es nicht, auf einen neuen, besser begründbaren und breiter abgestützten Referenzzustand zurückzugreifen. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Annahmen von 2004 bezüglich Referenzzustand immer noch Gültigkeit haben, beispielsweise auf Grund der impliziten Verwendung in der Biodiversitätsstrategie. Die implizite Verankerung des Naturzustandes 1950-1960 (z.B. Artenbestand) im Natur- und Heimatschutzgesetz NHG macht diesen Zeitraum für die vorliegende Berechnung zum zweckmässigsten Referenzzustand.

## **Neue Grundlagen zur Monetarisierung von Schäden an Natur und Landschaft**

Im Bereich der Monetarisierung von Schäden an Natur und Landschaft durch den Verkehr gibt es wenig neue Grundlagen. In verschiedenen Studien sind Ergebnisse und Methodik aus Econcept, Nateco (2004) angewandt worden. In der aktualisierten Methodenkonvention 2.0 zur Schätzung von Umweltkosten des deutschen Umweltbundesamtes UBA sind ebenfalls Kostensätze für Natur und Landschaft angegeben, die auf den Schweizer Berechnungsgrundlagen beruhen. Im Rahmen des EU-Projekts NEEDS wurde die Methodik aus Econcept, Nateco 2004 auch in einem internationalen Rahmen angewandt und weiterentwickelt (Ott et al. 2006, NEEDS 2008). Neue Berechnungsmethoden für externe Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft sind jedoch in den letzten Jahren nicht angewandt worden.

### **10.2.2 Bewertungsmethodik**

Die Berechnung der externen Kosten infolge von Habitatverlusten und Habitatfragmentierungen basiert auf der umfassenden Basisstudie von Econcept, Nateco (2004). Dabei wird der Ersatzkostenansatz angewandt. Bei den Habitatverlusten wurde in jener Studie berechnet, was es kosten würde, die verlorenen Biotop- bzw. Ökosystemflächen anderswo wieder herzustellen. Dabei sind Kosten für Landerwerb, Instandstellung und Pflege ermittelt und in Jahreskosten umgerechnet worden. Bei den Habitatfragmentierungen wurden in der Basisstudie

die Kosten berechnet, die für die Erstellung von Defragmentierungsbauwerken (Überführungen, Unterführungen, Durchlässe) notwendig sind.

Eine vollständige Aktualisierung sämtlicher in der Basisstudie ermittelten Daten war im Rahmen der vorliegenden Studie nicht möglich. Insbesondere die damals durchgeführte Analyse von Luftbildern (1950/60 vs. 1990/2000) war enorm aufwendig und ressourcenintensiv. Im Rahmen jener Luftbildanalyse wurde einerseits ermittelt, welche und wie grosse Biotoptypen (Habitats) seit 1950/60 durch Verkehrsinfrastrukturen verschwunden sind. Andererseits wurde analysiert, ob die untersuchten Verkehrswege Lebensräume für bestimmte Tiergruppen zerschneiden und wie viele solche Fragmentierungen es gibt.

Weil die Luftbildanalyse nicht wiederholt werden konnte, sind folgende zentralen Kennzahlen aus der Studie von Ecocept, Nateco (2004) wieder verwendet worden:

- Fläche an Habitatverlusten pro Infrastrukturlänge (differenziert nach Biotoptyp, Infrastrukturtyp und Region)
- Anzahl Fragmentierungen pro Infrastrukturlänge (differenziert nach Infrastrukturtyp, Region und Tiergruppe)
- Kosten pro Fragmentierung bzw. Defragmentierungsbauwerk (nach Tiergruppe)
- Ersatzkosten pro Fläche (nach Biotoptyp)

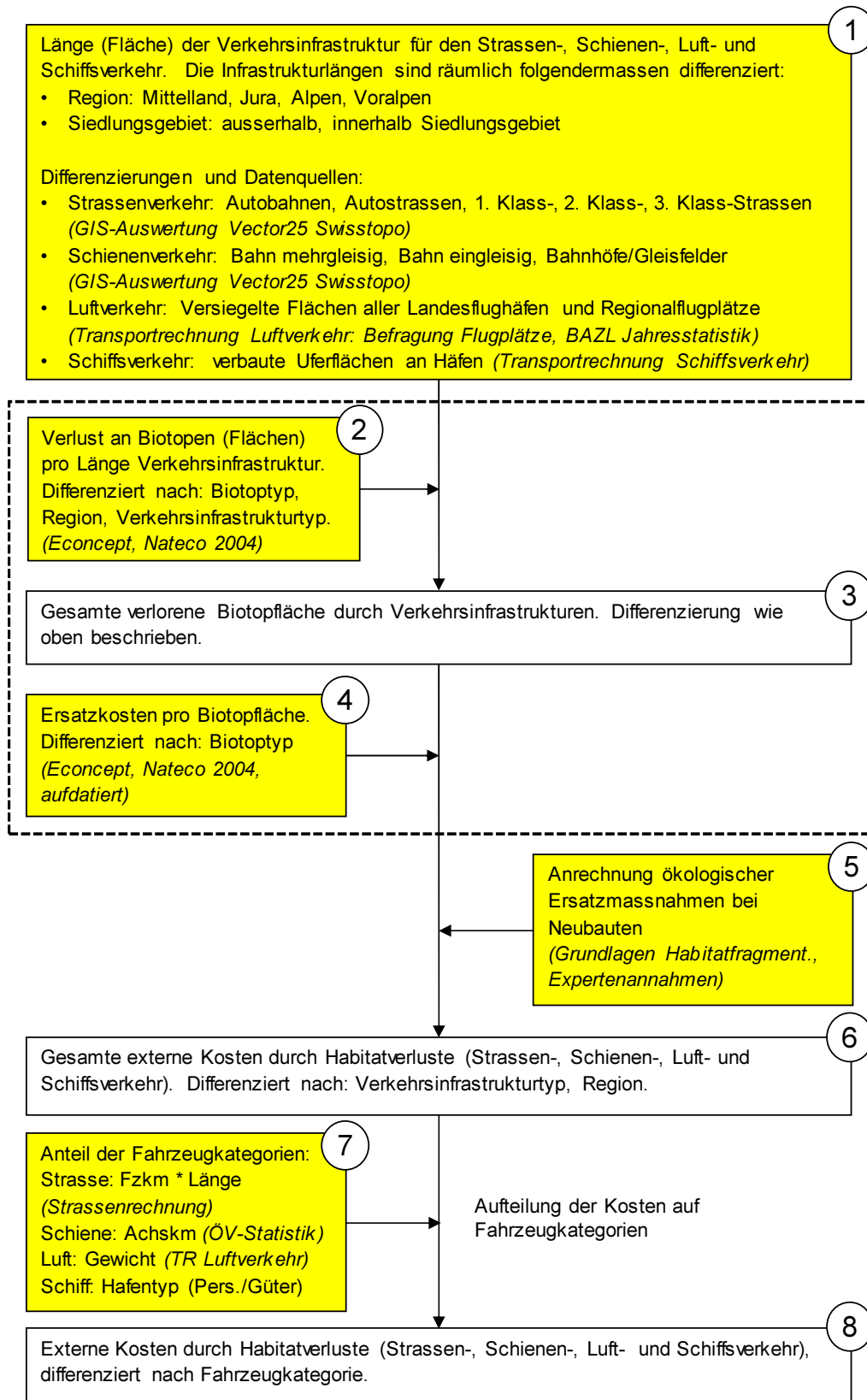
Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die Bewertungsmethodik im Rahmen der vorliegenden Studie für die beiden Schadensarten ‚Habitatverluste‘ und ‚Habitatfragmentierungen‘.

Der erste und zentrale Arbeitsschritt besteht darin, das Mengengerüst zur betroffenen Verkehrsinfrastruktur zu aktualisieren. Mit Hilfe von neuen, GIS-basierten Daten wird die aktuelle Länge der Verkehrsinfrastrukturen im Strassen-, Schienen- und Luftverkehr ermittelt. Sämtliche Daten werden nach Region (Mittelland, Jura, Voralpen, Alpen) differenziert erhoben. Diese Daten bilden sowohl für die Habitatverluste als auch die -fragmentierungen die Grundlage. Für den Schiffsverkehr werden die Flächendaten aus dem Projekt ‚Transportrechnung Schiffsverkehr‘ (IRENE, Ecosys 2013) verwendet.

Die Infrastrukturdaten im Referenzzustand 1950/60 müssen im Rahmen der vorliegenden Neuberechnung nicht mehr ermittelt werden. Diese Daten wurden in der Basisstudie umfassend (auf Basis von Luftbildern) ermittelt und mit dem Zustand 2000 verglichen. Diese Informationen stecken somit bereits in den Daten zu den Habitatverlusten bzw. Habitatfragmentierungen pro km Verkehrsinfrastruktur (2).

In den folgenden Schritten 2 bis 4 geht es darum, auf Basis der Ergebnisse der Basisstudie von Econcept und Nateco (2004) die Ersatzkosten zu berechnen: Mit Hilfe der verlorenen Biotopfläche pro Infrastrukturlänge (2) werden die flächenmässigen Habitatverluste ermittelt (3). Bei den Habitatfragmentierungen wird mit der Anzahl Fragmentierungen pro Infrastrukturlänge (2) die Gesamtzahl durch Verkehrsinfrastrukturen verursachten Fragmentierungen (3) berechnet. Die Monetarisierung folgt anschliessend mit Hilfe der spezifischen Ersatzkosten pro Biotopfläche (4, Habitatverluste) bzw. pro Defragmentierungsbauwerk (4, Habitatfragmentierungen).

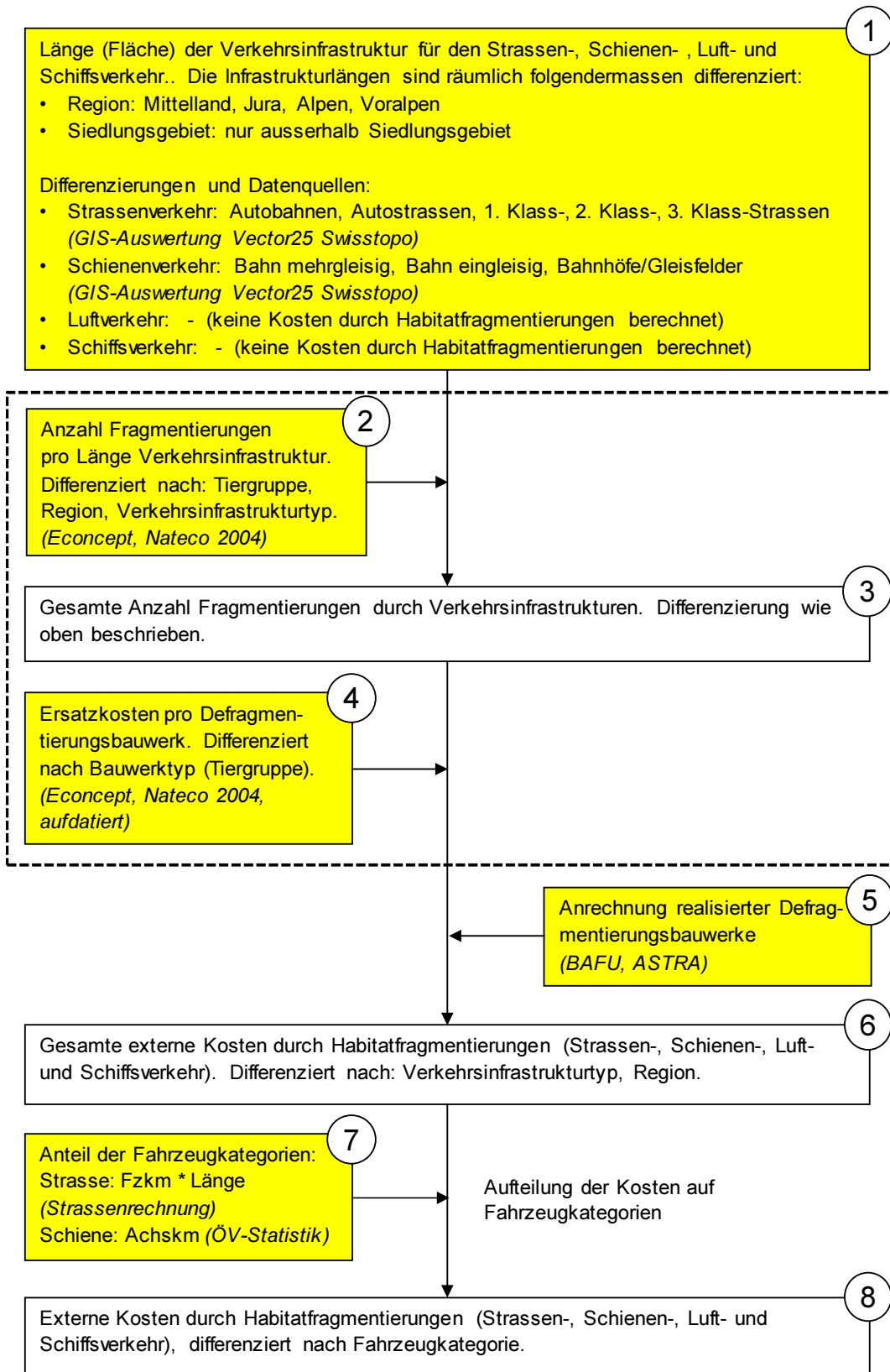
**Abbildung 10-2: Bewertungsmethodik Kosten im Bereich Natur und Landschaft: Habitatverluste**



Legende: Inputdaten Zwischen- / Endergebnisse Erläuterung der Berechnung (*Datenquellen kursiv*)



**Abbildung 10-3: Bewertungsmethodik Kosten im Bereich Natur und Landschaft: Habitatfragmentierungen**



Legende: Inputdaten Zwischen- / Endergebnisse Erläuterung der Berechnung (*Datenquellen kursiv*)

Im folgenden Schritt 5 werden schliesslich die bereits durchgeführten Ersatzmassnahmen angerechnet. Dies sind einerseits ökologische Ersatzmassnahmen, welche die Habitatverluste vermindern, sowie andererseits bereits realisierte Defragmentierungsbauwerke. Auf diese Weise resultieren die Gesamtkosten für Habitatverluste bzw. –fragmentierungen für den Strassen-, Schienen- und Luftverkehr (6). Im letzten Schritt werden diese Gesamtkosten pro Verkehrsträger schliesslich auf die Fahrzeugkategorien aufgeteilt. Die Allokation erfolgt hauptsächlich auf Basis der gewichteten Fahrleistung (7), mit Hilfe derer die externen Kosten durch Habitatverluste und –fragmentierungen pro Fahrzeugkategorie ermittelt werden (8).

#### **Hinweis zur Umsetzung der Berechnung im Excel-Tool**

Weil die gesamte Berechnung zur Verbesserung der Qualität der Ergebnisse differenziert nach Region (Mittelland, Jura, Voralpen, Alpen) erfolgt und die Inputgrössen zu den Biotopverlusten bzw. Fragmentierungen pro Länge Verkehrsinfrastrukturen (2) aus der Basisstudie von Econcept, Nateco (2004) in diesem Differenzierungsgrad nicht mehr verfügbar waren, wurden die Schritte 2-4 in der vorliegenden Studie in einem Schritt durchgeführt. Der gestrichelte Rahmen in den obigen beiden Abbildungen symbolisiert diese Tatsache. Die in der Berechnung (im Excel-Tool) verwendete Inputgrösse ist eine Kombination der Punkte 2 und 4 und beinhaltet die Ersatzkosten für Habitatverluste bzw. Habitatfragmentierungen pro Länge Verkehrsinfrastruktur. Diese Daten waren aus der Basisstudie von Econcept, Nateco (2004) differenziert nach Region verfügbar.

In den Berechnungen abgedeckt sind neu der Luft- und Schiffsverkehr. Dabei wird auf die Flächendaten zurückgegriffen, die im Rahmen der Projekte ‚Transportrechnung Luftverkehr‘ (Infras, Ecoplan 2012) und ‚Transportrechnung Schiffsverkehr‘ (IRENE, Ecosys 2013) ermittelt wurden. Allerdings werden für den Luft- und Schiffsverkehr nur die Habitatverluste ermittelt. Habitatfragmentierungen dürfte es beim Luftverkehr bei den grossen Flugplätzen zwar auch geben, deren Relevanz ist allerdings eher gering und das Ausmass schwierig aus den Grundlagendaten des Strassen- und Schienenverkehrs abzuleiten. Beim Schiffsverkehr sind Habitatfragmentierungen ebenfalls kaum von Relevanz (Ausnahme künstliche Kanäle, die in der Schweiz jedoch kaum von Bedeutung sind). In der Transportrechnung Schiffsverkehr (IRENE, Ecosys 2013) wurde zusätzlich noch eine grobe Abschätzung der Schäden infolge Erosionseffekte durch den Schiffsverkehr vorgenommen. Diese wird in der vorliegenden Studie allerdings nicht berücksichtigt, weil a) die Unsicherheit der Berechnung sehr gross ist, b) die Relevanz gering ist (im Bereich von 1 Mio. CHF), und c) weil dadurch die methodische Vergleichbarkeit mit den anderen Verkehrsträgern gewährleistet ist.

Nicht berücksichtigt werden in den vorliegenden Berechnungen zudem allfällige positive Wirkungen auf die Biodiversität durch Verkehrsinfrastrukturen. Solche Effekte können beispielsweise grosse Biotopflächen (z.B. Magerwiesen) auf Flughäfen oder lange Korridore für Fauna und Flora entlang Strassen und Schienen haben. Auch wenn diese Effekte positiv zu würdigen sind, dürfte ihre Gesamtwirkung auf die Biodiversität verglichen mit dem ursprünglichen Referenzzustand maximal ausgeglichen sein, d.h. sie können die negativen Wirkungen der neuen Infrastrukturen höchstens wett machen; eine Verbesserung der Biodiversität verglichen mit dem Referenzzustand ist aber nicht zu erwarten. Zudem werden diese zusätzlichen Flächen rund um die eigentlichen Verkehrsinfrastrukturen explizit nicht für die Berechnung der Habitatverluste berücksichtigt.

## 10.3 Mengengerüst

### 10.3.1 Länge (Fläche) Verkehrsinfrastrukturen

Für die Aktualisierung des Mengengerüsts werden die Längen der Strassen- und Schieneninfrastrukturen sowie die Fläche der Luftverkehrsinfrastruktur für das Jahr 2010 neu ermittelt. Das Mengengerüst zur betroffenen Verkehrsinfrastruktur wird mit den neusten, GIS-basierten Daten aus Vector25 von Swisstopo aktualisiert. Auf diese Weise wird dieselbe Datenbasis verwendet, wie in der Basisstudie von Econcept, Nateco (2004), sodass auch auf die nach Regionen und Infrastrukturtyp differenzierten Kenngrössen jener Arbeit zurückgegriffen werden kann. Mit der umfassenden Neuermittlung der Verkehrsinfrastrukturflächen auf Basis der GIS-Daten ergibt sich für das Mengengerüst eine deutlich bessere Grundlage als in der Aktualisierungsstudie von Ecoplan, Infrac (2008). Zusätzlich wird das Mengengerüst neu ergänzt mit den Infrastrukturdaten für die Verkehrsträger innerorts sowie für den Luft- und Schiffsverkehr.

Für die Strassen- und Schieneninfrastruktur innerhalb des Siedlungsgebiets werden grundsätzlich die gleichen Infrastrukturtypen verwendet wie ausserorts. Beim Schienenverkehr werden alle Bahninfrastrukturen berücksichtigt, beim Strassenverkehr die Autobahnen, Autostrassen sowie die 1. und 2. Klass-Strassen. Nicht berücksichtigt werden Quartierstrassen sowie alle 3. Klass-Strassen. Letztere werden nur ausserorts berücksichtigt, da sie innerorts oft den Charakter von Quartierstrassen haben und somit der Habitatverlust zu einem wesentlichen Teil durch andere Ursachen als den Verkehr bedingt ist (v.a. Siedlungsentwicklung). Aufgrund der unklaren Kausalität sowie gemäss at least Ansatz werden sie deshalb in der Berechnung weggelassen. – Wie bereits erwähnt werden die Verkehrsinfrastrukturen innerorts lediglich für die Berechnung der Habitatverluste berücksichtigt, nicht aber für die Habitatfragmentierungen, die sich auf die Infrastrukturen ausserorts beschränken.

Sämtliche Infrastrukturdaten werden differenziert nach den vier Regionen Mittelland, Jura, Voralpen und Alpen sowie nach innerorts und ausserorts ermittelt. Aufgrund verbesserter Datengrundlagen (GIS) ist diese Differenzierung nun mit wenig Zusatzaufwand möglich. Der Vorteil der räumlichen Differenzierung liegt darin, dass die unterschiedlichen Ökosystemtypen dieser vier Räume besser berücksichtigt werden können, was die Ergebnisqualität erhöht. Das detaillierte Vorgehen zur GIS-Auswertung ist im Anhang F dieses Berichts dargestellt.

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen als Ergebnis der GIS-Auswertungen die Länge der Strassen- und Schieneninfrastruktur, innerhalb und ausserhalb des Siedlungsgebiets.

Abbildung 10-4: Länge Strasseninfrastruktur innerhalb und ausserhalb Siedlungsgebiet 2010 (Basis GIS-Geodaten)

Strassentyp	Strassenlänge ausserhalb Siedlung (in km)				Total
	Mittelland	Jura	Voralpen	Alpen	
<b>Autobahn</b>	824	116	259	179	<b>1'378</b>
<b>Autostrasse</b>	99	74	73	136	<b>381</b>
<b>Total Autobahn/-strasse</b>	<b>923</b>	<b>190</b>	<b>332</b>	<b>314</b>	<b>1'760</b>
<b>1. Klass Strasse</b>	<b>2'436</b>	<b>645</b>	<b>977</b>	<b>974</b>	<b>5'032</b>
<b>2. Klass Strasse</b>	<b>5'309</b>	<b>1'279</b>	<b>1'667</b>	<b>1'736</b>	<b>9'991</b>
<b>3. Klass Strasse</b>	<b>9'013</b>	<b>3'761</b>	<b>7'339</b>	<b>3'687</b>	<b>23'800</b>
<b>Total 1.-3.Klass Strassen</b>	<b>16'759</b>	<b>5'685</b>	<b>9'983</b>	<b>6'397</b>	<b>38'824</b>
<b>Total alle Strassen</b>	<b>17'682</b>	<b>5'875</b>	<b>10'315</b>	<b>6'712</b>	<b>40'583</b>

Strassentyp	Strassenlänge innerhalb Siedlung (in km)				Total
	Mittelland	Jura	Voralpen	Alpen	
<b>Autobahn</b>	122	16	25	14	<b>178</b>
<b>Autostrasse</b>	17	11	5	10	<b>43</b>
<b>Total Autobahn/-strasse</b>	<b>139</b>	<b>27</b>	<b>31</b>	<b>24</b>	<b>221</b>
<b>1. Klass Strasse</b>	<b>2'426</b>	<b>338</b>	<b>571</b>	<b>413</b>	<b>3'748</b>
<b>2. Klass Strasse</b>	<b>3'930</b>	<b>560</b>	<b>818</b>	<b>869</b>	<b>6'178</b>
<b>Total 1.-2.Klass Strassen</b>	<b>6'356</b>	<b>898</b>	<b>1'389</b>	<b>1'283</b>	<b>9'926</b>
<b>Total alle Strassen</b>	<b>6'495</b>	<b>926</b>	<b>1'420</b>	<b>1'307</b>	<b>10'147</b>

Abbildung 10-5: Länge Schieneninfrastruktur innerhalb und ausserhalb Siedlungsgebiet 2010 (Basis GIS-Geodaten)

Infrastrukturtyp	Schienenlänge ausserhalb Siedlung (in km)				Total
	Mittelland	Jura	Voralpen	Alpen	
<b>Bahn eingleisig</b>	795	348	642	600	<b>2'386</b>
<b>Bahn mehrgleisig</b>	572	79	184	173	<b>1'009</b>
<b>Bahnhöfe: Gleisfelder</b>	31	8	22	17	<b>79</b>
<b>Total Schienenverkehr</b>	<b>1'398</b>	<b>435</b>	<b>849</b>	<b>791</b>	<b>3'473</b>

Infrastrukturtyp	Schienenlänge innerhalb Siedlung (in km)				Total
	Mittelland	Jura	Voralpen	Alpen	
<b>Bahn eingleisig</b>	415	90	156	85	<b>746</b>
<b>Bahn mehrgleisig</b>	403	41	40	66	<b>550</b>
<b>Bahnhöfe: Gleisfelder</b>	381	55	100	56	<b>592</b>
<b>Total Schienenverkehr</b>	<b>1'199</b>	<b>186</b>	<b>296</b>	<b>207</b>	<b>1'888</b>

Beim Luftverkehr wurde auf das Mengengerüst aus dem Projekt Transportrechnung Luftverkehr 2010 (Infras, Ecoplan 2012) zurückgegriffen. Dort wurde die versiegelte Fläche der

Flughäfen und Flugplätze durch eine Umfrage bei den Flugplätzen (für alle grossen Flughäfen und Flugplätze) ermittelt.<sup>330</sup> Gemäss Definition der Transportrechnung werden nur die Landes- und Regionalflugplätze abgedeckt, nicht aber die Flugfelder und Heliports. Die folgende Abbildung zeigt die Fläche der entsprechenden Luftverkehrsinfrastruktur in der Schweiz.

**Abbildung 10-6: Flächen Luftverkehrsinfrastruktur 2010**  
(Basis Transportrechnung Luftverkehr: Infrass, Ecoplan 2012)

	Fläche in ha (10'000 m <sup>2</sup> )
Landesflughäfen	718.0
Regionalflugplätze	93.8
<b>Alle Luftverkehr</b>	<b>811.8</b>

Beim Schiffsverkehr wurde auf das Mengengerüst aus dem Projekt Transportrechnung Schiffsverkehr 2010 (IRENE, Ecosys 2013) zurückgegriffen. Dort wurde die durch Hafenanlagen sowie Bootswerften und -häuser verbaute Uferfläche ermittelt. Für die Personenschiffahrt resultiert demnach ein Flächenverbrauch von 26 ha (= 260'000 m<sup>2</sup>), für die Güterschiffahrt ein Verbrauch von 132 ha (IRENE, Ecosys 2013).

### 10.3.2 Allokation auf die Fahrzeugkategorien

Die Allokation der Kosten durch Habitatverluste und Habitatfragmentierungen auf die einzelnen Fahrzeugkategorien wird auf Basis folgender Grundlagen vorgenommen:

- **Strassenverkehr:**

- *Habitatverluste:* Die Kosten durch Habitatverluste werden grundsätzlich auf Basis der nach Fahrlängen gewichteten Fahrzeugkilometer auf die Fahrzeugkategorien zugeordnet. Aus der aktuellen BFS-Studie zum Anteil der schwerverkehrsbedingten Kosten der Strasseninfrastruktur (Infrass, SNZ, Ecoplan 2013) ist jedoch bekannt, dass ein Teil der dimensionsbedingten Faktoren der Strasse direkt den breiten Fahrzeugen zugeordnet werden können.<sup>331</sup> Da es sich beim Flächenverbrauch um ein dimensionsbedingtes Element handelt, können diese Allokationsfaktoren für die vorliegende Studie verwendet werden. Die restlichen, nicht direkt durch den Schwerverkehr bedingten Kosten werden auf Basis der nach Fahrzeuglängen gewichteten Fahrzeugkilometer den Fahrzeugkategorien zugerechnet. Dem Langsamverkehr werden für die Verkehrsinfrastrukturen innerorts ebenfalls ein Teil der Kosten zugeordnet. Dabei werden die im

<sup>330</sup> Bei drei Regionalflugplätzen wurden die Daten auf Basis der Schweizerischen Luftfahrtstatistik ergänzt.

<sup>331</sup> Gemäss SNZ, Infrass, Ecoplan (2013, S.41) beträgt der Anteil der breiten Fahrzeuge bei dimensionsbedingte Faktoren bei Nationalstrassen 7.7%, bei Kantons- und Gemeindestrassen 9.5%. Zu den breiten Fahrzeugen gehören Gesellschaftswagen (Car), Bus, Trolleybus, Lastwagen und Sattelschlepper.

Rahmen der Transportrechnung Langsamverkehr (Ecoplan, ISMPZ 2013) ausgewiesenen Anrechnungsquoten verwendet.<sup>332</sup> Für die Aufteilung des Langsamverkehrs auf die Fahrzeugkategorien Fuss-, Veloverkehr und FäG werden ebenfalls die Ergebnisse der gleichen Studie verwendet.

- *Habitatfragmentierungen*: Die Kosten durch Habitatfragmentierungen sind im Gegensatz zu den Habitatverlusten nicht direkt dimensionsbedingt und erfolgen deshalb wie bisher auf Basis der nach Fahrzeuglängen gewichteten Fahrzeugkilometer. Da die Habitatfragmentierungen für Strassen nur ausserhalb der Siedlungen berechnet werden, fallen für den Langsamverkehr gemäss Transportrechnung Langsamverkehr (Ecoplan 2013) keine Kosten an.
- **Schieneverkehr**: Die Allokation der Kosten auf den Personen- und Güterverkehr erfolgt sowohl für die Habitatverluste als auch die Habitatfragmentierungen auf Basis der Achskilometer.
- **Luftverkehr**: Die Allokation der Kosten auf den Personen- und Güterverkehr erfolgt auf Basis des Gewichts (siehe Infrass, Ecoplan 2012).
- **Schiffsverkehr**: Die Flächenangaben liegen differenziert nach Personen- und Güterverkehr vor, so dass die Kostenberechnung separat durchgeführt werden kann.

### 10.3.3 Anrechnung von Ersatzmassnahmen

Weil die Berechnung der externen Kosten durch Habitatverluste und Habitatfragmentierungen auf Kenngrössen aus dem Jahr 2000 beruht, müssen in der Zwischenzeit realisierte Ersatzmassnahmen wie ökologische Ausgleichsmassnahmen oder Defragmentierungsbauwerke (Über-, Unterführungen für Tiere) berücksichtigt werden. Seit Einführung der UVP-Pflicht bei neuen Verkehrsinfrastrukturen werden zum Teil ökologische Ersatzmassnahmen durchgeführt. Allerdings führen diese Ersatzmassnahmen nicht zu einer vollständigen Beseitigung der Schäden. Einerseits werden Ersatzmassnahmen nicht für alle Verkehrsinfrastrukturen durchgeführt. Andererseits haben Untersuchungen gezeigt, dass die Ersatzpflicht zwar ernst genommen wird, es bei Ersatzmassnahmen jedoch Probleme mit dem Unterhalt bzw. der längerfristigen Instandhaltung dieser Massnahmen gibt (Nateco 2001, Arbeiten zur Biodiversitätsstrategie). Aus diesem Grund verlieren die Ersatzmassnahmen mit der Zeit an Wert und führen bis heute lediglich zu einer beschränkten Reduktion der externen Kosten.

In der vorliegenden Arbeit werden die realisierten Ersatzmassnahmen bei den Berechnungen dennoch berücksichtigt. Dabei wird wie folgt vorgegangen:

- **Habitatfragmentierungen**: Von den gesamten Kosten werden die zwischen 2000 und 2010 realisierten Defragmentierungsbauwerke (v.a. Wildtierüber- und Wildtierunterführungen) subtrahiert. Gemäss einer Zusammenstellung des BAFU sind in diesem Zeitraum 31 Wildtierpassagen entstanden, davon 24 bei Strassen- und 7 bei Schieneninfrastruktu-

---

<sup>332</sup> Demnach beträgt der Anteil des Langsamverkehrs abzüglich der verkehrsfremden Nutzungen bei den Kantonsstrassen 9% und bei den Gemeindestrassen 27% (Ecoplan, ISMPZ 2013, S. 48).

ren.<sup>333</sup> Durch Anrechnung dieser Massnahmen reduzieren sich 2010 die jährlichen Kosten durch Habitatfragmentierungen beim Strassenverkehr um 3.5 Mio. CHF pro Jahr bzw. 0.7%, beim Schienenverkehr um knapp 1 Mio. CHF pro Jahr bzw. 1.4% (Abschlagfaktor).

- **Habitatverluste:** Bei den Habitatverlusten ist die bottom-up Herleitung der realisierten Ersatzmassnahmen und deren Wert schwierig. Deshalb wird bei den Habitatverlusten ausserhalb der Siedlungen der gleiche prozentuale Abschlagfaktor wie bei den Habitatfragmentierungen angewendet (siehe oben). Beim Strassenverkehr führt dies zum gleichen Ergebnis (minus knapp 2 Mio. CHF) wie eine Alternativrechnung, bei der angenommen wurde, dass bei allen zwischen 2000 und 2010 neu erstellten Autobahnen und Autostrassen durch ökologische Ersatzmassnahmen die Kosten durch Habitatverluste um 50% reduziert werden konnten.

## 10.4 Wertgerüst

### 10.4.1 Kostensätze

Das Wertgerüst für die Berechnung der Kosten durch Habitatverluste und Habitatfragmentierungen besteht aus folgenden Kostensätzen:

- **Habitatverluste:** Spezifische Ersatzkosten pro Infrastrukturlänge für die Wiederherstellung der verlorenen Biotope.
- **Habitatfragmentierungen:** Spezifische Ersatzkosten pro Infrastrukturlänge für Erstellung und Unterhalt von Defragmentierungsbauwerken.

Grundlage für diese Kostensätze stammen aus der Basisstudie von Econcept, Nateco (2004) und sind jeweils eine Kombination von zwei Inputgrössen (Faktoren 2 und 4 in den Abbildungen 10-2 und 10-3):

- **Habitatverluste:**  
Verlust an Biotopfläche pro Infrastrukturlänge \* Ersatzkosten pro Biotopfläche = Ersatzkosten pro Infrastrukturlänge (CHF/m)
- **Habitatfragmentierungen:**  
Anzahl Fragmentierungen pro Infrastrukturlänge \* Ersatzkosten pro Defragmentierung = Ersatzkosten pro Infrastrukturlänge (CHF/m)

Die Kostensätze für 2000 aus Econcept, Nateco (2004) wurden mit der Entwicklung des Tiefbaupreisindex fortgeschrieben. Zusätzlich mussten die Kostensätze noch um die Mehrwertsteuer korrigiert werden, da in den Kostensätzen der Basisstudie noch die Mehrwertsteuer enthalten war, in der vorliegenden Studie jedoch Faktorpreise ausgewiesen werden.

Die folgende Abbildung 10-7 zeigt die spezifischen Kostensätze für die Habitatverluste und Habitatfragmentierungen pro Infrastrukturlänge, differenziert nach Infrastrukturtyp.

---

<sup>333</sup> [www.bafu.admin.ch/wildtierpassagen](http://www.bafu.admin.ch/wildtierpassagen) (Download im Dezember 2013).

Die Kostensätze für den Luftverkehr sind in Econcept, Nateco (2004) noch nicht ermittelt worden. Für die versiegelte Fläche des Luftverkehrs werden deshalb die Kostensätze der Autobahnen/Autostrassen verwendet.<sup>334</sup> Weil das Mengengerüst beim Luftverkehr jedoch als Flächenangaben vorliegt und beim Strassenverkehr als Längen, müssen für den Luftverkehr Kostensätze pro Flächeneinheit abgeleitet werden. Dazu wird der Kostensatz der Autobahnen durch die mittlere Breite der Autobahnen geteilt.<sup>335</sup> Daraus resultiert ein Kostensatz für die Habitatverluste von 1.1 CHF pro m<sup>2</sup> und Jahr.

**Abbildung 10-7: Spezifische Kostensätze für Habitatverluste und Habitatfragmentierungen in CHF pro Meter (bzw. m<sup>2</sup>) und Jahr**

Für die Berechnung wurden nach Regionen differenzierte Kostensätze verwendet.

Infrastrukturtyp	Einheit	Habitatverluste	Habitatfragmentierungen
Autobahn/-strasse	CHF/(m*a)	31.6	155.6
1.Klass-Strasse	CHF/(m*a)	5.5	21.5
2.Klass-Strasse	CHF/(m*a)	7.1	4.6
3.Klass-Strasse	CHF/(m*a)	3.8	2.7
Schiene total	CHF/(m*a)	11.4	19.6
Luftverkehr	CHF/(m <sup>2</sup> *a)	1.1	-
Schiffsverkehr	CHF/(m <sup>2</sup> *a)	3.2	-

### Abschreibungsdauer und zukünftige Kosten

Die Berechnung der externen Kosten im Bereich Natur und Landschaft beruht auf dem Ersatzkostenansatz. Die Idee dahinter ist, die potenziellen Kosten für Ersatzmassnahmen zur Wiederherstellung des Zustands ohne Schaden als Proxy für die tatsächlichen Schäden zu verwenden. Um aus Investitionskosten jährliche Kosten (Annuitäten) abzuleiten, muss eine adäquate Abschreibungsdauer (Lebensdauer) sowie ein entsprechender Zinssatz verwendet werden. Für die Habitatverluste wurde von Econcept, Nateco (2004) eine Abschreibungsdauer von 30 Jahren für die Ersatzinvestitionen bei den Habitatverlusten sowie eine Dauer von 80 Jahren für Investitionen in Defragmentierungsbauwerke verwendet.<sup>336</sup> Nun stellt sich die Frage, ob die Kosten durch Habitatverluste aufgrund dieser Abschreibungsdauer nach 30 Jahren ‚abbezahlt‘ sind und dann entfallen. Aus unserer Sicht ist diese Frage zu verneinen. Der Berechnungsansatz über die theoretischen jährlichen Ersatzkosten dient als Annäherung für die Ermittlung der tatsächlichen, jährlichen externen Kosten. Diese Kosten können entsprechend nicht im eigentlichen Sinne abbezahlt werden, sondern bleiben ein Proxy für die jährlichen Schadenskosten und somit dauerhaft relevant. Dazu kommt, dass in der Logik der

<sup>334</sup> Vgl. Infrac, Ecoplan (2012), Integration des Luftverkehrs in die Transportrechnung.

<sup>335</sup> Die Breite einer 4-spurigen Autobahn beträgt 27.5 Meter gemäss Normangaben des ASTRA.

<sup>336</sup> Bei einer sehr langen Abschreibungsdauer wie 80 oder 100 Jahre sind die Annuitäten stark von den Zinskosten dominiert, d.h. die Jahreskosten ähnlich hoch wie bei einer unendlichen Lebens- bzw. Abschreibungsdauer.



Abschreibung die Abschreibungsdauer eine Lebensdauer widerspiegelt. Entsprechend wäre, rein theoretisch, nach Ende der Abschreibungsdauer eine Erneuerungsinvestition nötig, was entsprechend weiterhin zu fortdauernden jährlichen (Abschreibungs-)Kosten führt.

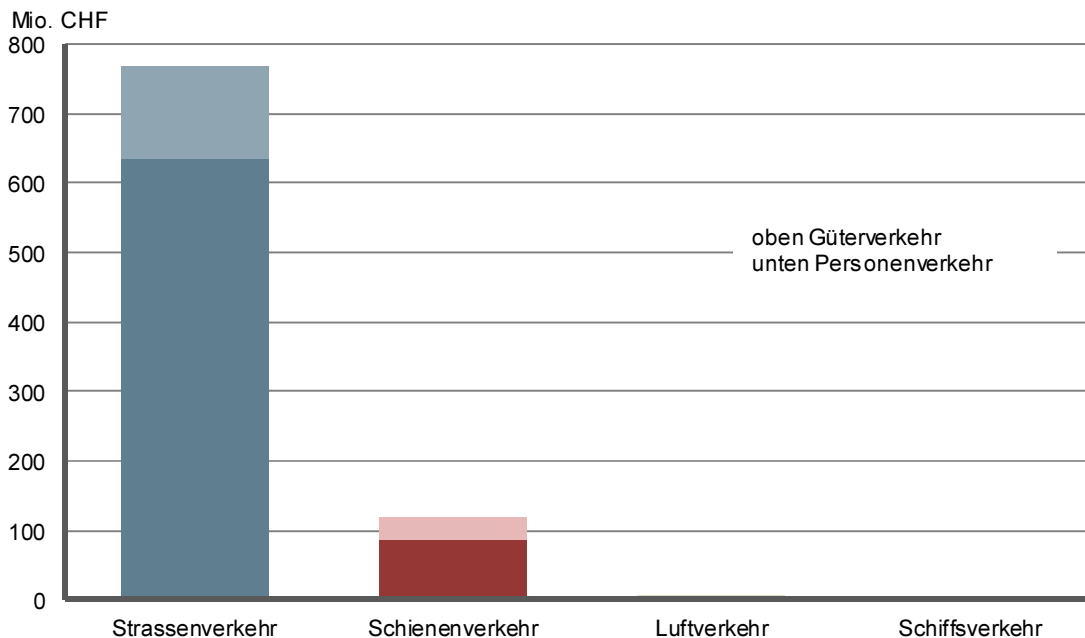
## 10.5 Ergebnisse

### 10.5.1 Externe Kosten

#### a) Überblick Gesamtverkehr

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die gesamten externen Kosten<sup>337</sup> im Bereich Natur und Landschaft im Jahr 2010 nach Verkehrsträgern. Die Gesamtkosten des Verkehrs betragen 2010 **900 Mio. CHF**. Davon verursachte der Strassenverkehr 86% bzw. 770 Mio. CHF, der Schienenverkehr 13% (119 Mio. CHF) und der Luft- und Schiffsverkehr je knapp 1%. Der grösste Teil der Kosten (61%) werden durch die Habitatfragmentierungen verursacht. Die Habitatverluste tragen 39% zu den Gesamtkosten bei.

**Abbildung 10-8: Überblick über die externen Kosten im Bereich Natur und Landschaft (Habitatfragmentierungen und Habitatverluste) 2010**



<sup>337</sup> Bei dieser Kostenkategorie entsprechen die externen den sozialen Kosten, da es keinen Internalisierungsbeitrag gibt. Die Minderung der Schäden bzw. Internalisierung durch Defragmentierungsbauwerke oder ökologische Ersatzmassnahmen sind bereits subtrahiert, d.h. in den Zahlen berücksichtigt. Zudem sind die externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger, aus Sicht Verkehrsart Schwerverkehr und aus Sicht Verkehrsteilnehmende genau gleich hoch.

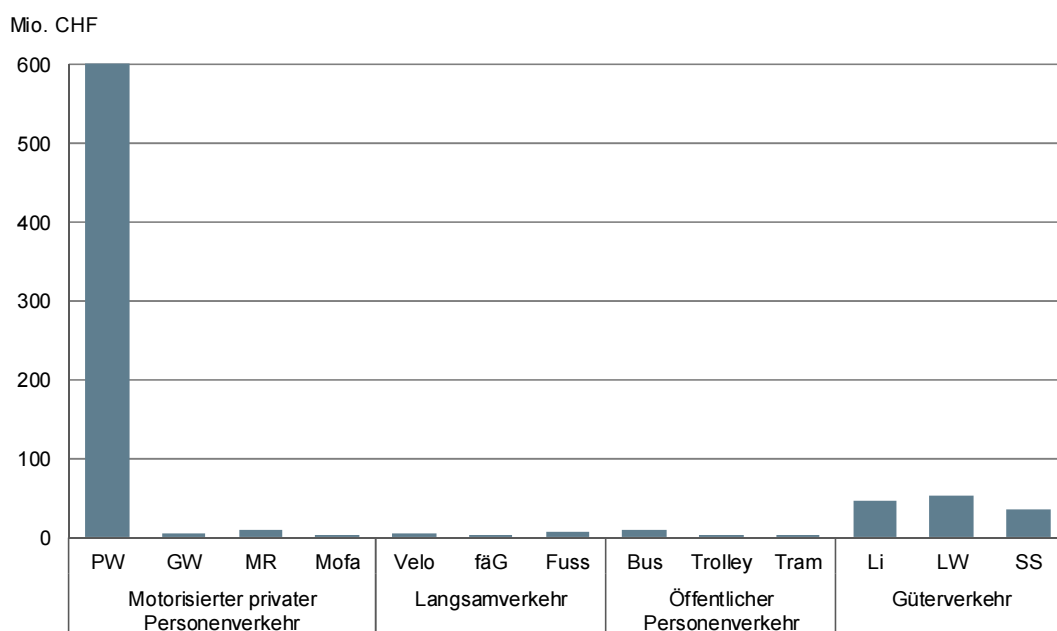
**Abbildung 10-9: Überblick über die externen Kosten im Bereich Natur und Landschaft (Habitatfragmentierungen und Habitatverluste) 2010**

Kosten Natur & Landschaft in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	634.2	135.5	<b>769.7</b>	85.6%
Schienenverkehr	87.9	31.1	<b>119.0</b>	13.2%
Luftverkehr	5.4	0.5	<b>6.0</b>	0.7%
Schiffsverkehr	0.8	4.2	<b>5.0</b>	0.6%
<b>Total</b>	<b>728.4</b>	<b>171.3</b>	<b>899.7</b>	100.0%
in % des Totals	81.0%	19.0%	100.0%	

### b) Strassenverkehr

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die Aufteilung der durch den Strassenverkehr verursachten Kosten im Bereich Natur und Landschaft auf die einzelnen Fahrzeugkategorien. 80% der Kosten (615 Mio. CHF) des Strassenverkehrs werden durch den motorisierten privaten Personenverkehr verursacht, wobei die Personenwagen 78% der Gesamtkosten des Strassenverkehrs ausmachen. Der Langsamverkehr ist verantwortlich für 1.3% der Kosten (10 Mio. CHF), der öffentliche Strassenverkehr für 1.2% (9.5 Mio. CHF) und der Güterverkehr für 18% (135 Mio. CHF). Beim Strassenverkehr sind ebenfalls die Habitatfragmentierungen mit 62% die Hauptursache der Kosten, während die Habitatverluste 38% der Kosten verursachen.

**Abbildung 10-10: Externe Kosten im Bereich Natur und Landschaft (Habitatfragmentierungen und Habitatverluste) 2010 nach Fahrzeugkategorien**



**Abbildung 10-11: Externe Kosten des Strassenverkehrs im Bereich Natur und Landschaft 2010 nach Fahrzeugkategorien sowie Kostenelementen**

Kosten Natur & Landschaft in Mio. CHF	Personenverkehr									Güterverkehr			Gesamt- total	
	Motorisierter privater Personenverkehr				Langsamverkehr			Öffentlicher Personenverkehr			Li	LW		SS
	PW	GW	MR	Mofa	Velo	fäG	Fuss	Bus	Trolley	Tram				
Habitatfragmentierungen	392.7	1.8	5.9	0.3	-	-	-	4.5	-	-	30.0	25.9	18.3	479.4
Habitatverluste	208.3	2.1	3.1	0.2	4.2	0.1	5.9	4.8	0.1	0.1	15.9	27.6	17.9	290.3
<b>Total Natur &amp; Landschaft</b>	<b>601.1</b>	<b>4.0</b>	<b>9.0</b>	<b>0.5</b>	<b>4.2</b>	<b>0.1</b>	<b>5.9</b>	<b>9.3</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>45.9</b>	<b>53.5</b>	<b>36.1</b>	<b>769.7</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	<b>78.1%</b>	<b>0.5%</b>	<b>1.2%</b>	<b>0.1%</b>	<b>0.5%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.8%</b>	<b>1.2%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>6.0%</b>	<b>7.0%</b>	<b>4.7%</b>	<b>100.0%</b>
<b>Total Teilbereiche</b>	<b>614.6</b>				<b>10.2</b>			<b>9.5</b>			<b>135.5</b>			<b>769.7</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	<b>79.8%</b>				<b>1.3%</b>			<b>1.2%</b>			<b>17.6%</b>			<b>100.0%</b>

PW = Personenwagen, GW = Gesellschaftswagen, MR = Motorrad, fäG = fahrzeugähnliches Gerät, Fuss = Fussverkehr, Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper.

### c) Schienenverkehr

Der Schienenverkehr verursacht ebenfalls relativ hohe Kosten für Natur und Landschaft. Von den knapp 120 Mio. CHF Kosten im Jahr 2010 können knapp drei Viertel dem Personenverkehr und gut ein Viertel dem Güterverkehr zugeordnet werden.

**Abbildung 10-12: Externe Kosten des Schienenverkehrs im Bereich Natur und Landschaft 2010 nach Personen- und Güterverkehr sowie Kostenelementen**

Kosten Natur & Landschaft in Mio. CHF	Personen- verkehr	Güter- verkehr	Total
Habitatfragmentierungen	49.1	17.4	66.5
Habitatverluste	38.8	13.7	52.5
<b>Schieneverkehr Total</b>	<b>87.9</b>	<b>31.1</b>	<b>119.0</b>

### d) Luftverkehr

Der Luftverkehr verursacht relativ tiefe Kosten für Natur und Landschaft, weil sein Flächenbedarf verhältnismässig gering ist. Habitatfragmentierungen wurden für den Luftverkehr keine ermittelt, die Habitatverluste betragen im Jahr 2010 6 Mio. CHF, wovon gut 90% dem Personenverkehr zuzuordnen sind. Fast 80% der Kosten werden durch die Landesflughäfen verursacht und lediglich gut 20% durch die Regionalflygplätze. Von den Flugarten verursachen Linien- und Charterverkehr 99% der Kosten.

**Abbildung 10-13: Externe Kosten des Luftverkehrs im Bereich Natur und Landschaft 2010 nach Personen- und Güterverkehr sowie Kostenelementen**

<b>Kosten Natur &amp; Landschaft in Mio. CHF</b>	<b>Personen- verkehr</b>	<b>Güter- verkehr</b>	<b>Total</b>
Habitatfragmentierungen	0.0	0.0	<b>0.0</b>
Habitatverluste	5.4	0.5	<b>6.0</b>
<b>Luftverkehr Total</b>	<b>5.4</b>	<b>0.5</b>	<b>6.0</b>

#### **e) Schiffsverkehr**

Der Schiffsverkehr verursacht ebenfalls eher geringe Kosten für Natur und Landschaft. Relevant sind primär die Hafenanlegestellen, die zu Habitatverlusten im Umfang von 5 Mio. CHF führen. Von diesen Kosten ist der grösste Teil (84%) dem Güterverkehr zuzuordnen.

**Abbildung 10-14: Externe Kosten des Schiffsverkehrs im Bereich Natur und Landschaft 2010 nach Personen- und Güterverkehr sowie Kostenelementen**

<b>Kosten Natur &amp; Landschaft in Mio. CHF</b>	<b>Personen- verkehr</b>	<b>Güter- verkehr</b>	<b>Total</b>
Habitatfragmentierungen	0.0	0.0	<b>0.0</b>
Habitatverluste	0.8	4.2	<b>5.0</b>
<b>Schiffsverkehr total</b>	<b>0.8</b>	<b>4.2</b>	<b>5.0</b>

## **10.6 Sensitivitätsanalyse**

### **10.6.1 Zusammenfassung der Annahmen und Unsicherheiten**

Bei der Ermittlung der externen Kosten im Bereich Natur und Landschaft werden verschiedene Datengrundlagen verwendet, die mit Unsicherheiten behaftet sind. In der folgenden Abbildung werden die Unsicherheiten aller wichtigen Inputdaten aufgelistet. Im anschliessenden Teilkapitel wird dann untersucht, wie sensitiv die Ergebnisse reagieren, wenn diese Annahmen verändert werden.

**Abbildung 10-15: Übersicht über Inputdaten, Annahmen und Bandbreiten im Bereich Natur und Landschaft**

Bereich / Annahme	Wissenstand	Vorgehen	Bandbreite
<b>Mengengerüst</b>			
Längen (Flächen) der Verkehrsinfrastrukturen 2010	aktuelle statistische Grundlagen	Datenauswertung	± 5%
Fragmentierungen pro m Verkehrsinfrastruktur	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 20%
Verlorene Habitatfläche pro m Verkehrsinfrastruktur	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 20%
<b>Wertgerüst</b>			
Ersatzkosten Habitatfragmentierungen	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 20%
Ersatzkosten Habitatverluste	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 20%

### 10.6.2 Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

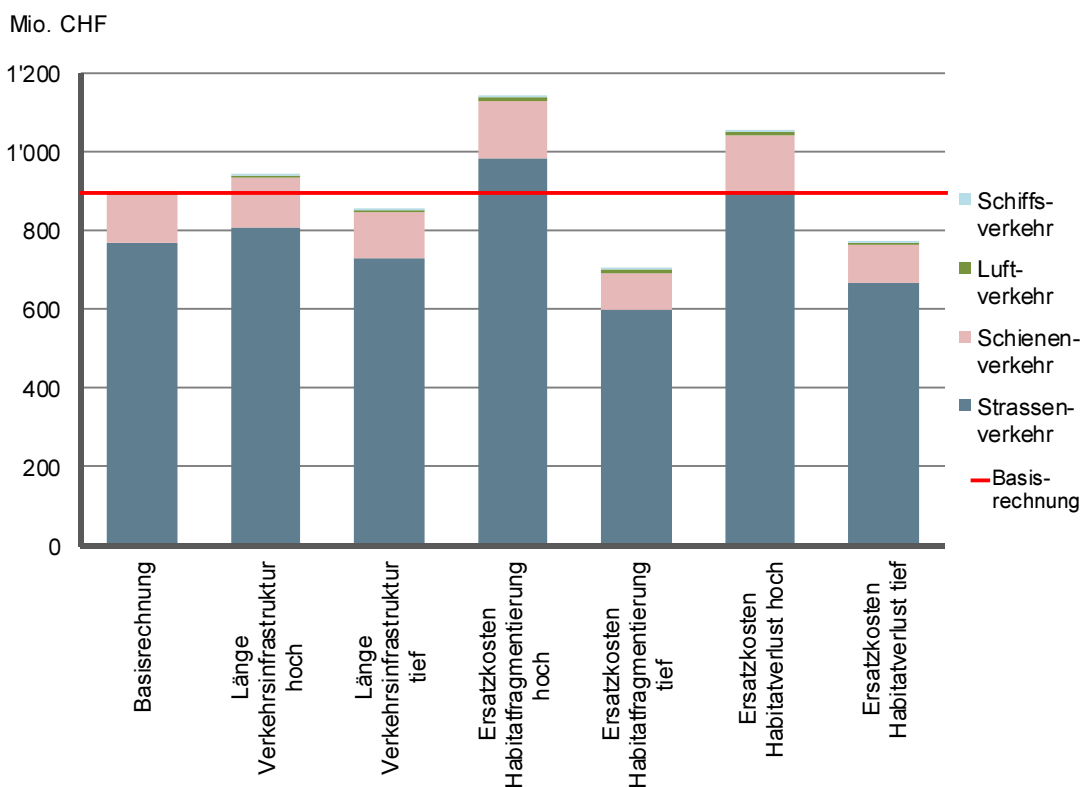
Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse. Es wurden drei verschiedene Szenarien jeweils mit hohen und tiefen Inputdaten gerechnet: 1. Länge der Verkehrsinfrastrukturen, 2. Ersatzkosten Habitatfragmentierungen (Fragmentierungen pro Länge Verkehrsinfrastruktur und spezifische Ersatzkosten), 3. Ersatzkosten Habitatverluste (verlorene Habitatfläche pro Länge Verkehrsinfrastruktur und spezifische Ersatzkosten).

Am sensitivsten reagieren die Ergebnisse auf die Veränderung der Ersatzkosten bei Habitatfragmentierungen (-22% bzw. +27%). Die Ersatzkosten bei Habitatverlusten führen zu einer Schwankungsbreite von -14% bzw. +17%. Diese beiden Schwankungsbreiten sind allerdings tendenziell zu gross, da die Unsicherheit der beiden Inputgrössen (Fragmentierungen bzw. Flächenverlust pro Länge sowie spezifische Ersatzkosten) unabhängig voneinander sind (vgl. Fussnote 157). Einen eher geringen Einfluss auf das Ergebnis hat die Länge der Verkehrsinfrastruktur. Aufgrund ihres linearen Zusammenhangs mit dem Ergebnis beträgt die Schwankungsbreite ±5%.

Abbildung 10-16: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für die Kosten im Bereich Natur und Landschaft 2010

Biodiversitätsverluste in Mio. CHF	Strassen- verkehr	Schienen- verkehr	Luft- verkehr	Schiffs- verkehr	Total
<b>Basisrechnung</b>	<b>769.7</b>	<b>119.0</b>	<b>6.0</b>	<b>5.0</b>	<b>899.7</b>
Länge Verkehrsinfrastruktur hoch	808.4	125.0	6.3	5.3	<b>945.0</b>
Länge Verkehrsinfrastruktur tief	731.1	113.0	5.7	4.8	<b>854.5</b>
Ersatzkosten Habitatfragmentierung hoch	980.7	148.3	6.0	5.0	<b>1'139.9</b>
Ersatzkosten Habitatfragmentierung tief	597.1	95.0	6.0	5.0	<b>703.2</b>
Ersatzkosten Habitatverlust hoch	897.5	142.1	8.6	7.2	<b>1'055.4</b>
Ersatzkosten Habitatverlust tief	665.2	100.1	3.8	3.2	<b>772.4</b>
<b>Abweichung von Basisrechnung in %</b>					
Länge Verkehrsinfrastruktur hoch	5.0%	5.1%	5.0%	5.0%	<b>5.0%</b>
Länge Verkehrsinfrastruktur tief	-5.0%	-5.1%	-5.0%	-5.0%	<b>-5.0%</b>
Ersatzkosten Habitatfragmentierung hoch	27.4%	24.6%	0.0%	0.0%	<b>26.7%</b>
Ersatzkosten Habitatfragmentierung tief	-22.4%	-20.1%	0.0%	0.0%	<b>-21.8%</b>
Ersatzkosten Habitatverlust hoch	16.6%	19.4%	44.0%	44.0%	<b>17.3%</b>
Ersatzkosten Habitatverlust tief	-13.6%	-15.9%	-36.0%	-36.0%	<b>-14.2%</b>

Abbildung 10-17: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für die Kosten im Bereich Natur und Landschaft 2010



### 10.6.3 Zusätzliche Unter- oder Überschätzungen

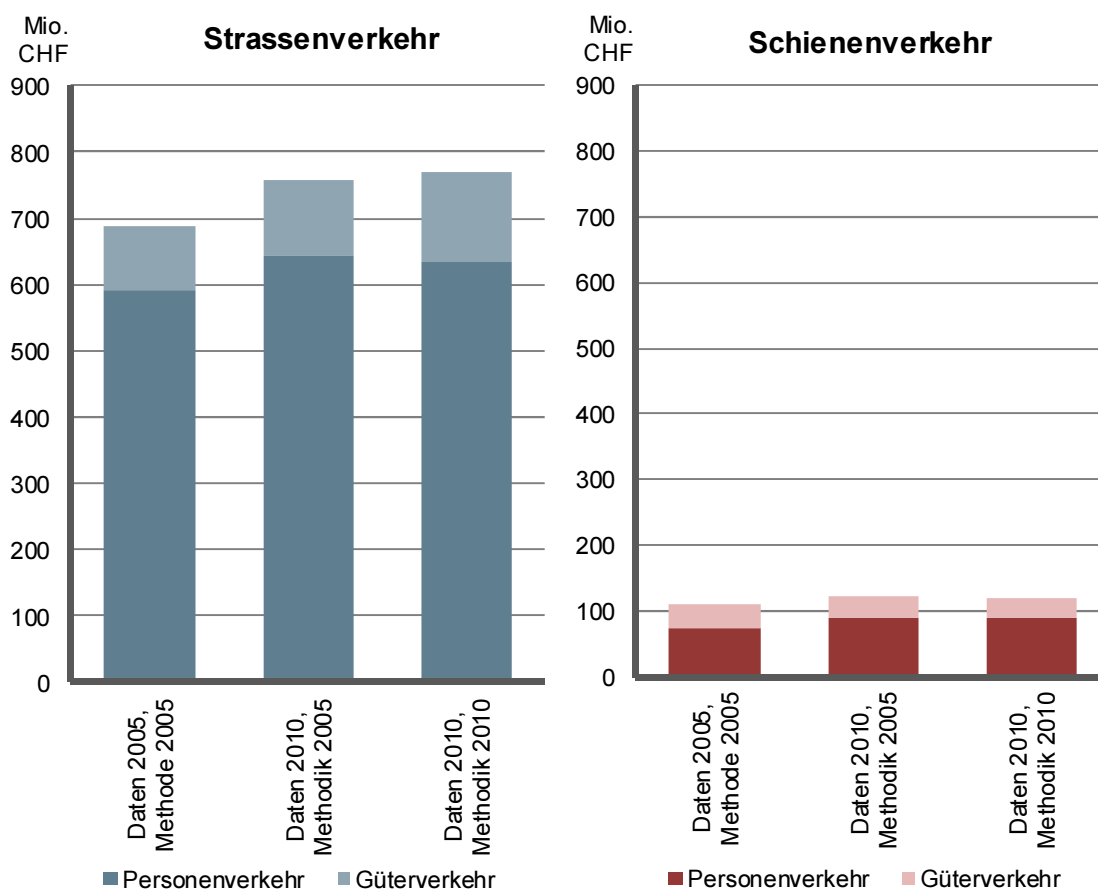
Die vorliegende Berechnung der Kosten für Natur und Landschaft deckt lediglich die Folgen der Habitatverluste und der Habitatfragmentierung ab. Daneben gibt es im Bereich Natur und Landschaft jedoch eine Reihe weiterer Schadwirkungen, die im Rahmen der vorliegenden Studie nicht monetarisiert werden konnten, z.B. durch Lichtimmissionen, Eintrag von Streusalz in die Umwelt, Habitatdegradierung oder invasive Neophyten. Dies führt insgesamt zu einer Unterschätzung der Kosten für Natur und Landschaft.

## 10.7 Vergleich zu den bisherigen Berechnungen

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen grafisch und tabellarisch den Vergleich der Kosten im Bereich Natur und Landschaft 2010 mit den Ergebnissen der Berechnungen mit der früheren Methodik. Dabei sind sowohl die Daten für 2005 als auch die Daten für 2010 mit der früheren Methodik dargestellt. Der Vergleich der Ergebnisse von 2010 zwischen neuer und bisheriger Methodik zeigt den Effekt der angepassten Methodik. Da in der früheren Studie lediglich die externen Kosten des Strassen- und Schienenverkehrs ermittelt wurden, kann der Vergleich nur für diese beiden Verkehrsträger durchgeführt werden.

Der Strassenverkehr verursachte 2005 gemäss früherer Methodik Kosten im Bereich Natur und Landschaft im Umfang von 687 Mio. CHF. Mit der **gleichen Methodik** stiegen die Kosten bis **2010** auf 757 Mio. CHF (+10%). Auch beim Schienenverkehr haben zwischen 2005 und 2010 gemäss alter Methodik die Kosten um 11% (von 110 Mio. auf 123 Mio. CHF) zugenommen. Der Hauptgrund für diese Steigerung liegt sowohl beim Strassen- als auch beim Schienenverkehr in der Zunahme der Kostensätze um gut 9% (Baupreisindex Tiefbau/Strassen). Zudem hat gemäss BFS-Statistik zwischen 2005 und 2010 die Länge des Verkehrsnetzes auf der Strasse um 0.2% und beim Schienenverkehr um 1.2% zugenommen.

Abbildung 10-18: Vergleich der Berechnungen für die Kosten im Bereich Natur und Landschaft 2005 und 2010



- *Berücksichtigung Habitatverluste innerorts:* In der neuen Methodik werden die Habitatverluste auch für Verkehrsinfrastrukturen innerhalb von Siedlungen ausgewiesen. Diese methodische Anpassung führte für 2010 zu einer Zunahme der Kosten von 7% beim Strassenverkehr und 10% beim Schienenverkehr gegenüber der alten Methodik.
- *Kostensätze:* In der früheren Methodik beinhalteten die Kostensätze noch die Mehrwertsteuer. In der angepassten Methodik sind die Faktorkosten ausgewiesen und die Kostensätze entsprechend nach unten angepasst worden. Die leicht andere Grundlage beim angewandten Teuerungsindex (Tiefbauindex) führt dagegen bei der angepassten Methodik wiederum zu etwas höheren Kostensätzen. Insgesamt sind die Kostensätze für das Jahr 2010 mit der angepassten Methodik rund 5% tiefer als in der früheren Methodik.
- *Länge Verkehrsinfrastruktur:* Ein wichtiger Grund für die Unterschiede zwischen bisheriger und angepasster Methodik liegt bei den umfassend neu ermittelten Daten zur Infrastrukturlänge:
  - Beim *Strassenverkehr* haben die neusten GIS-Auswertungen eine Zunahme der Infrastrukturlänge ausserhalb des Siedlungsgebiets von gut 2% zwischen 2000 und 2010 ergeben. Diese Zunahme ist höher als die mit der alten Methodik (auf Basis der



BFS-Strassenlängen) ermittelte Entwicklung (+0.3%). Innerhalb des Siedlungsgebiets war die Längenzunahme mit +28% zwischen 2000 und 2010 aber deutlich höher. Dies ist unter anderen auch auf die Ausdehnung des Siedlungsgebiets zurückzuführen. Insgesamt (innerhalb und ausserhalb Siedlung) hat die Länge der 1. bis 3. Klass-Strassen zwischen 2000 und 2010 gemäss GIS-Auswertung um gut 8% zugenommen. Allerdings ist diese Zunahme nicht vollumfänglich eine Folge von zusätzlichen Strassen. Ein Teil dieses Effektes ist auf Umklassierungen von Strassen zurückzuführen, z.B. wenn durch Ausbaumassnahmen aus einer 4./5. Klass-Strasse eine 2. Klass-Strasse entstand. Auf diese Weise sind zusätzliche Strassen in die Betrachtung aufgenommen worden und höherklassige Strassen zahlreicher geworden.

- Beim *Schieneverkehr* haben die neusten GIS-Auswertungen ausserhalb des Siedlungsgebiets eine Reduktion der Infrastrukturlänge von -4% zwischen 2000 und 2010 ergeben, während in der alten Methodik für diese Zeit mit einer Zunahme von +2% gerechnet wurde. Diese mit den neusten GIS-Auswertungen ermittelte Rückgang der Länge ausserorts zeigt keinen Infrastrukturrückbau, sondern ist auf die Ausdehnung des Siedlungsgebiets zurückzuführen, denn innerhalb der Siedlungen hat die Schieneninfrastruktur in der gleichen Zeit um 23% zugenommen. Insgesamt (innerorts und ausserorts) hat die Länge der Bahninfrastruktur zwischen 2000 und 2010 um 4% zugenommen.
- *Regional differenzierte Inputdaten*: Ein grosser Unterschied liegt im Umstand, dass in der Methodik des Jahres 2005 keine nach Regionen differenzierte Daten (Infrastrukturlängen sowie Kostensätze) verwendet wurden, in der angepassten Methodik dagegen schon. Das Ausmass dieser Anpassung für das Gesamtergebnis ist jedoch nicht quantifizierbar.

**Abbildung 10-19: Vergleich der Berechnungen für die Kosten im Bereich Natur und Landschaft 2005 und 2010**

	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
<b>Daten 2005, Methodik 2005</b>			
Strassenverkehr	591.7	95.4	<b>687.1</b>
Schienenverkehr	72.9	37.2	<b>110.1</b>
<b>Total</b>	<b>664.6</b>	<b>132.6</b>	<b>797.2</b>
<b>Daten 2010, Methodik 2005</b>			
Strassenverkehr	642.7	114.1	<b>756.8</b>
Schienenverkehr	90.6	32.1	<b>122.6</b>
<b>Total</b>	<b>733.3</b>	<b>146.1</b>	<b>879.4</b>
<b>Daten 2010, Methodik 2010</b>			
Strassenverkehr	634.2	135.5	<b>769.7</b>
Schienenverkehr	87.9	31.1	<b>119.0</b>
<b>Total</b>	<b>722.1</b>	<b>166.6</b>	<b>888.7</b>
<b>Veränderung Daten 2005 - 2010</b>			
Strassenverkehr	8.6%	19.6%	<b>10.1%</b>
Schienenverkehr	24.3%	-13.8%	<b>11.4%</b>
<b>Total</b>	<b>10.3%</b>	<b>10.3%</b>	<b>10.3%</b>
<b>Veränderung Methodenanpassung</b>			
Strassenverkehr	-1.3%	18.8%	<b>1.7%</b>
Schienenverkehr	-3.0%	-3.0%	<b>-3.0%</b>
<b>Total</b>	<b>-1.5%</b>	<b>14.0%</b>	<b>1.1%</b>

Die folgende Abbildung zeigt zusammenfassend die wichtigsten Veränderungen infolge der Methodenanpassung.

**Abbildung 10-20: Hauptgründe für die Unterschiede durch die Methodenanpassung**

Inputgrösse	Unterschiede angepasste Methodik	Wirkung auf Ergebnis
Infrastruktur innerhalb Siedlungsgebiet	Bei Habitatverlusten neu auch berücksichtigt	↗
Kostensätze	Tiefer als in bisheriger Methodik, da neu ohne MWST	↘
Länge Strasseninfrastruktur	Länge ausserorts höher als in bisheriger Methodik	↗
Länge Schieneninfrastruktur	Länge ausserorts tiefer als in bisheriger Methodik	↘

## 11 Bodenschäden durch toxische Stoffe

### 11.1 Berechnungsgegenstand

Die wichtigsten Umweltwirkungen des Verkehrs auf den Boden umfassen die Bodenverschmutzung entlang von Verkehrswegen durch Schwermetalle und PAK (polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe), Bodenversauerung, Überdüngung des Bodens mit Stickstoff sowie Bodenbelastungen beim Bau von Verkehrswegen sowie bei Unfällen und Lecks.

Die Überdüngung und Versauerung von Böden ist in der Schweiz hauptsächlich bei Waldböden ein Problem. Diese Schadensaspekte wurde bereits im obigen Kapitel 6 behandelt. Bei Bodenverschmutzungen, die beim Bau von Strassen und Schienen sowie durch Lecks und Unfälle entstehen, handelt es sich grundsätzlich um interne Kosten, die vom Verursacher getragen werden müssen. Selbstverständlich ist dies in der Praxis nicht immer der Fall, z.B. wenn Schäden nicht entdeckt werden. Das Ausmass dieser unbemerkten, nicht vom Verursacher getragenen Schäden lässt sich jedoch nicht quantifizieren, ist aber voraussichtlich gering. Somit bleiben die Bodenverschmutzungen entlang von Verkehrswegen durch die Emission von Schwermetallen und PAK als relevante Kostenaspekte.

### 11.2 Bewertungsmethodik und wichtigste neue Erkenntnisse

#### 11.2.1 Wichtige methodische Entwicklungen

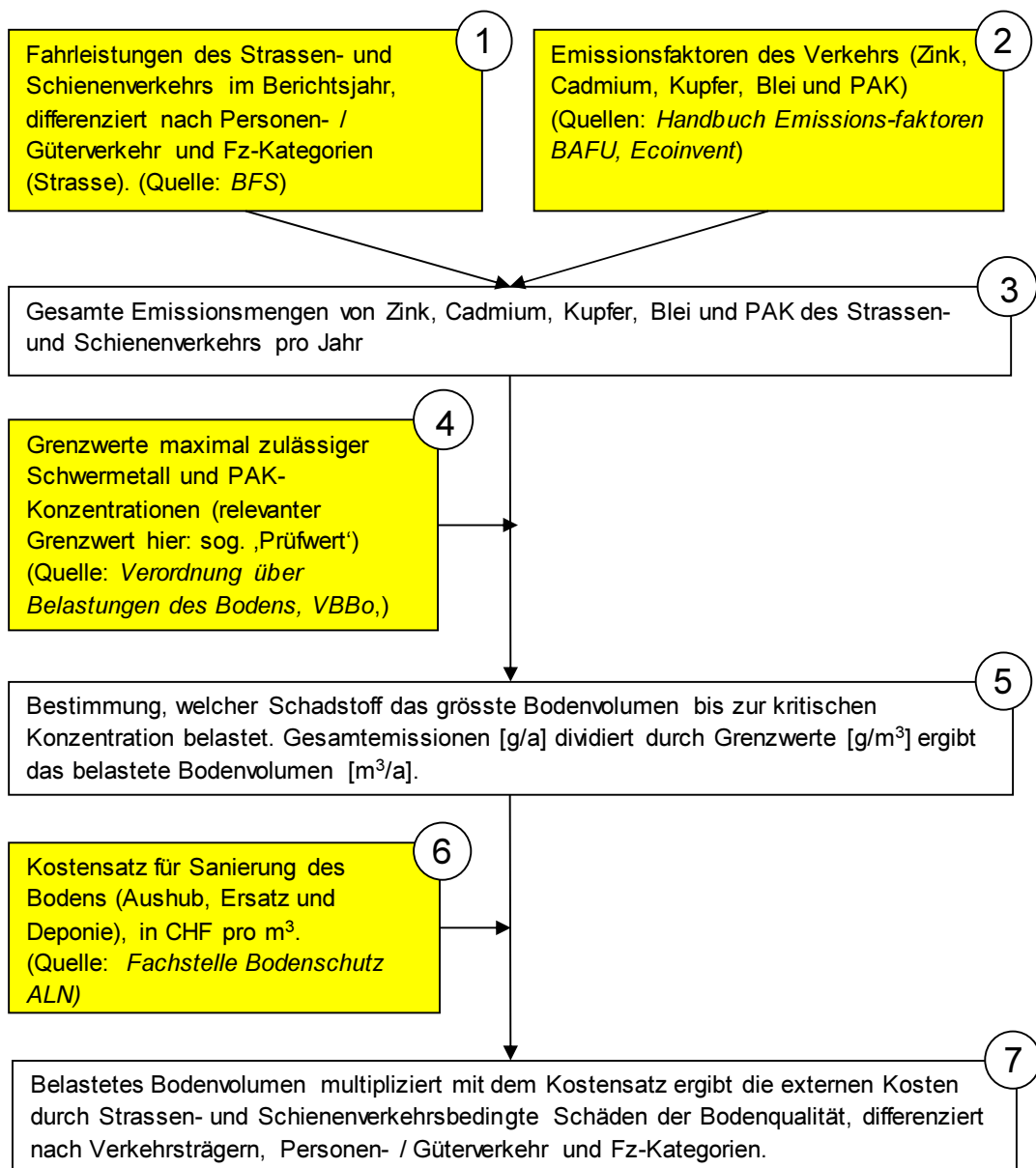
Der Kostenbereich der verkehrsbedingten Bodenschäden wird bei internationalen Studien zu externen Kosten nur teilweise abgedeckt. Seit der erstmaligen Quantifizierung der verkehrsbedingten Bodenschäden in der Schweiz (Infras 2006) gab es keine grundlegend neuen Erkenntnisse oder neuen Berechnungsmethoden für diesen Kostenbereich. Im neuen EU-Handbuch zu den externen Kosten des Verkehrs (IMPACT-Studie: Infras / CE Delft et al. 2007) werden die externen Kosten durch Boden- und Wasserverschmutzung jedoch explizit thematisiert. Die im EU-Handbuch empfohlene Berechnungsmethodik orientiert sich am Reparaturkostenansatz, der bereits für Infras (2006) angewandt wurde. Aufgenommen worden ist die monetäre Bewertung von toxischen Stoffen (v.a. Schwermetallen und organischen Schadstoffen) zudem im Rahmen der Grundlagenarbeiten zur Aktualisierung der Methodenkommunikation des deutschen Umweltbundesamtes zur Schätzung monetärer Umweltwirkungen (IER 2012, UBA 2013).

#### 11.2.2 Bewertungsmethodik

Weil genaue Expositions-Wirkungs-Beziehungen grösstenteils fehlen und damit die Schadenskosten nicht verlässlich bestimmt werden können, bietet sich bei der Berechnung der durch den Verkehr verursachten externen Kosten im Bereich Boden der **Reparaturkostenansatz** an. Dazu werden die Kosten für die Sanierung der mit Schwermetallen bzw. PAK verschmutzten Böden berechnet. Diese Berechnungsmethodik basiert auf der Überlegung,

dass Böden mit einer Schadstoffbelastung oberhalb eines bestimmten Grenzwertes nicht mehr langfristig fruchtbar sind (Richtwert) und gar eine potenzielle oder erwiesene Gefährdung für Pflanzen, Tiere sowie allenfalls auch Menschen darstellen (Prüf- bzw. Sanierungswert). Die folgende Abbildung zeigt das Vorgehen bei der Quantifizierung der aktuellen, jährlichen verkehrsbedingten Schäden an der Bodenqualität.

Abbildung 11-1: Bewertungsmethodik Bodenschäden durch toxische Stoffe



Legende: Inputdaten Zwischen- / Endergebnisse Erläuterung der Berechnung (*Datenquellen kursiv*)

Die wichtigste Inputgrösse bilden die jährlich emittierten Mengen an Schwermetallen und PAK (3). Diese Gesamtemissionen werden durch Multiplikation von Aktivitätsdaten (1), hier die Fahrleistungen, mit den zugehörigen Emissionsfaktoren (2) gebildet. Wenn diese Emissionsmengen den Grenzwerten für die maximal zulässigen Schwermetall- bzw. PAK-Konzentrationen (4) gegenüber gestellt werden, kann das Volumen des Bodens berechnet werden, das durch diese Emissionsmenge jährlich bis zu einem bestimmten Grenzwert verschmutzt wird (5). Dieses belastete Bodenvolumen bildet die Basis der jährlichen Sanierungskosten. Um die jährlichen Sanierungskosten zu berechnen, muss dieses verschmutzte Bodenvolumen daher mit einem Kostensatz für den Aushub, den Ersatz und die Entsorgung (6) des belasteten Bodenvolumens multipliziert werden. Diese Berechnungen werden für die wichtigsten Schwermetalle (Zink, Cadmium, Blei, Kupfer) sowie PAK vorgenommen. Die Schadenskosten (7) für die einzelnen Schadstoffe werden jedoch nicht addiert, weil angenommen wird, dass die entsprechenden Belastungen auf denselben Bodenflächen anfallen. Dies ist insofern realistisch, als dass z.B. beim Strassenverkehr die Schwermetalle zum allergrössten Teil aus dem Abrieb von Reifen und Strassenbelag stammen und damit die verschiedenen Stoffe in etwa an denselben Stellen auftreten. Somit muss ein Boden nur einmal saniert werden, auch wenn er unterschiedliche Schadstoffe enthält. Am Ende ist für die Kostenberechnung also jener Stoff relevant, der jährlich das grösste Bodenvolumen bis zur kritischen Konzentration (Grenzwert) belastet und damit die grössten externen Kosten verursacht. Die Berechnungsmethodik ist identisch wie in Infrass (2006).

## 11.3 Mengengerüst

### 11.3.1 Emissionen von Schwermetallen und PAK

Für die jährlichen Emissionsmengen von Schwermetallen (Zink, Cadmium, Kupfer, Blei) und PAK aus dem Strassen- und Schienenverkehr gibt es verschiedene Datengrundlagen: Für den Strassenverkehr wurden, soweit vorhanden, die Emissionsfaktoren aus dem Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs<sup>338</sup> verwendet und mit aktuellen Fahrleistungszahlen multipliziert. Ergänzend werden für Kupfer und PAK Emissionsfaktoren aus der Ökobilanz-Datenbank Ecoinvent v2.2 (Ecoinvent 2010) beigezogen. Für den Schienenverkehr werden ebenfalls Emissionsfaktoren aus der Ecoinvent-Datenbank und aus Studien des ehemaligen deutschen Eisenbahn-Bundesamtes (EBA 2006) verwendet, sowie zudem jährliche Schwermetallemissionen aus wissenschaftlichen Studien der EAWAG (Burkhardt et al. 2008) beigezogen. Die Werte der EAWAG Studie waren schon Grundlage für die Aktualisierung der externen Kosten im Jahr 2008. Die Werte aus Ecoinvent bildete für die Berechnung der Kosten des Jahres 2000 die Grundlage (Infrass 2006). Wo verlässliche Daten verfügbar waren, wurden schliesslich die Emissionsfaktoren aus Ecoinvent verwendet. Bei den anderen Substan-

---

<sup>338</sup> Handbuch Emissionsfaktoren, Version 3.1 und BAFU (2010a), Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1980 – 2030.

zen wird auf die EAWAG-Studie sowie auf die Studie des deutschen Eisenbahnamtes als verlässliche Datengrundlagen zurückgegriffen.

Für den Luft- und Schiffsverkehr wurde im Rahmen der Transportrechnungsstudien zu diesen Verkehrsträgern (Infras, Ecoplan 2012; IRENE, Ecosys 2013) entschieden, die Bodenschäden aus Relevanzgründen nicht zu berechnen.

**Abbildung 11-2: Jährliche Emissionsmengen von Schwermetallen und PAK in Böden durch den Strassen- und Schienenverkehr**

	Gesamtemissionen pro Jahr (in kg/a)	Datenquelle
<b>Strassenverkehr</b>		
Cadmium	77	BAFU (2010a)
Zink	306'989	BAFU (2010a)
Blei	2'549	BAFU (2010a)
Kupfer	32'133	Ecoinvent v2.2 (2010)
PAK	57	Ecoinvent v2.2 (2010)
<b>Schienenverkehr</b>		
Cadmium	2	Burkhardt et al. (2008) (EAWAG)
Zink	23'453	Burkhardt et al. (2008) (EAWAG)
Blei	241	Ecoinvent v2.2 (2010)
Kupfer	31'575	EBA (2006)
PAK	12	Ecoinvent v2.2 (2010)

### 11.3.2 Grenzwerte

Die verschiedenen Grenzwerte (Richt-, Prüf- und Sanierungswerte) von Schwermetallen und PAK in Böden sind in der eidgenössischen „Verordnung über Belastungen des Bodens“ (VBBo) festgehalten und in der Abbildung 11-3 dargestellt und haben sich seit 2000 nicht verändert.

**Abbildung 11-3: Grenzwerte von Schwermetallen und PAK in Böden**

Schadstoff	Richtwert	Prüfwert *	Sanierungswert **
Cadmium	0.8	2	30
Zink	150	300	2000
Blei	50	200	2000
Kupfer	40	150	1000
PAK (Summe der 16 Leitsubstanzen)	1	20	100

Die Werte geben die Totalgehalte der Schadstoffe an. Die Werte sind in mg/kg Trockensubstanz (für Böden bis 15% Humus) bzw. in mg/dm<sup>3</sup> Boden (für Böden über 15% Humus) angegeben.

\*: Werte für den Nahrungs- bzw. Futterpflanzenanbau.

\*\* : Werte für die Landwirtschaft.

Quelle: Infras (2006) bzw. Prüfwert für Zink aus BUWAL (2001), alle restlichen Grenzwerte stammen aus der Eidgenössischen „Verordnung über Belastungen des Bodens“ (VBBo).

Die entscheidende Frage ist, welcher der Grenzwerte (Richt-, Prüf- oder Sanierungswert) für die Berechnung des belasteten Bodenvolumens verwendet wird. Aus naturwissenschaftlicher Sicht müsste es der Richtwert sein. Denn ab einer Schadstoffbelastung des Bodens über dem Richtwert muss mit Schäden an der Bodenökologie gerechnet werden. Praktisch dürfte aber der Prüfwert relevanter sein, weil ab diesem Wert die Bodenfruchtbarkeit eingeschränkt ist und solcher Boden eine potenzielle Gefährdung für Pflanzen, Tiere sowie allenfalls auch Menschen darstellt. Gemäss Wegleitung „Verwertung von ausgehobenem Boden“ des BAFU (BAFU 2001) müssen Böden mit Schadstoffbelastungen oberhalb des Prüfwertes im Übrigen als Abfall in Deponien entsorgt werden. In der Praxis werden Böden natürlich in der Regel erst bei einer Belastung oberhalb des Sanierungswertes effektiv saniert. Doch in dieser Studie sollen nicht die effektiven Sanierungskosten berechnet werden, sondern die gesamten Schadenskosten, welche durch die Belastung von Böden mit Schadstoffen aus dem Verkehr entstehen. Und weil die Schädigung der Böden bereits ab Erreichen der Richtwerte, spätestens oberhalb der Prüfwerte vorliegt, sind diese Werte für die Berechnung der Schadenskosten relevant. Deshalb wird für die Kostenberechnung in dieser Studie wie bereits in Infrass (2006) der Prüfwert verwendet. Dieses Vorgehen haben im Rahmen von Infrass (2006) auch Bodenfachleute empfohlen.

Es zeigt sich, dass wie bisher im Strassenverkehr Zink der relevante Schadstoff ist und im Schienenverkehr Kupfer.

#### 11.4 Wertgerüst

In der ARE-Studie für die Berechnung der externen Kosten durch Schäden an Böden im Jahr 2000 wurde mit einem spezifischen Sanierungskostensatz von 100 CHF / m<sup>3</sup> gerechnet (Infrass 2006). Dieser Wert setzt sich zusammen aus den Kosten für die Entsorgung (Deponierung) von verschmutztem Bodenmaterial (65 CHF / m<sup>3</sup>), den Ersatz durch unbelastetes Material (20 CHF / m<sup>3</sup>) sowie den Kosten für den Aushub sowie den Transport (15 CHF / m<sup>3</sup>). Für die vorliegende Studie wurde die Methodik aus der Aktualisierung 2008 weitergeführt, da keine verlässliche, bessere Datengrundlage gefunden werden konnte. Das heisst, der Sanierungskostensatz von 106.8 CHF / m<sup>3</sup> für das Jahr 2005 wurde unter der Berücksichtigung der Entwicklung der Tiefbaupreise (Baupreisindex Tiefbau, BFS 2013) zwischen 2005 und 2010 weitergeführt. Der neu verwendete Kostensatz für das Jahr 2010 beträgt **115.2 CHF / m<sup>3</sup>**.

## 11.5 Ergebnisse

### 11.5.1 Externe Kosten

#### a) Überblick Gesamtverkehr

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die gesamten externen und sozialen Kosten infolge Bodenschäden durch toxische Stoffe im Jahr 2010 nach Verkehrsträgern.<sup>339</sup> Im Jahr 2010 betragen die Kosten durch Bodenschäden des Strassen- und Schienenverkehrs **142 Mio. CHF**. Davon war der Strassenverkehr für rund 83% der Kosten (118 Mio. CHF) verantwortlich, der Schienenverkehr für rund 17% (24 Mio. CHF).

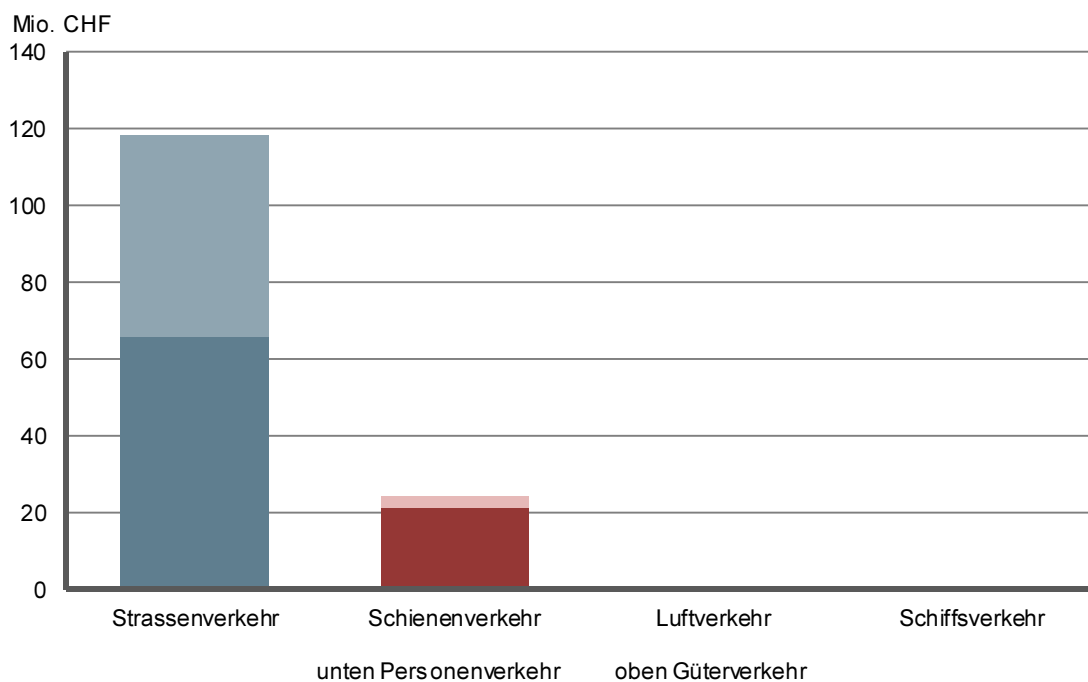
Abbildung 11-4: Externe Kosten durch Bodenschäden 2010

Bodenschäden in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	65.4	52.6	<b>117.9</b>	82.9%
Schienenverkehr	21.1	3.1	<b>24.3</b>	17.1%
Luftverkehr	-	-	-	0.0%
Schiffsverkehr	-	-	-	0.0%
<b>Total</b>	<b>86.5</b>	<b>55.7</b>	<b>142.2</b>	100.0%
in % des Totals	60.8%	39.2%	100.0%	

<sup>339</sup> Bei dieser Kostenkategorie entsprechen die externen den sozialen Kosten, da es keinen Internalisierungsbeitrag gibt. Zudem sind die externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger, aus Sicht Verkehrsart Schwerverkehr und aus Sicht Verkehrsteilnehmende genau gleich hoch.



Abbildung 11-5: Externe Kosten durch Bodenschäden 2010



#### b) Strassenverkehr

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die Aufteilung der Bodenschäden durch Luftschadstoffemissionen des Strassenverkehrs auf die einzelnen Fahrzeugkategorien. Die Aufteilung der gesamthaft 118 Mio. CHF sieht wie folgt aus: Mit 48% wird knapp die Hälfte der Kosten (57 Mio. CHF) des Strassenverkehrs durch die Personenwagen verursacht. Der öffentliche Strassenverkehr, sprich Linienbusse und Trolleybusse, ist verantwortlich für rund 4% der Kosten (5 Mio. CHF) und der Strassengüterverkehr für 45% (52 Mio. CHF).

Abbildung 11-6: Externe Kosten durch Bodenschäden 2010 nach Fahrzeugkategorien

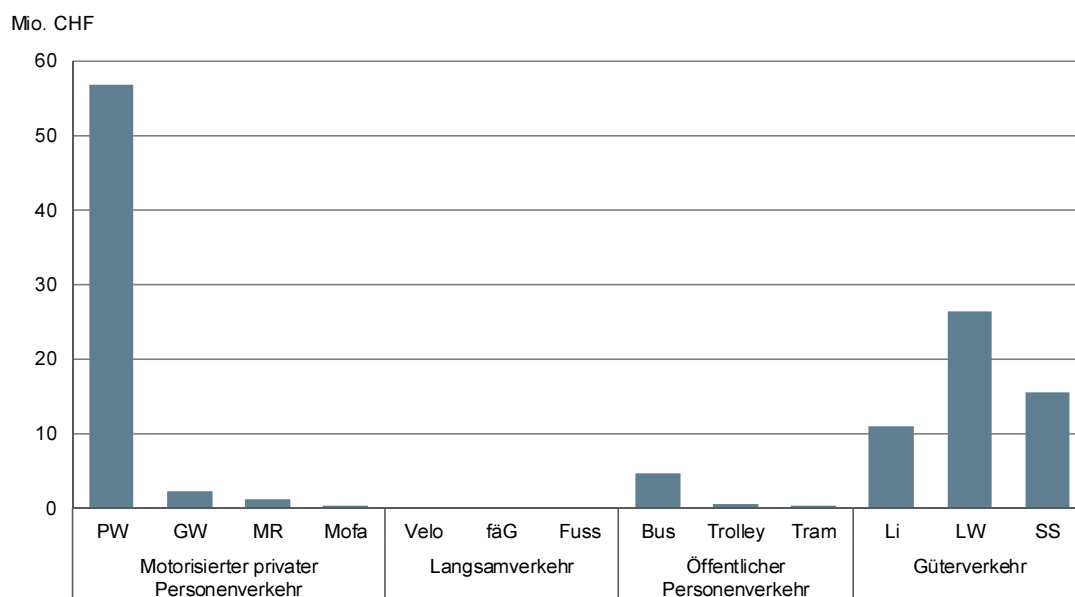


Abbildung 11-7: Externe Kosten durch Bodenschäden des Strassenverkehrs 2010 nach Fahrzeugkategorien

Bodenschäden in Mio. CHF	Personenverkehr										Güterverkehr			Gesamt- total
	Motorisierter privater Personenverkehr				Langsamverkehr			Öffentlicher Personenverkehr			Li	LW	SS	
	PW	GW	MR	Mofa	Velo	fäG	Fuss	Bus	Trolley	Tram				
Total Bodenschäden	56.8	2.2	1.2	0.1	-	-	-	4.6	0.5	0.0	10.9	26.2	15.5	117.9
in % des Gesamttotals	48.1%	1.9%	1.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	3.9%	0.4%	0.0%	9.2%	22.2%	13.1%	100.0%
Total Teilbereiche	60.2				0.0			5.2			52.6			117.9
in % des Gesamttotals	51.1%				0.0%			4.4%			44.6%			100.0%

PW = Personenwagen, GW = Gesellschaftswagen, MR = Motorrad, fäG = fahrzeugähnliches Gerät, Fuss = Fussverkehr, Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper.

### c) Schienenverkehr

Der Leitschadstoff, der zum grössten belasteten Bodenvolumen durch den Schienengüterverkehr führt ist Kupfer. Die Emissionen entstehen hauptsächlich durch Abrieb der Oberleitungen. Von den insgesamt 24 Mio. CHF fallen 21 Mio. CHF auf den Personenverkehr und die übrigen 3 Mio. CHF auf den Güterverkehr.

### d) Luftverkehr und Schiffsverkehr

Für den Luft- und Schiffsverkehr werden keine Kosten durch Bodenschäden berechnet. Dieser Entscheidung wurde im Rahmen der Projekte Transportrechnung Luftverkehr (INFRAS, Eco-plan 2012) sowie Transportrechnung Schiffsverkehr (IRENE, Ecosys 2013) getroffen, insbe-

sondere aufgrund der geringen Relevanz der Schwermetall- und PAK-Emissionen dieser Verkehrsträger.

## 11.6 Sensitivitätsanalyse

### 11.6.1 Zusammenfassung der Annahmen und Unsicherheiten

Bei der Ermittlung der Bodenschäden durch toxische Stoffe werden verschiedene Datengrundlagen verwendet, die naturgemäss mit Unsicherheiten verbunden sind. In der folgenden Abbildung werden die Unsicherheiten der wichtigsten Inputdaten aufgelistet. Im anschließenden Teilkapitel wird dann untersucht, wie sensitiv die Ergebnisse reagieren, wenn diese Annahmen verändert werden.

**Abbildung 11-8: Übersicht über Inputdaten, Annahmen und Bandbreiten bei den Kosten der Bodenschäden durch toxische Stoffe**

Bereich / Annahme	Wissenstand	Vorgehen	Bandbreite
<b>Mengengerüst</b>			
Emissionen Schwermetalle und PAK: Strasse	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 20%
Emissionen Schwermetalle und PAK: Schiene	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 50%
Schadensgrenze: Grenzwerte für Schwermetalle und PAK im Boden	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 50%
<b>Wertgerüst</b>			
Spezifische Bodensanierungskosten	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 25%

### 11.6.2 Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

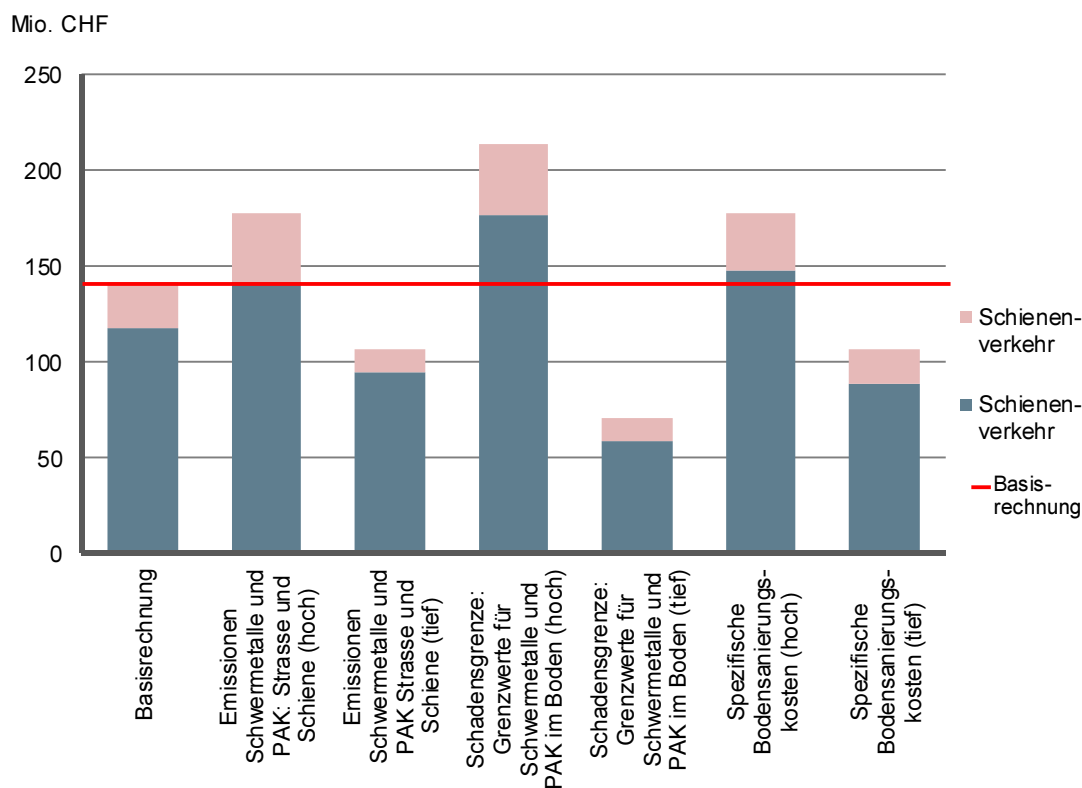
Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse. Es wurden vier verschiedene Szenarien jeweils mit hohen und tiefen Inputdaten gerechnet: 1. Emissionen Strasse (Schwermetalle und PAK), 2. Emissionen Schiene (Schwermetalle und PAK), 3. Schadensgrenze (Grenzwerte der VBBo), 4. Bodensanierungskosten (Kosten pro Kubikmeter, Ab- und Auftragung).

Am sensitivsten reagieren die Ergebnisse auf die Veränderung der Schadensgrenze (Grenzwerte) ( $\pm 50\%$ ). Die anderen Inputgrössen führen bei den Gesamtkosten zu einer Schwankungsbreite von maximal  $\pm 25\%$ . Auch hier erstaunt das Resultat nicht. Die Kostenberechnungen der Bodenschäden sind linear und die gewählten Sensitivitäten in dieser einfachen Sensitivitätsanalyse wirken somit direkt auf das Resultat.

**Abbildung 11-9: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für Bodenschäden durch toxische Stoffe 2010**

Bodenschäden in Mio. CHF	Schiene- verkehr	Schiene- verkehr	Total
<b>Basisrechnung</b>	118	24	<b>142</b>
Emissionen Schwermetalle und PAK: Strasse und Schiene (hoch)	142	36	<b>178</b>
Emissionen Schwermetalle und PAK Strasse und Schiene (tief)	94	12	<b>106</b>
Schadensgrenze: Grenzwerte für Schwermetalle und PAK im Boden (hoch)	177	36	<b>213</b>
Schadensgrenze: Grenzwerte für Schwermetalle und PAK im Boden (tief)	59	12	<b>71</b>
Spezifische Bodensanierungskosten (hoch)	147	30	<b>178</b>
Spezifische Bodensanierungskosten (tief)	88	18	<b>107</b>
<b>Abweichung von Basisrechnung in %</b>			
Emissionen Schwermetalle und PAK: Strasse und Schiene (hoch)	20.0%	50.0%	<b>25.1%</b>
Emissionen Schwermetalle und PAK Strasse und Schiene (tief)	-20.0%	-50.0%	<b>-25.1%</b>
Schadensgrenze: Grenzwerte für Schwermetalle und PAK im Boden (hoch)	50.0%	50.0%	<b>50.0%</b>
Schadensgrenze: Grenzwerte für Schwermetalle und PAK im Boden (tief)	-50.0%	-50.0%	<b>-50.0%</b>
Spezifische Bodensanierungskosten (hoch)	25.0%	25.0%	<b>25.0%</b>
Spezifische Bodensanierungskosten (tief)	-25.0%	-25.0%	<b>-25.0%</b>

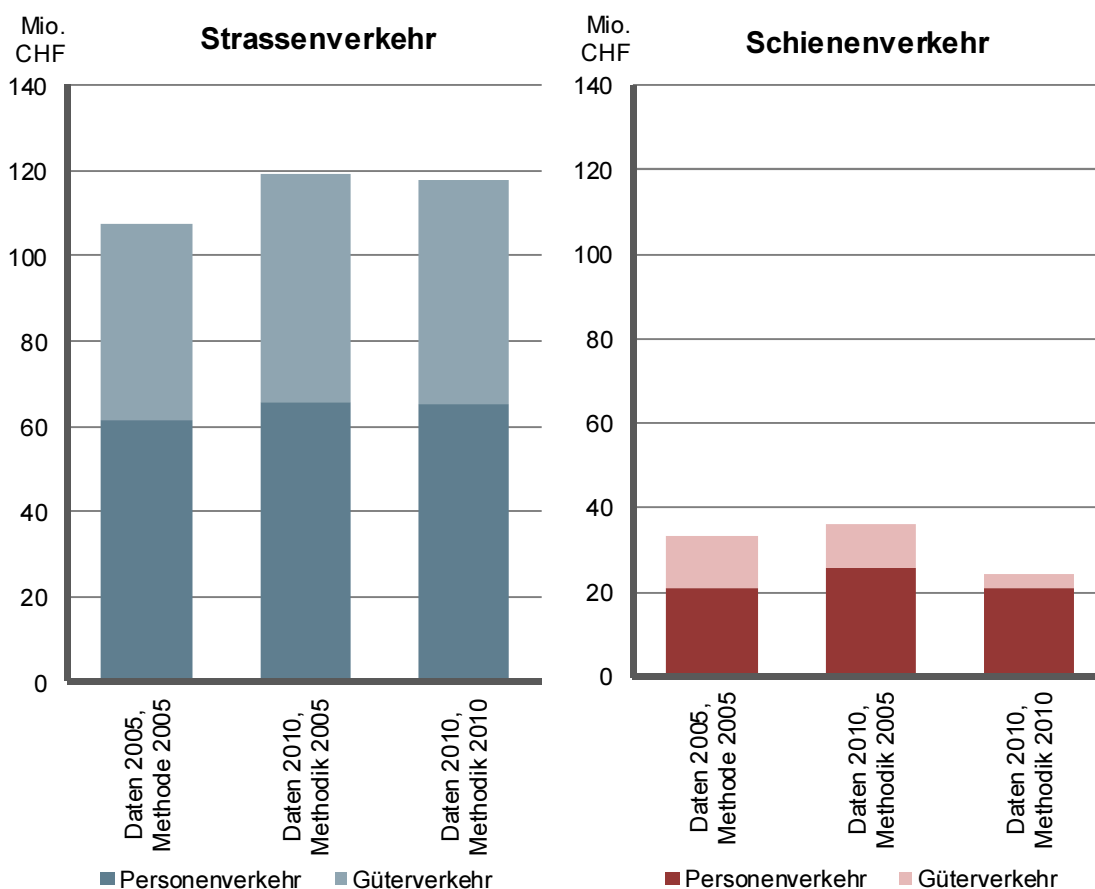
**Abbildung 11-10: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für Bodenschäden durch toxische Stoffe 2010**



## 11.7 Vergleich zu den bisherigen Berechnungen

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen grafisch und tabellarisch den Vergleich der Bodenschäden 2010 mit den Ergebnissen der Berechnungen mit der früheren Methodik. Dabei sind sowohl die Daten für 2005 als auch die Daten für 2010 mit der früheren Methodik dargestellt. Der Vergleich der Ergebnisse von 2010 zwischen neuer und bisheriger Methodik zeigt den Effekt der angepassten Methodik.

Abbildung 11-11: Vergleich der Berechnungen für die Bodenschäden durch Luftbelastung 2005 und 2010



Der Strassenverkehr verursachte 2005 gemäss früherer Methodik 107 Mio. CHF Bodenschäden. Mit der gleichen Methodik stiegen die Kosten bis 2010 auf 119 Mio. CHF. Im gleichen Zeitraum stiegen im Schienenverkehr die Kosten von 33 Mio. CHF auf 36 Mio. CHF an. Diese Anstiege haben folgende Gründe:

- Der Hauptgrund für die Steigerung der Kosten liegt bei der Zunahme des Kostensatzes für die Sanierung. Dieser Kostensatz hat sich in der Periode von 2005 bis 2010 um gut 9% erhöht, und wirkt sich im Strassen- und Schienenverkehr gleichermaßen aus.

- Darüber hinaus wirkt sich die Zunahme der Aktivitätsdaten (Verkehrsleistungen) direkt auf die Emissionen aus. Weil jedoch die Verkehrsleistungen beim Strassenverkehr (v.a. Personenwagen) in der Zwischenzeit nach unten korrigiert wurden, wirkt sich dieser Effekt in diesem Fall auf die Kosten fast nicht aus.

**Abbildung 11-12: Vergleich der Berechnungen für die Waldschäden durch Luftbelastung 2005 und 2010**

	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
<b>Daten 2005, Methodik 2005</b>			
Strassenverkehr	61.2	46.0	107.3
Schienenverkehr	21.0	12.2	33.2
<b>Total</b>	<b>82.2</b>	<b>58.2</b>	<b>140.4</b>
<b>Daten 2010, Methodik 2005</b>			
Strassenverkehr	65.9	53.4	119.2
Schienenverkehr	25.8	10.4	36.2
<b>Total</b>	<b>91.7</b>	<b>63.7</b>	<b>155.4</b>
<b>Daten 2010, Methodik 2010</b>			
Strassenverkehr	65.4	52.6	117.9
Schienenverkehr	21.1	3.1	24.3
<b>Total</b>	<b>86.5</b>	<b>55.7</b>	<b>142.2</b>
<b>Veränderung Daten 2005 - 2010</b>			
Strassenverkehr	7.6%	16.0%	11.2%
Schienenverkehr	22.8%	-14.8%	9.0%
<b>Total</b>	<b>11.5%</b>	<b>9.5%</b>	<b>10.7%</b>
<b>Veränderung Methodenanpassung</b>			
Strassenverkehr	-0.8%	-1.5%	-1.1%
Schienenverkehr	-18.0%	-69.9%	-32.9%
<b>Total</b>	<b>-5.6%</b>	<b>-12.7%</b>	<b>-8.5%</b>

Mit der neuen Methodik erreichen die Kosten durch Bodenschäden verursacht durch den Strassenverkehr fast das gleiche Niveau wie mit der alten Methodik. Dies war zu erwarten, da die bisherige Methodik übernommen wurde. Der Grund der minimalen Abweichung von rund 1% zwischen den beiden Methoden liegt in der Anpassung einzelner Emissionsfaktoren.

Beim Schienenverkehr gibt es eine grössere Differenz aufgrund der Methodenanpassung. Der Rückgang der Kosten durch Bodenschäden beim Schienenverkehr von rund 33% ist primär auf die angepassten Emissionsfaktoren der Leitsubstanz Kupfer zurückzuführen. Neu

wurde eine neue Datengrundlage des Eisenbahn Bundesamtes (EBA 2006) verwendet, die verlässlicher und verglichen mit anderen Datengrundlagen konsistenter ist.

Die folgende Abbildung zeigt zusammenfassend die wichtigsten Veränderungen infolge der Methodenanpassung.

**Abbildung 11-13: Hauptgründe für die Unterschiede durch die Methodenanpassung**

<b>Inputgrösse</b>	<b>Unterschiede angepasste Methodik</b>	<b>Wirkung auf Ergebnis</b>
Emissionen Strassenverkehr	Anpassung der Emissionsfaktoren führt zu leichter Abnahme der Emissionen	(↘)
Emissionen Schienenverkehr	Verwendung neuer Datengrundlagen für die Emissionsfaktoren (v.a. Kupfer) führt zu deutlicher Abnahme der Emissionen	↘
Grenzwerte	keine Änderung	→
Kostensatz	keine wesentliche Änderung	→

## 12 Kosten vor- und nachgelagerter Prozesse

### 12.1 Berechnungsgegenstand

Bei den Kosten von vor- und nachgelagerten Prozessen geht es im Gegensatz zu allen anderen Kostenkategorien nicht um eine andere, neue Art von Schäden, die bewertet werden. Im Vordergrund steht vielmehr die Überlegung, dass nicht nur direkt bei der Verkehrsaktivität selbst Umweltbelastungen und damit Umweltschäden anfallen, sondern auch bei vor- oder nachgelagerten Prozessen. Es geht also darum, die Kosten indirekter Umweltbelastungen (z.B. durch Emissionen von Schadstoffen) zu ermitteln. So entstehen beispielsweise bei der Herstellung von Fahrzeugen, bei der Gewinnung und Aufbereitung von Treibstoffen oder dem Unterhalt von Verkehrsinfrastrukturen verschiedene Schadstoffemissionen, die zu Schäden führen. Diese Emissionen und Schäden können – im Unterschied zu den direkten Schäden der Verkehrsaktivität – zum Teil auch ausserhalb der Schweiz anfallen, sind aber ursächlich dem Verkehr in der Schweiz zuzuordnen.

In der vorliegenden Studie zur Berechnung der externen Kosten des Verkehrs in der Schweiz werden wie in den vorherigen Arbeiten folgende drei Kategorien vor- und nachgelagerter Prozesse berücksichtigt:

1. Herstellung, Unterhalt und Entsorgung von Fahrzeugen (Verkehrsmittel).
2. Herstellung, Transport und Bereitstellung der Treibstoffe bzw. der Antriebsenergie wie z.B. Strom (Energiebereitstellung).
3. Herstellung, Unterhalt und Entsorgung der Verkehrsinfrastruktur (Infrastruktur).

In den bisherigen Berechnungen sind lediglich die Schäden durch Treibhausgasemissionen bei vor- und nachgelagerten Prozessen berücksichtigt worden. Neu werden auch die Effekte anderer Schadstoffemissionen wie Stickoxide (NO<sub>x</sub>), Feinstaub (PM<sub>10</sub>), Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) und flüchtige organische Verbindungen (NMVOC) monetarisiert.

### 12.2 Bewertungsmethodik und wichtigste neue Erkenntnisse

#### 12.2.1 Wichtige methodische Entwicklungen

Die Methodik zur Bewertung indirekter Effekte bei vor- und nachgelagerten Prozessen hat sich nicht wesentlich verändert. In Bezug auf die Monetarisierung der Schäden orientiert sich diese Kostenkategorie sowieso an den jeweils berücksichtigten Schadenskategorien. Für die Berechnung der Klimakosten durch vor- und nachgelagerte Treibhausgasemissionen wird beispielsweise gleich vorgegangen wie bei den direkten Klimakosten.

Erstmals wurde der Langsamverkehr (Velo, fahrzeugähnlich Geräte, Fussgänger), als Teil des Strassenverkehrs separat berechnet. Als Datenbasis für das Mengengerüst diente die Transportrechnung des Langsamverkehrs (Ecoplan, ISPMZ 2013).



Die Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse (z.T. auch indirekte Schäden des gesamten Lebenszyklus genannt) werden auch in anderen internationalen Studien ausgewiesen. So berücksichtigt auch die neuste Methodenkonvention des deutschen Umweltbundesamtes UBA (2013) diese Kosten. Dabei werden sowohl die vor- und nachgelagerten Treibhausgasemissionen als auch andere Luftschadstoffemissionen (NO<sub>x</sub>, PM10, SO<sub>2</sub> und NMVOC) quantifiziert.

Die wichtigste Grundlage für die Berechnung vor- und nachgelagerter Effekte ist eine umfassende Ökoinventar-Datenbank, die Emissionen für transportspezifische Prozesse und Produkte (z.B. Fahrzeuge, Treibstoffe, Strom) und Infrastrukturen zur Verfügung stellt. In der Schweiz ist Ecoinvent die wichtigste und am besten etablierte Ökobilanzierungs-Datenbank. Sie enthält umfassende Ökobilanz-Inventardaten. Gegenüber der letzten Aktualisierungsstudie (Ecoplan, Infrass 2008) liegt heute eine überarbeitete und aktualisierte Version der Ecoinvent Datenbank vor (Version 2.2, Ecoinvent 2010).<sup>340</sup>

### 12.2.2 Bewertungsmethodik

Um die ökonomischen Folgekosten für die Gesellschaft zu quantifizieren, müssten theoretisch sämtliche Prozessketten detailliert dokumentiert werden, die dabei anfallenden Umweltbelastungen sowie die davon betroffenen Personen bzw. Ökosysteme erfasst und mit Hilfe von Dosis-Wirkungs-Beziehungen die dadurch entstehenden Schäden quantifiziert und schliesslich bewertet werden. Aufgrund der starken Vernetzung der Weltwirtschaft treten die Umweltbelastungen global auf, die Bewertung der resultierenden Schäden ist jedoch stark vom regionalen bzw. nationalen Kontext abhängig. Es ist daher kaum möglich, sämtliche Umweltbelastungen zu erfassen und verlässlich zu quantifizieren. Aus diesem Grund fokussiert der Berechnungsansatz lediglich auf die wichtigsten globalen Umweltbelastungen, deren Schäden auf Basis internationaler Studien auch ohne detailliertes Wissen zur genauen Emissionsquelle grob quantifiziert werden können.

Die folgenden Berechnungen erfassen daher die Treibhausgasemissionen (v.a. CO<sub>2</sub>) und die Luftschadstoffe NO<sub>x</sub>, PM10, SO<sub>2</sub> und NMVOC sämtlicher vor- und nachgelagerter Prozesse des Strassen-, Schienen-, Luft- und Schiffsverkehrs der Schweiz im Jahr 2010. Dabei wird nicht berücksichtigt, ob diese Emissionen in der Schweiz selbst oder im Ausland emittiert werden. Diese Emissionen werden schliesslich mit einfachen Kostensätzen monetarisiert.

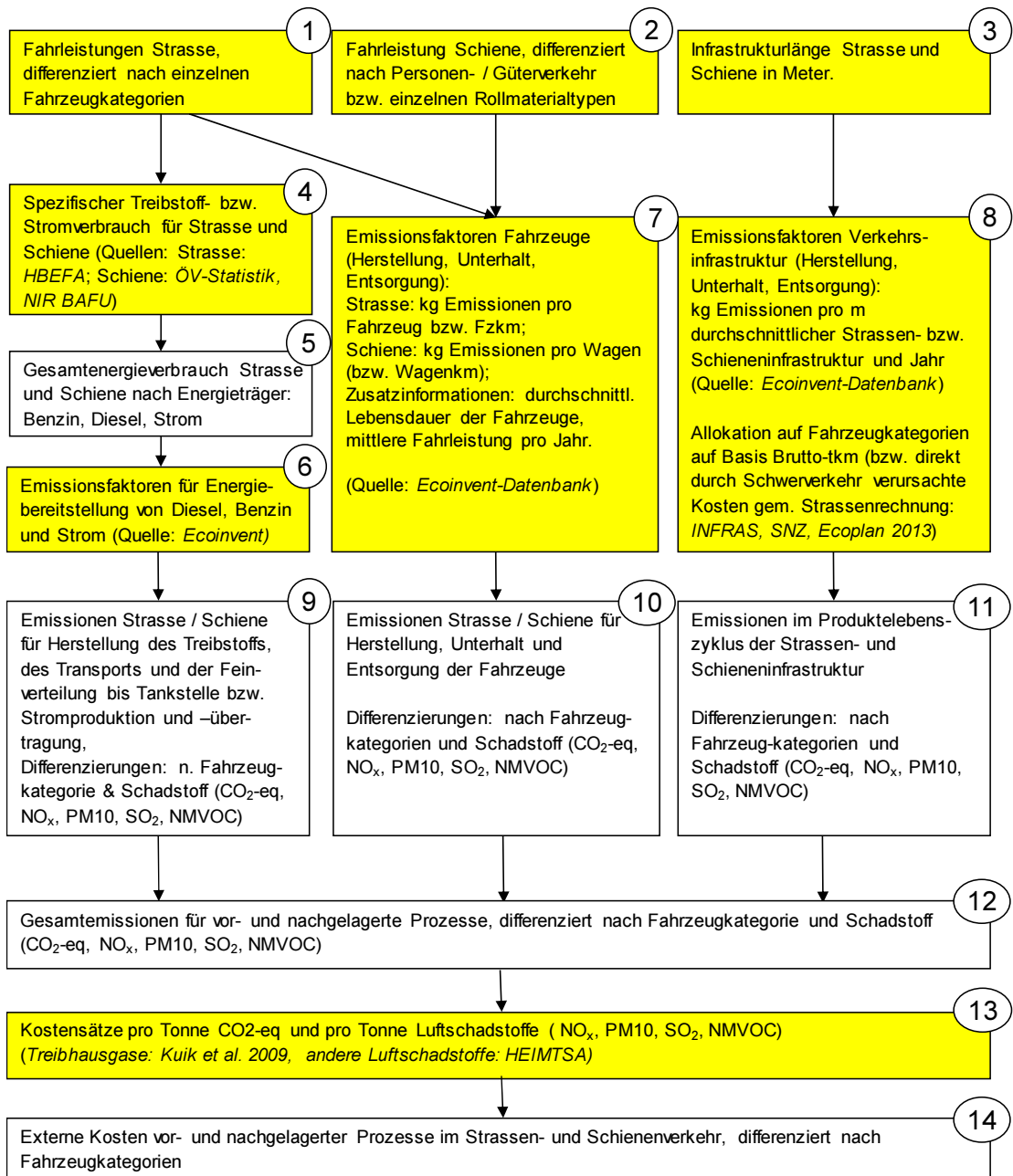
Weil nur die oben erwähnten Schadstoffe bewertet werden, nicht aber alle weiteren Umweltbelastungen, die im ursächlichen Zusammenhang mit den Strassen-, Schienen-, Luft- und Schiffsverkehren in der Schweiz stehen, entspricht das Vorgehen dem at least Ansatz.

---

<sup>340</sup> Zwar gibt es mittlerweile bereits eine noch neuere Version 3 von Ecoinvent. Eine eingehende Prüfung dieser Daten hat aber gezeigt, dass diese für die vorliegenden Berechnungen (noch) nicht zweckmässig nutzbar ist, u.a. weil die Emissionsdaten nicht auf dem richtigen Aggregationsniveau vorliegen. Zudem sind die Daten aus Ecoinvent 2.2 für das Jahr 2010 gut geeignet, da sie in jenem Jahr publiziert wurden.

Die folgende Abbildung zeigt die angewandte Bewertungsmethodik für den Strassen- und Schienenverkehr im Detail.

**Abbildung 12-1: Bewertungsmethodik Kosten vor- und nachgelagerter Prozesse des Strassen- und Schienenverkehrs**



Legende: Inputdaten Zwischen- / Endergebnisse Erläuterung der Berechnung (Datenquellen kursiv)

Als Datengrundlage dienen die Fahrleistungen der Strasse differenziert nach Fahrzeugkategorien (1) und diejenigen der Schiene differenziert nach Personen- und Güterverkehr, sowie nach Rollmaterialtyp (2). Für die Infrastruktur ist die Länge des Strassen und Schienennetzes ausschlaggebend (3).

Der gesamte Energieverbrauch (Benzin, Diesel und Strom) der Strasse und Schiene (5) wird durch spezifische Treibstoffverbrauchsfaktoren (4) für die Strasse und Schiene sowie und dem gesamten Stromverbrauch (4) der Schiene und des öffentlichen Schienenverkehrs auf der Strasse (Tram und Trolleybusse) berechnet. Mit Hilfe der Emissionsfaktoren für die Bereitstellung der Energieträger (Treibstoffe und Strom, 6) können die Gesamtemissionen für die *Energiebereitstellung* im Strassen- und Schienenverkehr berechnet werden (9).

Die Emissionen der vor- und nachgelagerten Prozesse der Fahrzeuge bzw. *Verkehrsmittel* (10) werden berechnet, indem die Emissionsfaktoren für Herstellung, Unterhalt und Entsorgung der Strassenfahrzeuge bzw. Lokomotiven mit Hilfe der durchschnittlichen Lebensfahrleistung sowie der gesamten Jahresfahrleistung in der Schweiz in Gesamtemissionen pro Jahr umgerechnet werden (7). Für die Personen- und Güterwagen auf der Schiene werden wagenspezifische Emissionsfaktoren aus Ecoinvent verwendet und mit der Anzahl Wagen hochgerechnet.

Die gesamten Emissionen durch Herstellung, Unterhalt und Entsorgung der Strassen- und Schieneninfrastruktur (11) berechnen sich aus den Strassen- und Schienennetzlängen (3) sowie den entsprechenden Emissionsfaktoren aus Ecoinvent (kg Schadstoffe pro Meter und Jahr) für die Strassen- und Schienenverkehrsinfrastruktur (8).

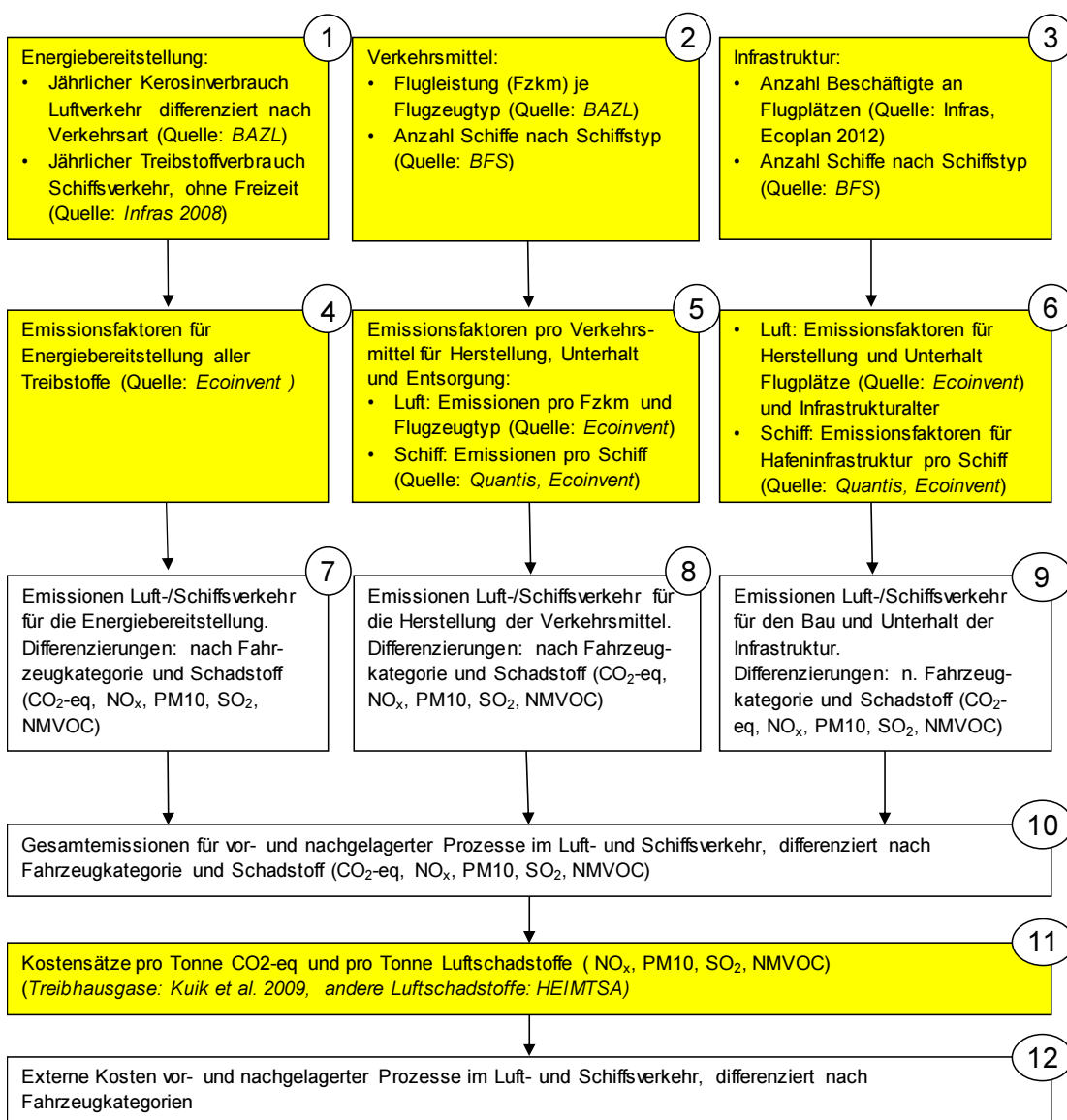
Addiert man sämtliche, nach Fahrzeugkategorien (sowie Verkehrsträger, Personen- und Güterverkehr) differenzierte Emissionen zusammen, erhält man die Gesamtemissionen für die vor- und nachgelagerten Prozesse des Strassen- und Schienenverkehrs (12). Abgedeckt sind in der vorliegenden Arbeit die Treibhausgasemissionen sowie die weiteren Luftschadstoffe NO<sub>x</sub>, PM10, SO<sub>2</sub> und NMVOC. Monetarisiert werden die Emissionen, indem jeder Luftschadstoff und die Treibhausgase (CO<sub>2</sub>-eq) mit einem spezifischen Kostensatz (13) multipliziert werden (14).

Die folgende Abbildung zeigt die Bewertungsmethodik für den Luft- und Schiffsverkehr. Die Berechnungen der externen Kosten für den Luft- und Schiffsverkehr sind methodisch sehr ähnlich. Für die Berechnung der Gesamtemissionen für die *Energiebereitstellung* (7) werden der Treibstoffverbrauch des Luft- und Schiffsverkehrs (1) mit den Emissionsfaktoren (4) für die Energiebereitstellung der verschiedenen Treibstoffe (Kerosin, Benzin, Diesel, Heizöl) multipliziert.

Für die Berechnung der Emissionen durch die *Verkehrsmittel* gibt es zwischen dem Luft- und Schiffsverkehr einen kleinen Unterschied. Beim Flugverkehr werden die Gesamtemissionen für den Lebenszyklus der Flugzeuge (8) durch Multiplikation der Flugleistung (2) mit spezifischen Emissionsfaktoren (5, differenziert nach Flugzeugtyp) berechnet. Beim Schiffsverkehr werden die jährlichen Gesamtemissionen (8) dagegen direkt aus dem Schiffsbestand (2) und den Emissionsfaktoren pro Schiff (5, differenziert nach Schiffstyp) berechnet.

Für die Berechnung der indirekten Emissionen der *Flugplatzinfrastruktur* (9) wird direkt auf Emissionen bzw. Emissionsfaktoren des Flughafens Zürich (6) zurückgegriffen, die mittels Anzahl Beschäftigter (3) auf alle Flughäfen und –plätze hochgerechnet werden. Im Schiffsverkehr sind die Infrastruktur-Emissionsfaktoren pro Schiff vorhanden (6, differenziert nach Schiffstyp) und können anhand der Anzahl Schiffe (3) in Gesamtemissionen umgerechnet werden (9).

**Abbildung 12-2: Bewertungsmethodik vor- und nachgelagerter Prozesse für Luft- und Schiffsverkehr**



Legende: Inputdaten Zwischen-/Endergebnisse Erläuterung der Berechnung (Datenquellen kursiv)

Alle Emissionen zusammen addiert ergeben für die Gesamtemissionen von Treibhausgasen und anderen Luftschadstoffen des Luft- und Schiffsverkehrs (10). Diese Emissionen können mit Hilfe von spezifischen Kostensätzen (CHF pro Tonne Schadstoff, 11) in die externen Kosten der jeweiligen Verkehrsarten umgerechnet werden (12).

## 12.3 Mengengerüst

### a) Gesamtemissionen

Die folgenden beiden Abbildungen zeigt die Gesamtemissionen aus vor- und nachgelagerten Prozessen im Strassen-, Schienen-, Luft- und Schiffsverkehr für das Jahr 2010. Die CO<sub>2</sub>-Äquivalente sind in einer eigenen Abbildung dargestellt, da die Treibhausgasemissionen mengenmässig bei Weitem am wichtigsten sind. Die Strassenemissionen dominieren alle drei Bereiche des Lebenszyklus über alle untersuchten Schadstoffe und Verkehrsträger.

Die Anteile der indirekten Emissionen, der verschiedenen Luftschadstoffe, an den drei Bereichen sind unterschiedlich. Tatsache ist, dass die Treibhausgase (CO<sub>2</sub>-eq) bei sämtlichen Verkehrsträgern mit Abstand am meisten Kosten verursachen (zwischen 92% und 98%). Deswegen wird bei der folgenden Beschreibung, falls Abweichungen existierten, auf die Anteile der Treibhausgase Bezug genommen. Die folgende Abbildung zeigt ein exaktes Bild der Anteile.

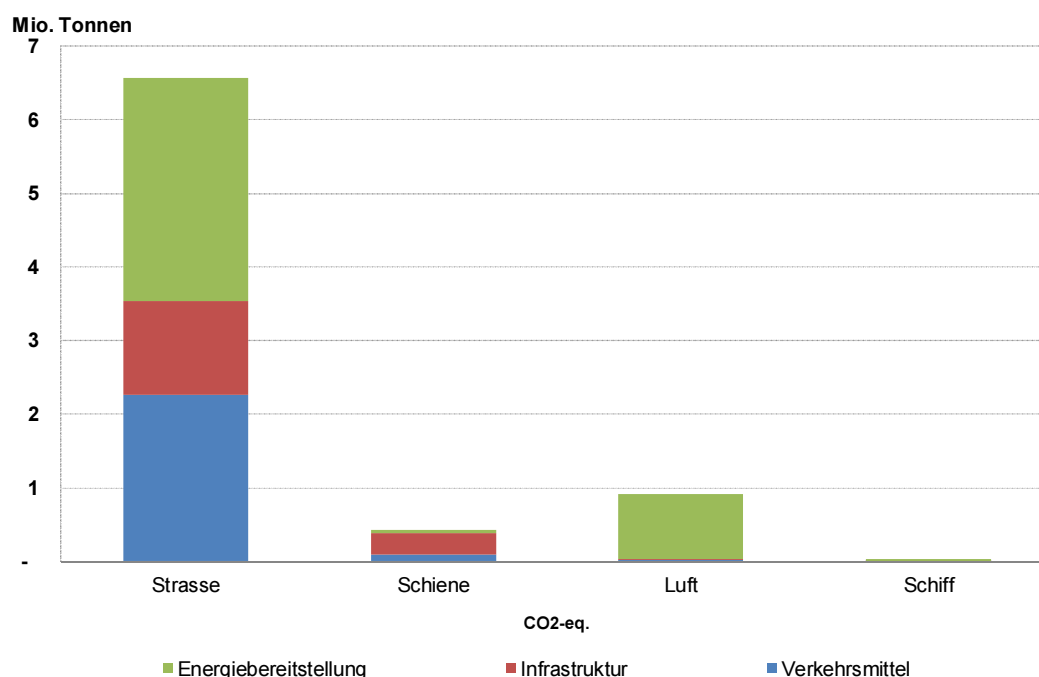
Beim Strassenverkehr sind die indirekten Emissionen der Energiebereitstellung (46%) und der Verkehrsmittel (rund ein Drittel) mengenmässig am wichtigsten, während die Infrastrukturbedingten Emissionen etwas weniger bedeutend sind (knapp 20%). Beim Schienenverkehr dagegen dominieren die indirekten Emissionen der Infrastruktur klar (gut zwei Drittel), gefolgt von den Verkehrsmitteln (Rollmaterial, knapp ein Viertel). Die Energiebereitstellung macht lediglich 9% der indirekten Emissionen des Schienenverkehrs aus. Beim Luftverkehr wiederum führt die Energiebereitstellung klar zu den meisten indirekten Emissionen (97%). Die Infrastruktur und die Flugzeuge dagegen sind nur von untergeordneter Bedeutung (1-2%). Beim Schiffsverkehr verursacht ebenfalls die Energiebereitstellung den grössten Teil der Emissionen (gut 60%). Die indirekten Emissionen der Verkehrsmittel (Schiffe) sind etwas weniger bedeutend (knapp 40%), während die Infrastruktur fast irrelevant ist (1%).

### b) Verkehrsmittel: Produktion, Unterhalt und Entsorgung

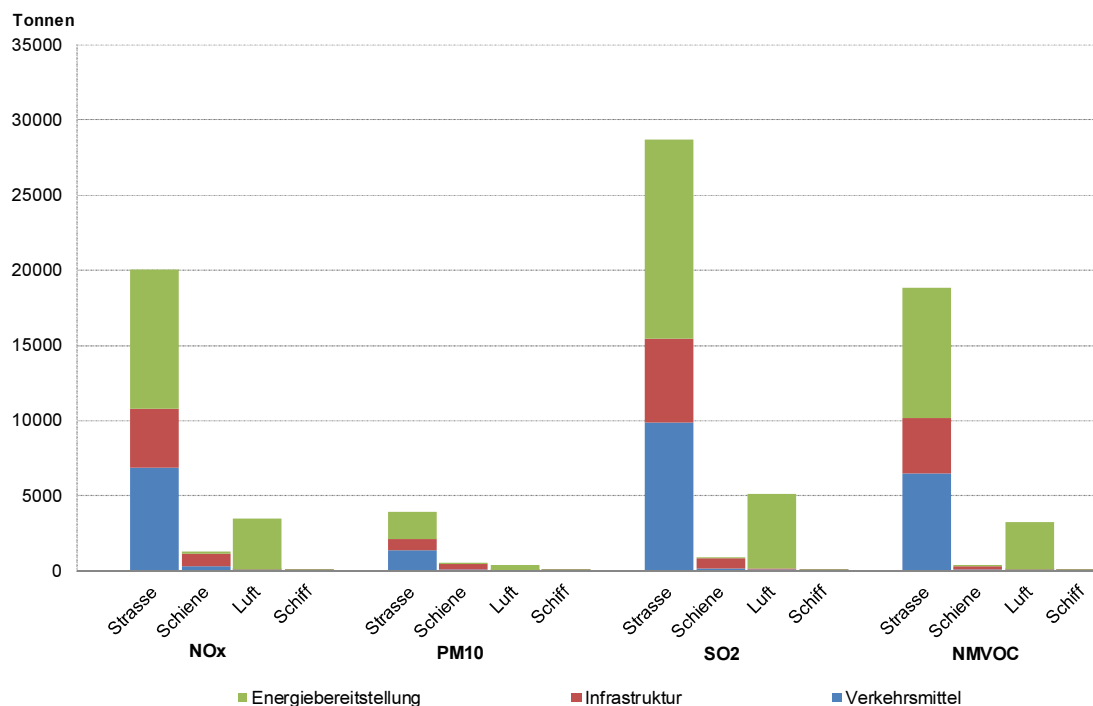
Fast 90% der durch Produktion, Unterhalt und Entsorgung der Verkehrsmittel emittierten Emissionen stammen aus Strassen- und Schienenfahrzeugen. Innerhalb dieser beiden Verkehrsträger stammen jeweils über zwei Drittel aller analysierten Luftschadstoffe aus der Produktion. Am zweitmeisten Emissionen entstehen durch den Unterhalt der Fahrzeuge. Die Emissionen die durch die Entsorgung entstehen sind fast vernachlässigbar klein. Ein Grund dürfte die hohe Recyclingquote sein. Anders sieht es im Luftverkehr aus, wo aufgrund der Datenlage nur die Produktion der Maschinen berücksichtigt werden konnte. Diese sind allerdings verhältnismässig sehr tief (<2% des Totals der indirekten Emissionen des Luftver-

kehr). Im Schiffsverkehr wurde aus dem gleichen Grund ebenfalls nur die Produktion der Schiffe berücksichtigt. Weil beim Schiffsverkehr aus den Emissions-Datenbanken (Quantis, Ecoinvent) keine genügend differenzierten Emissionsfaktoren für die weiteren Luftschadstoffe zur Verfügung standen, wurden diese Emissionsfaktoren aus den CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren (aus Quantis: IRENE, Ecosys 2013) und den Emissionsverhältnissen (z.B. NO<sub>x</sub> / CO<sub>2</sub>) der Flugzeugproduktion (aus Ecoinvent) abgeleitet. Dieses Vorgehen wurde beim Schiffsverkehr auch für die weiteren Luftschadstoffemissionen aus den vor- und nachgelagerten Prozessen der Hafeninfrastruktur gewählt.

Abbildung 12-3: Mengengerüst der CO<sub>2</sub> Emissionen vor- und nachgelagerter Prozesse 2010



**Abbildung 12-4: Mengengerüst der Luftschadstoffemissionen aus vor- und nachgelagerten Prozesse 2010**



### c) Infrastruktur: Produktion, Unterhalt und Entsorgung

Wie bei den Verkehrsmitteln führt auch bei der Infrastruktur die Produktion zu den grössten Mengen an Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen. Die zweithöchsten Emissionen entstehen durch den Unterhalt der Infrastruktur. Die Entsorgung trägt, wie bei den Verkehrsmitteln, nur wenig zu den gesamten Emissionen bei. Dies dürfte auch hier auf die hohe Recyclingquote zurückzuführen sein.

### d) Energiebereitstellung

Erwartungsgemäss weisen die Emissionen der Energiebereitstellung im Strassen-, Luft- und Schiffsverkehr die höchsten Anteile aus. Die fossilen Treibstoffe (Benzin, Diesel, Kerosin) haben – verglichen mit der Stromproduktion, welche hauptsächlich für die Schiene und den strassengebundenen ÖV (Tram, Trolleybusse) anfällt – höhere Emissionsfaktoren pro Energiemenge. Für den Schienenverkehr werden die Emissionsfaktoren für den SBB-Elektrizitätsmix (Hochspannung) verwendet.<sup>341</sup>

<sup>341</sup> Bei den Treibhausgasen beträgt der Emissionsfaktor des SBB-Strommixes 12.1 g/kWh (Ecoinvent 2010).

## 12.4 Wertgerüst

Für die Monetarisierung der **Treibhausgasemissionen** aus vor- und nachgelagerten Prozessen wird der gleiche Kostensatz pro Tonne CO<sub>2</sub>-Äquivalent verwendet wie bei den Klimakosten durch direkte Treibhausgasemissionen. Wie im Kapitel 9.4.1 beschrieben, wird für das Jahr 2010 ein globaler Vermeidungskostensatz von **107 CHF pro Tonne CO<sub>2</sub>-eq** verwendet.

Grundlage für die Monetarisierung der weiteren **Luftschadstoffe** aus vor- und nachgelagerten Prozessen bilden die Kostensätze aus dem EU-Projekt HEIMTSA (HEIMTSA 2011, IER 2012). In der HEIMTSA-Studie werden spezifische Kostensätze pro emittierter Tonne Stickoxid (NO<sub>x</sub>), Feinstaub (PM10), Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) sowie flüchtiger organischer Verbindungen (NMVOC) aus unbekanntem Quellen ausgewiesen.

Eine zentrale Frage stellt sich bei der Wahl des Kostensatzes, da unklar ist, wie die Emissionen geografisch anfallen (Schweiz, Europa, restliche Welt). Weil die Emissionen aus vor- und nachgelagerten Prozessen global, das heisst nicht nur innerhalb der Schweiz oder der EU anfallen, werden für die vorliegende Studie die Kostensätze der nördlichen Hemisphäre verwendet. Der Fokus auf die nördliche Hemisphäre ist zweckmässig, da die meisten Vorprozesse dort stattfinden. Dieses Vorgehen entspricht zudem dem at least Ansatz, weil die mittleren Kostensätze der nördlichen Hemisphäre tiefer sind als jene für Europa oder gar die Schweiz. Das gleiche Vorgehen wurde im Übrigen im Rahmen der Arbeiten der neuen Methodenkonvention des Umweltbundesamtes gewählt (UBA 2013, IER 2012).

Die folgende Abbildung zeigt die Kostensätze für die Schweiz aus HEIMTSA für das Jahr 2000 (in EUR<sub>2000</sub>/t) sowie die für die vorliegende Studie verwendeten Kostensätze in CHF für das Jahr 2010 (CHF<sub>2010</sub>/t). Die Umrechnung in Schweizer Franken erfolgt auf Basis des mittleren Wechselkurses des Jahres 2000. Anschliessend werden die Kostensätze vom Jahr 2000 auf das Jahr 2010 auf Basis der Konsumentenpreisentwicklung der Schweiz fortgeschrieben (BFS 2013, Landesindex der Konsumentenpreise LIK).

**Abbildung 12-5: Externe bzw. soziale Kosten durch Luftschadstoffemissionen bei vor- und nachgelagerten Prozessen. Kosten pro Tonne Luftschadstoff (NO<sub>x</sub>, PM10, SO<sub>2</sub>, NMVOC).**

Kostensätze pro emittierte Tonne	EUR <sub>2000</sub> pro Tonne (Originaldaten HEIMTSA)	CHF <sub>2010</sub> pro Tonne (angepasste Daten 2010)
NO <sub>x</sub>	229	390
PM10	191	324
SO <sub>2</sub>	476	809
NMVOC	753	1'279

Quelle: HEIMTSA (IER 2012) sowie eigene Berechnung. Daten entsprechen Kosten für Emissionen aus unbekanntem Quellen in der nördlichen Hemisphäre.

Im Gegensatz zu den gängigen Kostensätzen für die Luftschadstoffemissionen des Verkehrs sind in obiger Abbildung für Emissionen aus unbekannter Quelle die Kostensätze für den



Feinstaub (PM10) tiefer als für andere Luftschadstoffe wie z.B. den Stickoxiden. Der Grund dafür liegt in der Tatsache, dass die Kosten der PM10-Emissionen im Gegensatz zu den anderen Luftschadstoffen sehr stark vom Ort des Ausstosses abhängig sind. Da der Verkehr zu einem wesentlichen Teil in bewohnten Gebieten stattfindet und die Emissionen zudem bodennah erfolgen (Ausnahme: Luftverkehr), sind die Schadwirkungen (v.a. Gesundheitsschäden) und somit die externen Kosten pro emittierte Tonne deutlich höher als z.B. bei Kraftwerken oder Industriegebäuden, die sich grösstenteils ausserhalb bewohnter Gebiete befinden und deren PM10-Emissionen dank Kaminen oft in grösserer Höhe erfolgen. Für unbekannte Emissionsquellen resultieren deshalb für Feinstaubemissionen verhältnismässig geringe Kostensätze.

## 12.5 Ergebnisse

### 12.5.1 Externe Kosten

#### a) Überblick Gesamtverkehr

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die externen und sozialen Kosten der vor- und nachgelagerten Prozesse des Verkehrs für das Jahr 2010.<sup>342</sup> Die Kosten werden für die vier Verkehrsträger getrennt ausgewiesen. Insgesamt betragen die Kosten für die vor- und nachgelagerten Prozesse **917 Mio. CHF**, knapp 83% davon fallen beim Strassenverkehr an.

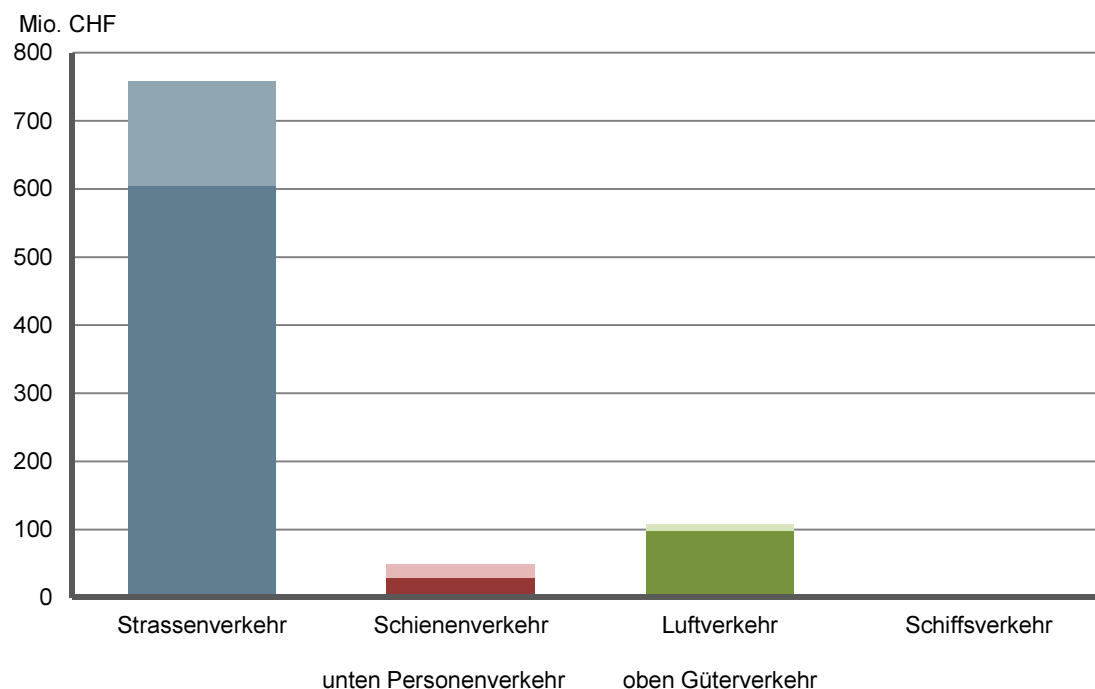
Der Personenverkehr ist für rund 80% der Gesamtkosten verantwortlich, der Rest entfällt auf den Güterverkehr.

Abbildung 12-6: Externe Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse 2010

Kosten vor- und nachgelagerter Prozesse in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	605	153	<b>758</b>	82.7%
Schienenverkehr	29	19	<b>48</b>	5.2%
Luftverkehr	98	9	<b>108</b>	11.7%
Schiffsverkehr	1	2	<b>3</b>	0.4%
<b>Total</b>	<b>734</b>	<b>183</b>	<b>917</b>	100.0%
in % des Totals	80.1%	19.9%	100.0%	

<sup>342</sup> Bei dieser Kostenkategorie entsprechen die externen den sozialen Kosten, da es keinen Internalisierungsbeitrag gibt. Zudem sind die externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger, aus Sicht Verkehrsart Schwerverkehr und aus Sicht Verkehrsteilnehmende genau gleich hoch.

Abbildung 12-7: Externe Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse 2010

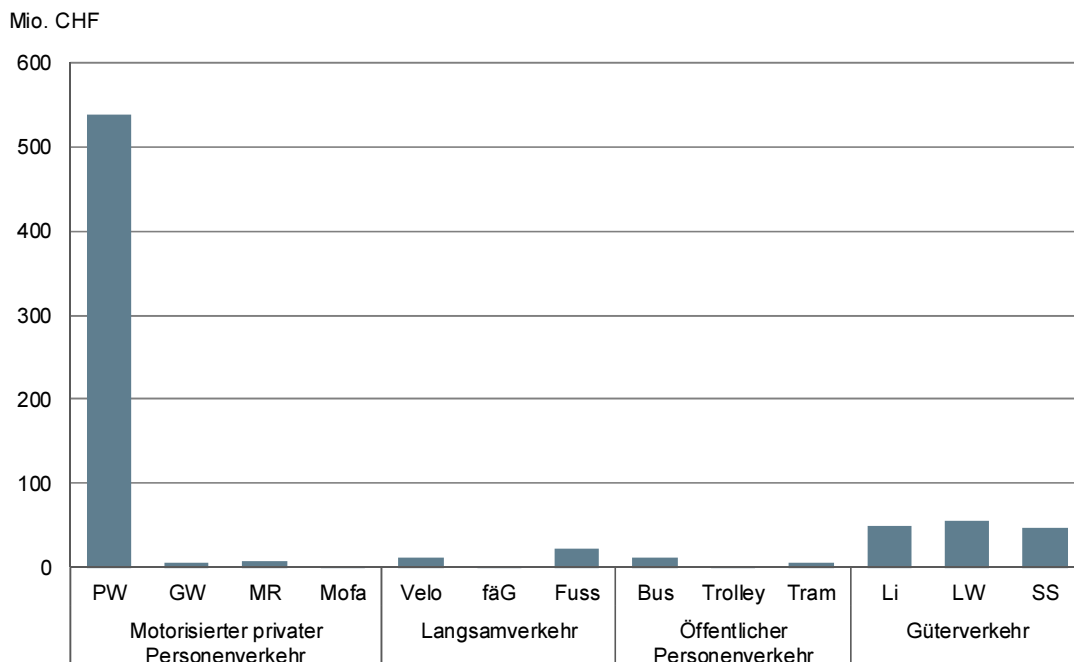


Die indirekten Treibhausgasemissionen (CO<sub>2</sub>-eq) sind für 93% der Gesamtkosten bzw. rund 850 Mio. CHF verantwortlich. Die restlichen Kosten werden zu je 3% durch das Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) und die flüchtigen organischen Verbindungen (NMVOC) sowie zu 1% durch die Stickoxide (NO<sub>x</sub>) verursacht. Die durch Feinstaub (PM<sub>10</sub>) verursachten Kosten sind kleiner als 0.5%.

#### b) Strassenverkehr

Die externen Kosten der vor- und nachgelagerten Prozesse des Strassenverkehrs betragen gesamthaft 758 Mio. CHF. Die Emissionen des Personenverkehrs sind dabei für ca. 80% aller Kosten aus vor- und nachgelagerten Prozessen verantwortlich, der Güterverkehr für gut 20% (vgl. folgenden beiden Abbildungen). 71% der Kosten fallen bei den Personenwagen an. Fast die Hälfte der Kosten fallen durch Emissionen für die Energiebereitstellung an.

**Abbildung 12-8: Externe Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse 2010, Strassenverkehr**



**Abbildung 12-9: Aufteilung der externen Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse 2010 auf die Fahrzeugkategorien: Strassenverkehr**

Kosten vor- und nachgelagerter Prozesse in Mio. CHF	Personenverkehr										Güterverkehr			Gesamttotal
	Motorisierter privater Personenverkehr				Langsamverkehr			Öffentlicher Personenverkehr			Li	LW	SS	
	PW	GW	MR	Mofa	Velo	fäG	Fuss	Bus	Trolley	Tram				
Verkehrsmittel	209	0.8	2.7	0.2	3.0	-	-	1.6	0.2	0.4	20.1	12.4	10.3	260.6
Infrastruktur	54	1.7	0.4	0.0	9.4	0.5	21.6	3.5	0.4	3.7	8.7	22.4	20.9	147.6
Energiebereitstellung	274	2.3	5.6	0.2	0.0	-	-	6.4	1.3	2.2	20.8	21.6	15.6	349.9
<b>Total vor-/nachgelagerte Prozesse</b>	<b>537.3</b>	<b>4.8</b>	<b>8.7</b>	<b>0.5</b>	<b>12.3</b>	<b>0.5</b>	<b>21.6</b>	<b>11.5</b>	<b>1.9</b>	<b>6.2</b>	<b>49.7</b>	<b>56.4</b>	<b>46.8</b>	<b>758.1</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	<b>70.9%</b>	<b>0.6%</b>	<b>1.1%</b>	<b>0.1%</b>	<b>1.6%</b>	<b>0.1%</b>	<b>2.9%</b>	<b>1.5%</b>	<b>0.2%</b>	<b>0.8%</b>	<b>6.5%</b>	<b>7.4%</b>	<b>6.2%</b>	<b>100.0%</b>
<b>Total Teilbereiche</b>	<b>551.2</b>				<b>34.5</b>			<b>19.6</b>			<b>152.9</b>			<b>758.1</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	<b>72.7%</b>				<b>4.5%</b>			<b>2.6%</b>			<b>20.2%</b>			<b>100.0%</b>

PW = Personenwagen, GW = Gesellschaftswagen, MR = Motorrad, fäG = fahrzeugähnliches Gerät, Fuss = Fussverkehr, Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper.

**c) Schienenverkehr**

Beim Schienenverkehr sind die Emissionen des Personenverkehrs für ca. 61% aller Kosten aus vor- und nachgelagerten Prozessen verantwortlich, jene des Güterverkehrs für 39%. Die Infrastrukturkosten verursachen fast 70% der gesamthaft 48 Mio. CHF (vgl. folgende Abbildung).

**Abbildung 12-10: Externe Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse 2010, Schienenverkehr**

Kosten vor- und nachgelagerter Prozesse in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
Verkehrsmittel	5.9	5.0	10.9
Infrastruktur	20.9	11.9	32.8
Energiebereitstellung	2.3	2.0	4.3
<b>Schieneverkehr Total</b>	<b>29.2</b>	<b>18.8</b>	<b>48.0</b>

**d) Luftverkehr**

Beim Luftverkehr sind die Emissionen des Personenverkehrs für ca. 91% aller Kosten aus vor- und nachgelagerten Prozessen verantwortlich, während der Güterverkehr knapp 9% verursacht. Die Energiebereitstellung verursacht 97% der Gesamtkosten von 108 Mio. CHF (vgl. folgende Abbildung).

**Abbildung 12-11: Externe Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse 2010, Luftverkehr**

Kosten vor- und nachgelagerter Prozesse in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
Verkehrsmittel	1.7	0.2	1.9
Infrastruktur	1.5	0.1	1.6
Energiebereitstellung	95.2	9.0	104.2
<b>Luftverkehr Total</b>	<b>98.3</b>	<b>9.3</b>	<b>107.6</b>

91% der Kosten vor- und nachgelagerter Prozesse werden durch den Luftverkehr auf Landesflughäfen verursacht, nur 9% auf Regionalflugplätzen. Nach Flugzeugtypen differenziert verursacht der Linien- und Charterverkehr 93% der Kosten, die General Aviation (allgemeine Luftfahrt) 7% und die Helikopter lediglich 0.3% der Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse.

**Abbildung 12-12: Externe Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse 2010, Luftverkehr**

Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
Linien- und Charterverkehr	90.6	9.1	<b>99.8</b>
Helikopter	0.2	0.1	<b>0.3</b>
General Aviation	7.5	0.0	<b>7.5</b>
<b>Total Luftverkehr</b>	<b>98.3</b>	<b>9.3</b>	<b>107.6</b>
Anteil	91.4%	8.6%	100.0%

### e) Schiffsverkehr

Beim Schiffsverkehr sind die Emissionen des Personenverkehrs für ca. 44% aller Kosten aus vor- und nachgelagerten Prozessen verantwortlich, der Güterverkehr für knapp 56%. Die Energiebereitstellung trägt 61% der gesamthaft 3.4 Mio. CHF bei (vgl. folgende Abbildung).

Abbildung 12-13: Externe Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse 2010, Schiffsverkehr

Kosten vor- und nachgelagerter Prozesse in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
Verkehrsmittel	0.31	0.99	1.30
Infrastruktur	0.00	0.03	0.04
Energiebereitstellung	1.17	0.90	2.07
<b>Schiffsverkehr total</b>	<b>1.48</b>	<b>1.92</b>	<b>3.41</b>

## 12.6 Sensitivitätsanalyse

### 12.6.1 Zusammenfassung der Annahmen und Unsicherheiten

Bei der Ermittlung der vor- und nachgelagerten Prozesse werden verschiedene Datengrundlagen verwendet, die naturgemäss mit Unsicherheiten verbunden sind. In der folgenden Abbildung werden die Unsicherheiten der wichtigsten Inputdaten aufgelistet. Im anschliessenden Teilkapitel wird dann untersucht, wie sensitiv die Ergebnisse reagieren, wenn diese Annahmen verändert werden.

Abbildung 12-14: Übersicht über Inputdaten, Annahmen und Bandbreiten bei den Kosten der vor- und nachgelagerten Prozesse

Bereich / Annahme	Wissenstand	Vorgehen	Bandbreite
<b>Mengengerüst</b>			
Verkehrsmittel (Emissionen)	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	±20%
Infrastruktur (Emissionen)	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	±25%
Energiebereitstellung (Emissionen)	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	±15%
<b>Wertgerüst</b>			
Kostensatz pro Tonne CO <sub>2</sub> -eq	Wissen mit Unsicherheiten	best guess Anlehnung UBA 2013	61 / 107 / 188 CHF/t
Kostensatz pro Tonne weitere Luftschadstoffe	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	±30%

Die unterschiedliche Bandbreite der Unsicherheiten der drei Bereiche Verkehrsmittel, Infrastruktur und Energiebereitstellung beruhen auf der unterschiedlichen Qualität der Inputdaten.

Die Bandbreite des Kostensatzes pro Tonne CO<sub>2</sub>-eq. wurde aus dem Kapitel 9.4.1 übernommen.

## 12.6.2 Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

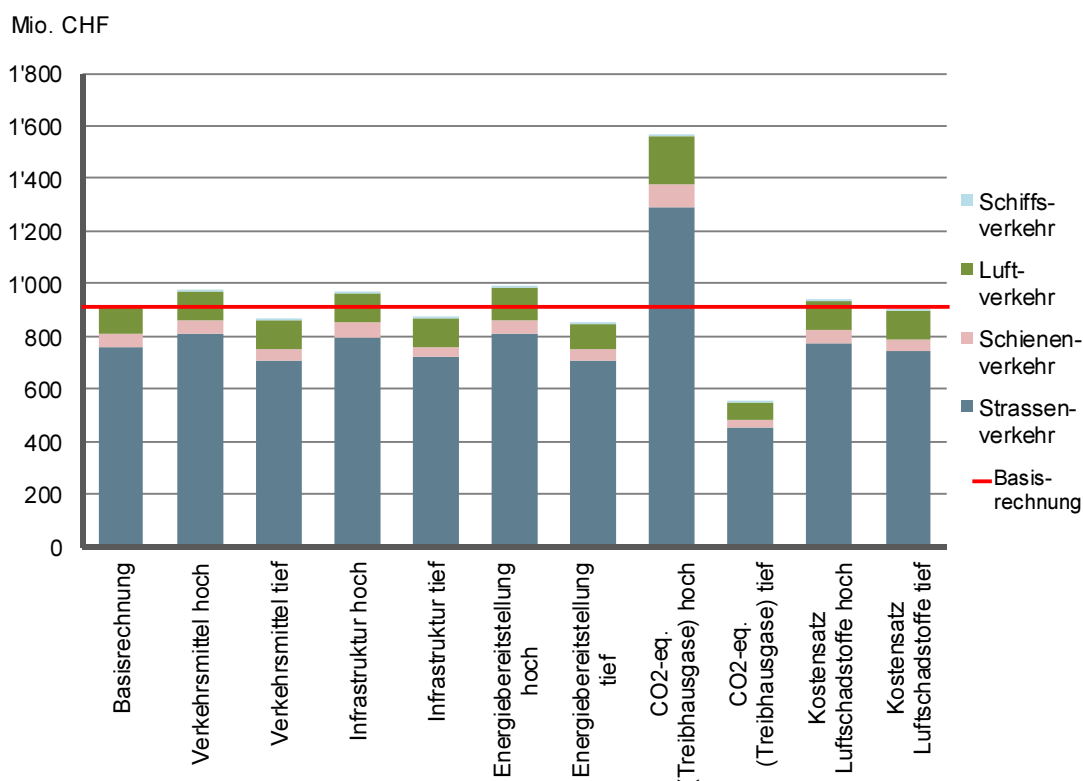
Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse. Es wurden fünf verschiedene Szenarien jeweils mit hohen und tiefen Inputdaten gerechnet: 1. Verkehrsmittel (Emissionen bei der Herstellung, dem Unterhalt und der Entsorgung der Verkehrsmittel), 2. Infrastruktur (Emissionen bei der Herstellung, dem Unterhalt und der Entsorgung der Infrastruktur), 3. Energiebereitstellung (Emissionen bei der Herstellung, dem Unterhalt und der Entsorgung der Energiebereitstellung), 4. Kostensatz Treibhausgas (CO<sub>2</sub>-Kostensatz), 5. Kostensätze Luftschadstoffe (Kostensätze für NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub> und NMVOC)

Am sensitivsten reagieren die Ergebnisse auf die Veränderung des Treibhausgas-Kostensatzes (+70% bzw. -40%). Diese Bandbreite widerspiegelt die Unsicherheit des CO<sub>2</sub>-Vermeidungskostensatzes, die im Kapitel 9 im Detail beschrieben ist. Der gewählte mittlere Kostensatz von 107 CHF pro t CO<sub>2</sub> ist aber der plausibelste und wahrscheinlichste Wert, der auch mit internationalen Empfehlungen übereinstimmt (Methodenkonvention des Umweltbundesamtes Deutschland, UBA 2013; EU Handbuch externe Kosten Verkehr, DG MOVE 2014). Die Sensitivitätsrechnungen für die anderen Inputgrößen führen bei den Gesamtkosten zu einer Schwankungsbreite von maximal ±7.5% (Emissionen Energiebereitstellung).

Abbildung 12-15: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für vor- und nachgelagerten Prozesse 2010

Kosten vor- und nachgelagerter Prozesse in Mio. CHF	Strassen- verkehr	Schienen- verkehr	Luft- verkehr	Schiffs- verkehr	Total
<b>Basisrechnung</b>	<b>758</b>	<b>48</b>	<b>108</b>	<b>3.4</b>	<b>917</b>
Verkehrsmittel hoch	810	50	108	3.7	972
Verkehrsmittel tief	706	46	107	3.1	862
Infrastruktur hoch	795	56	108	3.4	963
Infrastruktur tief	721	40	107	3.4	872
Energiebereitstellung hoch	811	49	123	3.7	986
Energiebereitstellung tief	706	47	92	3.1	848
CO <sub>2</sub> -eq. (Treibhausgase) hoch	1'291	83	182	5.8	1'562
CO <sub>2</sub> -eq. (Treibhausgase) tief	456	28	65	2.1	551
Kostensatz Luftschadstoffe hoch	775	49	111	3.5	938
Kostensatz Luftschadstoffe tief	741	47	105	3.3	897
<b>Abweichung von Basisrechnung in %</b>					
Verkehrsmittel hoch	6.9%	4.6%	0.3%	7.6%	6.0%
Verkehrsmittel tief	-6.9%	-4.6%	-0.3%	-7.6%	-6.0%
Infrastruktur hoch	4.9%	17.1%	0.4%	0.3%	5.0%
Infrastruktur tief	-4.9%	-17.1%	-0.4%	-0.3%	-5.0%
Energiebereitstellung hoch	6.9%	1.3%	14.5%	9.1%	7.5%
Energiebereitstellung tief	-6.9%	-1.3%	-14.5%	-9.1%	-7.5%
CO <sub>2</sub> -eq. (Treibhausgase) hoch	70.3%	73.1%	69.1%	70.1%	70.3%
CO <sub>2</sub> -eq. (Treibhausgase) tief	-39.9%	-41.5%	-39.2%	-39.8%	-39.9%
Kostensatz Luftschadstoffe hoch	2.2%	1.1%	2.7%	2.3%	2.2%
Kostensatz Luftschadstoffe tief	-2.2%	-1.1%	-2.7%	-2.3%	-2.2%

Abbildung 12-16: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für vor- und nachgelagerten Prozesse 2010



### 12.6.3 Zusätzliche Unter- oder Überschätzungen

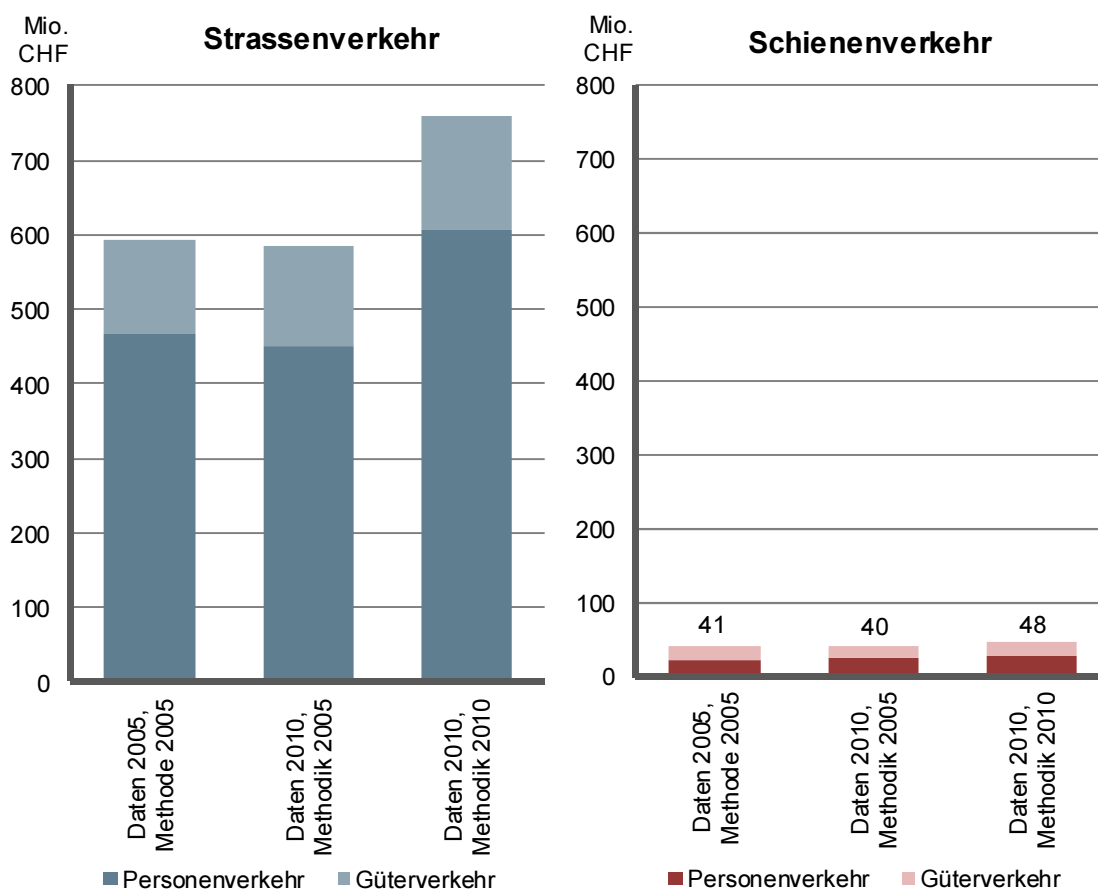
Die vor- und nachgelagerten Prozesse ganzheitlich zu erfassen ist sehr aufwendig, da nicht immer offensichtlich ist, wie die Prozessketten genau aussehen. Deswegen wird auf vereinfachte Methoden zurückgegriffen, die zu eher konservativen Resultaten führen. Würden die vor- und nachgelagerten Prozesse vollständig disaggregiert und berechnet werden, dürften sie höher ausfallen. Die Hauptgründe sind fehlende Detailinformationen, unvollständiges Erfassen der Prozessketten und fehlende Datengrundlagen. Beispiele hierfür sind:

- Es ist aufgrund der Datengrundlagen nicht möglich, sämtliche Schadstoffe und ihre Auswirkungen auf die verschiedenen Umweltbereiche zu erfassen. In der vorliegenden Analyse wurden nur CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> und NMVOC berücksichtigt. Dies sind alles Luftschadstoffe oder Treibhausgase. Boden und Gewässerschäden durch die Emission verschiedene Toxine und Schadstoffe im Rahmen der vor- und nachgelagerten Prozesse wurden nicht berücksichtigt.
- Die Detailinformationen entlang der Prozessketten zur Herstellung von Treibstoffen in den rohölfördernden Staaten sind nicht ausreichend um sämtliche Umweltschäden am Ort der Verarbeitung, in den Raffinerien und auf den Transportwegen zu erfassen.
- Nicht abgedeckt sind auch Schäden an Natur und Landschaft, die bei der Energieproduktion (z.B. bei Wasserkraftwerken) oder anderen Vorprozessen entstehen sowie mögliche Risiken durch die Energiebereitstellung (zu Letzterem mehr im Anhang A).

## 12.7 Vergleich zu den bisherigen Berechnungen

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen grafisch und tabellarisch den Vergleich der Ergebnisse der Kosten aus vor- und nachgelagerten Prozessen 2010, mit den Ergebnissen der Berechnungen mit der früheren Methodik. Dabei sind sowohl die Daten für 2005 als auch die Daten für 2010 mit der früheren Methodik dargestellt. Der Vergleich der Ergebnisse von 2010 zwischen neuer und bisheriger Methodik zeigt den Effekt der angepassten Methodik.

Abbildung 12-17: Vergleich der Berechnungen für vor- und nachgelagerte Prozesse 2005 und 2010



Der Strassenverkehr verursachte 2005 gemäss früherer Methodik 593 Mio. CHF durch vor- und nachgelagerte Prozesse. Mit der gleichen Methodik sanken die Kosten bis 2010 leicht auf 584 Mio. CHF. Dieser Rückgang hat folgende Gründe:

- Die Entwicklung ist auf die Veränderung der indirekten Treibhausgasemissionen zurückzuführen. Diese Emissionen haben beim Strassenverkehr zwischen 2005 und 2010 abgenommen. Allerdings ist dieser Rückgang nur teilweise auf eine effektive Emissionsreduktion zurückzuführen. Die Kostenreduktion ist zu einem erheblichen Teil auf die nach unten korrigierten Fahrleistungsdaten des BFS zurückzuführen (Details dazu siehe Kapitel 9.7).



Ein gewisser Teil des Rückgangs erklärt sich zudem mit den in der Zwischenzeit tatsächlich gesunkenen indirekten Emissionsfaktoren der Strassenfahrzeuge, z.B. aufgrund des geringeren spezifischen Treibstoffverbrauchs.

- Der Kostensatz für die CO<sub>2</sub>-Emissionen ist in der bisherigen Methodik zwischen 2005 und 2010 nicht angepasst worden. Deshalb hat dies zu keinen Veränderungen der Kosten geführt.

**Abbildung 12-18: Vergleich der Berechnungen für vor- und nachgelagerte Prozesse 2005 und 2010**

	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
<b>Daten 2005, Methodik 2005</b>			
Strassenverkehr	465.7	127.1	<b>592.8</b>
Schienenverkehr	23.5	17.9	<b>41.3</b>
<b>Total</b>	<b>489.2</b>	<b>145.0</b>	<b>634.1</b>
<b>Daten 2010, Methodik 2005</b>			
Strassenverkehr	450.0	133.8	<b>583.8</b>
Schienenverkehr	24.4	16.1	<b>40.5</b>
<b>Total</b>	<b>474.4</b>	<b>149.9</b>	<b>624.3</b>
<b>Daten 2010, Methodik 2010</b>			
Strassenverkehr	605.3	152.9	<b>758.1</b>
Schienenverkehr	29.2	18.8	<b>48.0</b>
<b>Total</b>	<b>634.4</b>	<b>171.7</b>	<b>806.1</b>
<b>Veränderung Daten 2005 - 2010</b>			
Strassenverkehr	-3.4%	5.3%	<b>-1.5%</b>
Schienenverkehr	3.9%	-9.7%	<b>-2.0%</b>
<b>Total</b>	<b>-3.0%</b>	<b>3.4%</b>	<b>-1.5%</b>
<b>Veränderung Methodenanpassung</b>			
Strassenverkehr	34.5%	14.3%	<b>29.9%</b>
Schienenverkehr	19.6%	16.7%	<b>18.5%</b>
<b>Total</b>	<b>33.7%</b>	<b>14.5%</b>	<b>29.1%</b>

Beim Schienenverkehr ist die Entwicklung zwischen 2005 und 2010 mit der bisherigen Methodik ähnlich wie beim Strassenverkehr. Auch bei der Schiene wurde der Kostensatz nicht angepasst und die Emissionen sanken leicht. Beim Schienenverkehr ist dies insbesondere auf den deutlich gesunkenen Dieserverbrauch zurückzuführen. Auch dies ist allerdings primär eine Folge angepasster Datengrundlage (neue BAFU-Statistik zu den Offroad-Emissionen, siehe Kap. 9.7). Die Infrastrukturlänge sowie der Stromverbrauch haben beim Schienenverkehr zwischen 2005 und 2010 dagegen leicht zugenommen (je +1%).

Die Ergebnisse für das Jahr 2010 mit der aktualisierten Methodik sind mit 806 Mio. CHF rund 30% höher als mit der früheren Methodik. Die Hauptgründe dafür liegen im neu angepassten CO<sub>2</sub>-Kostensatz (bisherige Methodik: 90 CHF/t, neue Methodik 107 CHF/t, d.h. +19%) und den zusätzlich berücksichtigten Luftschadstoffen, welche in der früheren Methodik nicht enthalten waren. Diese beiden Effekte gelten sowohl für den Strassenverkehr als auch für den Schienenverkehr und machen zusammen etwa 26% der Veränderung aus. Die übrigen 3% entstehen durch die Anpassung der Emissionsfaktoren sowie die Berücksichtigung zusätzlicher Fahrzeugkategorien (Tram, Trolleybusse, Velos, Elektroautos).

Die folgende Abbildung zeigt zusammenfassend die wichtigsten Veränderungen infolge der Methodenanpassung.

**Abbildung 12-19: Hauptgründe für die Unterschiede durch die Methodenanpassung**

Inputgrösse	Unterschiede angepasste Methodik	Wirkung auf Ergebnis
Betrachtungsrahmen: Treibhausgase, Luftschadstoffe	Neu werden auch die indirekten Luftschadstoffemissionen (NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , PM10, NMVOC) berücksichtigt und nicht nur die CO <sub>2</sub> -eq	↗
Kostensatz Klima	In der neuen Methodik angepasst. Beträgt nun 107 CHF statt 90 CHF pro t CO <sub>2</sub> -eq	↗
Emissionsfaktoren für vor- und nachgelagerte Prozesse	Anpassung aller Emissionsfaktoren führt zu unterschiedlichen Wirkungen, insgesamt zu einer leichten Zunahme der Kosten	(↗)
Berücksichtigte Fahrzeugkategorien und Prozesse	Neu werden weitere Fahrzeugkategorien berücksichtigt (v.a. Velo, Tram, Trolleybus).	(↗)

## 13 Unfälle

### 13.1 Berechnungsgegenstand

Im Bereich Unfälle werden in einem ersten Schritt die **sozialen (volkswirtschaftlichen) Unfallkosten sämtlicher Verkehrsunfälle im Jahr 2010** berechnet. In einem zweiten Schritt werden danach die **externen Unfallkosten** bestimmt. Es handelt sich dabei um jene Kosten, die nicht vom Unfallverursacher, sondern von Dritten getragen werden (z.B. in Form erhöhter Spitaldefizite aus der Behandlung von Unfallopfern).

Als Unfall wird gemäss Art. 4 ATSG<sup>343</sup> eine „plötzliche, nicht beabsichtigte schädigende Einwirkung eines ungewöhnlichen äusseren Faktors auf den menschlichen Körper verstanden, die eine Beeinträchtigung der körperlichen, geistigen oder psychischen Gesundheit oder den Tod zur Folge hat“. In Ergänzung zu dieser Definition werden bei den Verkehrsunfällen auch Unfälle miteinbezogen, die nur zu einer nicht völlig belanglosen Sachbeschädigung führen (ohne Verletzte und Getötete).<sup>344</sup> Im Strassenverkehr werden nur Unfälle auf öffentlichen Strassen und Plätzen berücksichtigt, d.h. auf Autobahnen bis 3.-Klass-Strassen (vgl. Kapitel 2.5).

Das Unfallgeschehen kann entweder nach dem Verursacher- oder nach dem Monitoringprinzip ausgewiesen werden:

- Gemäss dem **Verursacherprinzip** werden die Unfallfolgen jener Fahrzeugkategorie belastet, welche gemäss den statistischen Angaben für den Unfall verantwortlich ist. Es spielt dabei keine Rolle, bei welcher Fahrzeugkategorie die Unfallfolgen (Sachschäden, Opfer) tatsächlich anfallen.
- Beim **Monitoringprinzip** hingegen geht es um eine Abbildung des Unfallgeschehens. Auf eine Zuordnung der Unfälle anhand der Schuldfrage wird verzichtet. Aufgezeigt wird somit, in welcher Fahrzeug-Kategorie die Opfer unterwegs waren.

Die Berechnung der externen Kosten soll Grundlagen für die Kostenwahrheit im Verkehr liefern: Wer Kosten im Verkehr verursacht, soll für diese aufkommen. Deshalb wenden wir auch bei den Unfallkosten das Verursacherprinzip an. Auf die Darstellung des Mengengerüsts nach dem Monitoringprinzip wird hingegen verzichtet.<sup>345</sup>

Es wird prinzipiell gemäss den methodischen Abgrenzungen in Kapitel 2.3.2 vom **Territorialprinzip** ausgegangen:

- Im Schienenverkehr kann dieser Ansatz uneingeschränkt umgesetzt werden.

---

<sup>343</sup> Bundesgesetz über den Allgemeinen Teil des Sozialversicherungsrechts (ATSG).

<sup>344</sup> EcoPlan (2002), Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr der Schweiz 1998, S. 5.

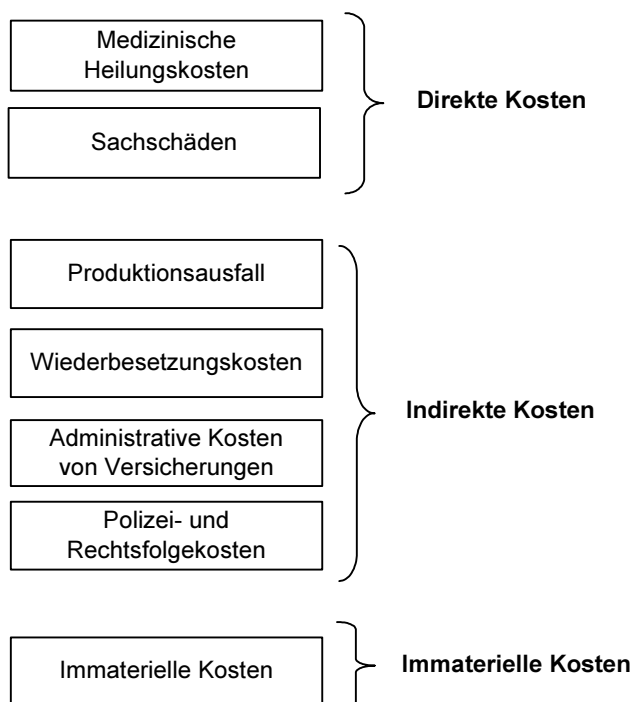
<sup>345</sup> Die bfu weist hingegen das Unfallgeschehen jeweils nach dem Monitoringprinzip aus.

- Im **Strassenverkehr und bei Sport- und Freizeitunfällen auf der Strasse im Langsamverkehr** muss aufgrund der verfügbaren Daten auf das **Inländerprinzip** zurückgegriffen werden (vgl. Kapitel 2.3.2): Es werden also alle Unfälle von in der Schweiz wohnenden Personen berücksichtigt, unabhängig davon, ob die Unfälle im In- oder Ausland stattfinden.
- Im **Luftverkehr** wird gemäss der bereits in Kapitel 2.3.2 erläuterten Abgrenzung grundsätzlich das **Halbstreckenprinzip** verwendet. Aufgrund der Datenlage zu den Luftverkehrsunfällen lässt sich dieser Ansatz jedoch nur im Linien- und Charterverkehr umsetzen,<sup>346</sup> in der General Aviation muss hingegen das Territorialprinzip verwendet werden.
- Auch im **Schiffsverkehr** findet das **Halbstreckenprinzip** Anwendung, insbesondere wegen der Rheinschifffahrt unterhalb Basel.

### Soziale Unfallkosten

Bei der Monetarisierung der Unfallfolgen werden folgende Kostenbestandteile berücksichtigt (vgl. auch folgende Abbildung, in der auch die Aufteilung auf direkte, indirekte und immaterielle Kosten ersichtlich ist):

Abbildung 13-1: Unfallfolgekosten im Überblick



<sup>346</sup> Das Halbstreckenprinzip im Linien- und Charterverkehr kann aus Datengründen nicht mit der tatsächlichen Anzahl an Unfällen umgesetzt bzw. berechnet werden, sondern nur mit der zu erwartenden Anzahl Unfälle (Erwartungswert basierend auf Unfallhäufigkeit pro Abflug in den letzten 10 Jahren in den EASA-Ländern (European Aviation Safety Agency – EU plus Schweiz, Norwegen und Island), die gemäss BAZL einen ähnlichen Sicherheitsstandard aufweisen wie die Schweiz, da die Schweiz die Standards der EASA anwendet.

- Die **medizinischen Heilungskosten** umfassen die Kosten des Ressourcenaufwands für Pflege und Wiedergenesung (stationäre und ambulante Behandlung, Arzneimittel und Analysen, ärztlich verordneten Nach- und Badekuren, Hilfsmittel und Gegenstände, welche der Heilung dienen).
- Der **Produktionsausfall** entsteht infolge von dauerhafter oder vorübergehender Arbeitsunfähigkeit der Unfallopfer. Zur Bestimmung der volkswirtschaftlichen Kosten wird der Nettoproduktionsausfall (Bruttoproduktionsausfall abzüglich Eigenkonsum) ermittelt.<sup>347</sup>
- **Wiederbesetzungskosten** werden dadurch verursacht, dass bei einem dauerhaften Ausfall einer Arbeitskraft die Stelle neu besetzt werden muss.
- Die **immateriellen Kosten** umfassen die Kosten von Leid, Schmerz, Schock und den Verlust an Lebensfreude z.B. durch eingeschränkte oder wegfallende Konsummöglichkeiten. Diese Kosten werden mit Hilfe von Zahlungsbereitschaften ermittelt.
- Die **Sachschäden, Polizei- und Rechtsfolgekosten** umfassen die Kosten von Schäden an Fahrzeugen, Immobilien, Verkehrsinfrastruktur und transportierten Gütern bzw. die Kosten der Polizei (Personal-, Material- und Fahrzeugkosten für Unfallaufnahme, Verkehrsregelung, Rapporte, Zeugenbefragungen etc.) und allfälliger Rechtstreitigkeiten (Gerichtskosten, Anwaltskosten, Kosten für Expertisen).
- Zu den **administrativen Kosten** der Versicherungen bei Personenschäden zählen sämtliche Kosten für die Abwicklung der Unfälle (Prüfung des Versicherungsanspruchs, Auszahlung etc.). Zudem werden hier auch die Administrativkosten der Versicherungen bei Unfällen mit Sachschäden bzw. bei Verkehrs-Rechtsschutzversicherungen und Motorfahrzeug-Haftpflichtversicherungen mit einbezogen.

### Externe Unfallkosten

In allen Kostenbereichen wird genau untersucht, welcher Anteil der Kosten extern ist. Dabei ist die Sichtweise der externen Kosten zentral (vgl. Kapitel 2.1.3): Berechnet wird hier die **Sicht Verkehrsträger, die Sicht Verkehrsteilnehmende und für den Strassen-Schwerverkehr zusätzlich die Sicht Verkehrsart**.

### Nicht berücksichtigte Kosten

Die oben dargestellten **Berechnungen** können als **umfassendes** Abbild der Kosten durch Unfälle betrachtet werden, auch wenn einige unbedeutende Kostenbestandteile **nicht berücksichtigt** werden. Dazu zählen insbesondere die folgenden Bereiche:

- Kosten durch gesundheitliche Spätschäden: Verletzungen können zu gesundheitlichen Spätschäden führen, die erst viele Jahre nach dem Unfallereignis auftreten. Diese Kosten dürften aber vergleichsweise gering sein.<sup>348</sup>

---

<sup>347</sup> Der mit der Produktionseinbusse einhergehende Verzicht auf Konsummöglichkeiten wird bei der Bestimmung der immateriellen Kosten berücksichtigt (vgl. Ecoplan, Infras 2008, Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz, S. 85).

- Kosten der Feuerwehr, falls durch den Unfall ein Brand entsteht (0.97% der Kosten von Unfällen in Belgien).<sup>349</sup>
- Kosten der Besucher, die ihre Angehörigen oder Freunde im Spital besuchen (0.08% der Kosten von Unfällen in Belgien).<sup>350</sup>
- Nicht mit einbezogen sind auch die Kosten von Staus, die durch Unfälle verursacht werden. Dabei handelt es sich um Zeitverluste sowie um höhere Betriebs- und Umweltkosten aufgrund kleinerer Geschwindigkeiten bzw. Stop-and-go-Verhältnissen (erhöhter Treibstoffverbrauch und damit höhere Luftverschmutzung und erhöhte Treibhausgasemissionen). Im Strassenverkehr gibt es eigene Untersuchungen zum Stau, in denen die durch Unfälle verursachten Staus ebenfalls miteinbezogen werden.<sup>351</sup> Auch im Schienenverkehr führen Unfälle zu Störungen des Fahrplans und damit zu (deutlichen) Verspätungen und Zugsausfällen. Auftragsgemäss werden die Staukosten in diesem Bericht aber nicht miteinbezogen.
- Im Luftverkehr werden Unfälle im Ausland von Helikoptern und der General Aviation (GA) vernachlässigt, weil keine Daten vorhanden sind. Ebenfalls nicht verfügbar sind Daten zu Kosten durch Unfälle auf dem Flugplatz und zu Kosten der Bergung der Wracks der Flugzeuge über 2250kg und der Helikopter.

#### **Exkurs: Verursacherprinzip: Juristische Aspekte der Haftpflicht im Strassenverkehr**

Im Unfallbereich werden die Ergebnisse nach dem Verursacherprinzip dargestellt. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob die Anwendung des Verursacherprinzips mit den gesetzlich festgelegten Haftungsbestimmungen im Strassenverkehr vereinbar ist. Auf diese Fragestellung wollen wir in den folgenden Ausführungen kurz eingehen. Das Strassenverkehrsgesetz (SVG; SR 741.01) enthält Bestimmungen zur Haftpflicht und zur Versicherung in den Artikeln 58ff.

Ist ein Motorfahrzeug in einen Schaden verwickelt, greift eine Gefährdungshaftung. Das bedeutet, dass für die Haftung für ein schädigendes Ereignis kein Verschulden notwendig ist. Diese Haftungsart knüpft an den Umstand an, dass gewisse Vorrichtungen (wie z.B. Motorfahrzeuge) bereits durch ihre Existenz oder ihren Betrieb eine Gefahr für Mensch und Umwelt darstellen.

Als Grundregel statuiert das Strassenverkehrsgesetz daher die Haftung des Motorfahrzeughalters. Es kümmert sich haftungsseitig nicht um den Lenker, der mit dem Halter nicht identisch sein muss. Der Halter ist auch für den Lenker seines Fahrzeugs verantwortlich. Der

<sup>348</sup> Ecoplan (2007), Volkswirtschaftliche Kosten der Nichtberufsunfälle in der Schweiz in der Schweiz: Strassenverkehr, Sport, Haus und Freizeit, Anhang B.

<sup>349</sup> De Brabander und Vereeck (2007), Valuing the Prevention of Road Accidents in Belgium, S. 720 und 728.

<sup>350</sup> De Brabander und Vereeck (2007), Valuing the Prevention of Road Accidents in Belgium, S. 719 und 728.

<sup>351</sup> Infras (2012), Neuberechnung der Stauzeitkosten.

Lenker eines Motorfahrzeugs haftet – sofern er nicht gleichzeitig Halter ist – nach den Bestimmungen des Obligationenrechts (OR; SR 220).

Aufgrund der gleichzeitig bestehenden Versicherungspflicht für Motorfahrzeuge im Strassenverkehr, die ebenfalls die Haftung für sämtliche Personen, für die der Halter verantwortlich ist, abdecken muss (Art. 63 Abs. 2 SVG) spielt die Haftung nach Obligationenrecht im Aussenverhältnis bei Strassenverkehrsunfällen aber eine untergeordnete Rolle (Radfahrer haften z.B. ausschliesslich nach OR; vgl. dazu Art. 70 SVG sowie Art. 41ff. OR).

Sind mehrere Motorfahrzeuge an einem Unfall beteiligt, bestimmt sich auch die Haftung nach dem Verschuldensanteil der beteiligten Fahrzeuge (vgl. Art. 60 Abs. 2 SVG), die sich die Halter auch anrechnen lassen müssen, wenn sie nicht Fahrzeuglenker waren.

Im Ergebnis sehen wir also haftpflichtrechtlich eine gewisse Durchbrechung des Verursacherprinzips, indem der Halter von Motorfahrzeugen als Grundregel auch ohne Verschulden haftet. Gemildert wird dies allerdings durch die Möglichkeit der Ermässigung oder gar des Wegfalls der Haftung bei (grobem) Fremdverschulden (Art. 59 SVG), worunter selbstverständlich nicht das Verschulden des Lenkers des eigenen Fahrzeugs fällt.

Im internen Verhältnis kann der Halter bzw. dessen Versicherer freilich versuchen, Regress zu nehmen auf eine Person, die aus Verschulden haftet. Falls diese Person für den fraglichen Schaden nicht versichert ist und der Schaden eine gewisse Grösse aufweist, wird die Deckung durch den eigentlichen Verursacher aber regelmässig nicht möglich sein.

**Fazit:** Das verwendete Verursacherprinzip für die Zuordnung der Unfälle bzw. Unfallkosten deckt sich grundsätzlich mit der rechtlichen Grundordnung im Strassenverkehr, wird aber durch die verschuldensunabhängige Gefährdungshaftung für Motorfahrzeuge zugunsten der Geschädigten durchbrochen.

## 13.2 Bewertungsmethodik und wichtigste neue Erkenntnisse

Die folgenden Abschnitte zeigen die aktuell verwendete Methodik zur Ermittlung der sozialen und externen Unfallkosten. Die aktuell verwendete Methodik wird mittels eines Flussdiagramms beschrieben, das die wichtigsten Inputdaten und Berechnungsschritte zeigt. Die wichtigsten Neuerungen gegenüber der bisherigen Methodik im Strassen- und Schienenverkehr (da bisher keine Zahlen zu den anderen Verkehrsträgern publiziert wurden) sind jeweils textlich beschrieben. Im Folgenden werden diese Bereiche differenziert betrachtet:

- Mengengerüst
- Personenschäden
- Sachschäden
- Polizei- und Rechtsfolgekosten

### 13.2.1 Mengengerüst

Das Mengengerüst im Strassenverkehr nach dem Verursacherprinzip wird basierend auf Daten des ASTRA/BFS und der bfu vollständig neu berechnet (vgl. Abbildung 13-2 und Abbildung 13-6). Daraus ergeben sich neue Anteile der Verletzungsschweren, der Fahrzeugkategorien sowie der Aufteilung Nicht-Unfallverursacher – Unfallverursacher. Die Zahl der Fahrzeugkategorien wurde verfeinert (neu 14 Kategorien, bisher 11). Grundlage zur Herleitung des Verursacherprinzips bilden dabei unter Anderem neue Auswertungen zu den durchschnittlichen Besetzungsgraden pro Fahrzeug aus den Unfallstatistiken des ASTRA sowie Daten des BFS. Auch für Velos, Mofas, Motorräder, Lieferwagen und LKW's wurden Besetzungsgrade ermittelt. Damit kann deutlich besser abgebildet werden, in wie vielen Fällen bei diesen Fahrzeugen Bei- oder Mitfahrer (nicht-unfallverursachende Opfer) an Unfällen beteiligt sind.

Die Zahl der Unfälle sowie der Opfer im Schienenverkehr wird wie bisher auf Basis der Ereignisdatenbank des BAV ermittelt. Im Luftverkehr beruht das Mengengerüst im Linien- und Charterverkehr auf Unfallraten, bei den Helikoptern und in der General Aviation auf den tatsächlichen Unfällen in der Schweiz. Im Schiffsverkehr publiziert das BFS nur Unfallzahlen zum Personenverkehr, so dass der Güterverkehr aus Unfallraten abgeleitet werden musste.

### 13.2.2 Personenschäden

Bei der Berechnung der sozialen und externen Personenschäden sind methodisch die folgenden Änderungen relevant:

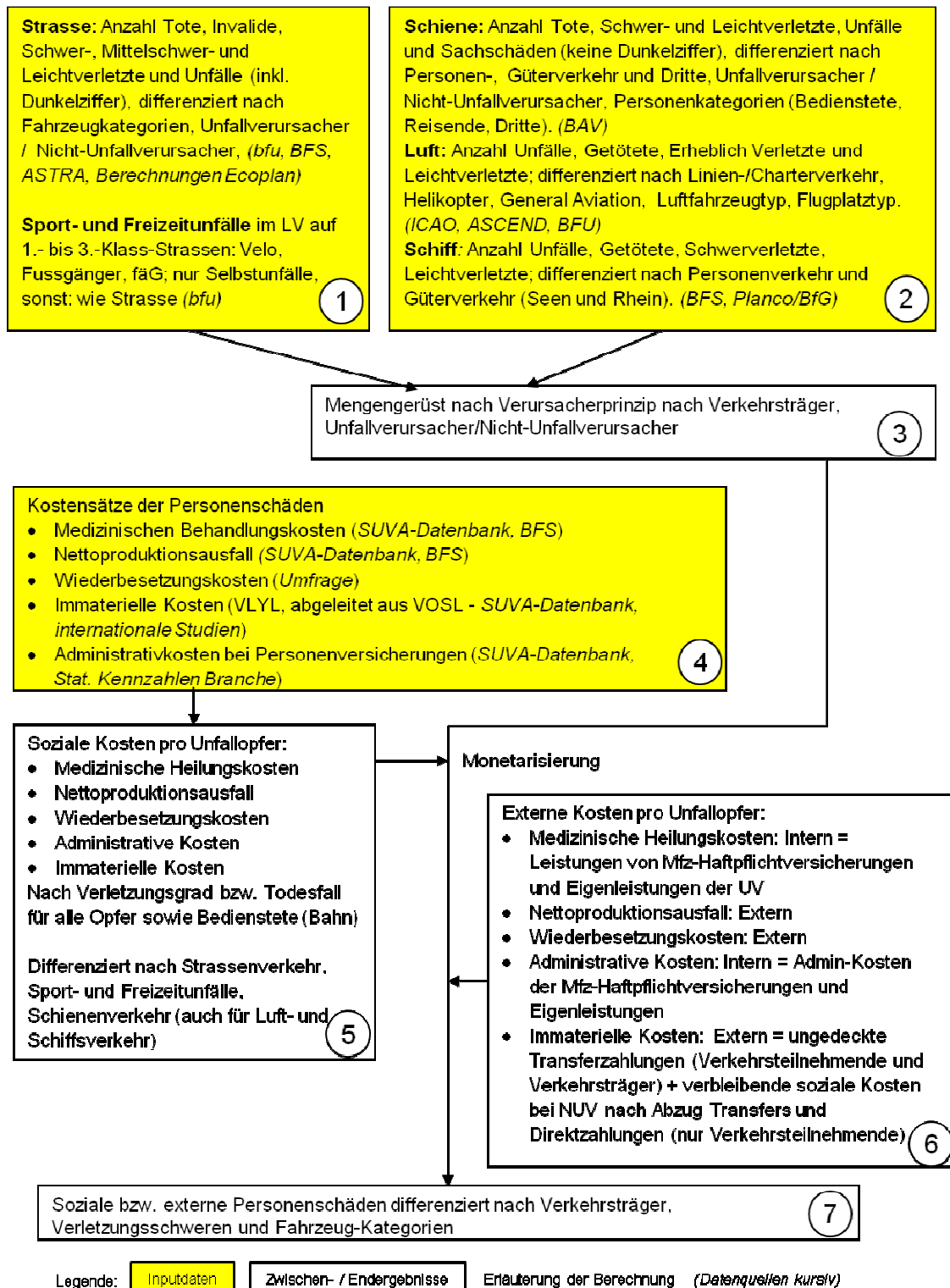
- Die Verletzungsschweren wurden teilweise neu definiert. Vor allem die Grenze zwischen Leicht- und Mittelschwerverletzten wurde deutlich nach unten verschoben, so dass es weniger Leichtverletzte und mehr Mittelschwerverletzte gibt. Die sozialen Kostensätze wurden den neuen Definitionen der Verletzungsschweren angepasst, was insbesondere bei den Leichtverletzten geringere soziale – und damit meist auch geringere externe – Kosten hervorruft. Dabei wurde berücksichtigt, dass sich die durchschnittlichen Ausfalltage aller Verletzten im Strassenverkehr seit der letztmaligen Erhebung<sup>352</sup> um rund 25% verringert haben. Bei den Leichtverletzten (im Vergleich zwischen alter und neuer Definition) gar um mehr als 50%.
- Der Anteil der externen Kosten an den Personenschäden wurde von Grund auf neu berechnet. Im Zuge dieser Neuberechnung wurden bei den immateriellen Kosten auch die Transferleistungen, die Direktzahlungen der Haftpflichtversicherungen sowie die Eigenleistungen der Verursacher neu ermittelt (vgl. hierzu die Ausführungen in Abschnitt 13.4.2).

---

<sup>352</sup> Die letztmalige Erhebung beruht auf den SUVA-Daten des Jahres 2000, die den Berechnungen der Unfallkosten für das Jahr 2003 zugrunde lagen (Ecoplan 2007, Volkswirtschaftliche Kosten der Nichtberufsunfälle in der Schweiz: Strassenverkehr, Sport, Haus und Freizeit).



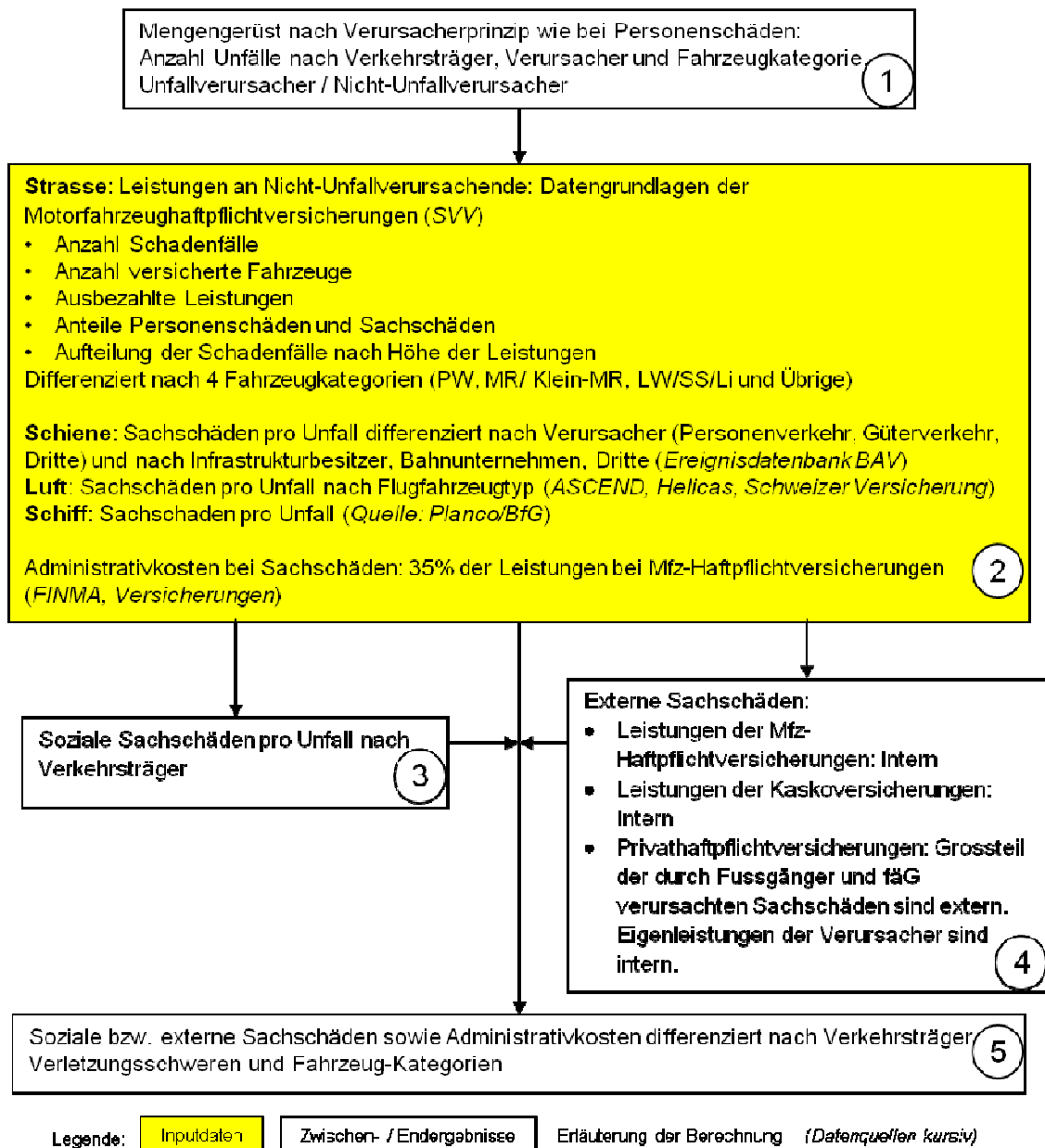
Abbildung 13-2: Methodik zur Ermittlung der Personenschäden



### 13.2.3 Sachschäden

Die folgende Abbildung zeigt die Methodik zur Herleitung der Sachschäden. Die Sachschäden wurden ebenfalls von Grund auf neu ermittelt. An der Methodik hat sich dabei nichts Grundsätzliches verändert. Einzelne erwähnenswerte Änderungen bezüglich der Annahmen sind in den folgenden Punkten zu finden:

Abbildung 13-3: Methodik zur Ermittlung der Sachschäden



- Der Langsamverkehr wird erstmals umfassend betrachtet. Dabei wird neu berücksichtigt, dass die Leistungen der Privathaftpflichtversicherungen (bei von Fussgängern und fäG verursachten Unfällen) als extern anzusehen sind (da die Versicherungsprämie nichts mit

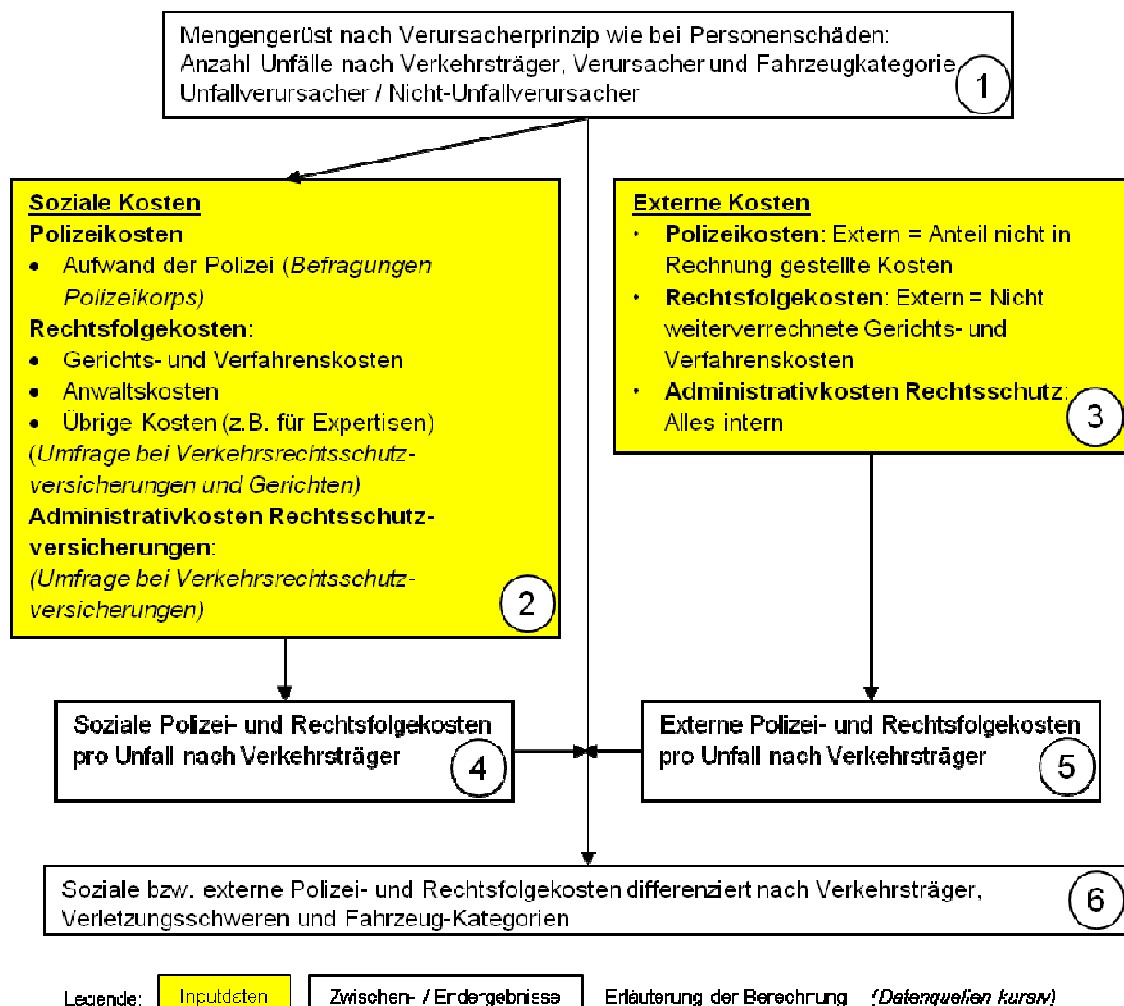
der Verkehrsteilnahme zu tun hat, vgl. Exkurs „Versicherungsleistungen als Internalisierungsbeitrag“ in Kapitel 13.4.2).

- Der Anteil der administrativen Kosten der Leistungen von Motorfahrzeug-Haftpflichtversicherungen wurde neu ermittelt und auf 35% (statt wie bisher 20%) festgelegt.

### 13.2.4 Polizei- und Rechtsfolgekosten

Die Methodik zur Ermittlung der Polizei- und Rechtsfolgekosten ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Zur Neuermittlung der Polizei- und Rechtsfolgekosten wurden aktuelle Umfragen bei kantonalen Polizeikorps sowie bei Rechtsschutzversicherungen durchgeführt. Die wenigen vorgenommenen Änderungen haben geringe Auswirkungen auf die Höhe der Kosten.

Abbildung 13-4: Methodik zur Ermittlung der Polizei- und Rechtsfolgekosten



### 13.3 Mengengerüst

Die folgenden Abschnitte beschreiben die Herleitung und die Ergebnisse zum Mengengerüst der Verkehrsträger Strassenverkehr, Schienenverkehr, Luftverkehr und Schiffsverkehr.

#### 13.3.1 Strassenverkehr

##### a) Polizeilich registrierte Unfälle auf Schweizer Strassen im Jahr 2010

Für eine Übersicht zum Unfallgeschehen 2010 auf Schweizer Strassen sind in der nachfolgenden Abbildung die polizeilich erfassten Unfälle und Unfallopfer nach dem Verursacherprinzip aufgelistet. Diese Werte basieren auf den Unfalldaten des ASTRA (Auswertung durch das BFS) und bedingen eine umfassende Auswertung der Datengrundlagen. Diese Werte bilden die Basis für alle weiteren Berechnungen zum Mengengerüst.

Abbildung 13-5: Polizeilich erfasste Unfälle und Opfer nach Fahrzeugkategorie (2010)

Verursachende Kategorie	Unfälle	Tote	Schwer- verletzte	Leicht- verletzte	Total Opfer
Personenwagen	45'736	181	2'282	13'907	16'369
Gesellschaftswagen	122	1	14	43	59
Motorrad	3'207	46	886	1'869	2'801
Mofa	498	3	96	348	447
Velo	2'271	28	606	1'532	2'166
FäG <sup>1</sup>	159	2	22	60	85
Fussgänger <sup>1</sup>	851	25	249	632	906
Bus	183	1	13	79	93
Trolley	96	0	7	75	83
Tram	55	0	8	26	34
Lieferwagen	3'131	16	149	768	933
Lastwagen	1'470	9	61	232	302
Sattelschlepper	770	6	19	100	124
Traktor, Arbeitsmaschine	371	9	46	106	161
Bahn <sup>2</sup>	8	0	0	1	1
<b>Total (ohne Bahn)</b>	<b>58'920</b>	<b>327</b>	<b>4'458</b>	<b>19'778</b>	<b>24'563</b>
<b>Total mit Bahn</b>	<b>58'928</b>	<b>327</b>	<b>4'458</b>	<b>19'779</b>	<b>24'564</b>

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis BFS/ASTRA (2013) Auswertung der polizeilich registrierten Unfälle 2010

<sup>1</sup> Nach Rücksprache mit dem BFS (Sektion Mobilität) wird davon ausgegangen, dass es sich bei Verkehrsteilnehmern der ASTRA-Kategorie „Andere“ grösstenteils um fäG handelt. Eine detaillierte Auflistung der erhobenen Ausprägungen der Kategorie „Andere“ ist jedoch nicht verfügbar. Die Zahl der Unfälle sowie der Opfer aufgrund von fäG werden aus diesem Grund wohl eher überschätzt, da die Kategorie „Andere“ höchstwahrscheinlich auch Fahrzeuge enthält, die keine fäG sind.

<sup>2</sup> Der Verursacher „Bahn“ ist in der Zusammenstellung aufgelistet. Bei der Berechnung der sozialen und externen Kosten des Verkehrsträgers Strasse werden diese Fälle jedoch nicht mitgezählt. Eine Berücksichtigung dieser Fälle würde zu einer Doppelzählung führen, da sie im Mengengerüst Schienenverkehr abgedeckt sind.

Bei gesamthaft 58'928 polizeilich erfassten Unfällen im Strassenverkehr im Jahr 2010 wurden 327 Personen getötet und rund 24'200 Personen (ca. 4'500 Schwerverletzte und rund 19'800 Leichtverletzte). In rund 42% der Todesfälle ist ein Personenwagen der Verursacher. Selten werden Todesfälle durch die „grossen“ Fahrzeuge Bus, Trolleybus, Tram sowie vom Schwerverkehr (Gesellschaftswagen<sup>353</sup>, Lastwagen und Sattelschlepper) verursacht.

## **b) Methodik zur Herleitung des gesamten Unfallgeschehens nach Verursacherprinzip**

Für die Berechnung der externen Unfallkosten ist entscheidend, wer einen Unfall verursacht hat.<sup>354</sup> Zu diesem Zweck wurde auf Basis der polizeilich erfassten Unfälle das Unfallgeschehen nach dem Verursacherprinzip berechnet. Die grundsätzlichen methodischen Fragen und Überlegungen, die sich dabei stellen, sind die folgenden:

- **Wie lässt sich das verursachende Fahrzeug eines Unfalls ermitteln?**

Im aktuellen Unfallerhebungsblatt des ASTRA, das im Jahr 2010 eingeführt wurde, besteht zwar die Möglichkeit, den mutmasslichen Unfallverursacher zu erfassen. Diese Möglichkeit wird jedoch erst ab dem Jahr 2011 von allen Kantonen genutzt. Aus diesem Grund wird wie bisher auf das Kriterium „Mängel“ bei den Fahrzeugkategorien abgestellt, um das verursachende Fahrzeug statistisch zu bestimmen.

- **In welchem Fahrzeug fallen bei einem Zusammenstoss die registrierten Opfer an?**

Bei einem Zusammenstoss zwischen einem „schweren“ und einem „leichten“ Fahrzeug fallen die Opfer hauptsächlich in der leichten Fahrzeugkategorie an.<sup>355, 356</sup> Bei den Unfällen zwischen Fahrrädern und Lastwagen wird beispielsweise davon ausgegangen, dass 95% der Toten und 90% der Verletzten bei der Kategorie „Fahrrad“ zu beklagen sind.

- **Wie lässt sich die Verteilung der Opfer auf verursachende und nicht-verursachende Opfer bestimmen?**

Es wird vereinfachend davon ausgegangen, dass die lenkende Person im mit „Mängeln“ behafteten (verursachenden) Fahrzeug der Verursacher eines Unfalls ist. Andere Insassen des verursachenden Fahrzeugs sowie Insassen des nicht-verursachenden Fahrzeugs werden jeweils als Nicht-Verursacher betrachtet. Mittels durchschnittlicher Besetzungs-

---

<sup>353</sup> Diese Werte dürften aber grossen jährlichen Schwankungen unterworfen sein, da insbesondere Unfälle mit vollbesetzten Reisecars ein grosses Potenzial an Opfern beinhalten. Im Jahr 2010 blieben diese jedoch aus.

<sup>354</sup> Die unschuldigen Opfer können ihre erlittenen Schäden teilweise mittels Regress auf den Verursacher des Unfalls (bzw. deren Haftpflichtversicherung) abwälzen, womit sie internalisieren werden. Der nicht regressierbare Teil der Schäden wird aber oft der Allgemeinheit angelastet und ist somit extern.

<sup>355</sup> Vgl. Ecoplan (2002), Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr der Schweiz 1998, S. 15-17. Mit den getroffenen Annahmen zur Verteilung der Unfallopfer können die tatsächlich beobachteten Zahlen (nach dem Monitoring-Prinzip) ziemlich genau abgebildet werden, so dass die getroffenen Annahmen gesamthaft in etwa korrekt sind. Die Annahmen wurden um die fäG erweitert, da damals noch keine separate Kategorie geführt wurde.

<sup>356</sup> In den erhobenen Daten des ASTRA sind die Verunfallten direkt einer Fahrzeugkategorie zugewiesen und es kann auch zwischen Lenker und Mitfahrer unterschieden werden. Die Auswertung dieser Angaben sowie die Verschneidung mit der Fahrzeugkategorie, deren Kombination bei Unfällen mit 2 oder mehr Beteiligten, differenziert für Todesfälle, Schwerverletzte und Leichtverletzte wäre aber gemäss Auskunft des ASTRA äusserst aufwändig, weshalb wie bisher darauf verzichtet wurde.

grade<sup>357</sup> wird die Zahl der verursachenden und nicht-verursachenden Oper bestimmt. Beispielsweise sind bei einem Besetzungsgrad von 1.5 der verursachenden Fahrzeugkategorie im Durchschnitt 0.5 Mitfahrer im verursachenden Fahrzeug (1.5 abzüglich 1 lenkende Person). Diese gelten als nicht-verursachende Opfer. Der verunfallte Lenkende des verursachenden Fahrzeugs ist der Verursacher des Unfalls und damit ein verursachendes Opfer.

- **Wie wird mit nicht registrierten Unfallopfern (Dunkelziffer) umgegangen?**

Die polizeilich nicht registrierten Unfallopfer werden aus der Hochrechnung der bfu<sup>358</sup> ermittelt. Dabei wird davon ausgegangen, dass es sich bei 90% der polizeilich nicht registrierten Opfer um Selbstunfälle handelt. Die restlichen 10% der Opfer werden gemäss den polizeilich registrierten Unfällen mit zwei Beteiligten nach dem oben berechneten Verursacherprinzip auf die Fahrzeugkategorien verteilt.

- **Welche Unfallschweren werden differenziert?**

Die bfu weist die Verletzungsschweren für den Strassenverkehr differenzierter aus als die Polizei. Es werden insgesamt fünf Unfallschweren differenziert:

- Leichtverletzt:  $\leq 30$  entschädigte Tage
- Mittelschwerer verletzt: 31 bis 90 entschädigte Tage
- Schwerverletzt:  $\geq 91$  entschädigte Tage
- Invaliditätsfälle: Unfälle mit bleibenden körperlichen Schäden, die zu einer Invalidenrente der Unfallversicherung führen (Invaliditätsgrad  $\geq 10\%$ ).
- Todesfälle: Unfallopfer sterben am Unfallort oder innerhalb von 30 Tagen an den Unfallfolgen.

Dabei ist zu beachten, dass z.B. 30 entschädigte Tage bedeuten, dass ein Unfallopfer 33 Tage ausfällt, denn die Versicherung bezahlt erst, am vierten Tag (drei sogenannte Karenztage). Diese Definition ist neu und wurde von der bfu erst kürzlich eingeführt, wird aber in Zukunft zur Anwendung kommen.

Bei allen anderen Verkehrsträgern stehen keine Zahlen der bfu zur Verfügung. Entsprechend können die Mittelschwer- und Schwerverletzten sowie die Invaliditätsfälle nicht differenziert werden. Sie werden bei den anderen Verkehrsträgern alle als „schwerer verletzt“ bezeichnet, wobei die Definition der Schwerverletzten bei den anderen Verkehrsträgern somit breiter gefasst ist als im Strassenverkehr.

---

<sup>357</sup> Die durchschnittlichen Besetzungsgrade der Fahrzeugkategorien bei Unfällen wurden aktualisiert. Dabei wurden folgende Quellen verwendet:

- Öffentlicher Verkehr: Ermittlung über Personenkilometer und Kurskilometer basierend auf BFS (2013), Fahrzeugbewegungen und Fahrleistungen im Personenverkehr und BFS (2013), Mobilität und Verkehr. Verkehrsleistung im Personenverkehr
- Gesellschaftswagen: BFS (2013), Leistungen des privaten Personenverkehrs auf der Strasse. Methodenbericht 2012.
- Übrige Fahrzeugkategorien: Spezialauswertung der ASTRA-Unfalldaten durch das BFS.

<sup>358</sup> bfu (2013), Status 2013. Statistik der Nichtberufsunfälle und der Sicherheitsniveaus in der Schweiz sowie Mail des bfu vom 25.10.2013 mit detaillierteren Daten.

- **Nach welcher geografischen Abgrenzung werden die Unfälle ausgewiesen?**

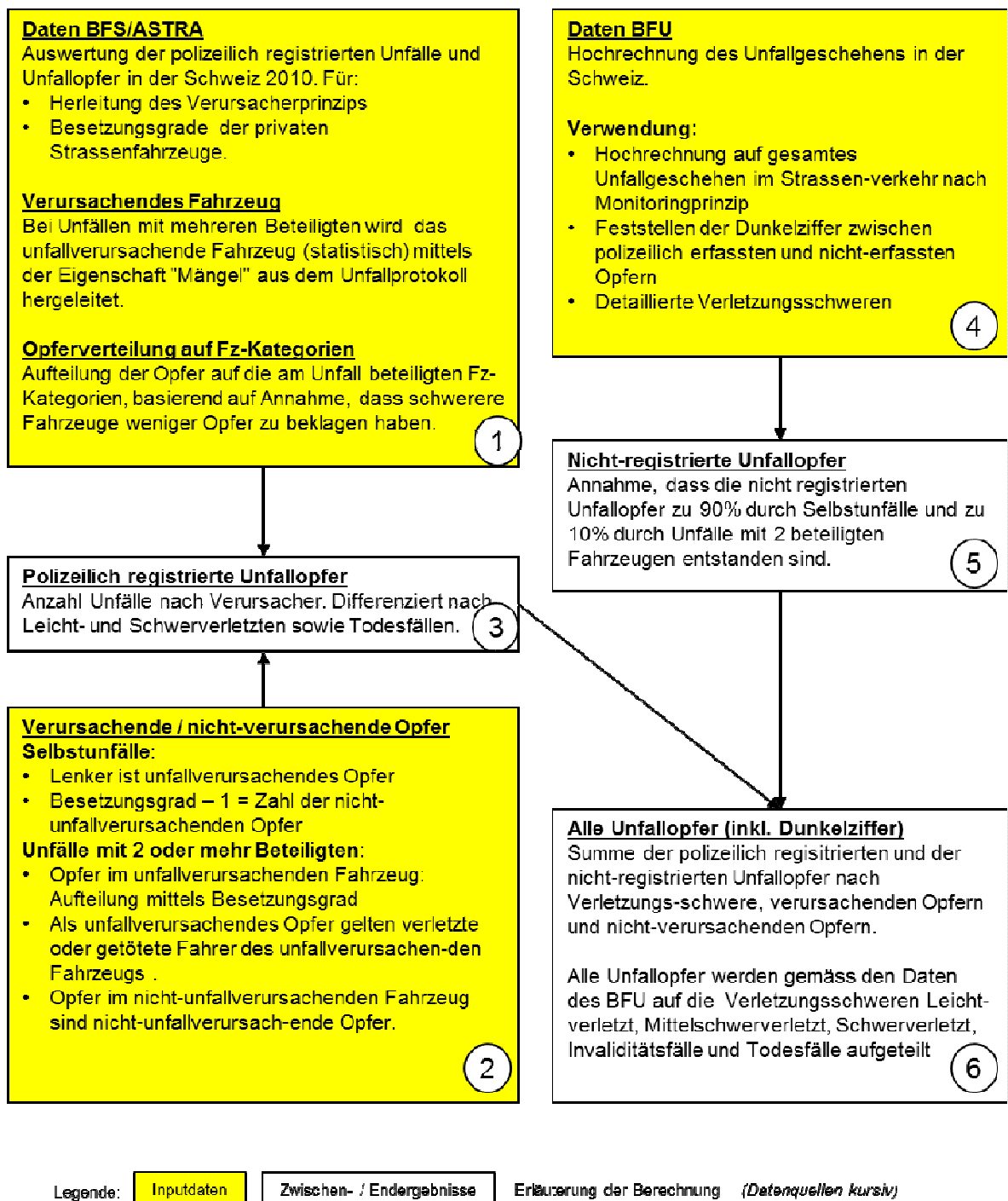
Wie in Kapitel 2.3.2 erläutert, werden die Unfälle nach dem Inländerprinzip ausgewiesen, d.h. es werden alle Unfälle von in der Schweiz wohnhaften Personen berücksichtigt, unabhängig davon, ob der Unfall in der Schweiz oder im Ausland geschieht. Aufgrund der Datengrundlagen der Unfallversicherungen kann das Territorialprinzip bei Strassenverkehrsunfällen nicht umgesetzt werden. Einzig bei den Todesfällen wird das Territorialprinzip verwendet.<sup>359</sup>

Die Methodik zur Herleitung des Verursacherprinzips sowie die verwendeten Datenquellen sind in der nachstehenden Abbildung im Detail beschrieben.

---

<sup>359</sup> Die bfu geht in ihrer Hochrechnung für den Strassenverkehr von 306 Toten aus. Die Differenz zu den Daten des BFS/ASTRA (327 Tote) ist durch die Verwendung unterschiedlicher Grundlagendaten zu erklären. Die bfu verwendet die Todesursachenstatistik (TUS), das BFS die polizeilich registrierten Unfälle. Grund für die Verwendung der TUS ist, dass die bfu neben Verkehrs- auch Sport-, Haus- und Freizeitunfälle sowie Berufsunfälle erheben muss. In der TUS gibt es "nicht näher bestimmte Umstände", wovon ein Teil Verkehrstote sein dürfte. Die polizeilich registrierten Unfälle bilden die Todesfälle im Strassenverkehr zuverlässiger ab.

Abbildung 13-6: Methodik zur Herleitung des Verursacherprinzips



Die folgende Abbildung zeigt die nach Fahrzeugkategorien verursachten Opfer nach Verletzungsschwere. Die Angaben zur Zahl der Opfer (inkl. Dunkelziffer) basieren dabei auf der Hochrechnung der bfu zum Unfallgeschehen in der Schweiz (9 Fahrzeugkategorien) und



wurden auf insgesamt 15 Fahrzeugkategorien umgelegt.<sup>360</sup> Die Ergebnisse zeigen, dass vor allem die Personenwagen und Fahrräder am meisten Unfallopfer verursachen. Bei den Todesfällen sind auch Motorräder und Fussgänger bedeutende Verursacher.

**Abbildung 13-7: Verursachte Opfer nach verursachender Fahrzeugkategorie**

Verursachende Fahrzeugkategorie	Tote	Invalide	Schwer-verletzte	Mittelschwer-verletzte	Leicht-verletzte	Total	Anteil am Total in %
Personenwagen	181	158	2'421	3'410	27'461	33'631	38.5%
Gesellschaftswagen	1	1	12	17	106	138	0.2%
Motorrad	46	75	1'145	1'614	8'244	11'123	12.7%
Mofa	3	17	259	364	2'768	3'411	3.9%
Velo	28	122	1'879	2'647	23'883	28'558	32.7%
FäG	2	4	67	94	696	863	1.0%
Fussgänger	25	39	604	851	3'597	5'116	5.9%
Bus	1	2	27	38	314	381	0.4%
Trolley	0	2	25	36	326	389	0.4%
Tram	0	1	15	22	159	197	0.2%
Lieferwagen	16	9	135	190	1'586	1'936	2.2%
Lastwagen	9	3	49	69	467	597	0.7%
Sattelschlepper	6	1	17	24	201	248	0.3%
Traktor, Arbeitsmaschine	9	4	67	94	619	793	0.9%
Bahn <sup>1</sup>	0	0	0	0	3	4	0.0%
<b>Total (ohne Bahn)</b>	<b>327</b>	<b>438</b>	<b>6'722</b>	<b>9'470</b>	<b>70'427</b>	<b>87'383</b>	<b>100%</b>
Total mit Bahn	327	438	6'722	9'470	70'430	87'387	
Anteil am Total in %	0.4%	0.5%	7.7%	10.8%	80.6%	100%	

<sup>1</sup> Der Verursacher „Bahn“ ist in der Zusammenstellung aufgelistet. Bei der Berechnung der sozialen und externen Kosten des Verkehrsträgers Strasse werden diese Fälle jedoch nicht mitgezählt. Eine Berücksichtigung dieser Fälle würde zu einer Doppelzählung führen, da sie im Mengengerüst Schienenverkehr abgedeckt sind.

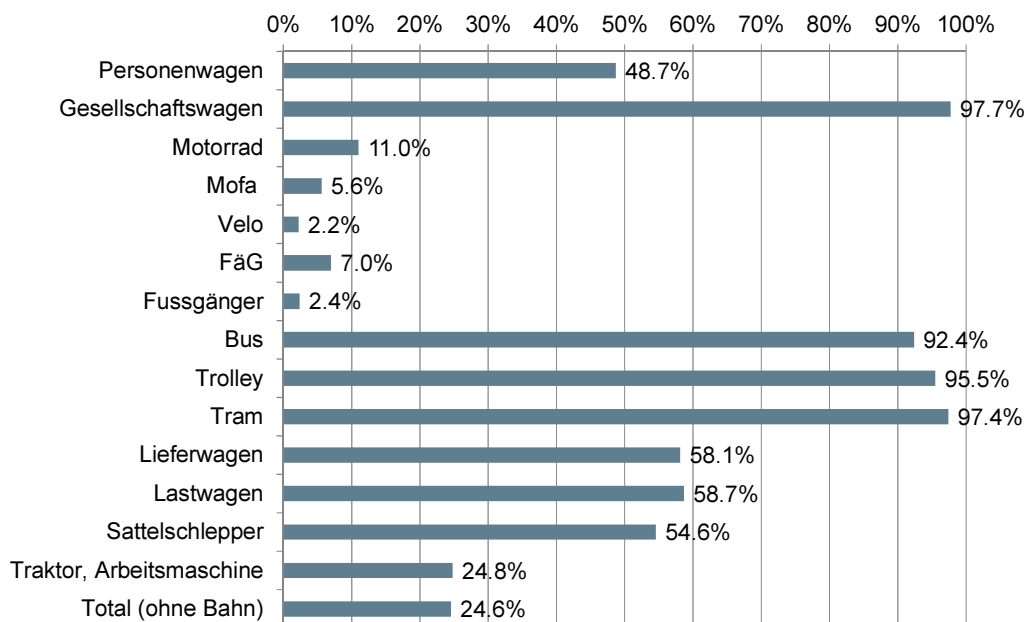
Die Abbildung 13-8 zeigt den Anteil der durch die einzelnen Fahrzeugkategorien verursachten unschuldigen, also nicht-unfallverursachenden, Opfer – die Abbildung 13-7 zeigt also, welcher Anteil der Unfallopfer in Abbildung 13-7 unschuldig am Unfall ist. Auf eine Aufteilung auf die Verletzungsschweren wird in der Abbildung verzichtet, da diese innerhalb der Fahrzeugkategorien meist sehr ähnlich sind. Zu den nicht-unfallverursachenden Opfern zählen alle Opfer im nicht-unfallverursachenden Fahrzeug sowie Mitfahrende des unfallverursachenden Fahrzeugs.

Ein verletzter oder getöteter Lenker des unfallverursachenden Fahrzeugs hingegen wird als unfallverursachendes Opfer angesehen. Die Zahl der verursachenden Opfer ergibt sich durch Subtraktion der nicht-unfallverursachenden Opfer von den gesamten verursachten Opfern.

<sup>360</sup> Die zusätzliche Differenzierung von 9 auf 15 Fahrzeugkategorien erfolgte anhand der polizeilich registrierten Unfälle.

Der Anteil der unfallverursachenden Opfer liegt bei 75.4% aller Opfer. Dieser hohe Wert liegt insbesondere am hohen Anteil der Selbstunfälle.

**Abbildung 13-8: Anteil der nicht-unfallverursachenden (unschuldigen) Opfer nach verursachender Fahrzeugkategorie**



### c) Sport und Freizeitunfälle im Langsamverkehr, welche sich auf der Strasse ereignen

Die bisher ausgewerteten Datengrundlagen zu den Strassenverkehrsunfällen können das Unfallgeschehen im Strassenverkehr nicht vollständig abbilden. Denn diese Daten enthalten nur Unfälle, in denen ein Fahrzeug involviert ist. Damit fehlen für unsere Berechnung alle Unfälle, die ohne Beteiligung von Fahrzeugen auf der Strasse geschehen. Dies sind insbesondere Selbstunfälle von Fussgängern, aber auch Unfälle mit fahrzeugähnlichen Geräten und Velos. Diese werden von der bfu im Bereich Sport (z.B. Inlineskating) und Haus und Freizeit (Stürze von Fussgängern) angesiedelt.

Im Rahmen der Arbeiten zum Langsamverkehr<sup>361</sup> wurden diese fehlenden Unfälle aus der SSUV-Datenbank erhoben (SSUV = Sammelstelle für die Statistik der Unfallversicherungen). Sie werden in der folgenden Abbildung für die Kategorien des Langsamverkehrs den bereits in der Strassenverkehrsunfallstatistik enthaltenen Unfällen gegenübergestellt. Wie die Darstellung zeigt, werden im Veloverkehr beinahe alle Unfälle im Strassenverkehr erfasst (je nach Verletzungsschwere zwischen 96% bis 100% der Unfälle), im Fussverkehr ist es jedoch

<sup>361</sup> Vgl. Ecoplan / ISPMZ (2013), Integration des Langsamverkehrs in die Transportrechnung, Kapitel 6.

beinahe umgekehrt: 81% werden bei Sport und Freizeit ausgewiesen. Grund dafür ist, dass in der Strassenverkehrsstatistik alle Unfälle im Zusammenhang mit einem Fahrzeug erfasst werden. Selbstunfälle von Velofahrenden sind also erfasst, Selbstunfälle im Fussverkehr hingegen nicht. Im Fussverkehr werden im Strassenverkehr nur Unfälle erfasst, in denen ein Fahrzeug involviert ist, d.h. Kollisionen.

Die SSUV-Datenbank erlaubt keine Differenzierung nach Unfallverursachern und Nicht-Unfallverursachern. Deshalb müssen wir die vereinfachende Annahme treffen, dass alle hier untersuchten Unfälle selbstverursacht sind.<sup>362</sup> Dies dürfte grossmehrheitlich auch zutreffen, da es sich um stolpernde Fussgänger / Jogger, Inline-Skater etc. handelt.

**Abbildung 13-9: Durch den Langsamverkehr verursachte Opfer im Strassenverkehr Opfer von Sport- und Freizeitunfällen, welche sich auf Strassen ereignen**

Anzahl Verletzte / Tote	Tote	Invaliditätsfälle	Schwer-verletzte	Mittelschwer-verletzte	Leicht-verletzte	Total
<b>Fussverkehr inkl. fäG</b>	<b>150</b>	<b>76</b>	<b>1'678</b>	<b>3'540</b>	<b>26'241</b>	<b>31'684</b>
Strassenverkehr 2010	27	44	671	945	4'293	<b>5'979</b>
Sport und Freizeit 2010	123	32	1'007	2'595	21'948	<b>25'705</b>
<b>Veloverkehr</b>	<b>28</b>	<b>122</b>	<b>1'879</b>	<b>2'721</b>	<b>24'845</b>	<b>29'594</b>
Strassenverkehr 2010	28	122	1'879	2'647	23'883	<b>28'558</b>
Sport und Freizeit 2010	-	-	-	74	962	<b>1'036</b>
<b>Total Langsamverkehr</b>	<b>178</b>	<b>198</b>	<b>3'556</b>	<b>6'260</b>	<b>51'086</b>	<b>61'278</b>
Strassenverkehr 2010	55	166	2'549	3'591	28'176	<b>34'537</b>
Sport und Freizeit 2010	123	32	1'007	2'669	22'910	<b>26'741</b>

Bei den Sport- und Freizeitunfällen auf der Strasse ist das Durchschnittsalter der Opfer wesentlich höher als im Strassenverkehr und die Verteilung der Geschlechter ist unterschiedlich. Dies muss bei der Festlegung des Wertgerüsts in Abschnitt 13.4 berücksichtigt werden.

#### d) Spezialauswertung zur Verkehrsart Schwerverkehr

Um die externen Kosten aus Sicht Verkehrsart Schwerverkehr bestimmen zu können, sind noch zusätzliche Auswertungen nötig. Insbesondere muss bestimmt werden, welcher Anteil der vom Schwerverkehr verursachten, unschuldigen Unfallopfer innerhalb bzw. ausserhalb des Schwerverkehrs anfällt. Unfallkosten innerhalb des Schwerverkehrs gelten aus Sicht Verkehrsart als interne Kosten.

Die Abbildung 13-10 zeigt die entsprechenden Auswertungen. Der Anteil der nicht-unfallverursachenden Unfallopfer innerhalb des Schwerverkehrs wird getrennt für Gesellschaftswagen, Lastwagen und Sattelschlepper erhoben und wurde zudem für Tote, Schwer-

<sup>362</sup> Vgl. Ecoplan / ISPMZ (2013), Integration des Langsamverkehrs in die Transportrechnung, S. 61.

und Leichtverletzte separat ermittelt. Hierbei fliessen die Selbstunfälle, Unfälle mit mehreren Beteiligten, aber auch die nicht polizeilich erfassten Opfer<sup>363</sup> in die Werte ein.

**Abbildung 13-10: Mengengerüst zur Berechnung der Verkehrsart Schwerverkehr**

	Gesellschafts- wagen	Lastwagen	Sattel- schlepper
<b>Tote</b>	<b>1.47</b>	<b>8.71</b>	<b>5.51</b>
Unfallverursacher	-	2.11	0.21
Nicht- Unfallverursacher	1.47	6.59	5.30
davon innerhalb Schwerverkehr	-	0.13	0.01
<b>davon innerhalb Schwerverkehr in %</b>	<b>0.0%</b>	<b>2.0%</b>	<b>0.2%</b>
<b>Schwerverletzte</b>	<b>151</b>	<b>212</b>	<b>40</b>
Unfallverursacher	122	43	20
Nicht- Unfallverursacher	29	77	20
davon innerhalb Schwerverkehr	11	7	1
<b>davon innerhalb Schwerverkehr in %</b>	<b>39.4%</b>	<b>8.6%</b>	<b>5.7%</b>
<b>Leichtverletzte</b>	<b>97</b>	<b>329</b>	<b>183</b>
Unfallverursacher	3	200	91
Nicht-Unfallverursacher	95	264	92
davon innerhalb Schwerverkehr	51	22	7
<b>davon innerhalb Schwerverkehr in %</b>	<b>54.1%</b>	<b>8.2%</b>	<b>7.6%</b>

Die Unfallopfer werden bei der Herleitung des Verursacherprinzips gemäss Annahmen auf die beteiligten Fahrzeugkategorien verteilt (vgl. Methodik zur Herleitung des Unfallgeschehens nach Verursacherprinzip). Damit entstehen Kommastellen bei den Toten und Verletzten.

Insbesondere bei den Gesellschaftswagen ist ein grosser Anteil der nicht-verursachenden Verletzten innerhalb des Schwerverkehrs zu finden. Grund dafür ist, dass die Insassen der Gesellschaftswagen als nicht-unfallverursachende innerhalb des Schwerverkehrs gelten. Durch Gesellschaftswagen verursachte Todesfälle gab es im Jahr 2010 innerhalb des Schwerverkehrs keine, was zu einem Anteil von 0% führt.<sup>364</sup>

#### e) Definitives Mengengerüst

Das zur Berechnung der sozialen und externen Unfallkosten des Strassenverkehrs verwendete Mengengerüst besteht somit aus folgenden Komponenten:

<sup>363</sup> Die polizeilich nicht erfassten Opfer werden zu 90% als Selbstunfällen betrachtet. Die Verteilung der restlichen 10% erfolgt wie oben mittels der polizeilich registrierten Unfälle mit zwei beteiligten Fahrzeugen.

<sup>364</sup> Das detaillierte Vorgehen zur Berechnung der Anteile in **Abbildung 13-10** kann anhand des Berichts Ecoplan (2012) „Vertiefung der Methodik zur Berechnung der externen Unfallkosten aus Sicht Verkehrsart“ nachvollzogen werden.

3. Strassenverkehrsunfälle und Opfer auf Basis der Hochrechnung bfu nach Verursacherprinzip (vgl. Abbildung 13-7)
4. Sport- und Freizeitunfälle auf der Strasse in den Langsamverkehrskategorien Velo, Fussgänger und fäG (vgl. Abbildung 13-9)

Die folgende Abbildung fasst das Unfallgeschehen in der Schweiz, bestehend aus den Strassenverkehrsunfällen (Punkt 1 oben) sowie den Sport- und Freizeitunfällen auf der Strasse (Punkt 2) nach dem Verursacherprinzip zusammen.

**Abbildung 13-11: Gesamtes Mengengerüst im Strassenverkehr (alle Opfer, inkl. Sport- und Freizeitunfälle auf der Strasse) nach unfallverursachenden Fahrzeugkategorien**

	Tote	Invalide	Schwer- verletzte	Mittelschwer- verletzte	Leichtverletzte	Total
Personenwagen	181	158	2'421	3'410	27'461	33'631
Gesellschaftswagen	1	1	12	17	106	138
Motorrad	46	75	1'145	1'614	8'244	11'123
Mofa	3	17	259	364	2'768	3'411
Velo	28	122	1'879	2'721	24'845	29'594
FäG	2	8	149	510	4'196	4'865
Fussgänger	148	67	1'529	3'030	22'045	26'819
Bus	1	2	27	38	314	381
Trolley	0	2	25	36	326	389
Tram	0	1	15	22	159	197
Lieferwagen	16	9	135	190	1'586	1'936
Lastwagen	9	3	49	69	467	597
Sattelschlepper	6	1	17	24	201	248
Traktor, Arbeitsmaschine	9	4	67	94	619	793
<b>Total</b>	<b>450</b>	<b>470</b>	<b>7'729</b>	<b>12'139</b>	<b>93'337</b>	<b>114'124</b>

### 13.3.2 Schienenverkehr

Das Unfallgeschehen im Schienenverkehr wird auf Basis einer detaillierten Auswertung der Ereignisdatenbank des BAV für das Jahr 2010 abgebildet. Unfälle an Bahnübergängen (Zusammenstösse mit Strassenverkehrsmitteln oder Fussgängern), die vom Schienenverkehr verursacht wurden, sind darin enthalten. Nicht berücksichtigt werden hingegen Unfälle an Bahnübergängen, die vom Strassenverkehr verursacht werden. Diese Unfälle werden im Strassenverkehr oben erfasst und dort direkt der verursachenden Fahrzeugkategorie zugeordnet.<sup>365</sup> Ausgeschlossen werden auch Suizide, da sie nicht der untersuchten Unfall-

<sup>365</sup> Die Unfälle zwischen Strassen- und Schienenverkehr werden sowohl im Strassen- als auch im Schienenverkehr erfasst. Um Doppelzählungen zu vermeiden, werden deshalb im Strassenverkehr nur die vom Strassenverkehr verursachten Unfälle berücksichtigt und im Schienenverkehr nur jene vom Schienenverkehr. Die vom jeweils anderen Verkehrsträger verursachten Unfälle werden jedoch ausgeschlossen. Die Kosten, die der eine Verkehrsträger bei einem Unfall dem anderen verursacht, sind aus Sicht Verkehrsträger als extern zu betrachten. Wie bisher wird dies in den Berechnungen jedoch nicht berücksichtigt, womit die externen Kosten leicht unterschätzt werden bzw. womit die externen Kosten aus Sicht Verkehrssystem bestimmt werden.

definition entsprechen. Als Bahnunfälle gelten Ereignisse mit Beteiligung von Eisenbahnen auf Normal- und Schmalspur.<sup>366</sup> Störungen gelten ebenfalls als Unfälle, sofern sie zu Sachschäden oder Opfern geführt haben. Im Unterschied zum Strassenverkehr ist im Schienenverkehr keine Dunkelziffer zu berücksichtigen, da im Schienenverkehr Unfälle meist mit Betriebsstörungen verbunden sind und damit erfasst werden. Trotzdem dürfte die Unfallhäufigkeit im Schienenverkehr höher sein als hier ausgewiesen, weil z.B. Stürze von Passagieren im wankenden Zug nicht immer registriert werden.

Die Zuteilung der Unfallopfer auf den Verursacher erfolgte mittels detaillierten Angaben aus den Datengrundlagen des BAV zur Unfallursache und zum betroffenen Zugtyp. Basierend auf diesen Angaben wurden die Unfälle auf die Verursacher Personenverkehr, Güterverkehr, Infrastruktur und Dritte zugewiesen. Die Unfälle und Opfer, welche durch die „Infrastruktur“ verursacht wurden, werden mittels der Zugskilometer auf den Personen- und Güterverkehr aufgeteilt.<sup>367</sup>

Die folgende Abbildung zeigt das Ergebnis der Auswertung der Personenschäden nach Verursacher, Art des Opfers und Verletzungsschwere sowie die Sachschäden.<sup>368</sup> Die Verletzungsschweren werden in der BAV-Ereignisdatenbank in die zwei Kategorien Schwerverletzte und Leichtverletzte unterteilt. Dabei ist zu beachten, dass die Definition der Leichtverletzten von der Definition der Leichtverletzten im Strassenverkehr abweicht. Während im Strassenverkehr für die Abgrenzung der Verletzungsschweren neu von den Ausfalltagen ausgegangen wird, gelten im Schienenverkehr Verletzte mit weniger als 24 Stunden Spitalaufenthalt als leichtverletzt (bis vor kurzem wurde im Strassenverkehr ebenfalls diese Definition benutzt).

Für die Berechnung der externen Kosten benötigen wir die Aufteilung der Unfallopfer auf unfallverursachend und nicht-unfallverursachend. Dabei sind wir von folgenden Annahmen ausgegangen (vgl. auch Farbgebung in Abbildung 13-12): Bei den vom Personen- oder Güterverkehr verursachten Unfällen gehen wir davon aus, dass die Opfer unschuldig sind.<sup>369</sup> Bei von Dritten verursachten Unfällen werden folgende Annahmen getroffen:

---

<sup>366</sup> Gemäss Auskunft des BAV ist es möglich, dass auch Trams auf Teilstrecken als „Schmalspur“ klassiert wurden (z.B. auf Teilstrecken des Basler Trams). Diese können nicht ausgediegt werden, was dazu führt dass die Unfälle im Schienenverkehr leicht überschätzt werden.

<sup>367</sup> Dadurch lassen sich auch die Kommastellen bzw. die Rundungsdifferenzen im Mengengerüst in **Abbildung 13-12** erklären.

<sup>368</sup> Die Ergebnisse stimmen dabei nicht mit der Unfallstatistik im Schienenverkehr des BFS (vgl. BFS 2013, Unfälle der Eisenbahnen und verunfallte Personen) überein. Das BFS geht von einer anderen Unfalldefinition aus und berücksichtigt bei Ereignissen ohne Verletzte nur Unfälle ab einem entstandenen Sachschaden von 100'000 CHF. In der vorliegenden Zusammenstellung zählen auch Ereignisse mit Sachschäden unter 100'000 CHF (Sachschaden grösser 0 CHF) als Unfall.

<sup>369</sup> Der typische Fall ist etwa ein Zusammenstoss zwischen zwei Zügen wegen eines falsch gestellten Haltesignals durch das Bahnpersonal. Weder das Fahrpersonal noch die betroffenen Zugsreisenden können in diesem Fall als unfallverursachende Opfer betrachtet werden. Es ist denkbar, dass in einigen Fällen das betroffene Opfer selbst den Unfall verursacht hat (z.B. Lokführer, welcher ein Haltesignal überfährt). Dazu stehen allerdings keine Datengrundlagen zur Verfügung, so dass auf eine detailliertere Zuordnungsannahme verzichtet werden muss.

- Bedienstete der Bahnbetriebe sind nicht-unfallverursachende Opfer
- Reisende und Dritte sind unfallverursachende Opfer

Insgesamt verursachen 152 Unfallopfer die Unfälle selbst, während 126 Unfallopfer als Nicht-Unfallverursacher zu betrachten sind.

Abbildung 13-12: Unfälle im Schienenverkehr nach Verursacher und Unfallfolgen

		Verursacher			Total
		Personenverkehr	Güterverkehr	Dritte	
<b>Getötete</b>	Reisende	1.0	-	-	1
	Bedienstete	-	2.0	-	2
	Dritte	-	-	13.0	13
	<b>Total</b>	<b>1.0</b>	<b>2.0</b>	<b>13.0</b>	<b>16</b>
<b>Schwerverletzte</b>	Reisende	8.0	-	9.0	17
	Bedienstete	0.9	8.1	-	9
	Dritte	0.9	0.1	13.0	14
	<b>Total</b>	<b>9.7</b>	<b>8.3</b>	<b>22.0</b>	<b>40</b>
<b>Leichtverletzte</b>	Reisende	68.6	1.4	102.0	172
	Bedienstete	14.2	16.8	3.0	34
	Dritte	0.9	0.1	15.0	16
	<b>Total</b>	<b>83.7</b>	<b>18.3</b>	<b>120.0</b>	<b>222</b>
<b>Total Opfer</b>		<b>94.5</b>	<b>28.5</b>	<b>155.0</b>	<b>278</b>
<b>Total Nicht-Verursacher</b>		<b>94.5</b>	<b>28.5</b>	<b>3.0</b>	<b>126</b>
<b>Total Verursacher</b>		<b>-</b>	<b>-</b>	<b>152.0</b>	<b>152</b>

Nicht-unfallverursachende Opfer
  Unfallverursachende Opfer

Sachschäden in CHF					
		Personenverkehr	Güterverkehr	Dritte	
	Infrastrukturbesitzer	6'208'959	8'846'752	858'015	15'913'726
	Bahnunternehmen	11'773'043	10'617'869	5'004'893	27'395'805
	Dritte	206'386	1'495'994	340'150	2'042'530
	<b>Total</b>	<b>18'188'388</b>	<b>20'960'615</b>	<b>6'203'058</b>	<b>45'352'061</b>
<b>Anzahl Unfälle</b>		<b>364</b>	<b>317</b>	<b>279</b>	<b>960</b>

Die durch den Personen- und Güterverkehr verursachten Sachschäden werden nicht nach Verursacher und Nicht-Verursacher aufgeteilt, da die gesamten Sachschäden prinzipiell interne Kosten sind. Bei durch Dritte verursachten Sachschäden ist hingegen ein grosser Teil der Kosten extern, da es sich bei den Verursachern oft um Privatpersonen / Fussgänger handelt. Diese Schäden sind (abgesehen vom Selbstbehalt) durch deren Privathaftpflichtversicherung gedeckt. Diese Beiträge gelten daher nicht als Internalisierungsbeitrag (vgl. Exkurs „Versicherungsleistungen als Internalisierungsbeitrag“ in Kapitel 13.4.2).

### 13.3.3 Luftverkehr

Das Mengengerüst bzw. das Unfallgeschehen im Luftverkehr wird aus dem Bericht zum Luftverkehr übernommen.<sup>370</sup> In zwei Punkten muss jedoch eine Anpassung erfolgen:

<sup>370</sup> Infrac, Ecoplan (2012), Integration des Luftverkehrs in die Transportrechnung, S. 80-86.

- Es wurde beschlossen, dass in der Transportrechnung nur die Landesflughäfen sowie die Regionalflugplätze berücksichtigt werden. Folglich sind Flugfelder und Heliports auszuschliessen.<sup>371</sup>
- Es wird nur das Halbstreckenprinzip untersucht. Im Luftverkehrsbericht wurde als Alternative auch das Territorialprinzip betrachtet.

Das angepasste Mengengerüst wird in der folgenden Abbildung dargestellt. Einige Bemerkungen dazu (für Details siehe den Luftverkehrsbericht, S. 80-86):

- Der Linien- und Charterverkehr ist mit seltenen, dann aber meist sehr gravierenden Unfallereignissen konfrontiert. Um im Zeitablauf stark schwankende Ergebnisse in den Unfallkosten zu vermeiden, wurde im Bericht zum Luftverkehr die Zahl der getöteten und verletzten Unfallopfer über Unfallraten ermittelt:
  - Bei den Todesfällen wird von Unfallraten pro 1 Mio. Abflüge ausgegangen. Diese basieren auf einer Auswertung der nicht öffentlich zugänglichen iSTARS-Datenbank für die Jahre 2000-2010. Die Auswertung der iSTARS-Datenbank der ICAO erfolgt für die EASA-Länder (European Aviation Safety Agency – EU plus Schweiz, Norwegen und Island), die gemäss BAZL einen ähnlichen Sicherheitsstandard aufweisen wie die Schweiz, da die Schweiz die Standards der EASA anwendet.
  - Für die Unfallraten der Schwerverletzten wird zusätzlich die Datenbank des englischen Unternehmens „ASCEND Aerospace Information Redefined“ verwendet. Bei den Leichtverletzten kann lediglich eine Grobschätzung erfolgen, weil dazu keine detaillierten Daten verfügbar sind.<sup>372</sup>

Basierend auf diesen Unfallraten ergeben sich folgende Kenngrössen für den Linien- und Charterverkehr im 2010: 0.67 Unfällen, 2.00 Tote, 0.37 Schwerverletzte und 0.04 Leichtverletzte.

- Die Unfälle in der General Aviation (inkl. Helikopter) werden basierend auf den tatsächlichen Daten des Jahres 2010 der BFU (Büro für Flugunfalluntersuchungen) bestimmt (wobei Unfälle auf Flugfeldern und Heliports ausgeschlossen werden).<sup>373</sup> Es mussten bei 12.5 Unfällen 2 Tote, 3.7 Schwerverletzte und 2 Leichtverletzte verzeichnet werden.
- Unfälle auf dem Flugplatz, z.B. beim Busverkehr, Gepäckverlad etc. sind in den Daten nicht enthalten, sollten im Prinzip aber berücksichtigt werden. Diese Kosten werden vernachlässigt.

---

<sup>371</sup> Ecoplan, ISPMZ (2013), Integration des Langsamverkehrs in die Transportrechnung, Anhang A.

<sup>372</sup> Die Grobschätzung beruht auf ICAO-Zahlen zur Zahl der Unfälle mit maximal Leichtverletzten. Dies ist eine deutliche Unterschätzung: Denn einerseits kann es bei einem Unfall mit Leichtverletzten mehrere Leichtverletzte geben und andererseits kann es auch bei Unfällen mit Getöteten oder erheblich Verletzten noch Leichtverletzte geben.

<sup>373</sup> Einige Helikopterunfälle die keinem Flugplatztyp zugeordnet werden konnten (Kategorie ausserhalb Flugplatz), wurden mit der Anzahl Bewegungen von Helikoptern in der Schweiz auf Landesflughäfen und Regionalflugplätze (zusammen 36.5%) und Übrige verteilt.



Abbildung 13-13: Unfallgeschehen im Luftverkehr im Jahr 2010

<b>Differenzierung nach Verkehrsart</b>							
		Linien- und Charterverkehr interkontinental	Linien- und Charterverkehr europäisch	Helikopter	General Aviation (bzw.	<b>Total</b>	
Getötete	Fluggäste	0.18	1.55	-	-	<b>1.73</b>	
	Besatzung	0.02	0.19	-	2	<b>2.21</b>	
	Dritte	0.01	0.05	-	-	<b>0.06</b>	
	<b>Total</b>	<b>0.21</b>	<b>1.80</b>	-	<b>2</b>	<b>4.00</b>	
Erheblich Verletzte	Fluggäste	0.03	0.29	-	1	<b>1.32</b>	
	Besatzung	0.00	0.04	-	1	<b>1.04</b>	
	Dritte	0.00	0.01	1.73	-	<b>1.74</b>	
	<b>Total</b>	<b>0.04</b>	<b>0.33</b>	<b>1.73</b>	<b>2</b>	<b>4.10</b>	
Leichtverletzte	Fluggäste	0.00	0.03	-	-	<b>0.03</b>	
	Besatzung	0.00	0.00	-	2	<b>2.00</b>	
	Dritte	0.00	0.00	-	-	<b>0.00</b>	
	<b>Total</b>	<b>0.00</b>	<b>0.03</b>	-	<b>2</b>	<b>2.04</b>	
Anzahl Unfälle	<b>Total</b>	<b>0.07</b>	<b>0.60</b>	<b>6.46</b>	<b>6</b>	<b>13.13</b>	
<b>Differenzierung nach Luftfahrzeugtyp</b>							
		Flugzeuge bis 2250 kg MTOM	Flugzeuge von 2250 bis 5700 kg MTOM	Flugzeuge mehr als 5700 kg MTOM	Helikopter	Motorsegler, Segelflug- zeuge	<b>Total</b>
Getötete		-	2	2.00	-	-	<b>4.00</b>
Erheblich Verletzte		-	2	0.37	2	-	<b>4.10</b>
Leichtverletzte		1	1	0.04	-	-	<b>2.04</b>
Anzahl Unfälle		3	3	0.67	6	-	<b>13.13</b>
<b>Differenzierung nach Flugplatztyp</b>							
		Landes- flughäfen	Regional- flugplätze	Ausserhalb Flugplatz		<b>Total</b>	
Getötete		2.00	2.00	-		<b>4.00</b>	
Erheblich Verletzte		1.37	2.00	0.73		<b>4.10</b>	
Leichtverletzte		0.04	2.00	-		<b>2.04</b>	
Anzahl Unfälle		4.67	7.00	1.46		<b>13.13</b>	

MTOM = Maximum Take Off Mass (maximales Abfluggewicht)

- Für die Berechnung der externen Kosten ist es entscheidend, ob das Opfer eines Unfalls den Unfall selbst verursacht hat oder nicht. Hat das Opfer den Unfall nicht selbst verursacht, muss meist die Versicherung des Verursachers mindestens einen Teil der Kosten übernehmen, womit die Kosten internalisiert werden. Zum Verursacher liegen jedoch keine Daten vor, deshalb werden folgende Annahmen getroffen:
  - Ist das Unfallopfer ein Fluggast oder ein Dritter<sup>374</sup> kann davon ausgegangen werden, dass sie den Unfall nicht verursacht haben.
  - Im Linien- und Charterverkehr wird unterstellt, dass auch Unfallopfer aus der Besatzung nicht Verursacher des Unfalls sind.

<sup>374</sup> Dritte sind nicht im Luftfahrzeug, meist sind es Personen, die von Herabfallendem getroffen werden, z.B. auf Baustellen bei Baumaterialtransporten mit Helikopter.

- In der General Aviation (inkl. Helikopter) wird angenommen, dass die Besatzung Unfallverursacher ist. Im Rahmen einer Sensitivität wird untersucht, wie stark die Kosten sinken würden, wenn die Besatzung die Unfälle nicht verursachen würde.
- Damit sind 2 der 4 Todesopfer Unfallverursacher, 1 der 4 erheblich Verletzten und die beiden Leichtverletzten.

### 13.3.4 Schiffsverkehr

Im Schiffsverkehr treten im Personenverkehr praktisch keine Unfälle auf. Im Durchschnitt der letzten 5 Jahre (2008 – 2012) ereigneten sich 0.8 Unfälle pro Jahr mit 0.6 Verletzten und ohne Todesfälle (vgl. folgende Abbildung).<sup>375</sup> Im Güterverkehr stellen weder das BFS noch die SUVA verwendbare Angaben zur Verfügung.<sup>376</sup> Deshalb wird auf eine deutsche Studie von Planco zurückgegriffen, die spezifisch auf die Binnenschifffahrt (und deren Vergleich mit anderen Verkehrsträgern) ausgerichtet war und die für die Schifffahrt auf dem Rhein gut geeignet sein dürfte.<sup>377</sup> Dort werden Unfallraten pro Milliarde tkm angegeben (basierend auf Daten 2000 – 2005). Werden diese mit den Verkehrsleistungen des Güterverkehrs ausmultipliziert (knapp 2 Mrd. tkm nach Halbstreckenprinzip), so ergeben sich für das Jahr 2010 insgesamt 20 Unfälle, 0.75 Leichtverletzte, 0.26 Schwerverletzte und 0.08 Getötete. Aufgrund fehlender Datengrundlagen wird angenommen, dass es sich bei den Unfallopfern nicht um den Unfallverursacher handelt, da bei grossen Schiffen Verursacher (z.B. Steuermann) und Unfallopfer (z.B. Matrose) meist nicht identisch sein dürften. Im Vergleich zu den anderen Verkehrsträgern kann der Schiffsverkehr als sehr sicher bezeichnet werden.

**Abbildung 13-14: Unfallgeschehen im Schiffsverkehr im Jahr 2010**

	Unfälle	Leichtverletzte	Schwerverletzte	Getötete
Personenverkehr	0.8	0.45	0.153	-
Güterverkehr Seen	0.4	0.01	0.005	0.001
Güterverkehr Rhein (Basel abwärts)	19.8	0.74	0.254	0.078
<b>Total</b>	<b>21.0</b>	<b>1.20</b>	<b>0.412</b>	<b>0.080</b>

<sup>375</sup> BFS (2013), Unfälle nach Verkehrsträgern. Für die Aufteilung der Verletzten auf Leicht- und Schwerverletzte wird die Aufteilung im Schiffs-Güterverkehr verwendet.

<sup>376</sup> Die SUVA kann zwar Daten zu den Unfällen im Güterschiffsverkehr bereitstellen, doch handelt es sich dabei um Unfälle von Mitarbeitern, die bei einem Betrieb angestellt sind, der in der Schweiz versichert ist. Bei den rapportierten Unfällen handelt es sich jedoch gemäss SUVA hauptsächlich um Unfälle im Ausland – sowohl auf dem Rhein, als auch auf dem Meer. Diese Daten können somit für die Transportrechnung Schiffsverkehr nicht verwendet werden.

<sup>377</sup> Planco und BfG (2007), Verkehrswissenschaftlicher und ökologischer Vergleich der Verkehrsträger Strasse, Schiene und Wasserstrasse, S. 140.

## 13.4 Wertgerüst

Das Kapitel zum Wertgerüst ist wie folgt gegliedert:

- Die sozialen Kostensätze für Personenschäden (medizinische Heilungskosten, Nettoproduktionsausfall, Wiederbesetzungskosten, administrative Kosten und immaterielle Kosten), die auf Arbeiten für die bfu beruhen, werden zuerst diskutiert (Kapitel 13.4.1).
- Anschliessend wird für alle fünf Kostenbereiche der Personenschäden neu ermittelt, wie hoch der Anteil der externen Kosten ist (Kapitel 13.4.2 und 13.4.3) – dies ist insbesondere bei den immateriellen Kosten aufwendig (Kapitel 13.4.2).
- Schliesslich werden auch die sozialen und externen Sachschäden, Polizei- und Rechtsfolgekosten sowie die Administrativkosten der Versicherungen basierend auf diversen Umfragen bei der Polizei, bei Versicherungen, Gerichten etc. aktualisiert (Kapitel 13.4.4 bis 13.4.7).
- Kapitel 13.4.8 fasst die verwendeten Kostensätze zusammen.

Bei allen Kostenbestandteilen beziehen sich die Ausführungen auf den Strassen- und Schienenverkehr. Für den Luft- und Schiffsverkehr werden – sofern nicht separat aufgeführt – die gleichen Werte verwendet wie im Schienenverkehr.

### 13.4.1 Soziale Kostensätze für Personenschäden

Die sozialen Kostensätze für Personenschäden (medizinische Heilungskosten, Nettoproduktionsausfall, Wiederbesetzungskosten, administrative Kosten und immaterielle Kosten) beruhen auf einer noch nicht publizierten bfu-Studie: Parallel zum vorliegende Projekt ist die bfu daran, die volkswirtschaftlichen Kosten der Nichtberufsunfälle in der Schweiz<sup>378</sup> auf das Jahr 2010 aufzudatieren. So wurden die Kostensätze für Personenschäden umfassend neu erhoben (basierend auf einer Auswertung der SUVA-Datenbank<sup>379</sup> sowie vieler weiterer Daten des BFS etc.).

Die Berechnungen für die bfu werden nach dem Monitoring-Prinzip durchgeführt, nicht nach dem hier verwendeten Verursacherprinzip.<sup>380</sup> Deshalb können die Ergebnisse für die bfu – insbesondere die Aufteilung auf die Fahrzeugkategorien – nicht direkt übernommen werden. Stattdessen werden durchschnittliche Kostensätze für den gesamten Strassenverkehr berechnet und hier verwendet (vgl. Abbildung 13-15). Diese Kostensätze können wie folgt kommentiert werden:<sup>381</sup>

---

<sup>378</sup> Ecoplan (2007), Volkswirtschaftliche Kosten der Nichtberufsunfälle in der Schweiz in der Schweiz.

<sup>379</sup> Die SUVA (= Schweizerische Unfallversicherungsanstalt) ist bezüglich Anzahl versicherter Personen die wichtigste Unfallversicherung der Schweiz. Die Auswertung der SUVA-Daten erfolgte für das Unfalljahr Jahr 2008 (mit Kostenstand 2012), da die Daten für das Unfalljahr 2010 die Zahl und die Kosten der Invaliditätsfälle deutlich unterschätzen würde, da es oft Jahre dauert bis geklärt ist, ob ein Unfallopfer invalid ist oder nur schwerverletzt.

<sup>380</sup> Zur Erläuterung der beiden Prinzipien vgl. die Ausführungen in Abschnitt 13.1.

<sup>381</sup> Eine detaillierte Beschreibung der Methodik wird von der bfu 2014 publiziert werden.

- Entscheidend für die Höhe der Kostensätze nach Verletzungsschwere ist insbesondere die **Definition der Verletzungsschwere**. Die bfu hat wie oben erläutert die verwendeten Definitionen angepasst. Dies führt insbesondere dazu, dass gemäss neuer Definition die Leichtverletzten deutlich weniger schwer verletzt sind als gemäss bisheriger Definition. Dies zeigt sich z.B. daran, dass die durchschnittliche Zahl der Ausfalltage der Leichtverletzten neu nur noch 6.3 Tage beträgt (statt 15.8 Tage wie bisher). Hingegen sind die Schwerverletzten gemäss neuer Definition etwas schwerer verletzt als bisher (257 Ausfalltage versus 231 bisher). Entsprechend sind die Kostensätze für die Leichtverletzten tiefer als bisher und diejenigen der Schwerverletzten tendenziell höher.
- **Medizinische Heilungskosten**: Aus den Daten der SUVA können die durch die Unfallversicherungen bezahlten medizinischen Heilungskosten ausgewertet werden. Diese decken jedoch bei den Spitalkosten nicht die gesamten Heilungskosten. Nicht enthalten sind insbesondere die Beiträge der öffentlichen Hand an Spitäler sowie die Kosten der Privat- und Halbprivatabteilung. Die gesamten medizinischen Heilungskosten müssen deshalb hochgerechnet werden. Die Hochrechnung erfolgt aufgrund neuer Datengrundlagen, führt aber in etwa zu demselben Hochrechnungsfaktor wie bisher.
- Der **Nettoproduktionsausfall** beruht auf denselben Kostensätzen wie bei den Gesundheitskosten durch Luft- und Lärmbelastung (14'700 CHF pro Jahr bzw. 40 CHF pro Tag, vgl. Kapitel 3.4.3 und 8.4.2c). Dieser Produktionsausfall wurde mit der Zahl der Ausfalltage aus der Auswertung der SUVA-Daten multipliziert. Bei den Todesfällen wurde das genaue Todesalter der Unfallopfer berücksichtigt und aufgrund der Sterbewahrscheinlichkeiten und der Erwerbsquote (beide nach 1-Jahres-Altersklassen) der abdiskontierte Nettoproduktionsausfall bestimmt. Dabei erfolgt eine spezielle Berechnung für die Sport- und Freizeitunfälle auf der Strasse, da das Durchschnittsalter dieser Todesopfer deutlich höher ist und damit der Kostensatz tiefer. Eine analoge Berechnung nach 1-Jahres-Altersklassen erfolgt auch bei den Invaliditätsfällen.
- Bei den **Wiederbesetzungskosten** wird exakt von denselben Kostensätzen ausgegangen wie bei den Gesundheitskosten der Luftverschmutzung bzw. des Lärms (38'350 CHF für erwerbstätige Männer bzw. 30'560 CHF für Frauen (vgl. Kapitel 3.4.4 und 8.4.2d). Zudem werden das Alter bei Tod bzw. Invalidität sowie die Erwerbsquote nach 1-Jahresaltersklassen und Geschlecht berücksichtigt.
- Bei den **administrativen Kosten** von Unfallversicherung, Krankenversicherungen, Invalidenversicherung (IV) sowie Alters- und Hinterlassenenversicherung (AHV) gehen wir von den Sozialleistungen dieser Versicherungen gemäss SUVA-Datenbank aus. Mit dem Anteil der Administrativkosten an den Sozialleistungen (Transferleistungen) der verschiedenen Versicherungen (0.4% bei AHV bis 13.1% bei den Unfallversicherungen gemäss BSV<sup>382</sup>) können die Administrativkosten abgeschätzt werden. Zu den administrativen Kosten der Personenversicherungen werden auch die administrativen Kosten der Motorfahrzeug-Haftpflichtversicherungen bei Leistungen aufgrund von Personenschäden gezählt.

---

<sup>382</sup> BSV (2012), Schweizerische Sozialversicherungsstatistik 2012.

- Für die Bewertung der **immateriellen Kosten** von verlorenen Lebensjahren wird der VLYL (value of life year lost) verwendet. Dieser beträgt – wie in Kapitel 3.4.5a) erläutert – 99'900 CHF.<sup>383</sup> Zudem werden Geschlecht, Alter sowie Überlebenswahrscheinlichkeiten nach 1-Jahres-Altersklassen berücksichtigt. Bei den Invaliditätsfällen wird dasselbe Vorgehen wie bei den Todesfällen gewählt, wobei der Kostensatz mit dem durchschnittlichen Invaliditätsgrad von 37.3% multipliziert wird (dies entspricht in etwa auch dem Ergebnis von diversen Zahlungsbereitschaftsstudien). Bei den Leicht- bis Schwerverletzten verwenden wir die Zahl der Ausfalltage für die Festlegung der Kostensätze. Dabei benutzen wir als „Anker“ die durchschnittlichen Ausfalltage eines Leichtverletzten nach bisheriger Definition (weniger als 24h Spitalaufenthalt): Gemäss diversen Zahlungsbereitschaftsstudien beträgt der Kostensatz für Leichtverletzte ca. 1% des VOSL (value of statistical life) oder 34'000 CHF. Damit gilt 15.8 Ausfalltage = 34'000 CHF. Mit diesem „Anker“ und der Zahl der Ausfalltage nach den neuen Verletzungsschweren aus der SUVA-Datenbank (Leichtverletzte 6.3 Ausfalltage, Mittelschwerverletzte 54 Ausfalltage und Schwerverletzte 257 Ausfalltage) können die Kostensätze in Abbildung 13-15 bestimmt werden.

In der folgenden Abbildung 13-15 werden die Kostensätze pro verunfallte Person angegeben. Die für den **Strassenverkehr** berechneten sozialen Kosten pro Unfallopfer sind in der Abbildung im ersten, oberen Teil eingetragen. Für die anderen Verkehrsträger bzw. für Sport und Freizeitunfälle folgenden die Angaben in je separaten Teilen:

- **Sport- und Freizeitunfälle:** Bei Sport- und Freizeitunfällen auf der Strasse sind die erfassten Todesfälle sowie Invaliditätsfälle im Durchschnitt wesentlich älter als im Strassenverkehr. Auch die Verteilung der Geschlechter (Mann / Frau) ist nicht mit dem Strassenverkehr kongruent. Daher werden für diese Verletzungsschweren eigene Kostensätze verwendet, die aber nach der analogen Methodik wie im Strassenverkehr bestimmt werden.
- **Schienen-, Luft- und Schiffsverkehr:** Im Schienen-, Luft- und Schiffsverkehr werden andere Definitionen für Schwer- und Leichtverletzt verwendet als im Strassenverkehr. Daher wurden für diese beiden Verletzungsschweren eigene Kostensätze berechnet. Insbesondere sind die Leichtverletzten im Schienen-, Luft- und Schiffsverkehr durchschnittlich deutlich schwerer verletzt als im Strassenverkehr.
- **Nur Schienenverkehr (Bedienstete):** Im Schienenverkehr liegen zu den Unfallopfern zusätzliche Informationen zu deren Erwerbstätigkeit vor. Bei den Bediensteten handelt es sich mit Sicherheit um Angestellte der Bahnunternehmen. Bei den übrigen Opfern im Schienenverkehr (Reisende, Dritte) liegen keine Informationen zu deren Erwerbstätigkeit vor. Für diese gelten daher die unter „Schienen- und Luftverkehr“ angegebenen Kostensätze.

---

<sup>383</sup> Wie bisher wird darauf verzichtet, eine Anpassung des VLYL an den Gesundheitszustand der betroffenen Personen und an den Risikokontext vorzunehmen (tendenziell höhere Werte für Unfälle im Schienen-, Luft und Schiffsverkehr als für Strassenverkehrsunfälle, da man im Strassenverkehr das Risiko besser selbst kontrollieren kann).

Wie zu erwarten ist, nehmen die Kosten für die Personenschäden jeweils mit der Verletzungsschwere zu. Für eine leichtverletzte Person betragen die Kosten im Strassenverkehr 15'300 (in den bisherigen Berechnungen für das Jahr 2005 waren es 33'500 CHF<sup>384</sup>), für eine Mittelschwerverletzte bereits gut 130'000 CHF (bisher 120'000 CHF) und für einen Schwerverletzten muss mit Kosten von 608'000 CHF (bisher 528'000 CHF) gerechnet werden. Die entsprechenden Werte für Invaliditäts- und Todesfälle belaufen sich auf 1.412 Mio. CHF (bisher 1.279 Mio. CHF) bzw. 2.942 Mio. CHF (bisher 3.191 Mio. CHF).

Die Anteile der verschiedenen Kostenarten variieren stark je nach Verletzungsschwere. Die medizinischen Heilungskosten sind bei den Todesfällen am unbedeutendsten (0.4%). Bei den Invaliditätsfällen machen sie jedoch rund 17% der sozialen Kosten aus und bei den Leicht- bis Schwerverletzten liegt deren Anteil bei 7 bis 9%.

Der grösste Teil der sozialen Personenschäden entsteht durch die immateriellen Kosten. Bei Invaliditätsfällen liegt deren Anteil bei rund 70%. Bei den übrigen Verletzungsschweren liegt der Anteil in der Bandbreite von 89% (Leichtverletzte) bis 92% (Todesfälle).

**Abbildung 13-15: Soziale Kostensätze pro Unfallopfer**

	Medizinische Heilungskosten	Nettoproduktionsausfall	Wiederbesetzungskosten	Administrative Kosten	Immaterielle Kosten	Total
<b>Strassenverkehr</b>						
Tote	11'654	184'639	19'438	27'381	2'699'111	<b>2'942'223</b>
Invaliditätsfälle	239'492	81'810	21'245	83'550	986'707	<b>1'412'804</b>
Schwerverletzte	43'066	5'999	-	5'487	554'149	<b>608'702</b>
Mittelschwerverletzte	8'595	1'411	-	1'131	118'989	<b>130'125</b>
Leichtverletzte	1'394	157	-	127	13'599	<b>15'277</b>
<b>Sport- und Freizeitunfälle</b>						
Tote	11'654	11'770	2'323	27'748	793'162	<b>846'658</b>
Invaliditätsfälle	239'492	19'640	2'536	84'672	292'762	<b>639'102</b>
Leicht- bis Schwerverletzte		wie im Strassenverkehr				
<b>Schienen-, Luft- und Schiffsverkehr</b>						
Tote		wie im Strassenverkehr				
Schwerverletzte	37'504	7'095	786	6'753	408'233	<b>460'372</b>
Leichtverletzte	1'394	157	-	127	33'997	<b>35'675</b>
<b>Nur Schienenverkehr (Bedienstete)</b>						
Tote	11'654	323'009	36'441	42'370	3'326'543	<b>3'740'018</b>
Schwerverletzte	37'504	12'140	1'357	9'304	417'193	<b>477'498</b>
Leichtverletzte	1'394	258	-	158	33'997	<b>35'807</b>

<sup>384</sup> Die Abnahme der Kosten bei den Leichtverletzten ist auf die erwähnte neue Definition der Verletzungsschwere Leichtverletzt zurückzuführen.

### 13.4.2 Externe immaterielle Kosten

#### a) Genereller Überblick

Bevor wir in den folgenden Abschnitten den externen Anteil an den immateriellen Kosten im Detail herleiten, wird nachstehend anhand der Abbildung 13-16 ein Überblick über den Berechnungshergang gegeben. Zentral für das Verständnis des externen Anteils an den immateriellen Kosten sind folgende Punkte:

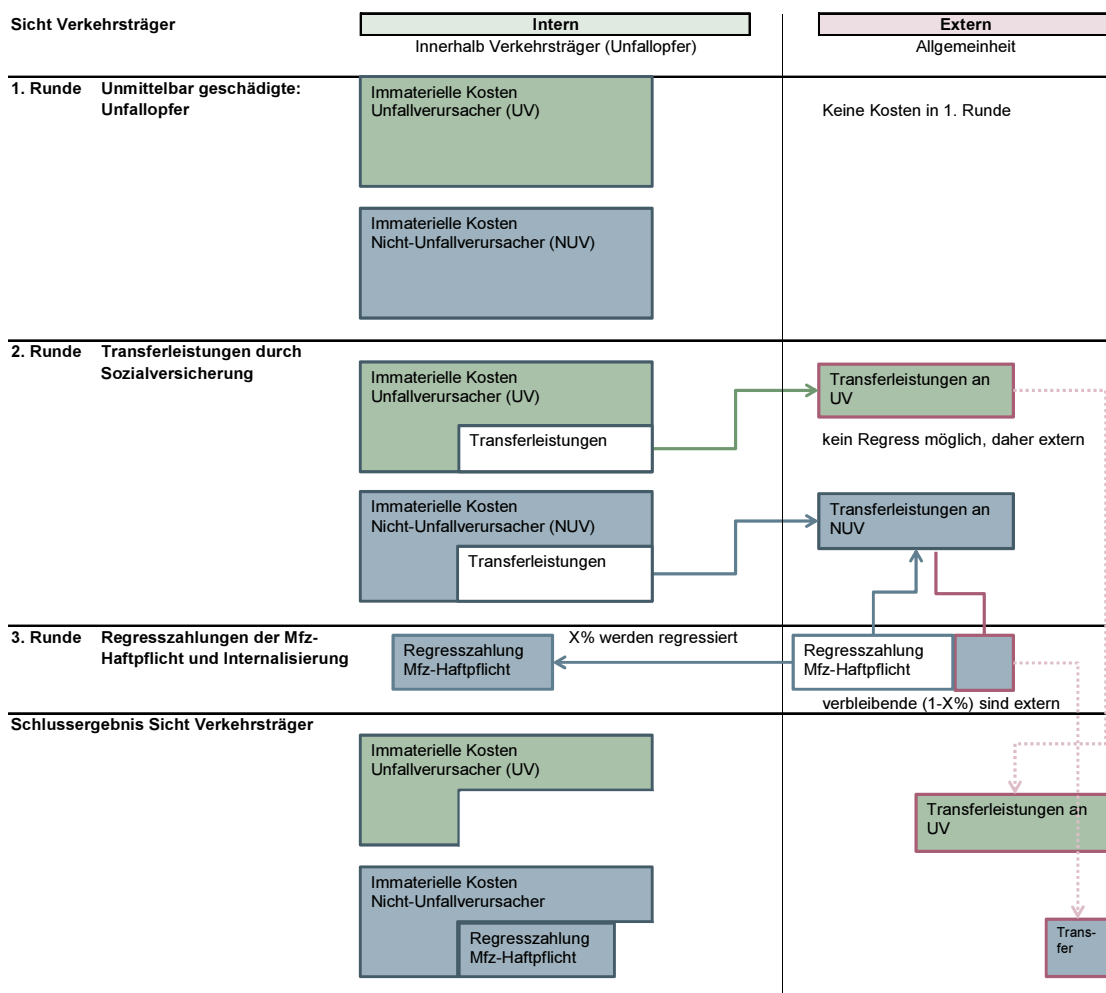
- **Ausgangspunkt:** Die immateriellen Kosten werden – wie im vorangehenden Abschnitt erläutert – über eine Zahlungsbereitschaft zur Verminderung des Unfallrisikos erhoben. Die geäußerte Zahlungsbereitschaft umfasst dabei nicht nur Leid und Schmerz, sondern auch den Verlust an Lebensfreude durch den eingeschränkten Konsum bei reduziertem Arbeitseinkommen als Folge von Invalidität, temporärer Arbeitsunfähigkeit oder des vollständigen Ausfalls bei Todesfällen (vgl. hierzu auch die Abbildung 3-9, S. 141).
- **Runde 1 – Unmittelbar geschädigtes Unfallopfer** (vgl. Abbildung 13-16): Unmittelbar betroffen von den immateriellen Kosten sind die Unfallopfer, unabhängig davon, ob sie selbst den Unfall verursacht haben oder nicht. In dieser ersten „Betrachtungsrunde“ stehen daher die immateriellen Kosten der unfallverursachenden wie auch der nicht-unfallverursachenden Opfer vollumfänglich auf der linken Seite der Abbildung und stellen aus Sicht Verkehrsträger vorerst interne Kosten dar, weil sie von den Verkehrsteilnehmenden getragen werden und davon die Allgemeinheit nicht betroffen ist.
- **Runde 2 – Berücksichtigung der Transferleistungen** von Unfall- und Sozialversicherungen: Die Betroffenheit der Allgemeinheit ergibt sich erst in einer zweiten Betrachtungsrunde durch die Transferleistungen an die Unfallopfer. Konkret erhalten die Unfallopfer im heutigen Versicherungssystem für einen Teil der immateriellen Kosten – nämlich für den Arbeitsausfall bzw. die reduzierten Konsummöglichkeiten – entsprechende Rentenzahlungen. Diese Renten- bzw. Transferleistungen durch Unfall-, Kranken- und Sozialversicherungen führen dazu, dass Teile der immateriellen Kosten in der Abbildung 13-16 von der linken Seite (intern) auf die rechte Seite zur Allgemeinheit verschoben werden und daher extern werden.<sup>385</sup>
- **Runde 3 – Berücksichtigung der Regresszahlungen** der Motorfahrzeug-Haftpflichtversicherung (Mfz-Haftpflicht): In der dritten Betrachtungsrunde gilt es zusätzlich die Regressleistungen der Unfallverursacher zu berücksichtigen. Die Unfall-, Kranken- und Sozialversicherungen nehmen für die geleisteten Zahlungen an die Unfallopfer wenn immer möglich Regress auf die Unfallverursacher bzw. ihre Motorfahrzeug-Haftpflichtversicherungen. Wie in der Abbildung 13-16 dargestellt, wird in der Folge ein Teil der an die nicht-unfallverursachenden Opfer geleisteten Transferleistungen von der rechten Seite (extern) zurück auf die Verkehrsteilnehmenden (bzw. Unfallverursacher) verschoben. Der Anteil

---

<sup>385</sup> Weshalb die Transferleistungen von Unfall-, Kranken- und Sozialversicherungen an die Unfallopfer als extern zu betrachten sind, allfällige Haftpflichtleistungen von Motorfahrzeug-Haftpflichtversicherungen aber nicht, wird im Exkurs „Versicherungsleistungen als Internalisierungsbeitrag“ (vgl. S. 361) ausführlich erläutert.

- der regressierten Transferleistungen wird somit wieder intern, weil die Kosten von den Unfallverursachenden getragen werden.
- Schlussergebnis Sicht Verkehrsträger:** Als abschliessender externer Teil verbleiben somit aus Sicht Verkehrsträger die in der Abbildung auf der rechten Seite rot eingerahmten Transferleistungen, welche nicht auf die Unfallverursacher regressiert werden können. Die übrigen immateriellen Kosten sind intern und verbleiben auf der linken Seite der Abbildung. Wie diese internen Kosten auf die Unfallverursacher und die allenfalls unschuldigen Unfallopfer verteilt sind, ist aus Sicht Verkehrsträger nicht weiter von Interesse; wichtig ist einzig, dass sie von den Verkehrsteilnehmenden getragen werden und nicht von der Allgemeinheit zu finanzieren sind.

**Abbildung 13-16: Berechnungshergang zur Bestimmung des externen Anteils der immateriellen Kosten im Unfallbereich (Sicht Verkehrsträger)**



Zusammenfassend zeigt sich, dass im Unfallbereich für die Bestimmung des externen Anteils an den immateriellen Kosten mehrere Stufen zu berücksichtigen sind. Erst mit der expliziten Beachtung der Transfer- und Regressleistungen für den Einkommensausfall lässt sich der Anteil der externen, immateriellen Kosten korrekt bestimmen.



Im Vergleich hierzu kann z.B. bei luftverschmutzungs- oder lärmbedingten Gesundheitsschäden auf diesen komplexen Berechnungshergang verzichtet werden. Zwei Gründe sind dafür ausschlaggebend:

- Von den Gesundheitsschäden sind die Anwohner entlang der Verkehrsanlagen (bei Lärm) sowie generell die Bevölkerung (bei Luftverschmutzung) betroffen. Den unmittelbaren Schaden tragen somit – im Unterschied zum Unfallbereich – nicht die Verkehrsteilnehmenden, sondern die Allgemeinheit. Die immateriellen Kosten sind also bereits in der ersten Runde extern.
- Selbstverständlich kann es auch bei den Gesundheitsschäden, wie bei den Unfällen zu Transferleistungen von Kranken- oder Sozialversicherungen an die Betroffenen bzw. ihre Hinterbliebenen kommen. Bei diesen Transferleistungen ist es allerdings aufgrund der Vielzahl an Verursachenden nicht möglich, Regress auf einen schuldigen Verursacher zu nehmen. Die Transferleistungen verbleiben somit vollumfänglich bei der Allgemeinheit und verändern den Anteil der externen Kosten nicht.

In den folgenden Abschnitten wird die Berechnung der externen immateriellen Kosten für den Unfallbereich im Detail erläutert. Dabei wird insbesondere auf die getroffenen Annahmen, verwendeten Datengrundlagen sowie die Kostensätze eingegangen. Die weiteren Ausführungen sind wie folgt gegliedert:

- In Abschnitt b) werden die Transferleistungen von Unfall-, Kranken- und Sozialversicherungen an die Unfallopfer bestimmt.
- In Abschnitt c) wird ermittelt, welcher Anteil dieser Transferleistungen durch Regressforderungen von den Unfallverursachern zurückerstattet werden.
- Basierend auf diesen Zwischenergebnissen können in Abschnitt d) die externen immateriellen Kosten aus Sicht Verkehrsträger berechnet werden.

Danach wird in den Abschnitten e) und f) aufgezeigt, wie hoch die externen immateriellen Kosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende und aus Sicht Verkehrsart Schwerverkehr ausfallen.

#### **Exkurs: Versicherungsleistungen als Internalisierungsbeitrag**

Für die Ermittlung der externen Kosten im Unfallbereich muss festgelegt werden, wie mit Versicherungsleistungen umzugehen ist und welcher dieser Leistungen als Internalisierungsbeitrag der Unfallverursacher betrachtet werden können. Ausgehend vom Kostendeckungsprinzip lassen sich grundsätzlich zwei Standpunkte einnehmen:

- Bei einer **engen Auslegung** werden nur jene Kosten als internalisiert betrachtet, die die Unfallverursachenden unmittelbar selbst tragen. Die Leistungen von Versicherungen (wie z.B. Motorfahrzeug-Haftpflicht, Unfallversicherung, Krankenkasse, Sozialversicherung) werden nicht als Internalisierungsbeitrag akzeptiert. Als Begründung wird ausgeführt, dass Motorfahrzeuglenker und -lenkerinnen, die keinen Unfall verursachen, über das allgemeine Versicherungsprinzip zur solidarischen Bezahlung von Kosten herangezogen

werden, an denen sie als Dritte unbeteiligt waren. Dies müsse klar als externer Effekt bezeichnet werden.

- Die **weitere Auslegung** akzeptiert dagegen die Leistungen der Motorfahrzeug-Versicherungen als Internalisierungsbeitrag. Es ist volkswirtschaftlich sinnvoll, dass sich die Verkehrsteilnehmenden gegen mögliche Unfallfolgen versichern können, um damit extreme Kostenschwankungen zu vermeiden. Damit die Versicherungsleistungen aber als Internalisierung der Unfallkosten betrachtet werden können, müssen die Versicherungen über ein Prämiensystem verfügen, welches das spezielle Risiko "Verkehrsteilnahme" berücksichtigt. Nur so ist sichergestellt, dass die Kosten der Unfälle letztlich von den Unfallverursachenden mit ihren spezifischen (Zusatz-)Prämien bezahlt werden und nicht auf unbeteiligte Gruppen der Gesellschaft abgewälzt werden

Konkret bedeutet dies, dass die Leistungen von Sozial- (IV, AHV), Unfall- oder Krankenversicherung nicht als Internalisierung der Unfallkosten des Verkehrs betrachtet werden, da bei diesen Versicherungssystemen die Prämien völlig unabhängig von der Verkehrsaktivität der einzelnen Person eingefordert werden. Zwar trifft es zu, dass ein grosser Teil der bei diesen Kassen versicherten Personen Verkehrsteilnehmende sind und damit letztlich mit ihren Prämien auch einen Prämienanteil für das verkehrsbedingte Unfallrisiko bezahlen. Das Problem liegt aber darin, dass bei dieser Prämienberechnung keine verursacher- bzw. risikogerechte Ermittlung erfolgt. Alle Versicherten haben einen gleich hohen Prämienzuschlag für die Folgen der Verkehrsunfälle zu tragen, unabhängig davon, ob die Personen viel oder wenig fahren, ob sie sich durch ein vorsichtiges oder weniger vorsichtiges Verhalten auszeichnen, oder ob sie ein Verkehrsmittel mit einem hohen oder geringen Unfallrisiko benutzen.

Wie in den bisherigen Berechnungen wird für die Ermittlung der externen Kosten von der weiteren Auslegung ausgegangen:

- Bei den Sozialversicherungen IV / AHV und Unfallversicherungen gemäss UVG findet also innerhalb einer „erzwungenen Versicherungsgemeinschaft“ eine gleichmässige Verteilung bzw. Sozialisierung der Verkehrsunfallkosten statt, ohne dass die einzelne Person mit ihrem Verkehrsverhalten einen Einfluss auf die Höhe des Prämienzuschlags für das Unfallrisiko nehmen kann. Die Leistungen der IV / AHV und gemäss UVG werden somit als extern betrachtet. Als internalisiert würden diese Kosten dann gelten, wenn sie im Rahmen der Verkehrsaktivität bezahlt würden. Ebenfalls nicht als Internalisierungsbeitrag werden die Leistungen von Privathaftpflichtversicherungen anerkannt. Die bezahlten Prämien widerspiegeln nicht das Risiko der Teilnahme an der Verkehrsaktivität.
- Im Unterschied dazu werden die Leistungen der Motorfahrzeug-Haftpflichtversicherungen als Internalisierungsbeitrag akzeptiert. Diese Versicherungen werden tatsächlich nur durch die spezielle Risikogruppe "Motorfahrzeuglenker und -lenkerinnen" finanziert und stehen im direkten Kontext der Verkehrsaktivität. Interne Subventionierungen zwischen den Versicherten können damit zwar nicht ausgeschlossen werden. In der Schweiz bestehen aber u.E. wegen der freien Wahl zwischen den Mfz-Haftpflichtversicherungen und wegen der Bonus-Malus-Systeme kaum interne Subventionierungen in bedeutendem Ausmass.

## b) Transferleistungen

### Berücksichtigte Transferleistungen

Als Transferleistungen an die Unfallopfer werden die in der folgenden Abbildung aufgeführten Leistungen betrachtet:

Abbildung 13-17: Berücksichtigte Transferleistungen

Versicherung	Leistungen bei Verletzung	Leistungen im Invaliditätsfall	Leistungen im Todesfall
<b>Invalidenversicherung (IV)</b>	Keine Leistungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Rentenkaptal der IV zur Gewährung der IV-Rente ab einem Invaliditätsgrad von 40%</li> <li>– Taggelder der IV<sup>386</sup></li> <li>– Hilflosenentschädigung</li> <li>– Integritätsentschädigung<sup>387</sup></li> <li>– Ergänzungsleistungen zur IV (zur Deckung der minimalen Lebenskosten)</li> </ul>	Keine Leistungen
<b>Alters- und Hinterlassenenversicherung (AHV)</b>	Keine Leistungen	Keine Leistungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Waisenrenten: Tod der Mutter oder des Vaters</li> <li>– Witwenrenten: Tode des Ehemannes</li> <li>– Witwerrenten: Tod der Ehefrau</li> <li>– Ergänzungsleistungen zur Hinterlassenenrente (zur Deckung der minimalen Lebenskosten)</li> </ul>
<b>UVG (Unfallversicherung)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Integritätsentschädigung</li> <li>– Taggelder</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Rentenkaptal der Invalidenrente ab einem Invaliditätsgrad von 10% (Komplementärrente bei gleichzeitigem Bezug einer IV-Rente der IV)</li> <li>– Taggelder</li> <li>– Integritätsentschädigung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Waisenrenten: Tod der Mutter oder des Vaters</li> <li>– Witwenrenten: Tode des Ehemannes</li> <li>– Witwerrenten: Tod der Ehefrau</li> <li>– Integritätsentschädigung</li> <li>– Taggelder</li> </ul>
<b>KVG (Krankenversicherung)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Heilungskosten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Heilungskosten</li> </ul>	Keine Leistungen

<sup>386</sup> Die Taggelder der IV werden in der Zeit zwischen einem Unfall und Zuweisung einer Invalidenrente gewährt. Die Kostensätze beinhalten die Leistungen der IV für Wartezeiten, medizinische Untersuchung, Abklärungen, Umschulung, Anlehre und Integrationsmassnahmen etc.

<sup>387</sup> Ein Integritätsschaden besteht in der dauernden und erheblichen Schädigung der körperlichen oder geistigen Unversehrtheit einer versicherten Person. Im Gegensatz zur Invalidenrente ist die Integritätsentschädigung nicht dazu bestimmt, den Verdienstaufschlag wegen Invalidität auszugleichen; vielmehr soll sie der versicherten Person einen Ausgleich schaffen, wenn sie wegen einer Gesundheitsschädigung etwa unter Dauerschmerzen leidet oder in ihrem Lebensgenuss beeinträchtigt ist. Sie ist insofern mit der zivilrechtlichen Genugtuung (Schmerzensgeld) vergleichbar, welche ebenfalls den Verlust immaterieller Güter aufwiegen soll. Die Höhe der Integritätsentschädigung wird nach der Schwere des Integritätsschadens zwischen 100 Prozent (etwa bei vollständiger Blindheit) und 5 Prozent (etwa beim Verlust einer Grosszehe) abgestuft.

**Exkurs: Wichtigste Änderungen bei der Berechnung der Transferleistungen und mögliche Über- und Unterschätzungen**

Gegenüber der letzten Grundlagenberechnung 1998 hat das Durchschnittsalter der erwachsenen Unfallopfer stark zugenommen. War im Jahr 1998 ein im Strassenverkehr verletzter oder getöteter erwachsener Mann im Durchschnitt 33.7 Jahre alt, sind es heute rund 36.6 Jahre. Bei den Frauen hat das Durchschnittsalter im gleichen Zeitraum von 35.1 Jahren auf 40.4 Jahre zugenommen. Dies führt zu einem tieferen durchschnittlichen Zeitraum zum Bezug von Hinterlassenenrenten und Invalidenrenten bzw. zu einer Abnahme des Rentenkapitals.

Weitere Veränderungen in den Sozialwerken können wie folgt beschrieben werden:

Invalidenrenten (IV):<sup>388</sup>

- Mit der 5. IV-Revision (in Kraft seit 1.1.2008) wurden die Anforderungen zum Erhalt einer Invalidenrente erhöht. Die IV wendet in den letzten Jahren eine strengere Praxis bei Neuberechnungen an. Es werden vermehrt alternative Massnahmen wie Eingliederungsmassnahmen ergriffen, statt eine Invalidenrente zu gewähren.<sup>389</sup>
- Im Jahr 2004 wurde mit der 4. IV-Revision die Dreiviertelsrente eingeführt. Dies führt zu einer besseren Abstufung der einzelnen Renten. Gemäss der Botschaft des Bundesrates zur 6. IV-Revision (erstes Massnahmenpaket) nahm aufgrund der Einführung der Dreiviertelsrente der Anteil der ganzen Renten bei den Neurenten von zwei Dritteln auf rund 60% ab.<sup>390</sup>
- Der Anteil der Invaliditätsfälle mit einem IV-Grad von 40% oder höher hat insbesondere bei Männern stark abgenommen (von 41% auf 22%), was auch zu einem Absinken des mittleren Invaliditätsgrades führt. Dies wiederum hat Auswirkungen auf die durchschnittliche ausbezahlte Rente. Bei den Frauen ist der Anteil hingegen von 30% auf 38% gestiegen, wobei es viel weniger strassenverkehrsbedingte invalide Frauen als Männer gibt. Dies wirkt sich nicht nur auf die Renten der IV, sondern auch auf die durchschnittlichen Renten gemäss UVG aus.
- Die Höhe der Invalidenrenten (Minimalrente) wurde durch die IV mehrere Male an die wirtschaftliche Entwicklung angepasst.

Hinterlassenenrente (AHV):

- Bei der Bemessung der durchschnittlichen Hinterlassenenrenten (Witwen, Witwer und Waisenrenten) ist von Bedeutung, dass weniger Kinder pro Haushalt vorhanden sind. Zudem hat der Anteil der ledigen gegenüber 1998 deutlich zugenommen und entsprechend

---

<sup>388</sup> Vgl. hierzu auch BSV (2013), Wichtigste Neuerungen, IV 2B.

<sup>389</sup> Zudem werden seit der 5. IV-Revision keine Zusatzrenten für Ehegatten mehr ausbezahlt. Die Leistungsausfälle werden aber (teilweise) durch Ergänzungsleistungen, durch Invalidenrenten gemäss UVG oder durch die Pensionskassen kompensiert.

<sup>390</sup> Vgl. Schweizerischer Bundesrat (2010), Botschaft zur Änderung des Bundesgesetzes über die Invalidenversicherung (6. IV-Revision, erstes Massnahmenpaket).

der Anteil der verheirateten / geschiedenen abgenommen. Im Jahr 1998 waren rund 20% der über 17-jährigen Frauen und 35% der über 17-jährigen Männer ledig. Im Jahr 2010 waren mehr als 32% der Frauen und 39% der Männer ledig. Dies führt zu einer Verminderung der Witwen- und Witwerrenten.

In der Erstberechnung im Jahr 2002 wurden Taggelder, Eingliederungsmassnahmen, Hilflosenentschädigungen (mit der 4. IV-Revision eingeführt), Ergänzungsleistungen sowie Integritätsentschädigungen nicht mit einberechnet. Dies führt gegenüber der Schätzung von 2002 zu einer deutlichen Steigerung der Transferleistungen.

Einige Effekte und Transferleistungen bei Invaliditäts- und Todesfällen werden nicht oder nur implizit in der Berechnung berücksichtigt und führen tendenziell zu einer Über- oder Unterschätzung der Transferleistungen:

- Bei Zusammenfallen einer Hinterlassenenrente und einer Invalidenrente wird nur die höhere Rente ausbezahlt.<sup>391</sup>  
Dieser Effekt wird nicht explizit modelliert. Allfällige zusammenfallende Renten sind aber in den tatsächlich ausbezahlten durchschnittlichen Monatsrenten der IV- und Hinterlassenenrenten implizit berücksichtigt.
- Der Erhalt einer Witwenrente ist an verschiedenste Bedingungen geknüpft.  
Die vollständige Abbildung dieser Bedingungen (Ehedauer von mind. 10 Jahren, Anzahl und Alter der Kinder, Ehe von mind. 5 Jahren, Alter bei der Scheidung, Wiederheirat)<sup>392</sup> mit dem Mengengerüst sowie deren Kombinationen ist auf Basis der Datengrundlagen nicht möglich. Die Zahl der gesprochenen Witwenrenten und die Transferleistungen dürften daher eher überschätzt werden.
- Es wird davon ausgegangen, dass IV-Renten bis zum Erreichen des Rentenalters bezogen werden.  
Es wird angenommen, dass Unfallopfer mit Invaliditätsfolgen mit einem IV-Grad grösser als 40%, diesen Status ihr Leben lang beibehalten. Es kann aber vorkommen, dass Invalide mit einem IV-Grad über 40% im Laufe der Behandlung wieder in einem vermehrten Ausmass (bis zu 100%) arbeitsfähig werden und die IV-Rente reduziert wird. Zudem fällt bei Tod eines Bezügers vor Erreichung des Rentenalters ein Teil der Rentenleistung aus. Diese beiden Effekte werden in unseren Berechnungen nicht berücksichtigt, was eine (leichte) Überschätzung der Transferleistung zur Folge hat.
- Hilflosenentschädigungen der IV gehen bei Erreichen des AHV-Alters in eine Hilflosenentschädigung der AHV über.  
Die Hilflosenentschädigung der AHV (aufgrund des Unfalls) wird nicht explizit berechnet. Dieser Effekt wurde aber ausgeglichen, indem die Hilflosenentschädigung der IV über die gesamte Restlebensdauer berechnet wurde, statt bis zur Erreichung des AHV-Alters.

<sup>391</sup> Vgl. Informationsstelle AHV/IV, Bundesamt für Sozialversicherungen (2013), Merkblatt, Hinterlassenenrenten der AHV. S. 3.

<sup>392</sup> Vgl. Informationsstelle AHV/IV, Bundesamt für Sozialversicherungen (2013), Hinterlassenenrenten der AHV. Merkblatt. S. 2.

- Erreichen die Renten der IV und der Unfallversicherungen nicht 90% des versicherten Lohnes, werden bei Unfällen auch Pensionskassen (BVG) leistungspflichtig. Diese Leistungen werden nicht berücksichtigt.<sup>393</sup>

Die Summe dieser Einzeleffekte lässt sich nicht im Detail abschätzen. Wir gehen aber davon aus, dass das Total der berechneten Transferleistungen in der Grössenordnung belastbar ist – zumal die Unsicherheiten beinahe nur die Invaliditätsfälle betreffen.

### Datengrundlagen zur Bestimmung der Transferleistungen

Die Datengrundlagen zur Ermittlung der Transferleistungen werden in der folgenden Abbildung dargestellt.

Abbildung 13-18: Datengrundlagen Transferleistungen

Versicherung	IV und AHV	UVG
<b>Invalidenrente</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Durchschnittliche Monatsrenten der Neurenten aufgrund von Verkehrsunfällen im Jahr 2010 nach Alter und Geschlecht. Quelle: BSV</li> <li>– Kapitalisierungsfaktoren<sup>394</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Durchschnittliches Rentenkapital pro BezügerIn</li> <li>– Quelle: Spezialauswertung SSUV</li> </ul>
<b>Waisenrenten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Durchschnittliche monatliche Waisenrenten nach Alter und Geschlecht der BezügerInnen. Quelle: BSV</li> <li>– Kapitalisierungsfaktoren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Durchschnittliches Rentenkapital pro BezügerIn</li> <li>– Quelle: Spezialauswertung SSUV</li> </ul>
<b>Witwen- und Witwerrenten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Durchschnittliche monatliche Witwen- und Witwerrenten nach Alter der BezügerInnen. Quelle: BSV</li> <li>– Kapitalisierungsfaktoren</li> </ul>	
<b>Integritätsentschädigung</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>– Durchschnittliches Rentenkapital pro BezügerIn (Spezialauswertung SSUV)</li> </ul>

<sup>393</sup> Gemäss telefonischer Auskunft von P. Beck, Leiter Abteilung Regress AHV/IV (12.4.2013) ist dies nur ein äusserst kleiner Teil der Transferleistungen bei Unfällen.

<sup>394</sup> Zu Kapitalisierung der monatlichen Renten wurde ein Kapitalisierungszinsfuss / Diskontsatz von 2% verwendet. Die berechneten Rentenbarwerte (Rentenkapital) entsprechen dem Betrag, den die Sozialversicherung dem Leistungsbezüger heute schuldet. Da sie jedoch nicht das gesamte Kapital ausbezahlt, sondern monatliche Renten leistet, kann sie den einbehaltenen Teil zur Generierung von Kapitalerträgen nutzen. Der Wert von 2% entspricht der Rendite, die die Sozialversicherung mindestens auf dem ausbezahlten Betrag erzielen muss. Die Kapitalisierung findet in Abhängigkeit von der Rentenart entweder über die restliche Lebenserwartung oder die erwartete Bezugsdauer (z.B. bis zum 18. Geburtstag des Kindes) des Leistungsempfängers oder dessen Angehöriger statt.

Versicherung	IV und AHV	UVG
<b>Taggelder</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Summe der Taggelderleistungen und Kosten der Eingliederungsmassnahmen</li> <li>– Anzahl BezügerInnen</li> <li>– Quelle: IV-Statistik</li> <li>– Summe der Tage mit Taggeldbezug</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Durchschnittliche ausbezahlte Taggelder pro Unfallopfer</li> <li>– Quelle: Spezialauswertung SSUV</li> </ul>
<b>Ergänzungsleistungen IV/AHV</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Anzahl EL-BezügerInnen (IV/AHV)</li> <li>– Anteil EL-BezügerInnen an IV/AHV-BezügerInnen</li> <li>– Durchschnittlicher EL-Betrag (IV/AHV) pro BezügerIn pro Jahr</li> <li>– Quelle: AHV/IV-Statistik</li> <li>– Kapitalisierungsfaktoren</li> </ul>	
<b>Heilkosten</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>– Durchschnittliche Heilungskosten nach Geschlecht pro BezügerIn</li> <li>– Quelle: Spezialauswertung SSUV</li> </ul>
<b>Hilflosenentschädigung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– BezügerInnen von Hilflosenentschädigungen nach Grad der Hilflosigkeit. Quelle: IV-Statistik</li> <li>– Summe der Hilflosenentschädigungen pro Jahr</li> <li>– Anteil IV-Bezüger mit Hilflosenentschädigung</li> <li>– Kapitalisierungsfaktoren</li> </ul>	

Bei den Kostensätzen der Invalidenrenten, Hinterlassenenrenten und Integritätsentschädigungen handelt es sich um ein Rentenkapital über die gesamte Bezugsdauer. Dabei wird berücksichtigt, dass die Rentenleistungen je nach betroffenem Unfallopfer bis zum Tod, bis zum Übertritt ins Rentenalter oder bis zum Ende des Leistungsanspruchs geleistet werden müssen. Die jährlichen Rentenleistungen werden daher kapitalisiert.<sup>395</sup> Hierbei werden das Durchschnittsalter der Verunfallten, das Alter ihrer (ehemaligen) Ehepartner sowie das Alter ihrer Kinder berücksichtigt.

Bei den verwendeten Datengrundlagen sind insbesondere die folgenden Überlegungen zu berücksichtigen:

- Bei den Datengrundlagen der Hinterlassenenrenten der AHV kann nicht nach der Ursache des Todes (der Ehefrau/des Ehemannes, des Vaters/der Mutter) differenziert werden. Es besteht jedoch kein Grund zur Annahme, dass die durchschnittliche Rente bei natürlichem Tod von der durchschnittlich ausgelösten Rente eines tödlichen Verkehrsunfalls abweicht.<sup>396</sup>

<sup>395</sup> Das heisst, es wird die Summe der abdiskontierten künftigen Rentenleistungen verwendet, der sogenannte Nettobarwert der Rentenleistungen.

<sup>396</sup> Die Höhe der Hinterlassenenrenten hängen insbesondere vom Einkommen des Verstorbenen ab. Ein Zusammenhang zwischen verschiedenen Todesursachen und der Höhe des Einkommens kann nicht unterstellt werden.

- Die Invalidenrenten der IV basieren auf den Neurenten des Jahres 2010 bei Unfällen. Die daraus ermittelten durchschnittlichen monatlichen IV-Renten nach Geschlecht und Alter werden mittels eines Kapitalisierungsfaktors (abhängig von der erwarteten Bezugsdauer) kapitalisiert.
- Die vorhandenen Datengrundlagen enthalten als Grundgesamtheit jeweils jene Opfer, welche tatsächlich eine Leistung erhalten haben: Die durchschnittlich ausgerichteten Leistungen aus diesen Grundlagen gelten daher nur für diese Grundgesamtheit. Im Mengengerüst sind hingegen auch jene Opfer enthalten, die aufgrund ihres Alters, ihres Geschlechts, ihres Zivilstandes oder ihrer Verletzungsschwere keine Leistungen beanspruchen können (Leistung von 0 CHF). Aus den Datengrundlagen müssen daher Durchschnittswerte über alle Unfallopfer (auch jene die keine Leistungen erhalten) gebildet werden. Dies bedeutet, dass sich die ausgewiesenen Kostensätze für Transferleistungen auf ein durchschnittliches Unfallopfer der jeweiligen Verletzungsschwere beziehen und teilweise deutlich tiefer liegen, als die tatsächlich an eine berechnete Person ausbezahlte Leistung.

Bei den einzelnen Transferleistungen sind in diesem Zusammenhang die folgenden Punkte wichtig:

- **Hinterlassenenrenten (AHV):**
  - **Waisenrenten (AHV)** werden nur an jene Unfallopfer geleistet, die zum Zeitpunkt des Unfalls auch unterstützungspflichtige Kinder<sup>397</sup> haben. Im berechneten Durchschnittswert ist berücksichtigt, dass ein Teil der Unfallopfer keine Kinder hat und er liegt entsprechend tiefer, als die zu erwartende Rente bei einem Opfer mit einem Kind unter 18 Jahren.
  - Ähnlich wird bei den **Witwen- und Witwerrenten (AHV)** verfahren, die nur an geschiedene und verheiratete Personen geleistet werden. Bei Witwen/Witwern mit unterstützungspflichtigen Kindern wird eine Zusatzrente gewährt. Dies ist im berechneten Durchschnittssatz berücksichtigt.
- **Invalidenrenten der IV** werden nur an Invaliditätsfälle mit einem IV-Grad von über 40% geleistet. Bei den in der Statistik der SSUV<sup>398</sup> erfassten Invaliditätsfällen weisen nur rund 27% aller Fälle einen Invaliditätsgrad von 40% oder höher auf. Bei den Männern sind es 25%, bei den Frauen 40%. Invalidenrenten werden zudem nicht nur an Erwachsene, sondern auch in Form von ausserordentlichen Renten an Kinder und Jugendliche (Frühinvaliden<sup>399</sup>) geleistet. Diese sind höher als die ordentlichen Renten. Senioren erhalten keine Invalidenrente der IV, sondern werden im Rahmen der AHV mit einem Invaliditätszuschlag vergütet.

---

<sup>397</sup> Als Unterstützungspflichtig gelten Kinder unter 18 Jahren oder Kinder in Ausbildung unter 25 Jahren.

<sup>398</sup> Quelle: Spezialauswertung SSUV zur Anzahl Invaliditätsfälle nach IV-Grad.

<sup>399</sup> Als Frühinvaliden gelten Personen, die von Geburt an invalid sind oder vor Vollendung ihres 23. Altersjahrs invalid geworden sind.



- Auch **Ergänzungsleistungen der IV** werden nur gewährt, wenn ein Anspruch auf eine IV-Rente besteht und damit ein IV-Grad grösser oder gleich 40% festgelegt wurde.
- **Taggelder und Eingliederungsmassnahmen (IV)** werden zur Überbrückung von Wartezeiten während Eingliederungsmassnahmen und während der Abklärung von Invalidenrenten gewährt. Dazu gehören medizinische Massnahmen, Integrationsmassnahmen, Berufliche Massnahmen, Hilfsmittel und Taggelder und Reisekostenvergütung als zusätzliche Leistungen.
- **Invalidenrenten der UVG** werden hingegen bereits ab einem IV-Grad von 10% oder höher gewährt. Dies trifft auf 91.5% der gemäss SUVA-Statistik erfassten Invaliditätsfälle zu. 8.5% dieser Fälle haben somit einen Invaliditätsgrad, der grösser als 0%, aber kleiner als 10% ist und erhalten keine Invalidenrente. Diese Unfallopfer gelten gemäss Definition als Schwerverletzte (nicht Invalide).
- **Integritätsentschädigungen und Taggelder (UVG)** werden nur an Erwerbstätige ausgerichtet.
- **Heilungskosten (KVG)** werden an alle Opfer ausgerichtet (obligatorische Krankenversicherung). In diesem Fall entspricht der Kostensatz bereits dem Durchschnittswert für alle Unfallopfer.

Die folgende Abbildung zeigt die verwendeten Ansätze für Transferleistungen pro Opfer im Strassenverkehr.

Abbildung 13-19: Transferleistungen pro Opfer im Strassenverkehr

	Todesfall	Invaliditätsfall	Schwer- verletzt	Mittelschwer- verletzt	Leicht- verletzt
<b>UVG/KVG</b>	<b>110'477</b>	<b>484'506</b>	<b>46'662</b>	<b>8'915</b>	<b>1'255</b>
Integritätsentschädigung	206	17'042	866	48	2
Hinterlassenenrente	109'926	-	-	-	-
Invalidenrente	-	274'500	-	-	-
Taggelder	345	50'497	17'628	3'519	273
Heilungskosten	-	142'467	28'167	5'348	980
<b>1. Säule (AHV/IV)</b>	<b>112'951</b>	<b>113'358</b>	-	-	-
Invalidenrente	-	113'358	-	-	-
Hinterlassenenrente	112'951	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>223'428</b>	<b>597'864</b>	<b>46'662</b>	<b>8'915</b>	<b>1'255</b>

Insgesamt ergeben sich durch Verknüpfung mit dem Mengengerüst Transferleistungen in Höhe von 820 Mio. CHF. Davon gehen 610 Mio. CHF an die Unfallverursacher und 210 Mio. CHF an die Nicht-Unfallverursacher.

Bei den Sport- und Freizeitunfällen auf der Strasse werden aufgrund des wesentlich höheren Alters der Unfallopfer sowie einer anderen Verteilung der Geschlechter andere Kostensätze für Transferleistungen verwendet. Ein höheres Alter bedeutet eine geringere Dauer, über welche die Leistungen bezogen werden. Die Transferleistungen liegen daher deutlich unter jenen des Strassenverkehrs. Die verwendeten Transferleistungen sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

Im Langsamverkehr (Sport- und Freizeitunfälle) werden an die Unfallverursacher Transferleistungen von insgesamt 109 Mio. CHF ausbezahlt.

**Abbildung 13-20: Transferleistungen pro Opfer im Langsamverkehr (Sport- und Freizeitunfälle auf der Strasse)**

	Todesfall	Invaliditätsfall	Schwer- verletzt	Mittelschwer- verletzt	Leicht- verletzt
<b>UVG/KVG</b>	<b>12'781</b>	<b>212'560</b>	<b>46'662</b>	<b>8'915</b>	<b>1'255</b>
Integritätsentschädigung	206	17'042	866	48	2
Hinterlassenenrente	12'402	-	-	-	-
IV-Rente	-	27'898	-	-	-
Taggelder	173	25'153	17'628	3'519	273
Heilungskosten	-	142'467	28'167	5'348	980
<b>1. Säule (AHV/IV)</b>	<b>9'157</b>	<b>6'041</b>	-	-	-
Invalidenversicherung	-	6'041	-	-	-
Hinterlassenenversicherung	9'157	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>21'938</b>	<b>218'601</b>	<b>46'662</b>	<b>8'915</b>	<b>1'255</b>

Änderungen gegenüber Strassenverkehr sind farblich hervorgehoben

Die folgende Abbildung zeigt die Transferleistungen pro Unfallopfer im Schienenverkehr. Aufgrund der unterschiedlichen Definitionen der Verletzungsschweren muss insbesondere bei den Leichtverletzten ein gegenüber dem Strassenverkehr leicht höherer Satz gewählt werden.

**Abbildung 13-21: Transferleistungen pro Opfer im Schienenverkehr**

	Todesfall	Invaliditätsfall	Schwer- verletzt	Mittelschwer- verletzt	Leicht- verletzt
<b>UVG/KVG</b>	<b>110'477</b>	<b>484'506</b>	<b>46'662</b>	<b>8'915</b>	<b>3'137</b>
<b>1. Säule (AHV/IV)</b>	<b>112'951</b>	<b>113'358</b>	-	-	-
Invalidenrente	-	113'358	-	-	-
Hinterlassenenrente	112'951	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>223'428</b>	<b>597'864</b>	<b>46'662</b>	<b>8'915</b>	<b>3'137</b>

Änderungen gegenüber Strassenverkehr sind farblich hervorgehoben

Die Verknüpfung mit dem Mengengerüst (Anzahl Opfer) ergibt im Schienenverkehr Transferleistungen in Höhe von 6.4 Mio. CHF. Davon entfallen rund 4.4 Mio. CHF auf den Verursacher „Dritte“ und rund 2.0 Mio. CHF auf den Verursacher „Schienenverkehr“. Im Schienenverkehr wird die Summe ausschliesslich an Nicht-Unfallverursachende geleistet.

### c) Regress auf den Unfallverursacher bzw. dessen Haftpflichtversicherung

Die oben erwähnten Sozial- und Unfallversicherungen können einen Teil der Transferleistungen an die nicht-unfallverursachenden Opfer über den Regressweg von der Motorfahrzeug-Haftpflichtversicherung der Verursacher zurückfordern.<sup>400</sup>

Für die **1. Säule (AHV/IV)** wurde ein Anteil von 68% der Transferleistungen an die nicht-unfallverursachenden Opfer ermittelt, der auf die Motorfahrzeug-Haftpflichtversicherung der Unfallverursacher regressiert werden kann. Dieser Wert basiert auf folgenden Berechnungsschritten:

- Ein Regressfall dauert im Durchschnitt rund 5 Jahre. Im Jahr 2004 betrug die Zahl der Neurenten aufgrund von Unfällen rund 1'900. Bis ins Jahr 2007 nimmt diese Zahl auf rund 1'300 ab.
- Der Anteil der Nicht-Unfallverursachenden beträgt gemäss Mengengerüst im Strassenverkehr rund 25%. Die Zahl der regressierbaren Fälle (25% der Neurenten) nahm damit zwischen 2004 und 2007 von 470 Fällen auf 320 Fälle ab.
- Fünf Jahre nach 2004, also zum Zeitpunkt des Eintreffens der regressierten Leistungen, im Jahr 2009 betragen die Regresseinnahmen der IV 109 Mio. CHF. Danach nehmen die Einnahmen aus dem Regress bis ins Jahr 2012 auf 69 Mio. CHF ab. Von diesen Einnahmen sind rund 90% auf Verkehrsunfälle zurückzuführen.<sup>401</sup>
- Die Regresseinnahmen im Jahr 2009 werden der Zahl an regressierbaren Neurenten 2004 (vor 5 Jahren) gegenübergestellt. Daraus ergibt sich ein durchschnittlicher regressierter Betrag von rund 190'000 CHF pro Neurente eines nicht-unfallverursachenden Opfers. Im Durchschnitt über die Jahre 2009 bis 2012 ergibt sich so ein Betrag von rund 220'000 CHF.
- Stellt man diesen Betrag der durchschnittlichen Rente eines durchschnittlichen IV-Rentenbezügers bei Unfällen (Kinder und Erwachsene: rund 320'000 CHF) gegenüber, ergibt sich ein Anteil von rund 68%, der pro Neurente eines Nicht-Unfallverursachers im Regressfall eingefordert werden kann.

Bei den **UVG-Versicherungsleistungen** wird der Regressanteil bei den Nicht-Unfallverursachenden unter Berücksichtigung der zeitlichen Verzögerung zwischen dem Beginn der Auszahlung der Leistung (Neurente) und Regresseinnahme berechnet.

<sup>400</sup> Vgl. hierzu auch die Erläuterungen in Abschnitt a), S. 360.

<sup>401</sup> Angabe von P. Beck, Leiter Bereich Regress AHV/IV (E-Mail vom 11. April 2013). Ein ähnlicher Wert wird beim Regress der Versicherungen gemäss UVG-Statistik ausgewiesen. Für weitere Informationen zum Regress vgl. vgl. BSV (2013), Soziale Sicherheit. Ausgabe 3/2012.

- Die Regresseinnahmen (NBUV und UVAL<sup>402</sup>) im Jahr 2011 betragen aus Verkehrsunfällen im Jahr 2006 (5 Jahre früher) rund 240 Mio. CHF.<sup>403</sup>
- Die Leistungen für Verkehrsunfälle betragen im Jahr 2006 (5 Jahre früher) rund 920 Mio. CHF. Davon sind rund 30% Leistungen an nicht-unfallverursachende Opfer. Die Leistungen an nicht-unfallverursachende Opfer können damit auf rund 280 Mio. CHF beziffert werden.
- Stellt man diese beiden Beträge einander gegenüber (280 Mio. Leistungen und 240 Mio. Regresseinnahmen bei Unfällen aus dem Jahr 2006) ergibt sich ein regressierter Anteil von 86%.
- Betrachtet man zusätzlich analog die durchschnittlichen regressierten Leistungen mit einer zeitlichen Verzögerung von 4 und 6 Jahren ergibt sich im Durchschnitt über alle drei Betrachtungsperioden ein Anteil von 91%.

Damit beträgt der Anteil der Transferleistungen an Nicht-Unfallverursacher, die regressiert (und damit internalisiert) werden können je nach Sozialversicherung

- 1. Säule (IV/AHV): 68%
- UVG/KVG: 91%

#### **d) Externe immaterielle Kosten aus Sicht Verkehrsträger**

Mit den vorangehenden Teilergebnissen zu den gesamten Transferleistungen und den regressierten Forderungen kann der externe Anteil an den immateriellen Kosten aus Sicht Verkehrsträger bestimmt werden. Es handelt sich dabei um jenen Anteil der immateriellen Kosten, der letztlich nicht von den Verkehrsteilnehmenden, sondern von der Allgemeinheit getragen wird. Wie in der Abbildung 13-16 dargestellt setzt sich dieser Anteil aus den folgenden – in der Abbildung auf der rechten Seite liegenden, rot eingerahmten – Bestandteilen zusammen:

- Transferleistungen an die unfallverursachenden Opfer
- Transferleistungen an die nicht-unfallverursachenden Opfer abzüglich der Regressleistungen von Unfallverursachern bzw. ihren Motorfahrzeug-Haftpflichtversicherungen

Es ergeben sich für die verschiedenen Verkehrsträger die Kostensätze in der folgenden Abbildung. Im Strassenverkehr sind die externen immateriellen Kosten bei den Invaliditätsfällen am grössten. Im Schienenverkehr sind die durchschnittlichen Kosten der Bediensteten leicht höher als bei den übrigen Opfern im Schienenverkehr (Reisende, Dritte), da es sich bei den Opfern mit Sicherheit um Bedienstete und damit Erwerbstätige handelt (nicht dargestellt).

---

<sup>402</sup> NBUV: Nichtberufsunfallversicherung, UVAL: Unfallversicherung von arbeitslosen Personen.

<sup>403</sup> Der Wert von 240 Mio. CHF ergibt sich aus der Multiplikation der gesamten Regresseinnahmen NBUV und UVAL von 269.4 Mio. CHF mit dem Anteil Verkehrsunfälle von 89%. Vgl. KSUV (2013), Unfallstatistik UVG 2013. S. 24.

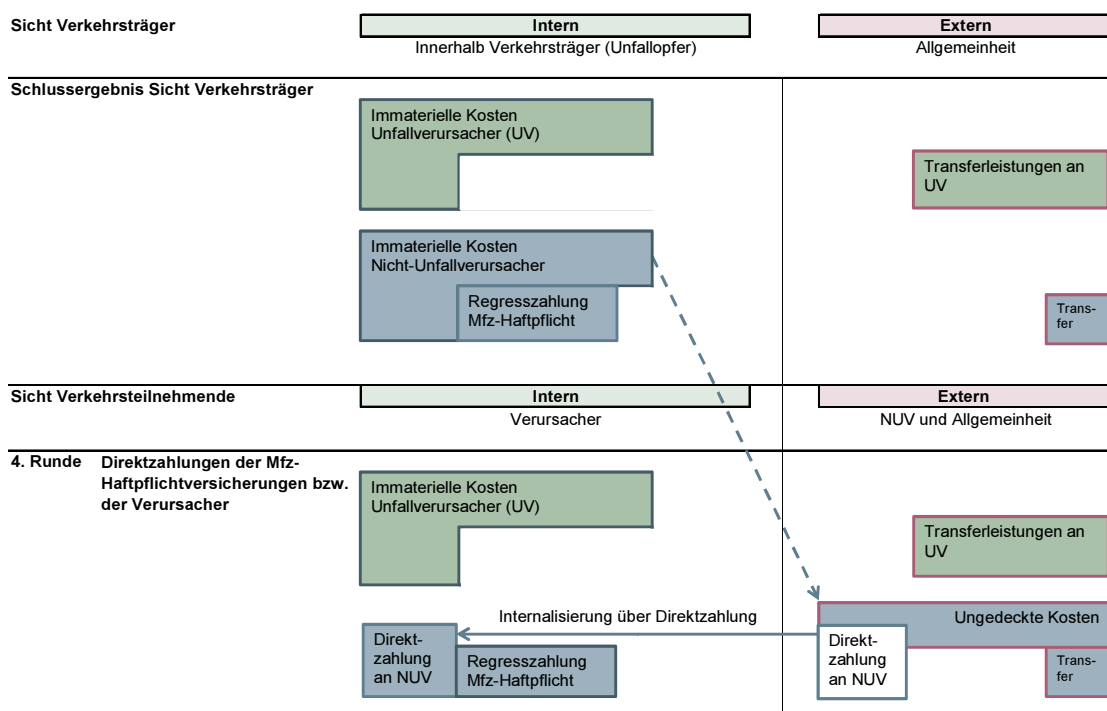
**Abbildung 13-22: Kostensätze für externe immaterielle Kosten aus Sicht Verkehrsträger**

Sicht Verkehrsträger	Tote	Invaliditätsfälle	Schwer- verletzte	Mittelschwer- verletzte	Leichtverletzte
<b>Strassenverkehr</b>					
Nicht-Unfallverursacher	49'439	86'747	4'757	909	124
Unfallverursacher	223'428	597'864	46'662	8'915	1'255
<b>Sport- und Freizeitunfälle (nur UV)</b>	21'938	218'601	wie im Strassenverkehr		
<b>Schiene-, Luft- und Schiffsverkehr (ohne Bedienstete)</b>					
Nicht-Unfallverursacher	46'570		5'847		289
Unfallverursacher	223'428		53'001		3'137

**e) Externe immaterielle Kosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende**

Aus Sicht Verkehrsteilnehmende sind all jene immateriellen Kosten extern, die nicht vom Unfallverursacher getragen werden. In der Abbildung 13-23 (die auf Abbildung 13-16 aufbaut) würden dazu die rot eingerahmten Flächen auf der Seite der Allgemeinheit (rechts) sowie der blaue Teil bei den nicht-unfallverursachenden Opfern zählen, welche alle nicht von den Unfallverursachern getragen werden. Für die abschliessende Festlegung der externen, immateriellen Kosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende muss jedoch eine weitere, fünfte „Übertragungsrunde“ (vgl. Abbildung) berücksichtigt werden: Es handelt sich hierbei um die Direktzahlungen der Unfallverursacher oder ihrer Motorfahrzeug-Haftpflichtversicherungen an die unschuldigen bzw. nicht-unfallverursachenden Unfallopfer zum Beispiel für nicht gedeckte Einkommensausfälle oder andere immaterielle Kosten.

**Abbildung 13-23: Schematische Darstellung zum externen Anteil der immaterielle Kosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende**



Diese Direktzahlungen – in der untenstehenden Abbildung 13-23 als weiss Fläche eingezeichnet – führen auf der rechten Seite „Verkehrsteilnehmende“ zu einer „Umverteilung“ von den immateriellen Kosten bei den nicht-unfallverursachenden Opfern zu den Unfallverursachern.

Die Herleitung der Direktzahlungen ist im nachstehenden Exkurs dargestellt. Unter Beachtung dieser Direktzahlungen verbleiben aus Sicht Verkehrsteilnehmende die roten umrahmten Flächen abzüglich der Direktzahlungen (weisse Fläche) beim nicht-unfallverursachenden Opfer als extern. Die entsprechenden Kostensätze sind in der nachstehenden Abbildung zusammengefasst.

**Abbildung 13-24: Kostensätze für externe immaterielle Kosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende**

Sicht Verkehrsteilnehmende	Tote	Invaliditätsfälle	Schwer- verletzte	Mittelschwer- verletzte	Leichtverletzte
<b>Strassenverkehr</b>					
Nicht-Unfallverursacher	1'232'573	271'956	246'477	53'338	5'989
Unfallverursacher		wie Sicht Verkehrsträger			
<b>Sport- und Freizeitunfälle (nur UV)</b>		wie Sicht Verkehrsträger			
<b>Schienen-, Luft- und Schiffsverkehr (ohne Bedienstete)</b>					
Nicht-Unfallverursacher	1'700'846		297'185		23'854
Unfallverursacher		wie Sicht Verkehrsträger			

#### **Exkurs: Direktzahlungen an die nicht-unfallverursachenden Opfer**

Die Herleitung der Direktzahlungen erfolgt über eine aufwendige Differenzberechnung:

- In einem ersten Schritt werden die Zahlungen der Unfallverursacher (inkl. Eigenleistungen wie Selbstbehalte und nicht angemeldete Schäden) sowie der Motorfahrzeug-Haftpflichtversicherungen an die nicht-unfallverursachenden Opfer bestimmt.
- In einem zweiten Schritt werden davon die Sachschäden, die Haftpflichtleistungen an Nicht-Unfallverursachende bei Personenschäden und die Regressleistungen an Sozial-, Kranken- und Unfallversicherungen abgezogen.
- Die verbleibende Differenz entspricht den gesuchten Direktzahlungen.

Grundlage für den ersten Berechnungsschritt sind die den Motorfahrzeug-Haftpflichtversicherungen gemeldeten Schadenfälle sowie die dafür (netto) ausbezahlten Leistungen für Sach- und Personenschäden.<sup>404</sup>

<sup>404</sup> Die Werte basieren auf einer Spezialauswertung des Schweizerischen Versicherungsverbands (SVV) zur Motorfahrzeug-Haftpflicht. Diese deckt mit rund 4.6 Mio. versicherten Jahresrisiken einen Anteil von 86% des Fahrzeugbestandes ab. Hieraus liegen die Anzahl Schadenfälle, die Leistungen (inkl. Rückstellungen) sowie die Anzahl der versicherten Fahrzeuge der Motorfahrzeug-Haftpflichtversicherungen nach 4 Fahrzeugkategorien für Personen- und Sachschäden vor. Zusätzlich besteht eine Aufteilung der Schadenfälle nach der Höhe der Scha-

Die Motorfahrzeug-Haftpflichtversicherungen haben dabei für Unfälle von Personenwagen, Motorrädern, Lastwagen und übrigen Fahrzeugen Leistungen von **1.722 Mrd. CHF für Personen- und Sachschäden** im Jahr 2010 erbracht (inkl. Rückstellungen). Davon waren 38% Sachschäden und 62% Personenschäden.

Die nicht-gemeldeten Schadenfälle (und damit selbst bezahlten) sowie die durch Selbstbehalt gedeckten Schäden sind in diesen Angaben selbstverständlich nicht erfasst. Ebenfalls nicht erfasst sind die Schäden, die der Privathaftpflicht unterstehende „Fahrzeug“-Kategorien (Fussgänger und fäG, ab 1.1.2012 auch Velos) verursacht haben. Diese sind für die Direktzahlungen bei Personenschäden nicht relevant, da sie nicht als Internalisierungsbeitrag gelten. Hingegen sind sie zur Berechnung der sozialen und externen Sachschäden relevant. Zur Abschätzung der gesamten Schadenleistungen an nicht-unfallverursachende wurden die Daten der Mfz-Haftpflichtversicherungen daher um eine Schätzung der folgenden Komponenten ergänzt:

- **Selbstbezahlte oder nicht gemeldete Fälle aufgrund Bonus-Verlust:** Die Haftpflichtversicherungen kennen für die Festsetzung ihrer Versicherungsprämien ein Bonus-Malus-System. Mit jedem gemeldeten Unfall verlieren die Fahrzeuglenkenden einen Teil des Bonus, was in Zukunft zu höheren Prämien führt. Je nach Fahrzeugkategorie und Bonus-Stand vor dem Unfall kann sich der Verlust auf 500 bis 2'100 CHF belaufen.<sup>405</sup> Schäden, welche geringer als diese Prämienverluste sind, werden von den Betroffenen oft selbst übernommen. Teilweise werden Unfälle zwar der Versicherung gemeldet, jedoch aufgrund des Bonus-Verlustes durch den Verursacher selbst bezahlt (diese erscheinen als Fälle mit Schadensleistung 0 CHF in der Statistik). Der geschätzte<sup>406</sup> so zustande gekommene Betrag beläuft sich auf rund 142 Mio. CHF.
- **Selbstbehalt:** Je nach gewählter Versicherungslösung oder Alter des Versicherten muss im Schadenfall ein kleinerer oder grösserer Selbstbehalt (zwischen 0 bis 1'000 CHF) von den Unfallverursachenden übernommen werden. Mit Hilfe der Angabe der Motorfahrzeug-Haftpflichtversicherungen lassen sich der Anteil und die Höhe der durch Selbstbehalte gedeckten Schäden grob abschätzen. Der berechnete Betrag liegt bei rund 101 Mio. CHF.<sup>407</sup>
- **Leistungen von Privathaftpflichtversicherungen:** Die Fussgänger und fäG (sowie ab 2012 auch Velos) sind über die Privathaftpflicht versichert. Ihre Leistungen werden ge-

---

denleistungen (0 CHF, < 1'000 CHF, < 2'000 CHF, < 5'000 CHF, < 10'000 CHF und > 10'000 CHF) für vier Fahrzeugkategorien.

<sup>405</sup> Die verwendeten Werte stammen aus dem Jahr 1998 und wurden mittels Kostenwachstum aufdatiert. Die damals vorhandenen Daten der Versicherungen stehen aus Datenschutzgründen nicht mehr zur Verfügung.

<sup>406</sup> Die Schätzung erfolgt auf Basis des Anteils der Fälle mit einer Schadenleistung, die kleiner ist als der erwartete Bonus-Verlust. Dieser beträgt je nach Fahrzeugkategorie 29% bis 47%. Es wird angenommen, dass sich die durchschnittlich anfallenden Schäden (bei nicht gemeldeten Schadenfällen) auf 50% des erwarteten Bonus-Verlustes belaufen. Dieser Betrag wird mit den Schadenfällen multipliziert, die unterhalb des erwarteten Bonus-Verlustes liegen.

<sup>407</sup> Es wird angenommen, dass die Verteilung der Selbstbehalte 0/500/1000 CHF seit 1998 gleich geblieben ist. Neuere Daten wurden uns von den Haftpflichtversicherungen nicht zur Verfügung gestellt. Es hat sich seit 1998 auch am System der Selbstbehalte nichts geändert, weshalb die erwähnte Annahme plausibel ist.

mäss den durchschnittlichen Leistungen bei den übrigen Unfällen mittels der Anzahl Opfer hochgerechnet. Ihr Selbstbehalt liegt bei rund 200 CHF, was eine Abschätzung der nicht erfassten Selbstbehalte ermöglicht (analog zu oben). Die nicht gemeldeten Leistungen sowie Selbstbehalte sind in den beiden obigen Werten enthalten (rund 5 Mio. CHF).

Insgesamt ergeben sich so Schadensleistungen zu Faktorpreisen in Höhe von 1'816 Mio. CHF. Die Aufteilung auf Sach- und Personenschäden lässt sich mittels Angaben der Mfz-Haftpflichtversicherungen bewerkstelligen. Die Umlegung und Hochrechnung von 4 Fahrzeugkategorien auf die verwendeten 15 Kategorien erfolgte mittels der Zahl an nicht-unfallverursachenden Opfern pro Unfall. Die folgende Abbildung zeigt die auf die Fahrzeugkategorien umgelegten Haftpflichtzahlungen an die nicht-unfallverursachenden Opfer.

**Abbildung 13-25: Haftpflichtzahlungen an nicht-unfallverursachende Opfer zu Faktorpreisen**

Mio. CHF	PW	GW	MR	Mofa	Velo	fäG	Fuss	Bus	Trolley	Tram	Li	LW	SS	Tr / Arbm	Total
<b>Total Schadensleistungen</b>	<b>1'375.8</b>	<b>9.5</b>	<b>67.3</b>	<b>13.5</b>	<b>18.8</b>	<b>1.8</b>	<b>3.6</b>	<b>24.8</b>	<b>26.2</b>	<b>13.5</b>	<b>172.5</b>	<b>53.7</b>	<b>20.7</b>	<b>13.8</b>	<b>1'816</b>
davon Sachschäden	564.1	3.6	9.1	1.8	2.5	0.2	0.5	9.8	10.3	5.1	70.7	10.7	4.1	5.3	<b>698</b>
davon Personenschäden	811.7	5.9	58.2	11.7	16.3	1.5	3.1	15.0	15.8	8.4	101.8	43.0	16.6	8.6	<b>1'118</b>

PW = Personenwagen, GW = Gesellschaftswagen, MR = Motorrad, fäG = fahrzeugähnliches Gerät, Fuss = Fussverkehr, Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper, Tr = Traktor, Arbm = Arbeitsmaschine

Werden zu diesen Beträgen noch die Leistungen von Insassenversicherungen bei Personewagen (21.3 Mio. CHF zu Faktorpreisen)<sup>408</sup> addiert, wurden insgesamt Zahlungen in Höhe von 1'837 Mio. CHF (zu Faktorpreisen) geleistet.

Die vorangehend ermittelten Leistungen für Sachschäden an Nicht-Unfallverursacher (698 Mio. CHF) im Strassenverkehr werden zur Abschätzung der gesamten Sachschäden (vgl. Abschnitt 13.4.4) verwendet. Die berechneten Leistungen für Personenschäden werden (mit Ausnahme der Kategorien Fussgänger und fäG) voll als Internalisierungsbeitrag für die externen immateriellen Kosten akzeptiert. Die aufgrund von Regressforderungen der Sozialversicherungen ausbezahlten Leistungen sind hierin enthalten und müssen abgezogen werden, da sonst eine Doppelzählung erfolgt:

- Haftpflichtleistungen an Nicht-Unfallverursachende bei Personenschäden: 1'118 Mio. CHF
- Abzüglich Leistungen der Mfz-Haftpflichtversicherungen aufgrund Regress der Sozialversicherungen: rund 180 Mio. CHF
- Abzüglich Leistungen der Mfz-Haftpflichtversicherungen aufgrund Regress der Krankenversicherungen (medizinische Heilungskosten): rund 80 Mio. CHF.
- Die nach diesen Abzügen verbleibenden Leistungen sind Direktzahlungen: 858 Mio. CHF.

Die Haftpflichtleistungen aufgrund von durch den **Schieneverkehr** verursachten Unfällen werden mangels spezifischer Datengrundlagen auf Basis der Haftpflichtleistungen im Strassenverkehr berechnet. Dabei wird angenommen, dass Opfer im Schienenverkehr gleich hohe

<sup>408</sup> Vgl. Schweizerischer Versicherungsverband SVV (2013), Unfallversicherung – Zahlungen für Versicherungsfälle brutto.



Leistungen erhalten wie im Strassenverkehr. Im Strassenverkehr beträgt die durchschnittliche Schadenleistung der Haftpflichtversicherungen rund 52'000 CHF pro nicht-unfallverursachendes Opfer. Bei 126 nicht-unfallverursachenden Opfern im Schienenverkehr ergeben sich Leistungen von rund 6.5 Mio. CHF aufgrund von Haftpflichtfällen im Schienenverkehr.

#### f) Externe immateriellen Kosten aus Sicht Verkehrsart Schwerverkehr

Die **Sicht Verkehrsart Schwerverkehr** kann basierend auf den beiden oben genannten Sichtweisen berechnet werden. Bei den Unfallverursachenden sind wie bei der Sicht Verkehrsträger und Verkehrsteilnehmende die Transferleistungen extern. Bei den Nicht-Unfallverursachenden muss differenziert werden zwischen Unfallopfern innerhalb des Schwerverkehrs und ausserhalb des Schwerverkehrs: Befindet sich das unschuldige Unfallopfer in einem Fahrzeug des Schwerverkehrs sind nur die ungedeckten (nicht regressierten) Transferleistungen extern. Ist das Opfer hingegen ausserhalb des Schwerverkehrs, sind zusätzlich die verbleibenden Kosten bei den Nicht-Unfallverursachenden extern.

Bei der Berechnung der externen immateriellen Kosten aus Sicht Verkehrsart wird daher wie folgt vorgegangen:

- **Unfallverursachende Opfer:** Bei den Unfallverursachenden können die externen Kosten direkt aus der Sicht Verkehrsträger (oder Verkehrsteilnehmende) übernommen werden.
- **Nicht-unfallverursachende Opfer:** Bei den Nicht-Unfallverursachenden wird der Anteil X der Unfallopfer innerhalb des Schwerverkehrs bestimmt (vgl. Abbildung 13-10). Die externen Kosten bei den Nicht-Unfallverursachenden ergeben sich dann aus  $X * \text{externe Kosten Sicht Verkehrsträger} + (1 - X) * \text{externe Kosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende}$ .

### 13.4.3 Externe Kosten übrige Personenschäden

In den folgenden Abschnitten werden die externen Kostensätze bei Personenschäden komplettiert.

#### a) Externe Medizinische Heilungskosten

Die Heilungskosten werden in einer ersten Phase durch Unfall-, Kranken- und Sozialversicherung getragen. In einer zweiten Phase sind gemäss schweizerischem Haftpflichtrecht die sogenannten Erstversicherer (Unfallversicherungen, Krankenkassen usw.) berechtigt, bei Haftpflichtfällen (Kosten der Nicht-Unfallverursachenden) auf die Unfallverursachenden bzw. deren Haftpflichtversicherungen Regress zu nehmen. Wir gehen davon aus, dass in diesem Fall rund 91% der in Rechnung gestellten Kosten gedeckt werden (vgl. Kapitel 13.4.2c). Kosten, welche bei den Erstversicherungen verbleiben (9% der in Rechnung gestellten Kosten), müssen als externe Kosten betrachtet werden, da eine Abwälzung der Heilungskosten auf

die Allgemeinheit stattfindet. Die Unfallverursachenden müssen für diese Kosten nicht mehr mit risikogerechten Haftpflichtprämien aufkommen.

Ein Teil der medizinischen Heilungskosten wird zudem vom Staat getragen (Deckung der Spitaldefizite). Diese sind zu 100% extern und können nicht regressiert werden.

**Abbildung 13-26: Kostenträger und Anteil externe medizinische Heilungskosten**

Kostenträger	Kosten in Mio. CHF	Anteil extern	
		Verursacher	Nicht-Verursacher
Staat	7'932.1	100%	100%
Sozialversicherung	9'901.4	100%	9%
Privatversicherung	2'298.0	100%	9%
Private Haushalte	2'316.2	100%	9%
<b>Alle Kostenträger</b>	<b>22'447.7</b>	<b>100%</b>	<b>41%</b>

Extern sind somit die Kosten bei den Unfallverursachenden (zu 100%) und 41% der anfallenden Kosten für Nicht-Unfallverursachende. Der Anteil von 41% ergibt sich aus der Gewichtung der Leistungen der verschiedenen Kostenträger (Staat, Sozialversicherung, Privatversicherung, Private Haushalte) mit dem Anteil der nicht gedeckten Kosten der Nicht-Verursacher.

#### **b) Externe Nettoproduktionsausfälle**

Der Nettoproduktionsausfall entsteht der gesamten Gesellschaft. Es besteht keine Möglichkeit, diesen Ausfall bei den Unfallverursachenden z.B. über Haftpflichtleistungen einzufordern. Die externen Kosten entsprechen daher vollumfänglich den sozialen Kosten.

#### **c) Externe Wiederbesetzungskosten**

Die Wiederbesetzungskosten werden von den Unternehmen getragen und können nicht durch Regressforderungen an die Unfallverursachenden überwältzt werden. Die externen Kosten entsprechen daher vollumfänglich den berechneten sozialen Wiederbesetzungskosten.

#### **d) Externe Administrativkosten der Personenversicherungen**

Die Administrativkosten der Personenversicherungen sind grundsätzlich allesamt extern, da sie nicht auf den Unfallverursachenden regressiert werden können und daher bei der Allgemeinheit anfallen. Die Administrativkosten der Motorfahrzeug-Haftpflichtversicherungen für Personenschäden werden hingegen als intern betrachtet, da sie durch die Prämien der Verkehrsteilnehmenden bezahlt werden.

Nicht internalisiert wird ein Grossteil (rund 95%) der Leistungen an die nicht-unfallverursachenden Opfer, die durch Fussgänger und fäG verursacht wurden. Die Leistungen der Privathaftpflichtversicherungen gelten nicht als Internalisierungsbeitrag, die Eigenleistungen der Verursacher hingegen schon.

#### 13.4.4 Sachschäden

Die Sachschäden umfassen die Kosten von Schäden an Fahrzeugen, Immobilien, Verkehrsinfrastruktur und transportierten Gütern. Die Sachschäden werden nach Verkehrsträger differenziert.

##### a) Soziale Kosten

##### Strassenverkehr

Die Sachschäden im Strassenverkehr setzen sich aus den durch Motorfahrzeug (Mfz)-Haftpflichtversicherungen (oder Eigenleistungen der Verursacher) gedeckten Schäden der Nicht-Unfallverursacher sowie der durch Kaskoversicherungen, Eigenleistungen oder Selbstbehalte gedeckte Schäden der Unfallverursacher zusammen.

Die hier ausgewiesenen Sachschäden basieren auf der Berechnung der Motorfahrzeug-Haftpflichtleistungen (inkl. Eigenleistungen der Verursacher) und wurden zusätzlich um die Leistungen der Privathaftpflichtversicherungen bei durch Fussgänger und fäG verursachten Sachschäden ergänzt. Die Herleitung dieser Werte ist in Kapitel 13.4.2e) beschrieben.

Insgesamt werden Haftpflichtleistungen für Sachschäden an nicht-unfallverursachende im Umfang von 698 Mio. CHF ermittelt (vgl. Abbildung 13-25). Diese werden mittels den polizeilich registrierten Unfällen in durchschnittliche Kostensätze umgewandelt. Die so ermittelten Kostensätze für die Sachschäden bei Strassenverkehrsunfällen sind in der folgenden Abbildung dargestellt. Dabei wird nach Fahrzeugkategorien differenziert, da je nach beteiligten Fahrzeugen unterschiedliche Sachschäden zu erwarten sind. Es ist zu beachten, dass die Werte pro polizeilich registrierten Unfall gelten, d.h. die wahren Kosten pro Unfall sind eigentlich tiefer.

**Abbildung 13-27: Sachschäden nach Fahrzeugkategorien (zu Faktorpreisen) pro polizeilich registriertem Unfall nach Verursacher**

in CHF	Personenverkehr									Güterverkehr				Total	
	Motorisierter privater Personenverkehr				Langsamverkehr			Öffentlicher Personenverkehr			Li	LW	SS		Tr / Arbm
	PW	GW	MR	Mofa	Velo	fäG	Fuss	Bus	Trolley	Tram					
ØSachschaden pro Unfall	28'385	61'785	6'818	7'820	2'652	3'435	993	107'558	212'789	205'850	49'388	16'015	11'854	32'459	26'982
Durch Haftpflicht gedeckter Anteil	40%	44%	38%	43%	39%	41%	53%	46%	47%	42%	42%	42%	42%	40%	40%

PW = Personenwagen, GW = Gesellschaftswagen, MR = Motorrad, fäG = fahrzeughähnliches Gerät, Fuss = Fussverkehr, Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper, Tr = Traktor, Arbm = Arbeitsmaschine

Die Sachschäden bei einem durch den öffentlichen Verkehr verursachten Unfall sind mit rund 105'000 bis 206'000 CHF am höchsten. Unfälle mit einem Verursacher im Langsamverkehr führen zum geringsten Sachschaden (rund 1'000 bis 3'400 CHF). Pro Unfall ist mit einem Sachschaden von durchschnittlich rund 27'000 CHF zu rechnen. Es ist darauf hinzuweisen, dass die Aufteilung auf die Fahrzeugkategorien nach dem Verursacherprinzip erfolgte. Dabei entsprechen die Sachschäden nicht nur den Schäden am eigenen Fahrzeug, sondern jenen an allen beteiligten Fahrzeugen.

Anders als die Schäden der nicht-verursachenden Fahrzeuge, sind die Sachschäden der Unfallverursacher nicht durch die Haftpflichtversicherungen gedeckt, sondern durch Kaskoversicherungen oder durch Eigenleistungen. Diese werden auf Basis des durchschnittlichen Sachschadens und dem Anteil der nicht-unfallverursachenden Fahrzeuge (vgl. Abbildung 13-27) hochgerechnet. Der durch die Haftpflichtversicherungen gedeckte Anteil (Anteil nicht-unfallverursachende Fahrzeuge) liegt über alle Fahrzeugkategorien bei rund 40%.<sup>409</sup> Die ermittelten Sachschadenleistungen von 698 Mio. CHF zu Faktorpreisen entsprechen daher 40% der gesamten Sachschäden. Die restlichen 60% - rund 1'030 Mio. CHF - sind durch Kaskoversicherungen oder Eigenleistungen gedeckt. Insgesamt ergeben sich so Sachschäden im Wert von 1.72 Mrd. CHF zu Faktorpreisen.

### Schienerverkehr

Im Schienenverkehr basieren die Sachschäden auf einer Auswertung der Ereignisdatenbank des Bundesamts für Verkehr (BAV). Die folgende Abbildung zeigt die durchschnittlich pro Unfall registrierten Sachschäden. Die Grundgesamtheit bildet dabei das Total aller Unfälle (und nicht etwa die Zahl der Unfälle mit Sachschäden grösser Null).

**Abbildung 13-28: Sachschäden pro Unfall im Schienenverkehr zu Faktorpreisen**

Kostenträger	Verursacher			Total
	Personenverkehr	Güterverkehr	Dritte	
Infrastrukturbesitzer	15'714	25'749	2'835	<b>15'282</b>
Bahnunternehmen	29'795	30'904	16'537	<b>26'308</b>
Dritte	522	4'354	1'124	<b>1'961</b>
<b>Total</b>	<b>46'031</b>	<b>61'008</b>	<b>20'496</b>	<b>43'551</b>

Der durchschnittliche Sachschaden pro Unfall im Schienenverkehr beläuft sich demnach auf rund 43'600 CHF. Den Grossteil davon erleiden die Bahnunternehmen (Schäden an Trieb-

<sup>409</sup> Der Anteil der nicht-unfallverursachenden (und damit durch die Haftpflichtversicherung gedeckte) Fahrzeuge am Total der an polizeilich registrierten Unfällen beteiligten Fahrzeuge beträgt über alle Fahrzeugkategorien rund 40%. Bei den Selbstunfällen ist das Fahrzeug nicht durch die Haftpflicht gedeckt. Bei Unfällen mit zwei Beteiligten ist jeweils ein Fahrzeug mittels Haftpflicht gedeckt. Bei Unfällen mit mehr als zwei Beteiligten gilt ein Fahrzeug als Unfallverursachend, die übrigen Beteiligten sind durch die Haftpflicht des Verursachers gedeckt. Insgesamt liegt der Anteil der nicht-unfallverursachenden Fahrzeuge unterhalb von 50%, da ein Grossteil der Unfälle Selbstunfälle sind.

fahrzeugen, Waggons etc.). Wurde der Unfall vom Güterverkehr verursacht, sind die Sachschäden mit rund 61'000 CHF am höchsten.

### Luftverkehr

Die im Luftverkehr verwendeten Kostensätze für Sachschäden werden in der folgenden Abbildung dargestellt (inkl. der Schwankungsbreite im Rahmen der Sensitivität). Sie wurde im Luftverkehrsbericht<sup>410</sup> hergeleitet und beruhen auf folgenden Quellen (für Details siehe Luftverkehrsbericht):

- Spezialauswertung der ASCEND-Datenbank des englischen Unternehmens „ASCEND Aerospace Information Redefined“ sowie der Helicas-Datenbank (für Helikopterunfälle) für die Jahre 2001-2010
- Angaben der im Schweizer Flugversicherungsmarkt führenden Versicherung (knapp 90% Marktanteil)

Abbildung 13-29: Sachschäden pro Unfall nach Luftfahrzeugtyp

	Motorsegler, Segelflugzeuge	Flugzeuge bis 2250 kg MTOM	Flugzeuge von 2250 bis 5700 kg MTOM	Flugzeuge mit mehr als 5700 kg MTOM	Linien- und Charterverkehr	Helikopter
<b>Sachschäden in CHF</b>	<b>75'000</b>	<b>75'000</b>	<b>600'000</b>	<b>4'500'000</b>	<b>6'000'000</b>	<b>875'000</b>
Genauigkeit ( $\pm x\%$ )	10%	10%	75%	10%	10%	20%
Schwankungsbreite von bis	67'500 82'500	67'500 82'500	150'000 1'050'000	4'050'000 4'950'000	5'400'000 6'600'000	700'000 1'050'000

### Schiffsverkehr

Im Schiffsverkehr liegen durchschnittliche Kostensätze zu den Sachschäden der Jahre 2000 bis 2005 vor.<sup>411</sup> Für die Abschätzung der Sachschäden im Schiffsverkehr im Jahr 2010 werden diese mit dem Konsumentenpreisindex aufdatiert. Pro Unfall beläuft sich der Sachschaden im Jahr 2010 (zu Faktorpreisen) damit auf rund 40'000 CHF.

#### b) Externe Kosten

Im Strassenverkehr sind praktisch bei allen Fahrzeugkategorien die gesamten Sachschäden interne Kosten, da sie entweder durch den Verursacher direkt oder seine Motorfahrzeug-Haftpflichtversicherung bezahlt werden.

<sup>410</sup> Vgl. Infrass, EcoPlan (2012), Integration des Luftverkehrs in die Transportrechnung, S. 88-91.

<sup>411</sup> Vgl. Planco und BfG (2007), Verkehrswissenschaftlicher und ökologischer Vergleich der Verkehrsträger Strasse, Schiene und Wasserstrasse, S. 141.

Dies gilt jedoch nicht für die Kategorien Fussgänger und fäG, da deren verursachten Sachschäden zum überwiegenden Teil durch Privathaftpflichtversicherungen gedeckt werden. Die Privathaftpflichtversicherungen sind nicht direkt auf das Risiko der Verkehrsteilnahme ausgerichtet und deren Leistungen belasten daher die Allgemeinheit. Ab dem Jahr 2012 gilt dies auch für die Velofahrer, da diese ab dem 1.1.2012 ebenfalls über die Privathaftpflicht versichert sind und nicht mehr durch die Velovignette. Die Selbstbehalte der Unfallverursacher hingegen verbleiben intern (rund 5% bei Fussgängern und fäG).

Im Schienenverkehr wird angenommen, dass die durch Dritte verursachten Unfälle ebenfalls der Privathaftpflicht unterliegen und die Sachschäden damit grösstenteils ebenfalls extern sind. Alle übrigen Leistungen für Sachschäden sind im Schienenverkehr intern.

#### 13.4.5 Polizeikosten

Zu den Polizeikosten zählen wir alle Aufwendungen, welche den Polizeiorganen im Zusammenhang mit der Bewältigung eines Unfalls entstehen (Unfallaufnahme, Verkehrsregelung, Rapporte, Zeugenbefragung usw.). Berücksichtigt werden dabei die Kosten für Personal, Material und Fahrzeuge.

##### a) Soziale Kosten

Für die Abschätzung der **sozialen Polizeikosten im Strassenverkehr** wurde speziell für diese Studie eine Erhebung zur Anzahl der erfassten Unfälle und den dabei entstandenen Kosten bei den drei kantonalen Polizeikorps von Bern, Luzern und Uri durchgeführt.<sup>412</sup> Basierend auf diesen Angaben muss mit durchschnittlichen Kosten von rund **953 CHF** pro polizeilich erfassten Unfall gerechnet werden.<sup>413</sup>

**Bei den übrigen Verkehrsträgern** konnten für die Aufwendung der Polizeiorgane mangels entsprechender Datengrundlagen keine spezifischen Kostensätze ermittelt werden. Daher muss für eine grobe Abschätzung die Kennzahl aus dem Strassenverkehr von 953 CHF pro Unfall übernommen werden.<sup>414</sup> Damit werden die tatsächlichen Kosten unterschätzt, doch die Polizei- und Rechtsfolgekosten bei den übrigen Verkehrsträgern sind ohnehin von untergeordneter Bedeutung (vgl. Ergebnisse in Kapitel 13.5.1).

---

<sup>412</sup> Diese drei Polizeikorps haben im Jahr 2010 rund 16% aller offiziell gemeldeten Strassenverkehrsunfälle erfasst.

<sup>413</sup> Die Aufwendungen der Polizei hängen im Einzelfall von der Schwere des Unfalls und der Anzahl involvierter Fahrzeuge ab, so dass bei einem schweren Unfall mit wesentlich höheren Kosten gerechnet werden muss. Insbesondere bei Unfällen mit Personenschaden steigen die Kosten stark an. Der ausgewiesene Betrag von 953 CHF pro Unfall entspricht einem Durchschnittswert.

<sup>414</sup> Dieses Vorgehen stellt selbstverständlich eine starke Vereinfachung dar. Verschiedene Gründe sprechen dafür, dass die spezifischen Kosten pro Unfall höher sind als bei einem Unfall im Strassenverkehr (Schienenverkehr: durchschnittliche Schwere der Unfälle, Ermittlung der Unfallursache bei Zusammenstössen und Entgleisungen; Luftverkehr: bei Unfällen in den Bergen ist der Transport schwierig und erfolgt teilweise mit Helikopter).

## b) Externe Kosten

Um den Anteil der **externen Kosten** zu bestimmen, wurde im Rahmen der oben erwähnten Erhebung bei den Polizeikörpern auch untersucht, wie gross der Anteil der tatsächlichen Kosten ist, der an die Unfallverursachenden weiter verrechnet wird. Gemäss Schätzung der angefragten Polizeiorgane (plus Kantone St. Gallen und Zürich) beläuft sich dieser Betrag auf rund 12-21% der tatsächlichen Kosten. Zusätzlich fliesst in Einzelfällen ein Teil der Unfallaufwendungen der Verkehrspolizei in die für die Strassenrechnung ausgewiesenen Aufwendungen des Polizeikörpers ein und wird in diesen Fällen über die Strassenrechnung gedeckt. Gemäss Nachfrage beim BFS fliessen ca. 15% der Kosten in die Strassenrechnung ein.

Basierend auf diesen Angaben gehen wir davon aus, dass im **Strassenverkehr** im Durchschnitt 30% der tatsächlichen Kosten in Rechnung gestellt werden. Bei den restlichen **70%** der Kosten handelt es sich um externe Kosten, welche von der Allgemeinheit aufgebracht werden müssen.

Bei den **übrigen Verkehrsträgern** wird eine geringere Kostendeckung von 15% angenommen, da die Teilfinanzierung über die Strassenrechnung entfällt. Damit sind **85%** der Kosten extern.

### 13.4.6 Rechtsfolgekosten

Zu den Rechtsfolgekosten bei Unfällen zählen

- die Aufwendungen (Personal, Material) der öffentlichen Hand im Rahmen von Untersuchungs- und allfälligen Gerichtsverfahren
- die Anwaltskosten der Unfallparteien im Rahmen von öffentlichen oder allenfalls privatrechtlichen Gerichtsverfahren
- sowie die Aufwendungen für Expertisen.

#### a) Soziale Kosten

Für die Berechnung der **sozialen Rechtsfolgekosten** wurde speziell für diese Studie eine Erhebung bei drei grossen Verkehrs-Rechtsschutzversicherungen in der Schweiz durchgeführt, welche insgesamt einen Marktanteil von rund 43% aufweisen. Aus ihren Angaben haben wir einerseits die Gesamtzahl der Rechtsfälle aus Verkehrsunfällen hergeleitet und andererseits spezifische Kostensätze pro Rechtsfall ermittelt.

- Gesamtzahl der Rechtsfälle aus Verkehrsunfällen: Aus den Angaben von zwei Verkehrs-Rechtsschutzversicherungen ist bekannt, dass pro versichertes Jahresrisiko mit rund 0.032 Rechtsfällen aus Verkehrsunfällen zu rechnen ist. Bisher wurde von 0.03 ausgegangen.<sup>415</sup> Wir gehen weiterhin von diesem Wert von 0.03 Rechtsfällen pro Police aus. Die Policen werden an Haushalte vergeben, doch auch Haushalte ohne Rechtsschutzver-

---

<sup>415</sup> Ecoplan (2002), Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr der Schweiz 1998, S. 65.

- sicherung können in Rechtsstreitigkeiten verwickelt sein, so dass wir von gut 103'000 Rechtsfällen im Jahr 2010 ausgehen (= 3'435'956 Haushalte \* 0.03).<sup>416</sup>
- Kostensätze pro Rechtsfall bei Verkehrsunfällen: Aus den Angaben zu den Auszahlungen bzw. Aufwendungen für Rechtsfälle infolge eines Verkehrsunfalls konnten spezifische Kennzahlen pro Rechtsfall im Jahr 2010 hergeleitet werden. Die Kennzahlen sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.<sup>417</sup> Die ausgewiesenen Gerichtskosten entsprechen den geschätzten Gesamtkosten, tatsächlich werden den Versicherungen davon nur rund 20% in Rechnung gestellt.<sup>418</sup>

**Abbildung 13-30: Rechtsfolgekosten bei Unfällen mit privat- oder öffentlich-rechtlichen Verfahren im Strassenverkehr in CHF pro Fall (zu Faktorpreisen)**

Rechtsfolgekosten bei Unfällen	soziale Kosten	externe Kosten
Aufwand Gerichts- und Verfahrenskosten	1'883	1'506
Aufwand Anwaltskosten	1'052	-
Übrige Kosten (z.B. Expertisenkosten)	417	-
<b>Total</b>	<b>3'351</b>	<b>1'506</b>

Ausgehend von der geschätzten Gesamtzahl der Rechtsfälle sowie den obigen Kennzahlen zu den sozialen Kosten pro Fall können die Rechtsfolgekosten grob berechnet werden. Sie belaufen sich im Strassenverkehr auf insgesamt 345 Mio. CHF. Für die Aufteilung auf die Fahrzeugkategorien verwenden wir die Verteilung der polizeilich registrierten Unfälle nach dem Verursacherprinzip.

Für die Berechnung der **sozialen Rechtsfolgekosten bei den übrigen Verkehrsträgern** mussten wie bei den Polizeikosten vereinfachende Annahmen getroffen werden. Der Kostensatz für die Rechtsfolgekosten pro polizeilich registrierten Unfall im Strassenverkehr von knapp **5'900 CHF**<sup>419</sup> wird mit der Anzahl Unfälle bei den übrigen Verkehrsträgern multipliziert.<sup>420</sup>

<sup>416</sup> Damit wird die Zahl der Rechtsstreitigkeiten überschätzt, denn häufig sind an einem Rechtsfall zwei Parteien beteiligt. Ob aber eine oder zwei Parteien beteiligt sind, hat auf das Endergebnis keinerlei Einfluss, denn damit würde sich zwar die Zahl der Rechtsfälle reduzieren, aber die die Kosten pro Rechtsfall würden sich mit dem gleichen Faktor erhöhen.

<sup>417</sup> Dabei wurden die Anwalts- und übrigen Kosten mit dem Faktor 1/1.085 korrigiert (vgl. Kapitel 2.3.1), um diese Kosten in Faktorpreisen auszudrücken, bei den Gerichtskosten ist dies jedoch nicht nötig, da diese von der MWST befreit sind (siehe <http://mwst-institut.ch/node/7806> (27.12.2013)).

<sup>418</sup> Ergebnis einer aktuellen Umfrage bei 4 Gerichten und Staatsanwaltschaften. Dieser Wert wurde auch bisher verwendet (Ecoplan 2002, Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr der Schweiz 1998, S. 66).

<sup>419</sup> Gesamtkosten von 345 Mio. CHF dividiert durch die polizeilich registrierten Unfälle (58'928).

<sup>420</sup> Wiederum ist wie bei den Polizeikosten davon auszugehen, dass die spezifischen Kosten pro Unfall im Schienenverkehr höher liegen als im Strassenverkehr. Die gesamten Rechtsfolgekosten im Schienenverkehr werden daher tendenziell unterschätzt.



## b) Externe Kosten

Um den Anteil der **externen Rechtsfolgekosten im Strassenverkehr** zu bestimmen, ist wie oben erwähnt zu berücksichtigen, dass gemäss Angaben der Gerichte und Staatsanwaltschaften nur ca. 20% der Gerichts- und Verfahrenskosten weiter verrechnet werden. Die restlichen 80% sind als extern zu betrachten. Bei den Anwaltskosten und den übrigen Kosten nehmen wir an, dass diese normalerweise von den (schuldigen) Unfallverursachenden oder ihren Verkehrs-Rechtsschutzversicherungen zu tragen sind. Insgesamt sind also 80% der Gerichtskosten oder **1'500 CHF pro Rechtsfall** extern (vgl. Abbildung 13-30).

Bei den übrigen Verkehrsträgern wird dieselbe Umrechnung vorgenommen wie bei den sozialen Kosten, was einen Kostensatz von gut **2'600 CHF pro Unfall** ergibt.

### 13.4.7 Administrativkosten der Versicherungen

Zu den Administrativkosten der Versicherungen zählen wir sämtliche Kosten, welche bei der Abwicklung von Unfällen entstehen. Dazu gehören insbesondere die Aufwendungen für die Prüfung des Versicherungsanspruchs, für die administrative Abwicklung der auszahlenden Versicherungsleistung, für die Begründung allfälliger Regressforderungen und für die Aufwendungen bei Rechtsstreitigkeiten.

Diese Administrativkosten können sowohl bei Personenversicherungen (Unfallversicherung, Krankenkasse, AHV, IV usw.), bei Sachschadensversicherungen (Kasko) und Verkehrs-Rechtsschutzversicherungen als auch bei Motorfahrzeug-Haftpflichtversicherungen entstehen. Zusätzlich werden auch bei den Eigenleistungen der Unfallverursachenden Administrativkosten berücksichtigt.

Die **Administrativkosten der Personenversicherungen** bei Personenschäden (IV, AHV, UVG, KK, Mfz-Haftpflicht) sind bereits in Abschnitt 13.4.1 und 13.4.3d) beschrieben. In den folgenden Ausführungen werden die Administrativkosten bei Sachschäden und die Administrativkosten der Rechtsschutzversicherungen behandelt.

#### a) Soziale Kosten

Je nach Kostenbereich und Versicherungstyp werden unterschiedliche Anteile verwendet:

- **Administrativkosten der Motorfahrzeug-Versicherungen und Haftpflichtversicherungen bei Sachschäden**

Die Administrativkosten der Motorfahrzeug-Haftpflichtversicherungen, Kaskoversicherungen, Privathaftpflichtversicherungen sowie der Motorfahrzeug-Insassenversicherung werden auf Basis der von ihnen ausbezahlten Leistungen berechnet. Dafür wird ein Anteil der Administrativkosten von 35% der Leistungssumme verwendet. Dieser Wert basiert auf

der Betriebskostenquote (Cost Ratio<sup>421</sup>) und dem Anteil der Leistungen an den Prämieinnahmen (Claims Ratio<sup>422</sup>) im Nicht-Leben- und Schadengeschäft der Jahre 2005 bis 2012 verschiedener Versicherungsgesellschaften sowie der Finanzmarktaufsicht (FINMA).<sup>423</sup>

- **Administrativkosten der Rechtsschutzversicherungen**

Im Rahmen der Umfrage bei den Rechtsschutzversicherungen wurde auch der Anteil der administrativen Kosten erfragt. Dieser beträgt durchschnittlich ca. 22.5% der erbrachten Leistungen (vgl. Abschnitt 13.4.6). Pro polizeilich registrierten Unfall ergeben sich so Administrativkosten der Rechtsschutzversicherungen von rund 715 CHF (22.5% der Rechtsfolgekosten pro Unfall).<sup>424</sup> Dieser Wert wird auch für die Berechnung der Rechtsfolgekosten im Schienen-, Luft- und Schiffsverkehr verwendet.

## b) Externe Kosten

Je nach Kostenbereich und Versicherungstyp gelten unterschiedliche Regeln:

- **Administrativkosten der Haftpflichtversicherungen bei Sachschäden**

Die Administrativkosten der Motorfahrzeug-Haftpflichtversicherungen für Leistungen an die Nicht-Unfallverursachenden sind grundsätzlich intern, da mit den Prämien das Risiko der „Verkehrsteilnahme“ angemessen berücksichtigt wird. Dies gilt jedoch nicht für die Kategorien Fussgänger und fäG, da diese der Privathaftpflicht unterstehen. Diese administrativen Kosten sind nur im Rahmen des Anteils ihrer Eigenleistungen resp. des Selbstbehalts intern (rund 5% der Sachschäden der Fussgänger und fäG sind durch Eigenleistungen der Verursacher abgedeckt).<sup>425</sup> Die restlichen 95% des administrativen Aufwands dieser Kategorien werden über die Gesamtheit der Privathaftpflichtversicherten externalisiert. Ab dem Jahr 2012 muss diese Einschränkung auch für die Velos gemacht werden, da diese ab diesem Zeitpunkt ebenfalls der Privathaftpflicht unterliegen.

---

<sup>421</sup> Cost Ratio = Aufwendungen für den Versicherungsbetrieb für eigene Rechnung und Aufwendungen für die Verwaltung von Kapitalanlagen im Verhältnis zu den verdienten Bruttoprämien.

<sup>422</sup> Claims Ratio = Aufwendungen für Versicherungsfälle (brutto) im Verhältnis zu den verdienten Bruttoprämien.

<sup>423</sup> Das Verhältnis zwischen Leistungen und Kosten ergibt sich dabei aus der Division der Cost Ratio durch die Claims Ratio. Berücksichtigte Versicherungen (Nicht-Leben): Mobiliar, Bâloise, Helvetia, Vaudoise, Allianz Suisse, Generali, Helvetia, Nationale Suisse. Für Schadenversicherungen liegen nur Werte der FINMA aus den Jahren 2005 bis 2007 vor. Diese Schadenversicherer wiesen damals im Durchschnitt rund 5% tiefere Kostenanteile aus, als die Nicht-Leben-Versicherungen. Der Mittelwert der Nicht-Leben-Versicherungen im Jahr 2010 bis 2012 liegt bei rund 40%. Es wird gemäss dem at least Ansatz der mittlere Wert bei den Nicht-Leben-Versicherungen abzüglich der Differenz zwischen Nicht-Leben- und Schaden-Versicherungen aus früheren Jahren (40% - 5% = 35%) verwendet.

<sup>424</sup> Tatsächlich fallen nur 50% der Administrativkosten bei Rechtsschutzversicherungen an, da nur 50% alle Haushalte eine Rechtsschutzversicherung haben (Analyse der Fachkommission Rechtsschutz des SVV (= Schweizerischer Versicherungsverband) aus dem Jahr 2008). Bei den übrigen Rechtsstreitigkeiten fallen die administrativen Kosten in gleicher Höhe beim Unfallbeteiligten direkt an und stellen eine Eigenleistung dar.

<sup>425</sup> Der Selbstbehalt bei Privathaftpflichtversicherungen liegt bei lediglich 200 CHF. Daher sind auch die Eigenleistungen im Vergleich zu den übrigen Fahrzeugkategorien relativ gering. Bei den Motorfahrzeug-Haftpflichtversicherungen liegen die Selbstbehalte bei 0/500/1000 CHF je nach Alter des Lenkers.

- Die administrativen Kosten der **Kaskoversicherungen** und der **Rechtsschutzversicherungen** sind alle intern, da mit den Prämien der Verursacher das Risiko der Verkehrsteilnahme berücksichtigt ist.

### 13.4.8 Zusammenfassung der Kostensätze

Die folgenden Abbildungen zeigen die Ergebnisse der umfangreichen Berechnungen zum Wertgerüst:

- Soziale Kostensätze für Personenschäden
- Externe Personenschäden aus Sicht Verkehrsträger und Sicht Verkehrsteilnehmende für Unfallverursacher und Nicht-Unfallverursacher pro Unfallopfer
- Soziale und externe Sachschäden sowie Polizei- und Rechtsfolgekosten pro polizeilich registrierten Unfall

#### a) Soziale Kostensätze

Die folgende Abbildung zeigt die sozialen Kosten pro Opfer für die verschiedenen Verkehrsträger bzw. Opferkategorien nach Verletzungsschweren.

Abbildung 13-31: Soziale Kostensätze Personenschäden

	Medizinische Heilungskosten	Netto- produktions- ausfall	Wieder- besetzungs- kosten	Administrative Kosten	Immaterielle Kosten	Total
<b>Strassenverkehr</b>						
Tote	11'654	184'639	19'438	27'381	2'699'111	2'942'223
Invaliditätsfälle	239'492	81'810	21'245	83'550	986'707	1'412'804
Schwerverletzte	43'066	5'999	-	5'487	554'149	608'702
Mittelschwerverletzte	8'595	1'411	-	1'131	118'989	130'125
Leichtverletzte	1'394	157	-	127	13'599	15'277
<b>Sport- und Freizeitunfälle</b>						
Tote	11'654	11'770	2'323	27'748	793'162	846'658
Invaliditätsfälle	239'492	19'640	2'536	84'672	292'762	639'102
Leicht- bis Schwerverletzte		wie im Strassenverkehr				
<b>Schienen-, Luft- und Schiffsverkehr</b>						
Tote	wie im Strassenverkehr					
Schwerverletzte	37'504	7'095	786	6'753	408'233	460'372
Leichtverletzte	1'394	157	-	127	33'997	35'675
<b>Nur Schienenverkehr (Bedienstete)</b>						
Tote	11'654	323'009	36'441	42'370	3'326'543	3'740'018
Schwerverletzte	37'504	12'140	1'357	9'304	417'193	477'498
Leichtverletzte	1'394	258	-	158	33'997	35'807

Die Kostensätze für Todes- und Invaliditätsfälle bei Sport- und Freizeitunfällen auf der Strasse sind aufgrund des meist höheren Alters der Unfallopfer tiefer als im Strassenverkehr. Für den Schienen-, Luft- und Schiffsverkehr werden die Kostensätze umgerechnet, da die Verlet-

zungsschweren weniger stark differenziert und anders definiert sind.<sup>426</sup> Die Leichtverletzten des Strassenverkehrs sind deutlich weniger schwer verletzt als die Leichtverletzten der anderen Verkehrsträger, was sich im Kostensatz widerspiegelt (15'300 versus 35'700 CHF). Speziell ausgewiesen werden auch die Kostensätze für Bedienstete im Schienenverkehr. Hierbei handelt es sich mit Sicherheit um Erwerbstätige, weshalb ein spezifischer, höherer Kostensatz verwendet wird.

## b) Externe Kosten Sicht Verkehrsträger

Die externen Kosten pro Opfer aus Sicht Verkehrsträger der Nicht-Unfallverursacher sind in der folgenden Abbildung analog zu den sozialen Kostensätzen gegliedert. Im Sport- und Freizeitverkehr auf der Strasse gibt es (per Definition) keine nicht-unfallverursachenden Opfer, weshalb keine Durchschnittskosten angegeben werden.

Abbildung 13-32: Externe Kosten Sicht Verkehrsträger – Nicht-unfallverursachende Opfer

	Medizinische Heilungskosten	Netto- produktions- ausfall	Wieder- besetzungs- kosten	Administrative Kosten	Immaterielle Kosten	Total
<b>Strassenverkehr</b>						
Tote	4'919	184'639	19'438	22'166	49'439	<b>280'601</b>
Invaliditätsfälle	100'356	81'810	21'245	67'940	86'747	<b>358'098</b>
Schwerverletzte	18'046	5'999	Keine Wieder- besetzungs- kosten	4'462	4'757	<b>33'264</b>
Mittelschwerverletzte	3'601	1'411		920	909	<b>6'840</b>
Leichtverletzte	582	157		102	124	<b>965</b>
<b>Sport- und Freizeitunfälle</b>						
Tote	Keine nicht-unfallverursachenden Opfer bei Sport- und Freizeitunfällen im Langsamverkehr					
Invaliditätsfälle						
Leicht- bis Schwerverletzte						
<b>Schienen-, Luft- und Schiffsverkehr (ohne Bedienstete)</b>						
Tote	4'812	184'639	19'438	27'381	46'570	<b>280'601</b>
Schwerverletzte	15'487	7'095	786	6'753	5'847	<b>35'968</b>
Leichtverletzte	576	157	-	127	289	<b>1'149</b>
<b>Nur Schienenverkehr (Bedienstete)</b>						
Tote	4'812	323'009	36'441	42'370	46'570	<b>453'203</b>
Schwerverletzte	15'487	12'140	1'357	9'304	5'847	<b>44'135</b>
Leichtverletzte	576	258	-	158	289	<b>1'280</b>

Bei den Unfallverursachenden (nachfolgende Abbildung) sind die externen Kostensätze bei den medizinischen Heilungskosten und bei den immateriellen Kosten pro Opfer deutlich höher als bei den Nicht-Unfallverursachern. Dies liegt daran, dass die Unfallverursacher ihre (sich selbst) verursachten Kosten nicht mittels Regress auf einen anderen Verursacher ab-

<sup>426</sup> Für die Leichtverletzten werden dieselben Kostensätze verwendet wie im Strassenverkehr ausser bei den immateriellen Kosten, bei denen der Kostensatz an die andere Definition der Leichtverletzten angepasst wird. Ausser bei den immateriellen Kosten stellen die verwendeten Kostensätze somit eine Unterschätzung dar. Bei den Schwerverletzten wird ein gewichteter Durchschnitt der Verletzungsschweren mittelschwerverletzt, schwerverletzt und invalid verwendet, wobei als Gewichtung die Strassenverkehrsunfälle des Jahres 2009 verwendet werden (2009 war das letzte Jahr, in dem im Strassenverkehr die Leichtverletzten noch gleich definiert waren wie in den anderen Verkehrsträgern).

wälzen können, sondern diese zu einem grossen Teil an die Gesellschaft oder den Staat übertragen.

**Abbildung 13-33: Externe Kosten Sicht Verkehrsträger – Unfallverursachende Opfer**

	Medizinische Heilungskosten	Netto- produktions- ausfall	Wieder- besetzungs- kosten	Administrative Kosten	Immaterielle Kosten	Total
<b>Strassenverkehr</b>						
Tote	11'654	184'639	19'438	22'166	223'428	461'325
Invaliditätsfälle	239'492	81'810	21'245	67'940	597'864	1'008'351
Schwerverletzte	43'066	5'999	Keine Wieder-	4'462	46'662	100'189
Mittelschwerverletzte	8'595	1'411	besetzungs-	920	8'915	19'840
Leichtverletzte	1'394	157	kosten	102	1'255	2'909
<b>Sport- und Freizeitunfälle</b>						
Tote	11'654	11'770	2'323	27'089	21'938	74'774
Invaliditätsfälle	239'492	19'392	2'539	82'659	218'601	562'682
Leicht- bis Schwerverletzte	wie im Strassenverkehr					
<b>Schiene-, Luft- und Schiffsverkehr (ohne Bedienstete)</b>						
Tote	11'654	184'639	19'438	27'381	223'428	461'325
Schwerverletzte (Bahn)	37'504	7'095	786	6'753	53'001	105'139
Leichtverletzte (Bahn)	1'394	157	-	127	3'137	4'816

### c) Externe Kosten Sicht Verkehrsteilnehmende

Die externen Kostensätze aus Sicht Verkehrsteilnehmende sind mit Ausnahme der immateriellen Kosten (blau markiert) der Nicht-Unfallverursacher identisch mit jenen der Sicht Verkehrsträger. Die folgende Abbildung zeigt die externen Kostensätze aus Sicht Verkehrsteilnehmende für nicht-unfallverursachende Opfer.

**Abbildung 13-34: Externe Kosten Sicht Verkehrsteilnehmende – Nicht-unfallverursachende Opfer**

	Medizinische Heilungskosten	Netto- produktions- ausfall	Wieder- besetzungs- kosten	Administrative Kosten	Immaterielle Kosten	Total
<b>Strassenverkehr</b>						
Tote	4'919	184'639	19'438	22'166	1'232'573	1'463'735
Invaliditätsfälle	100'356	81'810	21'245	67'940	271'956	543'307
Schwerverletzte	18'046	5'999	Keine Wieder-	4'462	246'477	274'985
Mittelschwerverletzte	3'601	1'411	besetzungs-	920	53'338	59'270
Leichtverletzte	582	157	kosten	102	5'989	6'830
<b>Sport- und Freizeitunfälle</b>						
Tote	Keine nicht-unfallverursachenden Opfer bei					
Invaliditätsfälle	Sport- und Freizeitunfällen im Langsamverkehr					
Leicht- bis Schwerverletzte						
<b>Schiene-, Luft- und Schiffsverkehr (ohne Bedienstete)</b>						
Tote	4'919	184'639	19'438	27'381	1'700'846	1'937'223
Schwerverletzte	15'487	7'095	786	6'753	297'185	327'306
Leichtverletzte	576	157	-	127	23'854	24'714
<b>Nur Schienenverkehr (Bedienstete)</b>						
Tote	4'812	323'009	36'441	42'370	2'328'279	2'734'912
Schwerverletzte	15'487	12'140	1'357	9'304	306'144	344'432
Leichtverletzte	576	258	-	158	23'854	24'846

Der Grund für die deutliche Steigerung der externen immateriellen Kosten der Nicht-Unfallverursacher liegt darin, dass aus Sicht Verkehrsteilnehmende die bei den Opfern verbleibenden immateriellen Kosten (soziale immaterielle Kosten abzüglich Direktzahlungen und Transferleistungen) extern sind. Zum Nachvollzug der externen immateriellen Kosten im Strassenverkehr wird hier die Herleitung bei Todesfällen (externe immaterielle Kosten von rund 1.2 Mio. CHF) kurz beschrieben:

- Soziale immaterielle Kosten pro Todesfall: 2.7 Mio. CHF
- Durchschnittliche Transferleistung pro Todesfall: 0.2 Mio. CHF
- Durchschnittliche Direktzahlungen der Mfz-Haftpflichtversicherungen oder der Verursacher pro Todesfall: 1.3 Mio. CHF

Die verbleibenden Kosten (1.2 Mio. CHF) werden durch das Opfer bzw. dessen Angehörigen getragen und sind somit extern.

#### d) Soziale Sachschäden und Polizei- und Rechtsfolgekosten

Die sozialen Kostensätze für Sachschäden sowie Administrativkosten der Haftpflichtversicherungen bei Sachschäden sind in der folgenden Abbildung dargestellt, wobei die Administrativkosten jeweils 35% der Sachschäden entsprechen.

**Abbildung 13-35: Soziale Kosten bei Sachschäden pro polizeilich registrierten Unfall**

Kosten pro Unfall in CHF	Sachschaden	Administrativkosten
Personenwagen	28'385	9'935
Gesellschaftswagen	61'785	21'625
Motorrad	6'818	2'386
Mofa	7'820	2'737
Velo	2'652	928
FäG	3'435	1'202
Fussgänger	993	348
Bus	107'558	37'645
Trolley	212'789	74'476
Tram	205'850	72'048
Lieferwagen	49'388	17'286
Lastwagen	16'015	5'605
Sattelschlepper	11'854	4'149
Traktor, Arbeitsmaschine	32'459	11'361
Alle Fahrzeugkategorien	29'268	9'444

Die Sachschäden variieren je nach Verursacher zwischen rund 1'000 CHF bis 210'000 CHF. im Durchschnitt liegen sie bei 29'300 CHF pro polizeilich registrierten Unfall.

Im Schienenverkehr betragen die Sachschäden durchschnittlich 43'600 CHF pro Unfall, im Luftverkehr je nach Luftfahrzeugtyp zwischen 75'000 und 6'000'000 CHF pro Unfall und im Schiffsverkehr 40'000 CHF pro Unfall.

Tiefer liegen die Polizei- bzw. Rechtsfolgekosten mit rund 1'000 bzw. 5'800 CHF pro polizeilich registrierten Unfall. Die Administrativkosten der Rechtsschutzversicherungen betragen

pro Unfall rund 700 CHF. Diese Kostensätze gelten für alle Fahrzeugkategorien und Verkehrsträger.

#### **e) Externe Sachschäden und Polizei- und Rechtsfolgekosten**

Bei Fussgängern und fäG ist ein Teil der Sachschäden extern, da diese aufgrund der Privathaftpflicht nicht internalisiert werden. Nur die Eigenleistungen der Verursacher werden als Internalisierungsbeitrag angerechnet. Die Sachschäden der übrigen Fahrzeugkategorien werden über Zahlungen der Motorfahrzeug-Haftpflicht oder der Unfallverursacher internalisiert:

- Externe Sachschäden fäG: 1330 CHF pro Unfall
- Externe Sachschäden Fussgänger: 500 CHF pro Unfall

Von diesen Sachschäden sind 35% administrative Kosten, was für die fäG 460 CHF und für die Fussgänger 170 CHF ausmacht.

Bei den Polizei- und Rechtsfolgekosten werden die folgenden Kostensätze verwendet:

- Die Polizeikosten sind im Strassenverkehr zu 70% extern, was einen Kostensatz von 670 CHF pro Unfall ergibt. Bei den übrigen Verkehrsträgern wird ein Anteil von 85% angenommen, was zu einem Kostensatz von 810 CHF pro Unfall führt.
- Die externen Rechtsfolgekosten werden für alle Unfälle und Verkehrsträger auf durchschnittlich 2'600 CHF pro Unfall beziffert.
- Die administrativen Kosten der Rechtsschutzversicherungen sind allesamt intern.

#### **13.4.9 Internalisierungsbeiträge**

Die verschiedenen Beiträge zur Internalisierung wurden schon bei den einzelnen Kostenbestandteilen erwähnt, indem jeweils die sozialen und externen Kostensätze hergeleitet wurden. Es sind keine weiteren Internalisierungsbeiträge zu berücksichtigen (ausser der LSVA im Schwerverkehr, vgl. Kapitel 16.1.1).

### **13.5 Ergebnisse**

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Berechnungen wiedergegeben und kommentiert. Das Kapitel ist wie folgt aufgebaut:

- Soziale Unfallkosten (Abschnitt 13.5.1)
- Externe Kosten aus Sicht Verkehrsträger (Abschnitt 13.5.2).
- Externe Kosten aus Sicht Verkehrsart Schwerverkehr (Abschnitt 13.5.3)
- Externe Kosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende (Abschnitt 13.5.4)

Bei der Sicht Verkehrsart Schwerverkehr und der Sicht Verkehrsteilnehmende wird vor allem auf die Unterschiede zur Sicht Verkehrsträger eingegangen.

### 13.5.1 Soziale Kosten

#### a) Überblick Gesamtverkehr

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die sozialen Unfallkosten des Jahres 2010 im Überblick. Im Strassenverkehr entstehen mit grossem Abstand die meisten sozialen Unfallkosten (rund 12 Mrd. CHF oder 99%). Durch den Schienenverkehr werden rund 75 Mio. CHF an sozialen Unfallkosten verursacht. Zusätzlich fallen im Schienenverkehr rund 18 Mio. CHF an sozialen Unfallkosten an, die durch Dritte verursacht wurden. Diese werden jedoch nicht dem Schienenverkehr angelastet. Durch den Luftverkehr werden rund 30 Mio. CHF an Unfallkosten verursacht. Der Schiffsverkehr schliesslich ist in Bezug auf die Unfallkosten (rund 2 Mio. CHF) zu vernachlässigen. 94% der Kosten werden durch den Personenverkehr verursacht.

Abbildung 13-36: Überblick über die sozialen Unfallkosten 2010

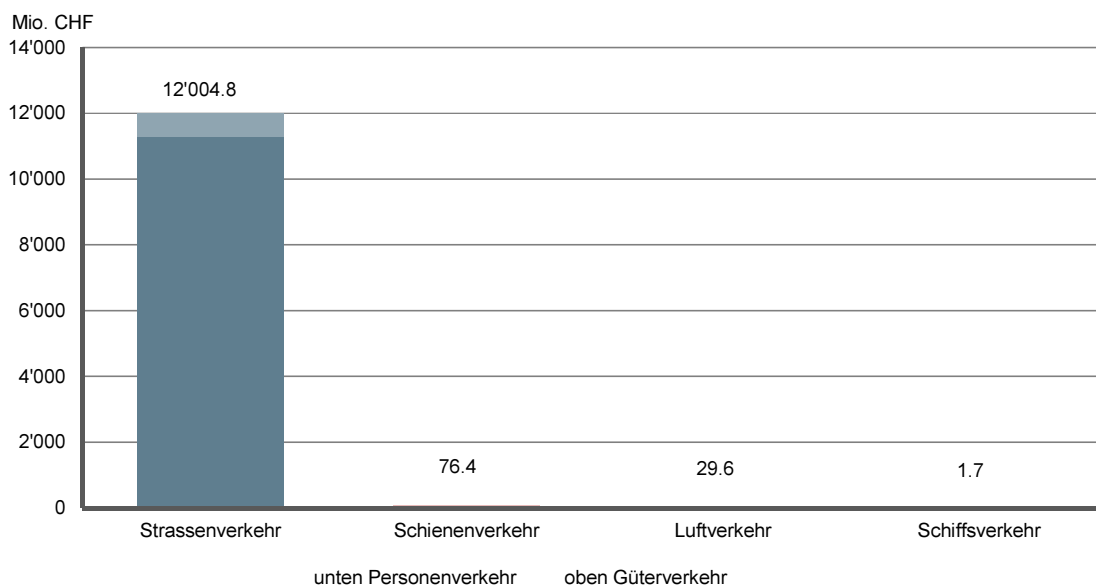


Abbildung 13-37: Überblick über die sozialen Unfallkosten 2010

Soziale Unfallkosten in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	11'295.6	709.2	<b>12'004.8</b>	99.1%
Schienenverkehr	35.8	40.5	<b>76.4</b>	0.6%
Luftverkehr	25.4	4.2	<b>29.6</b>	0.2%
Schiffsverkehr	0.1	1.6	<b>1.7</b>	0.0%
<b>Total</b>	<b>11'356.9</b>	<b>755.6</b>	<b>12'112.5</b>	100.0%
in % des Totals	93.8%	6.2%	100.0%	

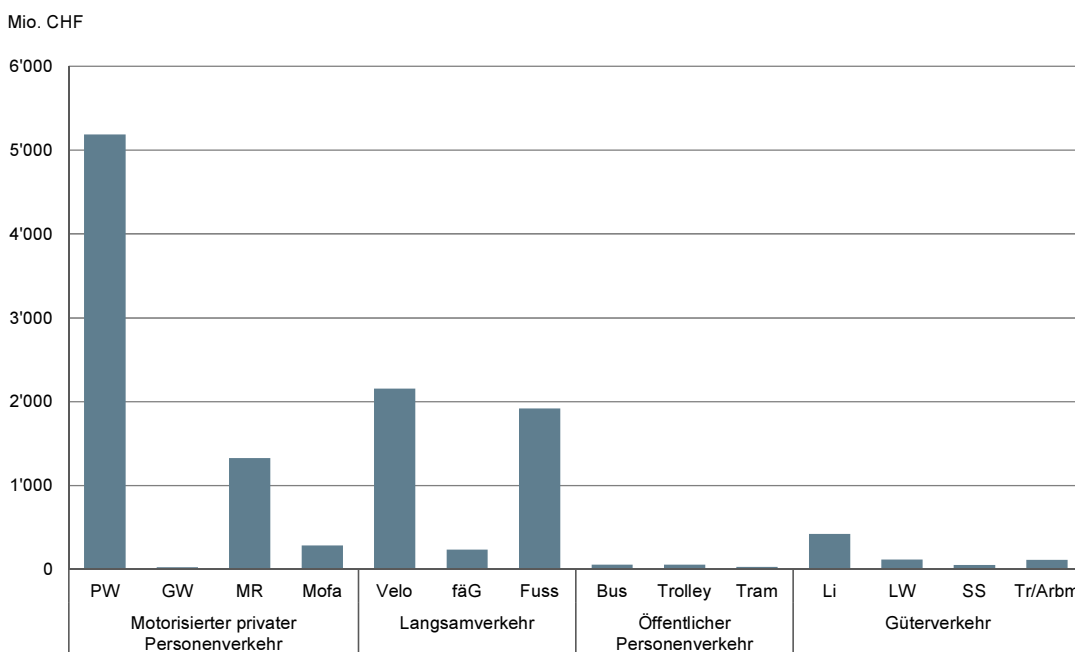


## b) Strassenverkehr

Rund 5.2 Mrd. CHF und somit etwa 43% der sozialen Unfallkosten sind durch die Personewagen verschuldet. Beinahe so viele Kosten werden mit rund 4.3 Mrd. CHF durch den Veloverkehr, den Fussverkehr und fäG verursacht, davon sind rund 1.4 Mrd. CHF auf Sport- und Freizeitunfälle auf der Strasse zurückzuführen. Ein weiterer bedeutender Verursacher stellt das Motorrad (MR) mit rund 11% der sozialen Unfallkosten. Durch den Güterverkehr sind rund 710 Mio. CHF an Unfallkosten verursacht, wobei nur 171 Mio. CHF (1.4%) auf Lastwagen und Sattelschlepper zurückzuführen sind. Der öffentliche Verkehr ist mit 148 Mio. CHF (1.2%) an sozialen Kosten eher unbedeutend.

Über alle Fahrzeugkategorien betrachtet fällt insbesondere die grosse absolute Bedeutung der Personenschäden in Gewicht (vgl. Abbildung 13-39). Etwa 78% der sozialen Kosten entfallen auf die Personenschäden, davon wiederum entfallen etwa 90% auf die immateriellen Kosten. Sachschäden (inkl. Administrativkosten) sind für 18% der Kosten verantwortlich, Polizei- und Rechtsfolgekosten für die verbleibenden 4%.

Abbildung 13-38: Soziale Unfallkosten im Strassenverkehr 2010 nach Fahrzeugkategorien



**Abbildung 13-39: Soziale Unfallkosten im Strassenverkehr 2010 nach Kostenbestandteilen und Fahrzeugkategorien**

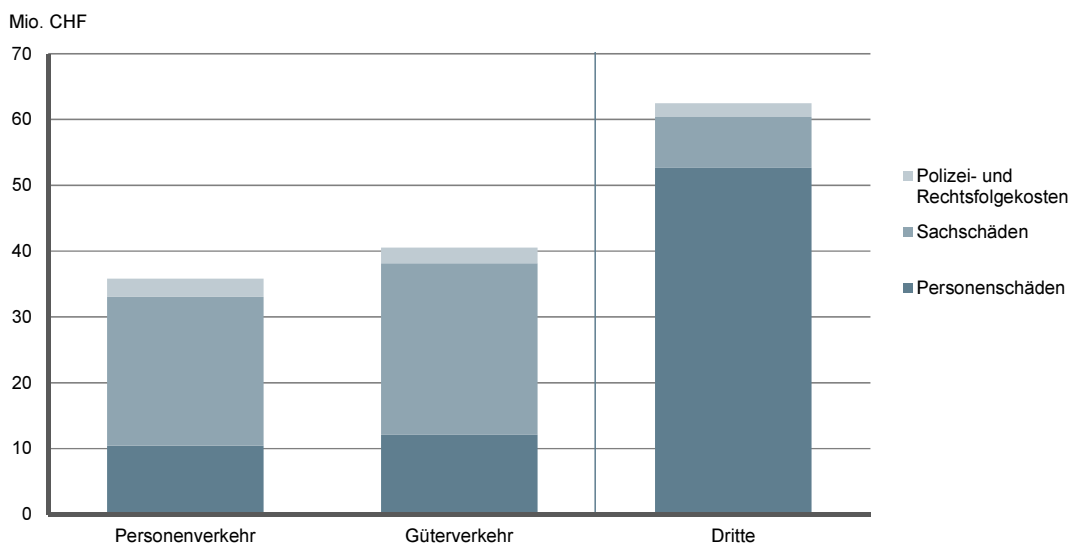
Soziale Unfallkosten Strassenverkehr in Mio. CHF	Personenverkehr									Güterverkehr				Gesamt- total	
	Motorisierter privater Personenverkehr				Langsamverkehr			Öffentlicher Personenverkehr		Li	LW	SS	Tr/Arbm		
	PW	GW	MR	Mofa	Velo	fäG	Fuss	Bus	Trolley						Tram
<b>Personenschäden</b>	<b>3'091.5</b>	<b>16.9</b>	<b>1'273.7</b>	<b>279.9</b>	<b>2'133.0</b>	<b>235.2</b>	<b>1'911.9</b>	<b>30.6</b>	<b>28.7</b>	<b>16.8</b>	<b>190.3</b>	<b>76.1</b>	<b>34.2</b>	<b>96.3</b>	<b>9'415.0</b>
Medizinische Heilungskosten	211.7	1.0	93.1	22.2	168.6	18.7	140.5	2.3	2.3	1.3	12.0	4.2	1.5	5.7	685.1
Nettoproduktionsausfall	69.9	0.5	25.0	4.4	34.2	3.0	26.7	0.5	0.5	0.3	5.0	2.3	1.3	2.7	176.4
Wiederbesetzungskosten	6.9	0.0	2.5	0.4	3.1	0.1	1.7	0.1	0.0	0.0	0.5	0.2	0.1	0.3	16.0
Administrative Kosten	38.8	0.2	16.7	3.7	27.5	2.7	24.3	0.4	0.4	0.2	2.3	0.9	0.4	1.2	119.6
Immaterielle Kosten	2'764.2	15.2	1'136.4	249.1	1'899.5	210.7	1'718.8	27.3	25.5	15.0	170.5	68.4	30.9	86.4	8'417.9
<b>Sachschäden</b>	<b>1'752.6</b>	<b>10.2</b>	<b>29.5</b>	<b>5.3</b>	<b>8.1</b>	<b>0.7</b>	<b>1.1</b>	<b>26.6</b>	<b>27.6</b>	<b>15.3</b>	<b>208.7</b>	<b>31.8</b>	<b>12.3</b>	<b>16.3</b>	<b>2'146.2</b>
Sachschäden	1'298.2	7.5	21.9	3.9	6.0	0.5	0.8	19.7	20.5	11.3	154.6	23.5	9.1	12.1	1'589.8
Administrativkosten	454.4	2.6	7.7	1.4	2.1	0.2	0.3	6.9	7.2	4.0	54.1	8.2	3.2	4.2	556.4
<b>Polizei- und Rechtsfolgekosten</b>	<b>344.4</b>	<b>0.9</b>	<b>24.1</b>	<b>3.8</b>	<b>17.1</b>	<b>1.2</b>	<b>6.4</b>	<b>1.4</b>	<b>0.7</b>	<b>0.4</b>	<b>23.6</b>	<b>11.1</b>	<b>5.8</b>	<b>2.8</b>	<b>443.6</b>
Polizeikosten	43.6	0.1	3.1	0.5	2.2	0.2	0.8	0.2	0.1	0.1	3.0	1.4	0.7	0.4	56.2
Rechtsfolgekosten	268.1	0.7	18.8	2.9	13.3	0.9	5.0	1.1	0.6	0.3	18.4	8.6	4.5	2.2	345.4
Administrativk.	32.7	0.1	2.3	0.4	1.6	0.1	0.6	0.1	0.1	0.0	2.2	1.1	0.5	0.3	42.1
<b>Total Fahrzeugkategorien</b>	<b>5'188.5</b>	<b>28.0</b>	<b>1'327.3</b>	<b>288.9</b>	<b>2'158.2</b>	<b>237.1</b>	<b>1'919.4</b>	<b>58.6</b>	<b>57.0</b>	<b>32.5</b>	<b>422.6</b>	<b>118.9</b>	<b>52.3</b>	<b>115.4</b>	<b>12'004.8</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	<b>43.2%</b>	<b>0.2%</b>	<b>11.1%</b>	<b>2.4%</b>	<b>18.0%</b>	<b>2.0%</b>	<b>16.0%</b>	<b>0.5%</b>	<b>0.5%</b>	<b>0.3%</b>	<b>3.5%</b>	<b>1.0%</b>	<b>0.4%</b>	<b>1.0%</b>	<b>100.0%</b>
<b>Total Teilbereiche</b>	<b>6'832.7</b>				<b>4'314.8</b>			<b>148.2</b>			<b>709.2</b>				<b>12'004.8</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	<b>56.9%</b>				<b>35.9%</b>			<b>1.2%</b>			<b>5.9%</b>				<b>100.0%</b>

PW = Personenwagen, GW = Gesellschaftswagen, MR = Motorrad, fäG = fahrzeughähnliches Gerät, Fuss = Fussverkehr, Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper, Tr = Traktor, Arbm = Arbeitsmaschine

### c) Schienenverkehr

Im Schienenverkehr fallen soziale Unfallkosten von rund 140 Mio. CHF an. Davon entfallen 36 Mio. CHF auf den Personenverkehr und 40 Mio. CHF auf den Güterverkehr. Durch Dritte (schienenverkehrsfremde Verursacher) entfallen mit gut 62 Mio. CHF etwa 46% der sozialen Unfallkosten. Diese sind jedoch nicht dem Schienenverkehr anzulasten. Dies zeigt auch die folgende Abbildung.

**Abbildung 13-40: Soziale Unfallkosten im Schienenverkehr 2010 nach Verursacher**



Die folgende Abbildung zeigt die Aufschlüsselung der sozialen Kosten im Schienenverkehr nach Kostenbestandteilen. Die Abbildung zeigt, dass auch im Schienenverkehr die Personenschäden mehr als die Hälfte der Kosten (54% oder 75 Mio. CHF) ausmachen. Im Vergleich zum Strassenverkehr entstehen aber auch hohe Sachschäden (41% oder 56 Mio. CHF). Die Polizei- und Rechtsfolgekosten mit 7 Mio. CHF (5%) sind demgegenüber eher unbedeutend.

**Abbildung 13-41: Soziale Unfallkosten im Schienenverkehr 2010 nach Kostenbestandteilen**

Soziale Unfallkosten in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Dritte	Total
<b>Schieneverkehr in Mio. CHF</b>				
<b>Personenschäden</b>	<b>10.4</b>	<b>12.1</b>	<b>52.7</b>	<b>75.2</b>
Medizinische Heilungskosten	0.5	0.4	1.1	2.0
Nettoproduktionsausfall	0.3	0.8	2.6	3.6
Wiederbesetzungskosten	0.0	0.1	0.3	0.4
Administrative Kosten	0.1	0.2	0.5	0.8
Immaterielle Kosten	9.5	10.7	48.1	68.4
<b>Sachschäden</b>	<b>22.6</b>	<b>26.1</b>	<b>7.7</b>	<b>56.4</b>
Sachschäden	16.8	19.3	5.7	41.8
Administrativkosten	5.9	6.8	2.0	14.6
<b>Polizei- und Rechtsfolgekosten</b>	<b>2.7</b>	<b>2.4</b>	<b>2.1</b>	<b>7.2</b>
Polizeikosten	0.3	0.3	0.3	0.9
Rechtsfolgekosten	2.1	1.9	1.6	5.6
Administrativk.	0.3	0.2	0.2	0.7
<b>Total</b>	<b>35.8</b>	<b>40.5</b>	<b>62.5</b>	<b>138.8</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	<b>25.8%</b>	<b>29.2%</b>	<b>45.0%</b>	<b>100.0%</b>

#### d) Luftverkehr

Im Luftverkehr fallen im Jahr 2010 rund 30 Mio. CHF an Unfallkosten an. Im Personenverkehr fallen Kosten in Höhe von 25 Mio. CHF (86%) an, im Güterverkehr rund 4 Mio. CHF (14%). Im Güterverkehr sind praktisch alle Kosten Sachschäden, wobei ein Grossteil von Helikopterunfällen stammt. Im Personenverkehr sind die Personenschäden (13.4 Mio. CHF) erwartungsgemäss die grösste Position, gefolgt von den Sachschäden (11.9 Mio. CHF). Die Polizei- und Rechtsfolgekosten (0.1 Mio. CHF) sind praktisch inexistent.

Abbildung 13-42: Soziale Unfallkosten im Luftverkehr 2010 nach Personen- und Güterverkehr

Soziale Unfallkosten in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
<b>Luftverkehr</b>			
<b>Personenschäden</b>	<b>13.38</b>	<b>0.36</b>	<b>13.74</b>
Medizinische Heilungskosten	0.17	0.03	<b>0.20</b>
Nettoproduktionsausfall	0.76	0.01	<b>0.77</b>
Wiederbesetzungskosten	0.08	0.00	<b>0.08</b>
Administrative Kosten	0.13	0.01	<b>0.14</b>
Immaterielle Kosten	12.23	0.32	<b>12.55</b>
<b>Sachschäden</b>	<b>11.90</b>	<b>3.85</b>	<b>15.75</b>
Sachschäden	8.82	2.85	<b>11.67</b>
Administrativkosten	3.09	1.00	<b>4.08</b>
<b>Polizei- und Rechtsfolgekosten</b>	<b>0.08</b>	<b>0.02</b>	<b>0.10</b>
Polizeikosten	0.01	0.00	<b>0.01</b>
Rechtsfolgekosten	0.06	0.02	<b>0.08</b>
Administrativk.	0.01	0.00	<b>0.01</b>
<b>Total</b>	<b>25.36</b>	<b>4.24</b>	<b>29.59</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	<b>85.7%</b>	<b>14.3%</b>	<b>100.0%</b>

Bedeutendster Verursacher ist der europäische Linien- und Charterverkehr (nach Verkehrsart), die schweren Flugzeuge mit einem Abfluggewicht mit mehr als 5.7t MTOM (nach Luftfahrzeugtyp) sowie die Landesflughäfen (nach Flugplatztyp). Die detaillierte Aufteilung nach diesen drei Differenzierungen ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

Abbildung 13-43: Soziale Unfallkosten im Luftverkehr 2010 nach Verkehrsart, Luftfahrzeugtyp und Flugplatztyp

Differenzierung nach Verkehrsart	Differenzierung nach Luftfahrzeugtyp	Differenzierung nach Flugplatztyp	
Linien- und Charterverkehr interkontinental	1.17 Flugzeuge bis 2250 kg MTOM	0.36 Landesflughäfen	14.52
Linien- und Charterverkehr europäisch	10.29 Flugzeuge von 2250 bis 5700 kg MTOI	9.29 Regionalflugplätze	13.00
Helikopter	8.48 Flugzeuge mehr als 5700 kg MTOM	11.46 Ausserhalb Flugplatz	2.07
General Aviation (bzw. Rest)	9.66 Helikopter	8.48	
	Motorsegler, Segelflugzeuge	-	
<b>Total</b>	<b>29.59 Total</b>	<b>29.59 Total</b>	<b>29.59</b>

MTOM = Maximum take off mass (maximales Abfluggewicht)

### e) Schiffsverkehr

Im Schiffsverkehr fallen Unfallkosten in Höhe von 1.75 Mio. CHF (1.6 Mio. CHF im Güterverkehr und 0.15 Mio. CHF im Personenverkehr) an. Den grössten Anteil an diesen Kosten haben mit 1.1 Mio. CHF die Sachschäden im Güterverkehr, gefolgt von den Personenschäden im Güterverkehr mit 0.4 Mio. CHF. Aufgrund der äusserst kleinen Zahlen im Schienenverkehr wird an dieser Stelle auf einen detaillierten Ausweis der Ergebnisse verzichtet.

### 13.5.2 Externe Kosten aus Sicht Verkehrsträger

#### a) Überblick Gesamtverkehr

Die folgenden Abbildungen, welche den Überblick zu den externen Unfallkosten aus Sicht Verkehrsträger zeigen, können wie folgt kommentiert werden:

- Die externen Unfallkosten sind im Strassenverkehr mit Abstand am grössten (rund 1.8 Mrd. CHF). Auf den Strassengüterverkehr entfällt lediglich ein kleiner Bruchteil von 71 Mio. CHF oder knapp 4% dieser Kosten.
- Im Schienenverkehr teilen sich die externen Unfallkosten von 4.4 Mio. CHF zu 2.4 Mio. CHF auf den Güterverkehr und zu 2 Mio. CHF auf den Personenverkehr auf.
- Durch den Luftverkehr werden der Gesellschaft und dem Staat externe Unfallkosten im Rahmen von 1.8 Mio. CHF auferlegt.
- Im Schiffsverkehr sind die externen Unfallkosten mit rund 0.1 Mio. CHF vernachlässigbar klein.

Abbildung 13-44: Überblick über die externen Unfallkosten 2010

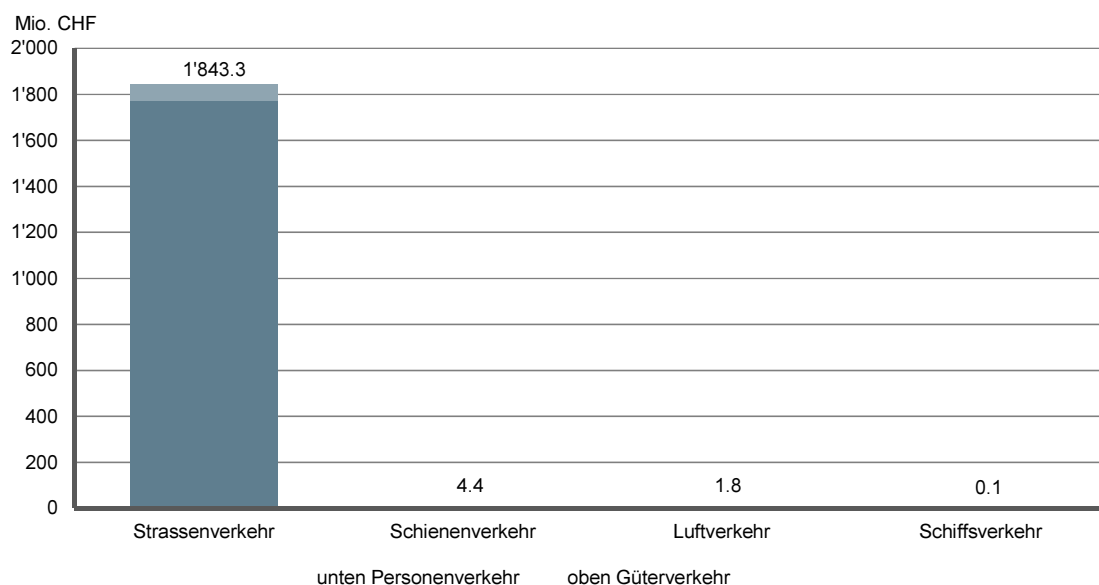


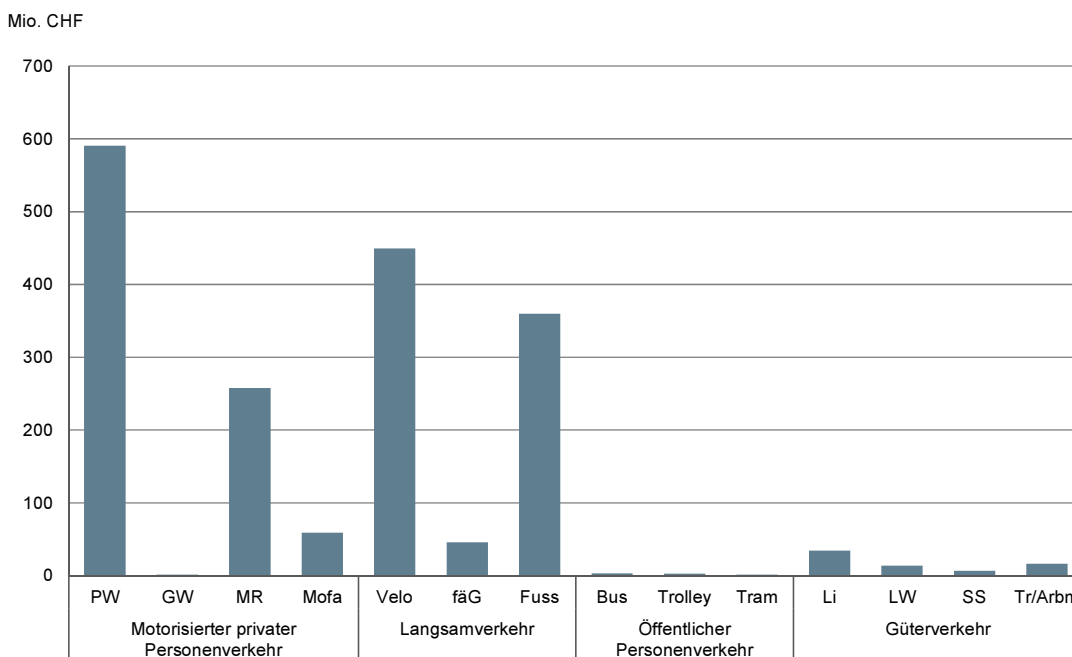
Abbildung 13-45: Überblick über die externen Unfallkosten 2010

Externe Unfallkosten in Mio. CHF Sicht Verkehrsträger	Personen- verkehr	Güter- verkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	1'772.0	71.3	<b>1'843.3</b>	99.7%
Schienenverkehr	2.0	2.4	<b>4.4</b>	0.2%
Luftverkehr	1.7	0.0	<b>1.8</b>	0.1%
Schiffsverkehr	0.0	0.1	<b>0.1</b>	0.0%
<b>Total</b>	<b>1'775.7</b>	<b>73.9</b>	<b>1'849.5</b>	100.0%
in % des Totals	96.0%	4.0%	100.0%	

## b) Strassenverkehr

Im Strassenverkehr werden die externen Kosten ebenfalls nach Fahrzeugkategorien ausgewiesen. Wie die folgende Abbildung zeigt, sind die Personenwagen für etwa 590 Mio. CHF (32%) an externen Unfallkosten verantwortlich. Bei den externen Kosten wird diese Kategorie jedoch durch den Langsamverkehr übertroffen, der (inkl. Sport- und Freizeitunfälle auf der Strasse) für rund 855 Mio. CHF sorgt (46%). Die Sport- und Freizeitunfälle auf der Strasse alleine machen rund 250 Mio. CHF davon aus. Verantwortlich für den hohen Wert bei den Langsamverkehrs-Kategorien ist der hohe Anteil an Unfallverursachern. Viele Unfälle sind durch die Fussgänger, Velofahrer oder fäG selbst verursacht und die dadurch entstehenden Kosten somit zu einem grossen Teil extern. Der öffentliche Personenverkehr generiert im Jahr 2010 externe Unfallkosten von nur rund 7 Mio. CHF (0.4%), der Güterverkehr mit rund 71 Mio. CHF (4%) dagegen deutlich mehr.

Abbildung 13-46: Externe Unfallkosten im Strassenverkehr 2010 nach Fahrzeugkategorien



Die detailliertere Auslegeordnung in Abbildung 13-47 zeigt, dass vor allem die Personenschäden (rund 89% oder 1.6 Mrd. CHF) eine grosse Bedeutung haben. Innerhalb der Personenschäden sind wie bei den sozialen Kosten die immateriellen Kosten (45% der Personenschäden) sowie die medizinischen Heilungskosten (36%) von Bedeutung.

Der absolut grösste Verursacher von externen Personenschäden (und Sachschäden) ist unter Berücksichtigung der Sport- und Freizeitunfälle auf der Strasse somit der Langsamverkehr (etwa 845 Mio. CHF). Bei den Polizei- und Rechtsfolgekosten ist der grösste Verursacher der motorisierte Personenverkehr, speziell die Personenwagen und Motorräder.

Abbildung 13-47: Externe Unfallkosten im Strassenverkehr 2010 nach Kostenbestandteilen und Fahrzeugkategorien

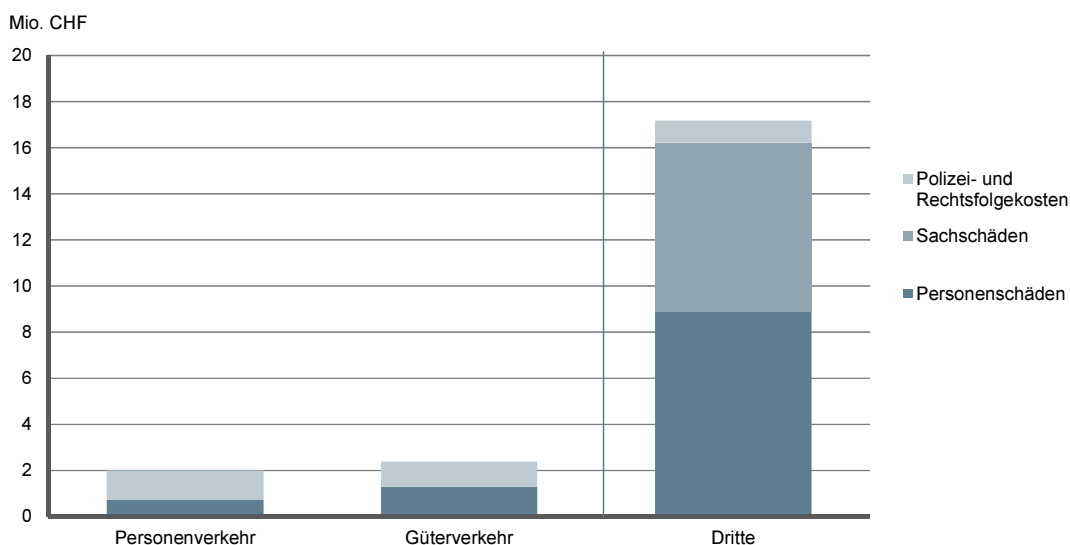
Externe Unfallkosten Sicht Verkehrsträger Strassenverkehr in Mio. CHF	Personenverkehr											Güterverkehr				Gesamt- total
	Motorisierter privater Personenverkehr				Langsamverkehr			Öffentlicher Personenverkehr				Li	LW	SS	Tr/Arbm	
	PW	GW	MR	Mofa	Velo	fäG	Fuss	Bus	Trolley	Tram						
Personenschäden	439.7	1.3	247.1	57.4	442.2	45.1	356.6	2.5	2.2	1.3	23.9	9.1	4.1	15.4	1'647.9	
Medizinische Heilungskosten	152.6	0.4	87.0	21.5	166.0	18.6	140.4	1.1	1.0	0.6	7.9	2.7	1.0	4.8	605.6	
Nettoproduktionsausfall	69.9	0.5	25.0	4.4	34.2	3.0	26.7	0.5	0.5	0.3	5.0	2.3	1.3	2.7	176.4	
Wiederbesetzungskosten	6.9	0.0	2.5	0.4	3.1	0.1	1.7	0.1	0.0	0.0	0.5	0.2	0.1	0.3	16.0	
Administrative Kosten	30.8	0.2	13.2	2.9	21.9	2.6	24.0	0.3	0.3	0.2	1.8	0.7	0.3	0.9	100.2	
Immaterielle Kosten	179.5	0.2	119.4	28.1	217.0	20.6	163.8	0.6	0.4	0.2	8.6	3.1	1.3	6.6	749.7	
<b>Sachschäden</b>	-	-	-	-	-	0.3	0.6	-	-	-	-	-	-	-	0.9	
Sachschäden	-	-	-	-	-	0.2	0.4	-	-	-	-	-	-	-	0.6	
Administrativkosten	-	-	-	-	-	0.1	0.1	-	-	-	-	-	-	-	0.2	
<b>Polizei- und Rechtsfolgekosten</b>	151.0	0.4	10.6	1.6	7.5	0.5	2.8	0.6	0.3	0.2	10.3	4.9	2.5	1.2	194.5	
Polizeikosten	30.5	0.1	2.1	0.3	1.5	0.1	0.6	0.1	0.1	0.0	2.1	1.0	0.5	0.2	39.3	
Rechtsfolgekosten	120.5	0.3	8.4	1.3	6.0	0.4	2.2	0.5	0.3	0.1	8.2	3.9	2.0	1.0	155.2	
Administrativk.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Total Fahrzeugkategorien</b>	<b>590.7</b>	<b>1.7</b>	<b>257.7</b>	<b>59.0</b>	<b>449.7</b>	<b>45.9</b>	<b>360.0</b>	<b>3.1</b>	<b>2.6</b>	<b>1.5</b>	<b>34.2</b>	<b>13.9</b>	<b>6.6</b>	<b>16.6</b>	<b>1'843.3</b>	
<b>in % des Gesamttotals</b>	32.0%	0.1%	14.0%	3.2%	24.4%	2.5%	19.5%	0.2%	0.1%	0.1%	1.9%	0.8%	0.4%	0.9%	100.0%	
<b>Total Teilbereiche</b>	909.2				855.6			7.2			71.3				1'843.3	
<b>in % des Gesamttotals</b>	49.32%				46.42%			0.39%			3.87%				100.0%	

PW = Personenwagen, GW = Gesellschaftswagen, MR = Motorrad, fäG = fahrzeughähnliches Gerät, Fuss = Fussverkehr, Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper, Tr = Traktor, Arbm = Arbeitsmaschine

### c) Schienenverkehr

Die externen Unfallkosten im Schienenverkehr sind in der folgenden Abbildung dargestellt. Sie zeigt, dass durch den Schienenverkehr rund 4.4 Mio. CHF (Personen- und Güterverkehr je etwas mehr als 2 Mio. CHF) verursacht werden. Durch Dritte werden rund 17.2 Mio. CHF an externen Kosten verursacht. Insgesamt wurden externe Unfallkosten von 21.6 Mio. CHF ermittelt.

Abbildung 13-48: Externe Unfallkosten im Schienenverkehr 2010 nach Verursacher



Die detaillierte Betrachtung der Kostenbestandteile zeigt die marginale Bedeutung des Verursachers Schienenverkehr sowie die grosse Bedeutung des Verursachers „Dritte“ (diese werden nicht dem Schienenverkehr angelastet). Die Personenschäden und Sachschäden haben über alle Verursacher betrachtet die grössten Anteile an den gesamten externen Unfallkosten.

**Abbildung 13-49: Externe Unfallkosten im Schienenverkehr 2010 nach Kostenbestandteilen**

Externe Unfallkosten Sicht Verkehrsträger	Personenverkehr	Güterverkehr	Dritte	Total
<b>Schieneverkehr in Mio. CHF</b>				
<b>Personenschäden</b>	<b>0.7</b>	<b>1.3</b>	<b>8.9</b>	<b>11.0</b>
Medizinische Heilungskosten	0.2	0.1	1.1	1.5
Nettoproduktionsausfall	0.3	0.8	2.6	3.6
Wiederbesetzungskosten	0.0	0.1	0.3	0.4
Administrative Kosten	0.1	0.2	0.5	0.8
Immaterielle Kosten	0.1	0.1	4.4	4.7
<b>Sachschäden</b>	-	-	<b>7.3</b>	<b>7.3</b>
Sachschäden	-	-	5.4	5.4
Administrativkosten	-	-	1.9	1.9
<b>Polizei- und Rechtsfolgekosten</b>	<b>1.3</b>	<b>1.1</b>	<b>1.0</b>	<b>3.3</b>
Polizeikosten	0.3	0.3	0.2	0.8
Rechtsfolgekosten	1.0	0.8	0.7	2.5
Administrativk.	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>2.0</b>	<b>2.4</b>	<b>17.2</b>	<b>21.6</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	9.2%	11.0%	79.7%	100.0%

#### d) Luftverkehr

Die gesamten Kosten des Luftverkehrs betragen 1.76 Mio. CHF. Die höchsten externen Unfallkosten fallen dabei beim Personenverkehr an (1.72 Mio. CHF). Im Güterverkehr sind die gesamten Kosten extrem klein (0.04 Mio. CHF). Im Luftverkehr wird aufgrund der sehr kleinen Zahlen auf eine detaillierte Darstellung der Kostenbestandteile verzichtet.

Die folgende Abbildung zeigt jedoch zusätzlich die Aufteilung auf Verkehrsart, Luftfahrzeugtyp und Flugplatztyp. Dabei zeigt sich, dass 2010 der grösste Teil der Kosten bei der General Aviation, bei mittelgrossen Flugzeugen bzw. auf Regionalflugplätzen anfallen – obwohl diese Kategorien bei den sozialen Kosten deutlich weniger wichtig sind (vgl. Abbildung 13-43). Grund für den höheren Anteil bei den externen Kosten ist, dass es nur in diesen Kategorien Unfallopfer gibt, die den Unfall selbst verursacht haben. Beim Unfallverursacher wird ein grösserer Teil der Kosten externalisiert (vgl. Abbildung 13-16 und Abbildung 13-23).



**Abbildung 13-50: Externe Unfallkosten im Luftverkehr nach Verkehrsart, Luftfahrzeugtyp und Flugplatztyp**

Differenzierung nach Verkehrsart	Differenzierung nach Luftfahrzeugtyp	Differenzierung nach Flugplatztyp	
Linien- und Charterverkehr interkontinental	0.06 Flugzeuge bis 2250 kg MTOM	0.02 Landesflughäfen	0.62
Linien- und Charterverkehr europäisch	0.51 Flugzeuge von 2250 bis 5700 kg MTOM	1.09 Regionalflugplätze	1.11
Helikopter	0.08 Flugzeuge mehr als 5700 kg MTOM	0.57 Ausserhalb Flugplatz	0.03
General Aviation (bzw. Rest)	1.10 Helikopter	0.08	
	Motorsegler, Segelflugzeuge	-	
<b>Total</b>	<b>1.76 Total</b>	<b>1.76 Total</b>	<b>1.76</b>

MTOM = Maximum take off mass (maximales Abfluggewicht)

### e) Schiffsverkehr

Im Schiffsverkehr können die externen Kosten auf rund 0.11 Mio. CHF beziffert werden, wo von 8% vom Personenverkehr stammen. Auf eine differenzierte Darstellung wird verzichtet.

### 13.5.3 Externe Kosten aus Sicht Verkehrsart Schwerverkehr

Die Sicht Verkehrsart Schwerverkehr im Strassenverkehr wird auf Basis der Sichtweisen Verkehrsträger und Verkehrsteilnehmende berechnet. Aufgrund der angewendeten Methodik unterscheiden sich die externen Kosten der Verkehrsart Schwerverkehr nur bei den immateriellen Kosten. Aus diesem Grund wird in der folgenden Abbildung nur nach externen immateriellen Kosten und übrigen Kosten und nach Fahrzeugkategorien differenziert.

**Abbildung 13-51: Externe Unfallkosten aus Sicht Verkehrsart Schwerverkehr 2010**

Externe Unfallkosten Sicht Verkehrsart in Mio. CHF	Gesellschafts- wagen	Lastwagen	Sattelschlepper	Total
Immaterielle Kosten	4.8	22.3	11.7	<b>38.8</b>
Übrige Kosten	1.5	10.8	5.3	<b>17.6</b>
<b>Total</b>	<b>6.4</b>	<b>33.1</b>	<b>17.0</b>	<b>56.4</b>

Die Ergebnisse aus Sicht Verkehrsart Schwerverkehr lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Bei den Gesellschaftswagen sind externe Kosten von 6.4 Mio. CHF festzustellen (Verkehrsträger: 1.7 Mio. CHF / Verkehrsteilnehmende: 8.2 Mio. CHF).
- Durch Lastwagen werden 33.1 Mio. CHF (14.0 / 34.3 Mio. CHF) an externen Kosten verursacht.
- Durch Sattelschlepper werden 17.0 Mio. CHF (6.6 / 17.2 Mio. CHF) an externen Kosten verursacht.

Die kleine Differenz zwischen den externen immateriellen Kosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende und Sicht Verkehrsart in den Kategorien Lastwagen und Sattelschlepper (vgl. hierzu auch die folgende Abbildung) rührt daher, dass durch diese Kategorien ein sehr kleiner Teil der nicht-unfallverursachenden Opfer innerhalb des Schwerverkehrs zu finden sind. Bei den

Gesellschaftswagen ist der Anteil der innerhalb des Schwerverkehrs zu findenden nicht-unfallverursachenden Opfer wesentlich grösser.

**Abbildung 13-52: Vergleich der externen immateriellen Kosten nach Sichtweise**

Vergleich der Sichtweisen Immaterielle Kosten in Mio. CHF	Verursacher			Total
	GW	LW	SS	
Sicht Verkehrsträger	0.24	3.14	1.30	4.67
Sicht Verkehrsteilnehmende	6.65	23.47	11.89	42.02
Sicht Verkehrsart Schwerverkehr	<b>4.84</b>	<b>22.31</b>	<b>11.68</b>	<b>38.83</b>
Anteil Sicht Schwerverkehr an Verkehrsteilnehmend	73%	95%	98%	92%

#### 13.5.4 Externe Kosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende

##### a) Überblick Gesamtverkehr

Aus Sicht Verkehrsteilnehmende sind die nicht mittels Direktzahlungen und Transferleistungen gedeckten sozialen immateriellen Kosten der nicht-unfallverursachenden Opfer als extern zu betrachten. Die übrigen Kostenbestandteile bleiben gegenüber der Sicht Verkehrsträger konstant. Die folgende Abbildung gibt eine Übersicht über die einzelnen Verkehrsträger differenziert nach Personen- und Güterverkehr, wobei wiederum mehr als 99% oder 2.63 Mrd. CHF der externen Kosten auf den Verkehrsträger Strasse entfallen. Eine ähnliche deutliche Verteilung findet sich bei Betrachtung des Personen- und Güterverkehrs. Rund 93% oder 2.48 Mrd. CHF der externen Kosten entfallen auf den Personenverkehr, die restlichen 175 Mio. CHF auf den Güterverkehr.

**Abbildung 13-53: Überblick über die externen Unfallkosten 2010 aus Sicht Verkehrsteilnehmende**

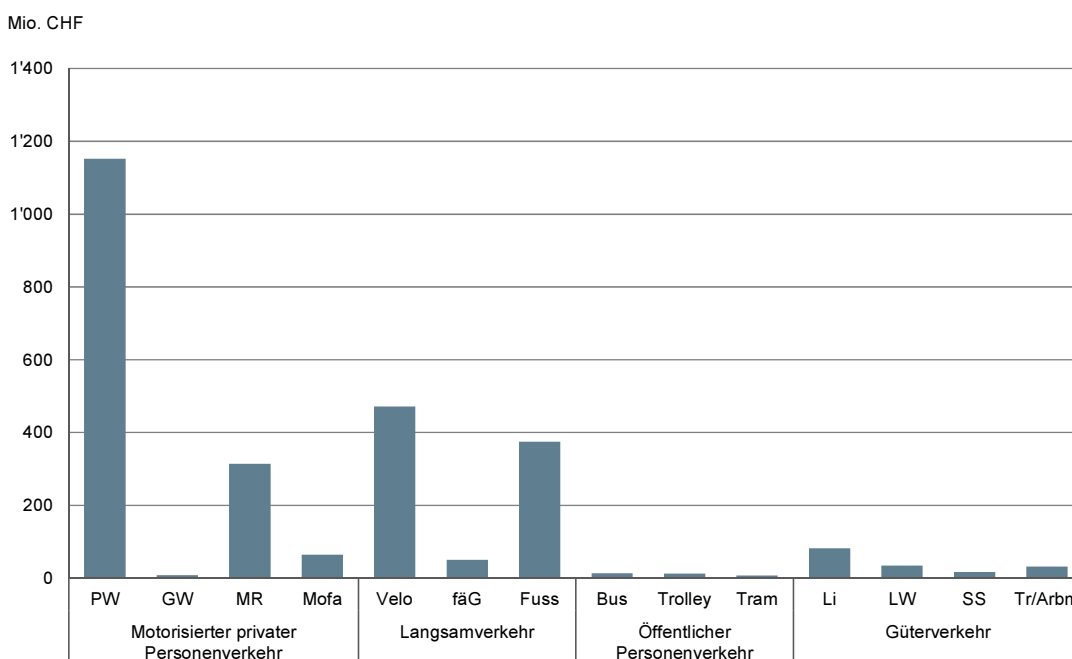
Externe Unfallkosten in Mio. CHF Sicht Verkehrsteilnehmende	Personen- verkehr	Güter- verkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	2'469.2	164.8	<b>2'634.0</b>	99.1%
Schienenverkehr	8.5	9.9	<b>18.3</b>	0.7%
Luftverkehr	6.0	0.3	<b>6.2</b>	0.2%
Schiffsverkehr	0.1	0.3	<b>0.4</b>	0.0%
<b>Total</b>	<b>2'483.7</b>	<b>175.3</b>	<b>2'659.0</b>	100.0%
in % des Totals	93.4%	6.6%	100.0%	

Wie erwähnt unterscheidet sich die Sicht Verkehrsteilnehmende nur in den immateriellen Kosten von der Sicht Verkehrsträger. Aus diesem Grund werden in den folgenden Ausführungen zu den einzelnen Verkehrsträgern nur noch die gesamten externen Kosten und die immateriellen Kosten gezeigt und kommentiert.

**b) Strassenverkehr**

Im Strassenverkehr entstehen aus Sicht der Verkehrsteilnehmenden externe Kosten in Höhe von etwas mehr als 2.63 Mrd. CHF. Davon entfallen knapp 1.2 Mrd. CHF (44%) auf die Personenwagen, etwa 472 Mio. CHF (18%) auf die Velos, 375 Mio. CHF (14%) auf den Fussverkehr und 314 Mio. CHF (12%) auf die Motorräder. Der motorisierte private Personenverkehr ist damit der bedeutendste Verursacher von externen Unfallkosten (58%), gefolgt vom Langsamverkehr (34%). Im Güterverkehr fallen Kosten von 165 Mio. CHF (6%) an und im öffentlichen Personenverkehr rund 33 Mio. CHF (1%).

**Abbildung 13-54: Externe Unfallkosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende im Strassenverkehr 2010 nach Fahrzeugkategorien**



**Abbildung 13-55: Externe Unfallkosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende im Strassenverkehr 2010 nach Fahrzeugkategorien**

Externe Unfallkosten	Personenverkehr										Güterverkehr				Gesamttotal
	Motorisierter privater Personenverkehr				Langsamverkehr			Öffentlicher Personenverkehr			Li	LW	SS	Tr/Arbm	
Sicht Verkehrsteilnehmende	PW	GW	MR	Mofa	Velo	fäG	Fuss	Bus	Trolley	Tram	Li	LW	SS	Tr/Arbm	
Strassenverkehr in Mio. CHF															
Immaterielle Kosten	740.7	6.7	175.6	33.6	239.2	25.5	178.7	10.9	10.3	6.2	56.3	23.5	11.9	21.5	1'540
Übrige Kosten	411.2	1.5	138.3	30.9	232.7	25.3	196.2	2.6	2.1	1.2	25.6	10.8	5.3	10.0	1'094
<b>Total Fahrzeugkategorien</b>	<b>1'151.9</b>	<b>8.2</b>	<b>313.9</b>	<b>64.5</b>	<b>471.9</b>	<b>50.7</b>	<b>374.8</b>	<b>13.5</b>	<b>12.4</b>	<b>7.4</b>	<b>81.9</b>	<b>34.3</b>	<b>17.2</b>	<b>31.4</b>	<b>2'634.0</b>
in % des Gesamttotals	43.7%	0.3%	11.9%	2.4%	17.9%	1.9%	14.2%	0.5%	0.5%	0.3%	3.1%	1.3%	0.7%	1.2%	100.0%
<b>Total Teilbereiche</b>	<b>1'538.4</b>				<b>897.5</b>			<b>33.3</b>			<b>164.8</b>				<b>2'634.0</b>
in % des Gesamttotals	58.40%				34.07%			1.26%			6.26%				100.00%

PW = Personenwagen, GW = Gesellschaftswagen, MR = Motorrad, fäG = fahrzeughähnliches Gerät, Fuss = Fussverkehr, Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper, Tr = Traktor, Arbm = Arbeitsmaschine

### c) Schienenverkehr

Im Schienenverkehr teilen sich die externen Kosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende etwa gleichmässig auf den Personen- und Güterverkehr (8.5 resp. 9.9 Mio. CHF) auf. Die durch Dritte verursachten externen Kosten (17.2 Mio. CHF) sind nicht dem Schienenverkehr anzulasten, werden aber vollständigkeitshalber dennoch gezeigt.

**Abbildung 13-56: Externe Unfallkosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende im Schienenverkehr 2010 nach Kostenbestandteilen**

Externe Unfallkosten Sicht Verkehrsteilnehmende	Personenverkehr	Güterverkehr	Dritte	Total
<b>Schienenverkehr in Mio. CHF</b>				
Immaterielle Kosten	6.6	7.6	4.5	<b>18.7</b>
Übrige Kosten	1.9	2.2	12.8	<b>16.9</b>
<b>Total</b>	<b>8.5</b>	<b>9.9</b>	<b>17.2</b>	<b>35.6</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	23.8%	27.7%	48.5%	100.0%

### d) Luftverkehr

Die grosse Bedeutung des Personenverkehrs bei den sozialen Kosten des Luftverkehrs führt auch dazu, dass der Personenverkehr bei den externen Kosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende eine grosse Rolle spielt. Rund 96% oder 5.95 Mio. CHF der externen Kosten entfallen auf den Personenverkehr. Die restlichen 0.27 Mio. CHF werden durch den Güterverkehr verursacht.

**Abbildung 13-57: Externe Unfallkosten Sicht Verkehrsteilnehmende im Luftverkehr 2010**

Externe Unfallkosten Sicht Verkehrsteilnehmende	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
<b>Luftverkehr in Mio. CHF</b>			
Immaterielle Kosten	4.83	0.23	<b>5.07</b>
Übrige Kosten	1.12	0.03	<b>1.15</b>
<b>Total</b>	<b>5.95</b>	<b>0.27</b>	<b>6.22</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	95.7%	4.3%	100.0%

Im Unterschied zur Sicht Verkehrsträger sind im Luftverkehr aus Sicht Verkehrsteilnehmende wiederum der Linien- und Charterverkehr (europäisch), die grossen Flugzeuge ab 5.7t MTOM sowie die Landesflughäfen die bedeutendsten Verursacher, weil 2010 die zwei nicht-unfallverursachenden Todesfälle in diesen Kategorien auftreten. Diese sind aus Sicht Verkehrsteilnehmende extern.

### e) Schiffsverkehr

Im Schiffsverkehr ist die Verteilung der Kosten von 0.4 Mio. CHF auf den Personen- und Güterverkehr gerade umgekehrt. 85% oder 0.34 Mio. CHF der externen Kosten entfallen auf den Güterverkehr und 0.06 Mio. CHF auf den Personenverkehr.

## 13.6 Sensitivitätsanalyse

### 13.6.1 Zusammenfassung der Annahmen und Unsicherheiten

Bei der Ermittlung der Unfallkosten müssen diverse Annahmen getroffen werden, die mit Unsicherheiten behaftet sind. Im Folgenden werden die wichtigsten Unsicherheiten aufgelistet. Im anschliessenden Teilkapitel wird dann untersucht, wie die Ergebnisse reagieren, wenn diese Annahmen verändert werden. Die folgende Abbildung zeigt die wesentlichen Unsicherheiten im Bereich der Unfallkosten.

Abbildung 13-58: Übersicht über Inputdaten, Annahmen und Bandbreiten bei den Unfallkosten

Bereich / Annahme	Wissenstand	Vorgehen	Bandbreite
<b>Mengengerüst Strassenverkehr</b>			
Polizeilich registrierte Unfälle	Gesichertes Wissen	Datenauswertung	± 5%
Dunkelziffer Erwachsene	Gesichertes Wissen	Datenauswertung	
Dunkelziffer Kinder und Senioren	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	
Aufteilung auf Verletzungsschweren	Gesichertes Wissen	Datenauswertung	
Verteilung auf Fahrzeugkategorien	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	
<b>Mengengerüst Schienenverkehr</b>			
Unfallgeschehen in der Schweiz	Gesichertes Wissen	Datenauswertung	
Aufteilung auf Verletzungsschweren	Gesichertes Wissen	Datenauswertung	
<b>Mengengerüst Luftverkehr</b>			
Unfallgeschehen in der Schweiz	Gesichertes Wissen	Datenauswertung	
Unfallgeschehen in EASA-Ländern	Gesichertes Wissen	Datenauswertung	
<b>Mengengerüst Schiffsverkehr</b>			
Unfallgeschehen im Personenverkehr	Gesichertes Wissen	Datenauswertung	
Unfallgeschehen im Güterverkehr	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	
<b>Wertgerüst</b>			
Zahlungsbereitschaft für immaterielle Kosten (VOSL)	Wissen mit Unsicherheiten	at least	-50% / +100%
Medizinische Behandlungskosten	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 15%
Transferleistungen IV/AHV/UVG/KVG	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 20%
Anteil Regress bei IV/AHV und UVG	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 10%-P / ± 5%-P
Besatzung GA und Heli Unfallverursacher?	Wissen mit Unsicherheiten	Annahme: ja	Sensitivität: nein
Sachschäden im Luftverkehr	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 10 bis ±75%
Übriges Wertgerüst	Gesichertes Wissen	Datenauswertung	

Die folgenden Sensitivitäten wurden geprüft, werden aber aufgrund ihres geringen Einflusses nicht weiter behandelt:

- Bei Veränderung der Dunkelziffer bei Kindern und Senioren um ±5% verändern sich die externen Kosten um weniger als ±1%.
- Werden die Besatzungsmitglieder der General Aviation / Helis als Nicht-Unfallverursacher betrachtet, nehmen die externen Kosten Sicht Verkehrsträger im Luftverkehr um rund 0.5

Mio. CHF ab. Aus Sicht Verkehrsteilnehmende entstehen zusätzliche Kosten in Höhe von 3.5 Mio. CHF.

- Bei Veränderung der Sachschäden im Luftverkehr haben nur Auswirkungen auf die sozialen Kosten, die um rund 4 Mio. CHF steigen bzw. sinken. Aus der Perspektive des Luftverkehrs sind dies rund 13% geringere bzw. höhere Kosten. Im Verhältnis zu den gesamten sozialen Kosten ist diese Veränderung hingegen marginal.

In der Sensitivitätsanalyse werden die folgenden Annahmen zum Wertgerüst auf ihren Einfluss auf das Endergebnis geprüft und ausgewiesen:

- Die grösste Unsicherheit besteht bei den sozialen immateriellen Kosten (VOSL). Deshalb wird auch eine grosse Bandbreite von der Verdoppelung bis zur Halbierung der Basiswerte geprüft.
- Die Kostensätze der medizinischen Heilungskosten unterliegen einer Unsicherheit von  $\pm 15\%$ .
- Ebenfalls geprüft wird der Einfluss der Transferleistungen ( $\pm 25\%$ ) sowie der Regressanteile (auf die Motorfahrzeug-Haftpflichtversicherungen regressierbare Transferleistungen: IV / AHV  $\pm 10$  Prozentpunkte, UVG  $\pm 5$  Prozentpunkte).

### 13.6.2 Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

#### a) Übersicht

Die Abbildung 13-59 stellt die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse dar. Dabei haben wir die vier Verkehrsträger zusammengefasst, da mehr als 99% der Kosten vom Strassenverkehr stammen, dafür haben wir sowohl die externen Kosten (aus Sicht Verkehrsträger und Sicht Verkehrsteilnehmende) als auch die sozialen dargestellt.

Abbildung 13-59: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für die Unfallkosten 2010

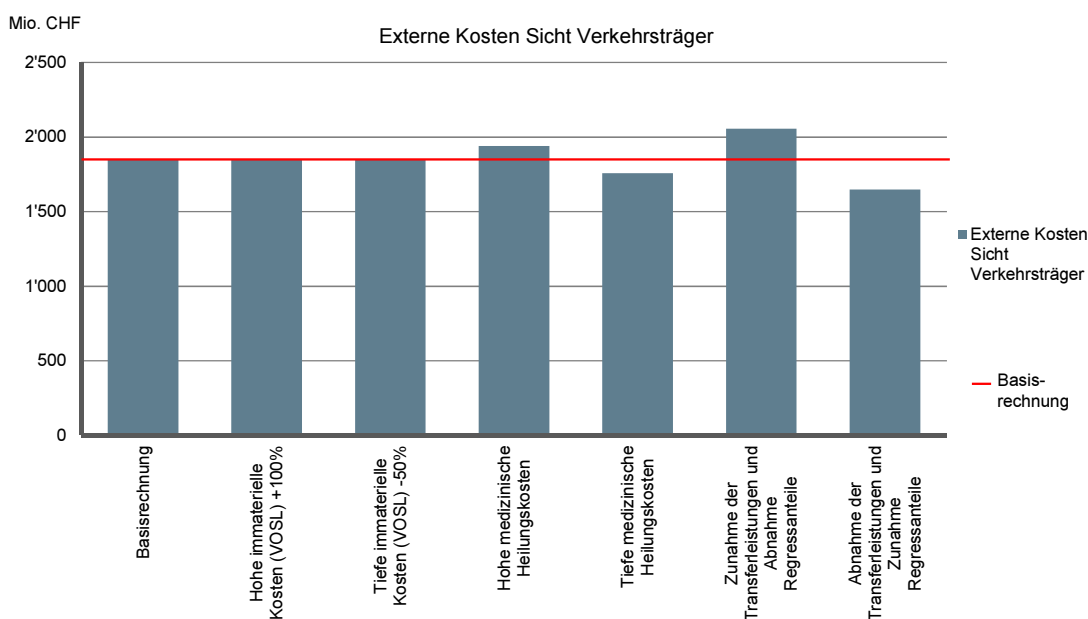
Unfallkosten des Gesamtverkehrs in Mio. CHF	Externe Kosten Sicht Verkehrsträger	Externe Kosten Sicht Verkehrs- teilnehmende	Soziale Kosten
<b>Basisrechnung</b>	<b>1'850</b>	<b>2'659</b>	<b>12'113</b>
Hohe immaterielle Kosten (VOSL) +100%	1'850	4'554	20'457
Tiefe immaterielle Kosten (VOSL) -50%	1'850	1'711	7'940
Hohe medizinische Heilungskosten	1'940	2'762	12'215
Tiefe medizinische Heilungskosten	1'759	2'556	12'010
Zunahme der Transferleistungen und Abnahme Regressanteile	2'056	2'839	12'113
Abnahme der Transferleistungen und Zunahme Regressanteile	1'649	2'479	12'113
<b>Abweichung von der Basisrechnung in %</b>			
Hohe immaterielle Kosten (VOSL) +100%	0.0%	71.3%	68.9%
Tiefe immaterielle Kosten (VOSL) -50%	0.0%	-35.6%	-34.4%
Hohe medizinische Heilungskosten	4.9%	3.9%	0.8%
Tiefe medizinische Heilungskosten	-4.9%	-3.9%	-0.8%
Zunahme der Transferleistungen und Abnahme Regressanteile	11.2%	6.8%	0.0%
Abnahme der Transferleistungen und Zunahme Regressanteile	-10.9%	-6.8%	0.0%

## b) Externe Kosten Sicht Verkehrsträger

Die Abbildung 13-60 zeigt die untersuchten Sensitivitäten für die externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Höhe der sozialen immateriellen Kosten hat keinen Einfluss auf die externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger.
- Die Veränderung der Kostensätze der medizinischen Heilungskosten um  $\pm 15\%$  lässt die Gesamtkosten um  $\pm 5\%$  schwanken.
- Die Transferleistungen sowie die Regressanteile haben einen Einfluss auf die immateriellen Kosten und die medizinischen Heilungskosten. Bei Erhöhung der Transferleistung (und gleichzeitiger Verringerung der Regressanteile: IV von 68% auf 58%, UVG von 91% auf 86%) steigen die externen Kosten um rund 11%. Werden geringere Transfers geleistet und ein grösserer Anteil regressiert, sinken die externen Kosten um ebenfalls 11%.

Abbildung 13-60: Sensitivitätsanalyse Unfallkosten – Externe Kosten Sicht Verkehrsträger



## c) Externe Kosten Sicht Verkehrsteilnehmende

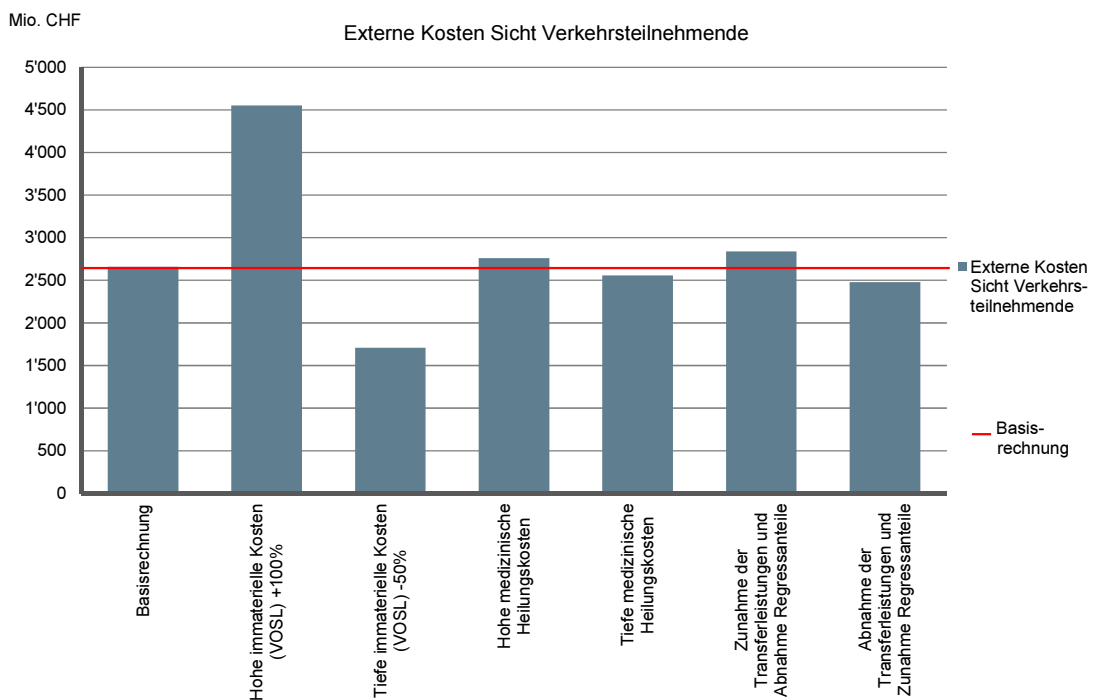
Anders sieht das Ergebnis bei Betrachtung der Sicht Verkehrsteilnehmende aus (vgl. Abbildung 13-61). Die folgenden Ausführungen fassen die Einflüsse der Annahmen auf die externen Kosten zusammen:

- Die Höhe der immateriellen Kosten hat einen sehr grossen Einfluss auf die externen Kosten, da die verbleibenden sozialen immateriellen Kosten der Nicht-Unfallverursacher (nach Abzug der Direktzahlungen sowie der Transferleistungen) aus Sicht Verkehrsteilnehmende extern sind. Eine Verdoppelung der Kostensätze der immateriellen Kosten

führt zu einer Erhöhung der gesamten externen Kosten um 71%. Eine Halbierung der Kostensätze führt zu 36% tieferen Gesamtkosten.

- Die medizinischen Heilungskosten verändern das Ergebnis um  $\pm 4\%$ .
- Die Unsicherheiten bei Transferleistungen und Regressanteile lassen das Ergebnis um  $\pm 7\%$  schwanken.

**Abbildung 13-61: Sensitivitätsanalyse Unfallkosten – Externe Kosten Sicht Verkehrsteilnehmende**



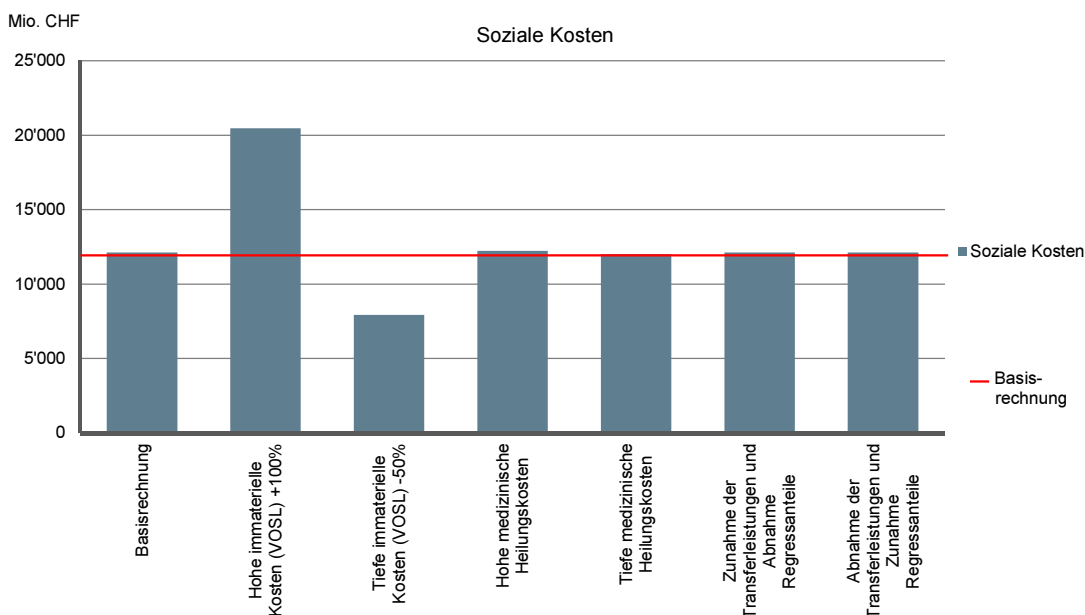
#### d) Soziale Kosten

Die Sensitivitätsanalyse der sozialen Kosten ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

- Die Veränderung der sozialen immateriellen Kosten hat einen sehr grossen Einfluss auf das Ergebnis, das sich um +69% bzw. -34% verändert.
- Die Unsicherheit bei der Bestimmung der medizinischen Heilungskosten spielt dagegen kaum eine Rolle ( $\pm 0.8\%$ ).
- Die Transferleistungen und der Regressanteil haben keinen Einfluss auf die sozialen Unfallkosten.



Abbildung 13-62: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für die Unfallkosten – Soziale Kosten



Das Fazit aus der Sensitivitätsanalyse bezüglich der externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger fällt positiv aus. Insgesamt zeigen sich die Ergebnisse robust gegenüber den angenommenen Bandbreiten der Annahmen (maximal  $\pm 11\%$ ). Bei der Sicht Verkehrsteilnehmende sowie bei den sozialen Unfallkosten sind die Schwankungsbreiten aufgrund der hohen Abhängigkeit vom VOSL jedoch deutlich grösser.

### 13.6.3 Zusätzliche Unter- oder Überschätzungen

Verschiedene (meist kleinere) Bestandteile der Unfallkosten konnten im Rahmen der Basisrechnung nicht berücksichtigt werden und mussten in der Folge auch in den Sensitivitätsanalysen ausgeschlossen werden:

- Im Schienenverkehr gibt es bei den Unfallopfern keine Abschätzungen zur Dunkelziffer. Tatsächlich dürfte die Dunkelziffer insbesondere bei den Schwerverletzten und den Todesfällen sehr klein sein. Trotzdem dürften die wahren Kosten etwas höher ausfallen als dargestellt.
- Im Schienen- und Luftverkehr liegen keine Daten zur Aufteilung der Schwerverletzten (Bahn, bzw. erheblich Verletzten im Luftverkehr) auf Invaliditätsfälle, Schwerverletzte und Mittelschwerverletzte vor. Die Schwerverletzten werden mit einem durchschnittlichen Kostensatz bewertet, wobei der Durchschnitt mangels besserer Daten über die Anzahl der Invaliditätsfälle, Schwerverletzte und Mittelschwerverletzte im Strassenverkehr gebildet wurde. Da im Schienen- und insbesondere im Luftverkehr ein sehr hoher Anteil von Toten beobachtet wird (gemessen an der Gesamtzahl der Opfer), dürfte im Schienen- und Luftverkehr die durchschnittliche Verletzungsschwere der Schwerverletzten höher sein als im Strassenverkehr. Die wahren Kosten dürften also höher liegen als hier berechnet.

- Im Luftverkehr werden Unfälle von Helikoptern und in der General Aviation unterschätzt, weil aufgrund der vorliegenden Daten nur die Unfälle in der Schweiz berücksichtigt werden können, d.h. dass die Unfälle im Ausland nicht enthalten sind. Anstatt der Hälfte der Wegstrecke zum ausländischen Zielflughafen wird nur die Strecke bis zur Schweizer Grenze miteinbezogen.
- Bei der Berechnung im Luftverkehr wird die Zahl der Leichtverletzten deutlich unterschätzt, weil nur die Zahl der Unfälle mit maximal Leichtverletzten verfügbar ist, aber nicht die deutlich höhere Zahl der Leichtverletzten.
- Im Strassenverkehr erfolgt die Aufteilung der polizeilich registrierten Schwerverletzten auf die detaillierten Verletzungsschweren Invaliditätsfälle, Schwerverletzte und Mittelschwerverletzte für alle Fahrzeugkategorien gleich. Das Gesamtergebnis stimmt somit, doch dürften die Kosten der schweren Fahrzeugkategorien (z.B. Lastwagen) damit unterschätzt werden, diejenigen der leichten Kategorien (z.B. Fahrrad) überschätzt.
- Kosten durch gesundheitlichen Spätschäden: Verletzungen können zu gesundheitlichen Spätschäden führen, die erst viele Jahre nach dem Unfallereignis auftreten. Diese Kosten werden nicht berücksichtigt, dürften aber auch vergleichsweise gering sein.
- Die Sachschäden im Schienenverkehr sind nicht vollständig erfasst und werden deshalb zu tief ausgewiesen. In den Datengrundlagen des BAV sind beispielsweise zerstörte oder beschädigte Gegenstände der Reisenden nicht enthalten.
- Die Polizeikosten sind im Luftverkehr tendenziell unterschätzt, weil die Übernahme des Kostensatzes vom Strassenverkehr problematisch ist, weil z.B. bei Unfällen in den Bergen der Transport zum Unfallort schwierig ist und teilweise mit Helikopter erfolgt.
- Die Kosten der Feuerwehr<sup>427</sup>, falls durch den Unfall ein Brand entsteht (0.97% der Kosten von Unfällen in Belgien), werden vernachlässigt.
- Die Kosten der Besucher, die ihre Angehörigen oder Freunde im Spital besuchen (0.08% der Kosten von Unfällen in Belgien), sind nicht berücksichtigt.
- Unfälle auf dem Flugplatz, z.B. beim Busverkehr, Gepäckverlad etc. sind in den Daten nicht enthalten. Diese Kosten werden vernachlässigt.
- Es sind keine Daten zu den Kosten der Bergung der Wracks der Flugzeuge über 2250kg MTOM und der Helikopter vorhanden.

Der Einbezug dieser Kosten dürfte also **nur** zu einer **geringfügigen Erhöhung der Unfallkosten** führen. Im **Schienen- und Luftverkehr** dürfte die **Unterschätzung** absolut klein sein, aber prozentual könnte sie durchaus **nicht vernachlässigbar** sein.

Nicht mit einbezogen sind auch die Kosten aufgrund von Staus, die durch Unfälle verursacht werden. Dabei handelt es sich um Zeitverluste sowie um höhere Betriebs- und Umweltkosten

---

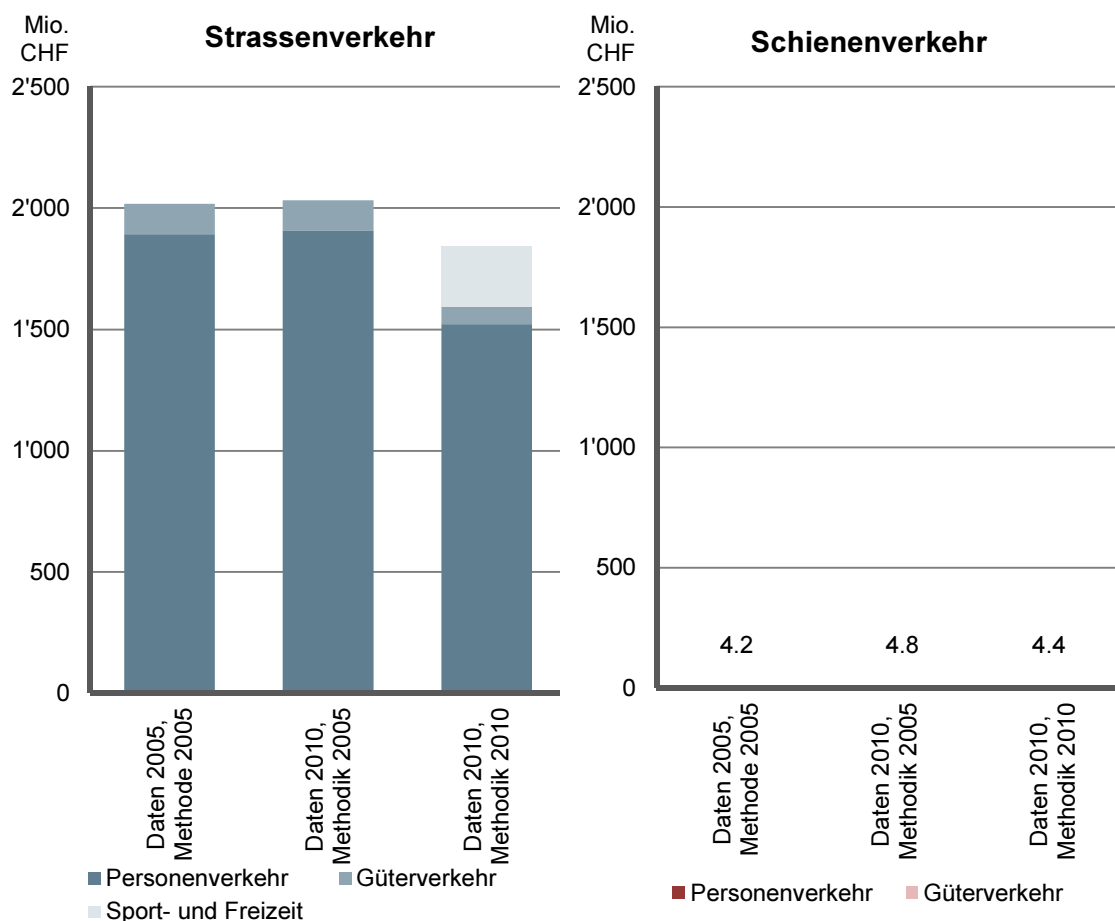
<sup>427</sup> Bei Flugplätzen mit eigener Feuerwehr sind diese Kosten enthalten.

aufgrund kleinerer Geschwindigkeiten bzw. Stop-and-go-Verhältnissen. Diese Kosten werden in Infrac (2012)<sup>428</sup> ausgewiesen.

### 13.7 Vergleich zu den bisherigen Berechnungen

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Berechnungen im Jahr 2010 mit den Ergebnissen aus dem Jahr 2005 verglichen. Der Vergleich wird nur für den Strassen- und Schienenverkehr durchgeführt, da bisher keine Zahlen zu den anderen Verkehrsträgern publiziert wurden. Die folgende Abbildung zeigt den Vergleich der externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger für die drei Ergebnisse, sowohl für den Strassen- als auch für den Schienenverkehr. Nicht in den Vergleich einbezogen werden die Unfallkosten der Freizeit- und Sportunfälle auf der Strasse. Die externen Kosten in diesem Bereich betragen rund 250 Mio. CHF und wurden bisher nicht berechnet (hellblauer Balken in Abbildung 13-63).

Abbildung 13-63: Vergleich der Berechnungen für die Unfallkosten 2005 und 2010



<sup>428</sup> Infrac (2007), Neuberechnung der Stauzeitkosten.

Der direkte Vergleich mittels Veränderungen kann anhand der folgenden Abbildung abgelesen werden.

**Abbildung 13-64: Vergleich der Berechnungen für die Unfallkosten 2005 und 2010 (ohne Sport- und Freizeitunfälle auf der Strasse)**

	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
<b>Daten 2005, Methodik 2005</b>			
Strassenverkehr	1'892.5	124.3	<b>2'016.8</b>
Schienenverkehr	1.6	2.6	<b>4.2</b>
<b>Total</b>	<b>1'894.2</b>	<b>126.9</b>	<b>2'021.0</b>
<b>Daten 2010, Methodik 2005</b>			
Strassenverkehr	1'908.3	123.7	<b>2'032.0</b>
Schienenverkehr	1.9	2.9	<b>4.8</b>
<b>Total</b>	<b>1'910.2</b>	<b>126.6</b>	<b>2'036.8</b>
<b>Daten 2010, Methodik 2010</b>			
Strassenverkehr	1'522.3	71.3	<b>1'593.6</b>
Schienenverkehr	2.0	2.4	<b>4.4</b>
<b>Total</b>	<b>1'524.3</b>	<b>73.7</b>	<b>1'598.0</b>
<b>Veränderung Daten 2005 - 2010 mit Methodik 2005</b>			
Strassenverkehr	0.8%	-0.5%	<b>0.8%</b>
Schienenverkehr	14.9%	13.3%	<b>13.9%</b>
<b>Total</b>	<b>0.8%</b>	<b>-0.2%</b>	<b>0.8%</b>
<b>Veränderung Methodenanpassung - Daten 2010</b>			
Strassenverkehr	-20.2%	-42.4%	<b>-21.6%</b>
Schienenverkehr	5.5%	-17.7%	<b>-8.5%</b>
<b>Total</b>	<b>-20.2%</b>	<b>-41.8%</b>	<b>-21.5%</b>

Der Vergleich zeigt, dass im Strassenverkehr die externen Unfallkosten aufgrund der neuen Methodik und den neuen Daten 2010 gegenüber den Ergebnissen im Jahr 2005 um rund 425 Mio. CHF abgenommen haben. Im Güterverkehr haben die externen Unfallkosten um 42% abgenommen, im Personenverkehr um 20%.

Im Schienenverkehr gab es eine leichte Verschiebung vom Güter- zum Personenverkehr: Der Güterverkehr nahm um 7% oder 0.2 Mio. CHF ab, der Personenverkehr um 21% oder 0.4 Mio. CHF zu. Insgesamt haben die externen Kosten im Schienenverkehr zwischen 2005 und 2010 leicht zugenommen. Im Vergleich zum Strassenverkehr sind diese Veränderungen sehr klein. Deshalb wird aufgrund der absolut kleinen Bedeutung der Unfälle im Schienenverkehr in der Folge nur auf den Strassenverkehr im Detail eingegangen.

### a) Zeitliche Entwicklung 2005 bis 2010

Der Vergleich innerhalb der Methodik 2005 (Daten 2005 vs. Daten 2010) zeigt auf den ersten Blick im Strassenverkehr beinahe konstante Ergebnisse (leichte Zunahme der externen Kosten im Personenverkehr und leichte Abnahme im Güterverkehr). Dies obwohl das Mengengerüst in den Jahren 2005 bis 2010 einer interessanten Entwicklung gefolgt ist, was die folgende Abbildung zeigt.

**Abbildung 13-65: Veränderung der Anzahl und Verteilung der Opfer nach Verletzungsschwere 2005 bis 2010**

Mengeneffekte	Anzahl 2005	Anzahl 2010 <sup>1</sup>	Veränderung Anzahl	Anteil 2005	Anteil 2010*	Veränderung Anteile
Tote	415	327	-21%	0.44%	0.37%	-15%
Invalide	1'549	438	-72%	1.6%	0.5%	-69%
Schwerverletzte	6'169	6'722	+9%	6.5%	7.7%	+18%
Mittelschwerverletzte	3'669	9'470	+158%	3.9%	10.8%	+179%
Leichtverletzte	82'609	70'427	-15%	87.5%	80.6%	-8%
Total Opfer	<b>94'411</b>	<b>87'383</b>	<b>-7%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	
Total Unfälle	64'977	58'920	-9%			

<sup>1</sup> Anzahl Opfer 2010: Ohne Sport- und Freizeitunfälle auf der Strasse

Die Zahl der Unfallopfer hat sich seit 2005 um 7% verringert. Die Zahl der polizeilich registrierten Unfälle hat um 9% abgenommen. Diese Abnahme der Unfallopfer, der Unfälle sowie die Verschiebung der Verletzungsschweren hin zu den Mittelschwerverletzten werden bei Verwendung des Aktualisierungstools 2005 nicht in den Ergebnissen wiedergegeben. Der Grund dafür liegt in der Steigerung der Kostensätze durch Anpassung an die wirtschaftliche Entwicklung.

- Das Nominallohnwachstum betrug im Zeitraum 2005 bis 2010 rund 8%. Insbesondere die immateriellen Kosten sowie die Polizei- und Rechtsfolgekosten werden mit dem Nominallohnwachstum aufdatiert.
- Das verfügbare Bruttoeinkommen ist gemäss BFS seit 2005 um rund 22% gestiegen, was sich vor allem auf die Nettoproduktionsausfälle auswirkt.
- Die Kostenentwicklung bei den Spitalleistungen betrug 5.2%. Dieser Faktor ist für die Steigerung der medizinischen Heilungskosten pro Opfer verantwortlich.
- Die Konsumentenpreise haben seit 2005 um rund 4.5% zugenommen. Dies wirkt sich direkt auf die Sachschäden und die Administrativkosten aufgrund von Sachschäden aus.

### b) Methoden Anpassung

Durch die Methoden Anpassung (Vergleich zwischen Methodik 2005 / Daten 2010 und Methodik 2010 / Daten 2010) nehmen die externen Kosten deutlich ab. Wie Abbildung 13-64 zeigt, nehmen die externen Kosten im Strassenverkehr um 22% (ca. 440 Mio. CHF) und die Kosten im Schienenverkehr um 9% (ca. 0.4 Mio. CHF) ab. Die Analyse dieser Veränderung

gen zeigt, dass das zuvor erläuterte Ergebnis im Vergleich innerhalb der Methodik 2005 darüber hinweg täuscht, dass die Methodik 2005 keine Veränderung der Verteilung der Verletzungsschweren zulässt. Implizit wird bei der Eingabe des aktuellen Mengengerüsts angenommen, dass die Anteile der Verletzungsschweren gleich sind, wie im Jahr 2005. Diese Anteile haben sich jedoch deutlich verschoben wie die Abbildung 13-65 zeigt. Im Strassenverkehr sind demnach deutlich weniger Todesfälle und Invaliditätsfälle zu beklagen. Hingegen ist bei den Mittelschwerverletzten eine deutlich Zunahme zu verzeichnen, was aber auch auf die neue Definition insbesondere der Leichtverletzten zurückzuführen ist.

Ein weiterer Grund für die aufgrund der Abnahme im Mengengerüst eher unerwartete Konstanz der externen Kosten im Tool 2005, hat ebenfalls mit den Verletzungsschweren zu tun. Gegenüber dem Jahr 2000 (Basis für Berechnungen 2005) haben die durchschnittlichen Ausfalltage über alle Verletzten um 25% abgenommen. Bei den Leichtverletzten beträgt die Abnahme aufgrund der neuen Definition gar mehr als 50%. Insbesondere die Nettoproduktionsausfälle (sowie die sozialen immateriellen Kosten) hängen von der Zahl an Ausfalltagen ab. Zudem dürfte auch die Zahl der Spitaltage mit den Ausfalltagen abgenommen haben. Diese beiden Kostenbereiche sind für mehr als 80% der externen Kosten im Unfallbereich (Sicht Verkehrsträger) verantwortlich. Wird dieser Effekt nicht mittels einer Methodenanpassung berücksichtigt, so werden die externen Kosten mit dem Tool 2005 deutlich überschätzt.

In der für das Jahr 2010 vorgenommenen Aktualisierung der Methodik sind sowohl die neue **Definition der Leichtverletzten**, die darauf basierende **Verschiebung der Verletzungsschweren** hin zu den Leicht- und Mittelschwerverletzten, sowie die starke **Abnahme der Ausfalltage pro Verletzten** berücksichtigt. Diese Anpassungen erklären einen Grossteil der Veränderung der externen Unfallkosten.

Dies zeigt sich insbesondere bei den Personenschäden, die rund 85% der gesamten externen Unfallkosten im Strassenverkehr ausmachen. Die folgende Abbildung veranschaulicht hierzu die Veränderung der sozialen Kosten pro Opfer zwischen Methodik 2005 (aufdatiert auf 2010) und Methodik 2010 in der ersten Spalte. Die zweite Spalte zeigt die Veränderung der externen Personenschäden pro Opfer im gleichen Szenario.

**Abbildung 13-66: Einfluss der Methodenanpassung auf die sozialen und externen Personenschäden pro Opfer 2005 (aufdatiert) bis 2010 im Strassenverkehr**

	Veränderung soziale Kosten pro Opfer	Veränderung externe Kosten pro Opfer
<b>Personenschäden</b>		
Tote	-17%	-47%
Invaliditätsfälle	-1%	74%
Schwerverletzte	5%	1%
Mittelschwerverletzte	-2%	-5%
Leichtverletzte	-58%	-43%
<b>Alle Verletzungsschweren</b>	<b>-20%</b>	<b>-25%</b>

Ein weiterer Teil der Veränderungen der externen Unfallkosten pro Opfer (vgl. obige Abbildung) lässt sich durch die medizinischen Heilungskosten und die immateriellen Kosten erklären.

- Insbesondere bei den **medizinischen Heilungskosten**, aber auch bei den immateriellen Kosten kommt noch ein anderer Effekt zum Tragen: Der Anteil der unfallverursachenden Opfer hat zwischen 2005 und 2010 von 70% auf 75% zugenommen. Dies liegt insbesondere am höheren Anteil der Selbstunfälle, bei denen die Unfallopfer auch Unfallverursacher sind. Der höhere Anteil der Unfallverursachenden wirkt sich bei diesen beiden Kostenbereichen direkt auf die Höhe der externen Kosten aus, da die den unfallverursachenden Opfern entstehenden Kosten alle extern sind.
- Bei den **immateriellen Kosten** wurden zudem die Transferleistungen vollständig neu berechnet. Gegenüber der erstmaligen vollständigen Schätzung der Transferleistungen im Jahr 2002 für das Referenzjahr 1998 ergeben sich verschiedene gesetzliche Veränderungen (insbesondere 4. und 5. IV-Revision), die sich auf die Höhe der einzelnen Transferleistungen auswirken. Es kommen aber auch neue Leistungsarten (Eingliederungsmassnahmen, Hilflosenentschädigungen, vermehrte Ergänzungsleistungen) hinzu.
- Sowohl bei den medizinischen Heilungskosten als auch bei den immateriellen wirkt sich aus, dass der Anteil des Regresses bei Transferleistungen an Nicht-Unfallverursachende von 95% auf 91% (UVG/KVG) bzw. 68% (IV/AHV) reduziert wurde. Dies führt zu einer Erhöhung der externen Kosten, da ein geringerer Anteil der Transferleistungen internalisiert wird.

Ein gegenläufiger Effekt, der zur Erhöhung der Kostensätze führt ist, dass die administrativen Kosten der Motorfahrzeug-Haftpflichtversicherungen neu mit 35% der Mfz-Haftpflichtleistungen berechnet werden, statt wie bisher mit 20%.

Eine Zusammenfassung der oben erwähnten und einiger weiterer Effekte der Methoden Anpassung ist in der folgenden Abbildung zu finden.

Abbildung 13-67: Hauptgründe für die Unterschiede durch die Methodenanpassung

Inputgrösse	Unterschiede angepasste Methodik	Wirkung auf Ergebnis
<b>Personenschäden</b>		
Neue Definition Verletzungsschweren	Verschiebung von Leicht- zu Mittelschwer- und Schwerverletzten	↓
Ausfalltage	Weniger Ausfalltage	↓
Charakteristiken der Opfer	Weniger verheiratete/geschiedene Höheres Durchschnittsalter der Opfer, geringere Auszahlungsdauer der Renten Weniger Kinder	↘
Anteil Nicht-Unfallverursachende Opfer	Tiefere Besetzungsgrade → weniger Nicht-Unfallverursachende Opfer	Verkehrsträger: (↗) Verkehrsteilnehmende: (↘)
Anteil Unfallverursachende Opfer	Mehr Unfallverursachende Opfer	Verkehrsträger: (↗) Verkehrsteilnehmende: (↗)
Transferleistungen	Diverse gesetzliche Anpassungen IV/AHV, neue Transferleistungen	↗
Anteil Regress bei Transferleistungen	Kleinere Anteile bei IV/AHV (68% statt 95%) und UVG/KVG (91% statt 95%)	(↗)
<b>Sachschäden</b>		
Von Fussgängern und fäG verursachte Sachschäden	Werden über Privathaftpflicht externalisiert	→
<b>Polizei- und Rechtsfolgekosten</b>		
Kostensatz Polizeikosten	Neuste Umfrageergebnisse höher	(↗)
Rechtsfolgekosten	Diverse Anpassungen	→

### c) Sicht Verkehrsteilnehmende

Aus Sicht Verkehrsteilnehmende ändern sich gegenüber der Sicht Verkehrsträger lediglich die externen immateriellen Kosten. Bei den externen immateriellen Kosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende besteht ein Zusammenhang zwischen sozialen Kosten und externen Kosten. Die externen Kosten der Nicht-Unfallverursachenden hängen von der Höhe der sozialen Kosten ab, denn die verbleibenden Kosten (soziale Kosten abzüglich Direktzahlungen abzüglich Transferleistungen) der Nicht-Unfallverursachenden sind aus Sicht Verkehrsteilnehmende externe Kosten (vgl. Abbildung 13-23). Nehmen die sozialen Kosten ab, so sinken bei gleichbleibenden Direktzahlungen und Transferleistungen auch die externen Kosten. Die sozialen immateriellen Kosten pro Opfer nehmen gegenüber dem Aktualisierungstool 2005 (für 2010) um rund 15% pro Opfer bzw. um 21% insgesamt ab. Dies ist vor allem auf die neue Definition der Verletzungsschweren und die deutliche Reduktion der Ausfalltage zurückzuführen, welche die Grundlage bilden für die Höhe der sozialen immateriellen Kosten.



## 14 Zusatzkosten in städtischen Räumen

### 14.1 Berechnungsgegenstand

In städtischen Räumen können nebst den bisher erwähnten Effekten zusätzliche Kosten entstehen. In der vorliegenden Studie werden dabei folgende zwei Effekte vertieft betrachtet und quantifiziert:

1. **Raumkonkurrenz:** In städtischen Räumen führt die Raumkonkurrenz zu Kosten für den Langsamverkehr. Eine Folge der Raumkonkurrenz ist die räumliche Trennwirkung von Verkehrsinfrastrukturen in Städten. So führen Strassen- und Schieneninfrastrukturen im städtischen Raum zu Zeitverlusten für Fussgänger und Velofahrer bei der Querung solcher Infrastrukturen. Bei besonders grossen Infrastrukturen (z.B. Stadtautobahnen oder grossen Gleisfeldern) können Fussgänger und Velofahrer gezwungen sein, einen Umweg zu nehmen. Die zusätzlichen Zeitkosten durch *räumliche Trenneffekte* sind als volkswirtschaftliche bzw. soziale Kosten zu betrachten.
2. **Beeinträchtigung Ortsbild und Aufenthaltsqualität:** Starker Verkehr kann zu einer Beeinträchtigung des Ortsbildes sowie einer generellen Verminderung der Aufenthaltsqualität entlang von Verkehrsachsen führen. Die Folgen davon sind visuelle Beeinträchtigungen sowie eine Beeinträchtigung der Lebensqualität durch Trennwirkungen, potenzieller Unfallgefahr, vermindertem Sicherheitsgefühl etc. Die Beeinträchtigung von Ortsbild und Aufenthaltsqualität führt zu externen Kosten. Die in den letzten Jahren in Angriff genommenen Investitionen in Aufwertungs- und Gestaltungsmaßnahmen bei Ortsdurchfahrten zeigen den Problemdruck und die Zahlungsbereitschaft der Gesellschaft zur Minderung dieser Effekte.

Trennwirkungen gehen nur vom Strassen- und Schienenverkehr aus, die Beeinträchtigung des Ortsbildes wird nur für den Strassenverkehr ermittelt. Damit entstehen im Luft- und Schiffsverkehr keine zusätzlichen Kosten in städtischen Räumen.

### 14.2 Bewertungsmethodik und wichtigste neue Erkenntnisse

#### 14.2.1 Wichtige methodische Entwicklungen und Empfehlungen

Die Zusatzkosten in städtischen Räumen sind international nach wie vor wenig erforscht. Die bisherige Schweizer Methodik wird zwar immer wieder angewandt (z.B. in der aktuellsten UIC-Studie zu den externen Kosten des Verkehrs: CE Delft, Infras, ISI 2012). Ebenfalls erwähnt sind diese Kosten im EU-Handbuch zur Berechnung der externen Kosten des Verkehrs (Infras, CE Delft, Fraunhofer Gesellschaft ISI, University of Gdansk 2007). In den grossen EU-Forschungsprojekten zu den externen Kosten sowie der aktuellen UBA Methodenkonvention fehlt diese Kostenkategorie allerdings. Aus diesem Grund gibt es keine relevanten methodischen Inputs aus Drittstudien zum Thema.

Allerdings hat das Thema Raumknappheit sowie Beeinträchtigung (und Aufwertung) von Ortskernen bzw. Ortsbildern in der Schweiz in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. So wird in den Städten vermehrt in die Infrastrukturen des Langsamverkehrs (z.B. bessere Velowegnetze oder neue Fussgängerzonen und Plätze) investiert. Zudem werden in stark vom Verkehr belasteten Quartieren und Dörfern vermehrt Massnahmen zur Aufwertung des Ortsbildes und der Aufenthaltsqualität umgesetzt. Einen eigentlichen Schub für solche Massnahmen haben die Agglomerationsprogramme ausgelöst, die seit 2011 über den Infrastrukturfonds des Bundes mitfinanziert werden.

### a) Raumkonkurrenz

Aufgrund der steigenden Sensibilität für die Anliegen des Langsamverkehrs ist das Thema Raumkonkurrenz in städtischen Räumen immer noch aktuell. Insbesondere die Trennwirkungen von Strassen- und Schieneninfrastrukturen in Städten sind nach wie vor vorhanden. Verbindungsbauwerke für den Fuss- und Langsamverkehr über oder unter grossen Infrastrukturen werden in der heutigen städtischen Verkehrspolitik immer aktueller. Die bisherige Kostenkategorie ‚räumliche Trenneffekte‘ wird deshalb in der vorliegenden Studie weiter verfolgt und erneut berechnet, wobei Mengen- und Wertgerüst aktualisiert werden. Die Kosten werden allerdings wie bisher nur für grössere Städte mit mehr als 50'000 Einwohner berechnet. Die zweite Kostenkategorie (Beeinträchtigung Ortsbild, siehe Kapitel b) unten) dagegen umfasst auch kleinere Städte und Dörfer.

Sehr wichtig ist jedoch der Umstand, dass aus Verkehrsträgersicht die räumlichen Trenneffekte grösstenteils verkehrsträgerintern sind. Die Trenneffekte zwischen motorisiertem Strassenverkehr einerseits und Fuss- und Veloverkehr andererseits treten innerhalb des Verkehrsträgers Strasse auf. Für die Berechnung der externen Effekte aus Sicht Verkehrsträger, die in der vorliegenden Studie im Vordergrund stehen, gelten diese Kosten somit als intern. Anders ist dies natürlich, wenn die Sicht Verkehrsteilnehmende oder die Sicht Verkehrsart eingenommen wird. Da als Grundlage für die LSVA die Sicht Verkehrsart Schwerverkehr angewandt wird und diese Kosten dazu berechnet werden müssen, bleibt die Kostenkategorie ‚Zusatzkosten in städtischen Räumen‘ für die aktuelle Studie von Bedeutung. Zudem sind die Kosten für die unserer Meinung nach wichtige Sichtweise ‚Verkehrsteilnehmende‘ relevant.<sup>429</sup>

Folglich werden die Kosten durch Raumkonkurrenz (Trenneffekte) zwischen motorisiertem Strassenverkehr und Langsamverkehr in der vorliegenden Studie bei den Ergebnissen aus Sicht Verkehrsträger im Gegensatz zu den bisherigen Rechnungen nicht mehr ausgewiesen

---

<sup>429</sup> Die Schwäche der Sicht Verkehrsträger wird am Beispiel dieser räumlichen Trennwirkungen offensichtlich: So gelten aus Verkehrsträgersicht gemäss exakter Definition die Trennwirkungen zwischen motorisiertem Verkehr und Langsamverkehr als verkehrsträgerintern, d.h. die externen Kosten sind somit null. Anders ist es dagegen bei den Trennwirkungen zwischen Schienenverkehr und Langsamverkehr, die nicht verkehrsträgerintern sind (der Langsamverkehr ist Teil des Strassenverkehrs) und die externen Kosten damit grösser als null. Diese unterschiedliche Behandlung von Strassen- und Schienenverkehr macht keinen Sinn und ist schwierig zu kommunizieren. Bei der Sicht Verkehrsteilnehmende (sowie Verkehrsart) fällt diese Unterscheidung weg.

(da aus dieser Sicht nicht extern), sondern lediglich noch bei der Sicht Verkehrsart Schwerverkehr, der Sicht Verkehrsteilnehmende sowie bei den sozialen Kosten.

Aus unserer Sicht nicht relevant sind Trenneffekte des Veloverkehrs auf Fussgänger (siehe dazu auch Transportrechnung Langsamverkehr, Ecoplan, ISPMZ 2012). Dieser Effekt wird deshalb nicht berücksichtigt. Berücksichtigt werden umgekehrt jedoch die Trenneffekte des Strassen- und Schienenverkehrs auf Fussgänger *und* Velofahrer.

In der bisherigen Kostenkategorie '**Raumknappheitseffekte**' sind Knappheitseffekte abgedeckt, die sich in grossen Städten und vor allem bei grösseren Strassen insbesondere für den Veloverkehr ergeben. Unter anderem aufgrund von Sicherheitsüberlegungen sind bei solchen Strassen separate Velospuren oder Velowege notwendig. Weil diese bisher noch teilweise fehlen, sind in den bisherigen Studien (Ecoplan, Infrac 2008; Infrac 2006) diese Kosten im Sinne eines Ersatzkostenansatzes für zusätzlich nötige Fahrradinfrastrukturen berechnet worden. Allerdings sind diese Kosten gemäss bisherigen Berechnungen äusserst gering bzw. fast vernachlässigbar (rund 2 Mio. CHF im Jahr 2009). Zum anderen ist in den letzten fünf bis zehn Jahren relativ viel in den Bau von Veloweginfrastrukturen in städtischen Räumen investiert worden, sodass dieser Ersatzkostenansatz mittlerweile an Bedeutung verloren hat bzw. das Mengengerüst wohl nach unten korrigiert werden müsste. Die zunehmend getätigten Investitionen in Veloinfrastrukturen fliessen somit je länger desto mehr als *interne Infrastrukturkosten* in die Transportrechnung und verlieren als externer Effekt an Bedeutung. Aus diesem Grund wird die bisherige Kostenkategorie 'Raumknappheitseffekte' für den Veloverkehr im Rahmen der vorliegenden Arbeit im Unterschied zu den vorangehenden Studien *nicht mehr berücksichtigt*.

## **b) Beeinträchtigung Ortsbild und Aufenthaltsqualität**

Neben der Raumkonkurrenz ist im Rahmen der methodischen Arbeiten der vorliegenden Studie die Beeinträchtigung von Ortsbild und Aufenthaltsqualität als weiterer Effekt identifiziert worden. Bei der Beeinträchtigung des Ortsbildes handelt es sich um folgende Schadwirkungen, die mit externen Kosten verbunden sind: Stark belastete Verkehrsachsen innerhalb von dicht besiedelten Gebieten können zu visuellen Beeinträchtigungen, einer Verminderung der Aufenthaltsqualität sowie generell zu einer Beeinträchtigung der Lebensqualität und des täglichen Lebens durch potenzielle Sicherheitsrisiken (gefühlte Sicherheit), Lärm bei Aufenthalt im Freien sowie Trennwirkungen führen. Die vielen, aktuell durchgeführten Aufwertungsprojekte von Ortsdurchfahrten zeigen den steigenden Problemdruck bei diesem Thema. Konkret geht es bei diesen Projekten unter anderem um Betriebs- und Gestaltungskonzepte, Massnahmen zur Erhöhung der Koexistenz zwischen motorisiertem Verkehr und Langsamverkehr, Gestaltungsmassnahmen an der Fahrbahn sowie Grünraummassnahmen. Die mit solchen Aufwertungsprojekten durchgeführten Investitionen widerspiegeln die politische und gesellschaftliche Zahlungsbereitschaft zur Verminderung dieser Schäden. Für die Bewertung der Kosten wird deshalb ein Reparaturkostenansatz verwendet, der auf diese realisierten Aufwertungs- und Sanierungsprojekte zurückgreift, die v.a. im Rahmen der Agglomerationsprogramme durchgeführt worden sind. Die Berücksichtigung dieser Kosten wird im Rahmen dieser Studie erstmals erarbeitet. Aus unserer Sicht ist die Methodik aber durchaus valide, da

sie tatsächlich getätigte Aufwertungsinvestitionen im Rahmen der Agglomerationsprogramme berücksichtigt.

Die Quantifizierung der Kosten durch Beeinträchtigung des Ortsbildes beinhaltet auch gewisse Herausforderungen, die aus unserer Sicht jedoch lösbar sind:

- Berücksichtigung bereits umgesetzter Aufwertungen: Bei der Erfassung des Mengengerüsts werden bereits aufgewertete Ortsdurchfahrten berücksichtigt, vor allem auch bei der Fortschreibung der Kosten für die Folgejahre.
- Allokation der Kosten auf die Fahrzeugkategorien: Eine eindeutige Zuschreibung der Kosten auf die einzelnen Fahrzeugkategorien ist wie bei den Trenneffekten nicht möglich. Es scheint jedoch zweckmässig, den gleichen Allokationsschlüssel wie bei den Trennwirkungen zu berücksichtigen (mit PW-Einheiten gewichtete Fahrleistung innerorts).
- Mögliche Doppelzählungen: Bei der Berücksichtigung der Schäden des Ortsbildes und der Aufenthaltsqualität müssen mögliche Doppelzählungen mit anderen Kostenkategorien wie Lärm- oder Unfallkosten berücksichtigt werden. Diesem Aspekt wird begegnet, indem beim Mengengerüst Projekte mit eindeutigem Fokus auf Lärminderung oder Sicherheitsmassnahmen nicht berücksichtigt werden. In Bezug auf die Sicherheit (Unfälle) ist zudem zu erwähnen, dass die Aufwertungsmassnahmen meist nicht primär eine Verminderung der effektiven Unfallzahlen bezwecken, sondern vor allem auch das (subjektive) Sicherheitsgefühl und damit die Aufenthalts- und Lebensqualität erhöhen sollen. Weil das subjektive Sicherheitsgefühl bei den Unfallkosten nicht explizit enthalten ist, führt die Berücksichtigung dieses Elements in der vorliegenden Kostenkategorie zu keinen Doppelzählungen.

Die Beeinträchtigung von Ortsbild und Aufenthaltsqualität wird in der vorliegenden Studie somit neu als zusätzlicher (zweiter) Schadensbereich für die Berechnung der Zusatzkosten in städtischen Räumen berücksichtigt.

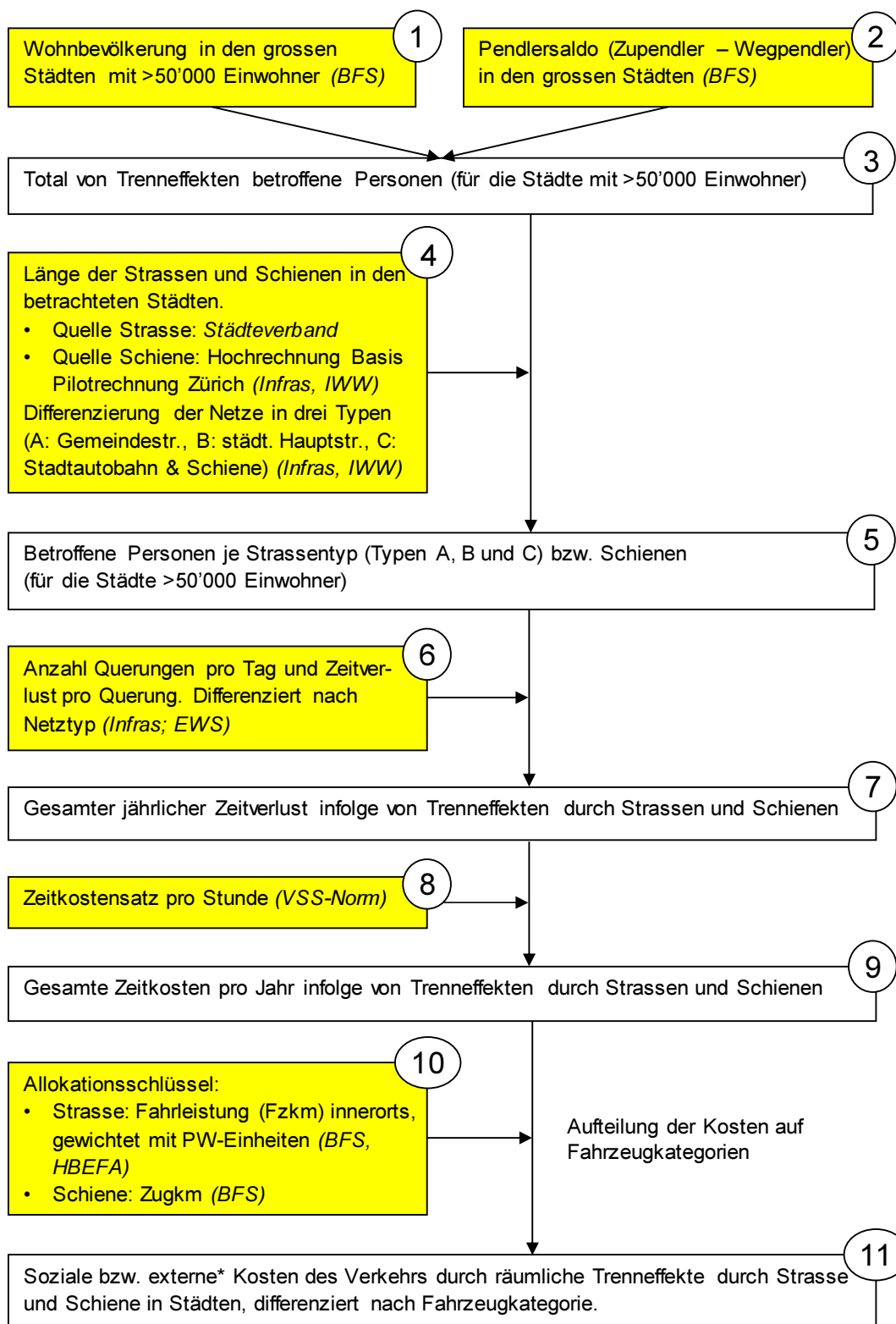
Zu erwähnen ist, dass die Kosten im Zusammenhang mit der Beeinträchtigung des Ortsbildes nicht verkehrsträgerintern sind. Somit spielt die Betrachtungsweise keine Rolle, das heisst die Kosten sind auch aus Sicht Verkehrsträger extern.

Die Beeinträchtigung von Ortsbild und Aufenthaltsqualität wird nur für den Strassenverkehr quantifiziert. Zwar kann auch der Schienenverkehr zu solchen Beeinträchtigungen innerhalb von Siedlungsgebieten führen. Weil diese Effekte beim Schienenverkehr jedoch nur schwer quantifizierbar und zudem voraussichtlich weniger relevant sind als beim Strassenverkehr, wird im Rahmen der vorliegenden Studie auf eine Berechnung verzichtet.

#### 14.2.2 Bewertungsmethodik

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die angewandte Bewertungsmethodik zur Berechnung der Zusatzkosten in städtischen Räumen: a) räumliche Trenneffekte, b) Beeinträchtigung von Ortsbild und Aufenthaltsqualität.

Abbildung 14-1: Bewertungsmethodik Zusatzkosten in städtischen Räumen: Trenneffekte



Legende: Inputdaten Zwischen- / Endergebnisse Erläuterung der Berechnung (*Datenquellen kursiv*)

\* Aus Sicht Verkehrsteilnehmende und Sicht Verkehrsart Schwerverkehr sind die sozialen Kosten gleich den externen Kosten. Aus Sicht Verkehrsträger sind die sozialen Kosten des Strassenverkehrs jedoch alle intern.

### a) Raumkonkurrenz: Räumliche Trenneffekte

Bei den räumlichen Trenneffekten werden die Zeitverluste des Langsamverkehrs, die durch Wartezeiten und Umwege entstehen, mittels Schadenskostenansatz monetarisiert. Die zwei wichtigsten Inputgrössen für die Berechnung sind die Zeitverluste (7) sowie der Zeitkostensatz (8) zur Monetarisierung dieser Zeitverluste. Die Herleitung der Zeitverluste basiert einerseits auf der Anzahl von Trennwirkungen betroffenen Personen (3), die wiederum die Summe der Wohnbevölkerung (1) und dem Pendlersaldo (2) ist. Andererseits werden als Grundlage für die Berechnung der Zeitverluste Daten zur Länge des für Querungen relevanten städtischen Strassennetzes (4) sowie Inputgrössen zur Anzahl Querungen pro Tag und dem Zeitverlust pro Querung (6) verwendet. Die gesamten Zeitkosten pro Jahr infolge von Trenneffekten durch Strasse und Schiene werden schliesslich mittels Allokationsschlüssel (10, mit PW-Einheiten gewichtete Fahrleistung bzw. Zugkm) auf die einzelnen Fahrzeugkategorien aufgeteilt (11).

### b) Beeinträchtigung Ortsbild und Aufenthaltsqualität

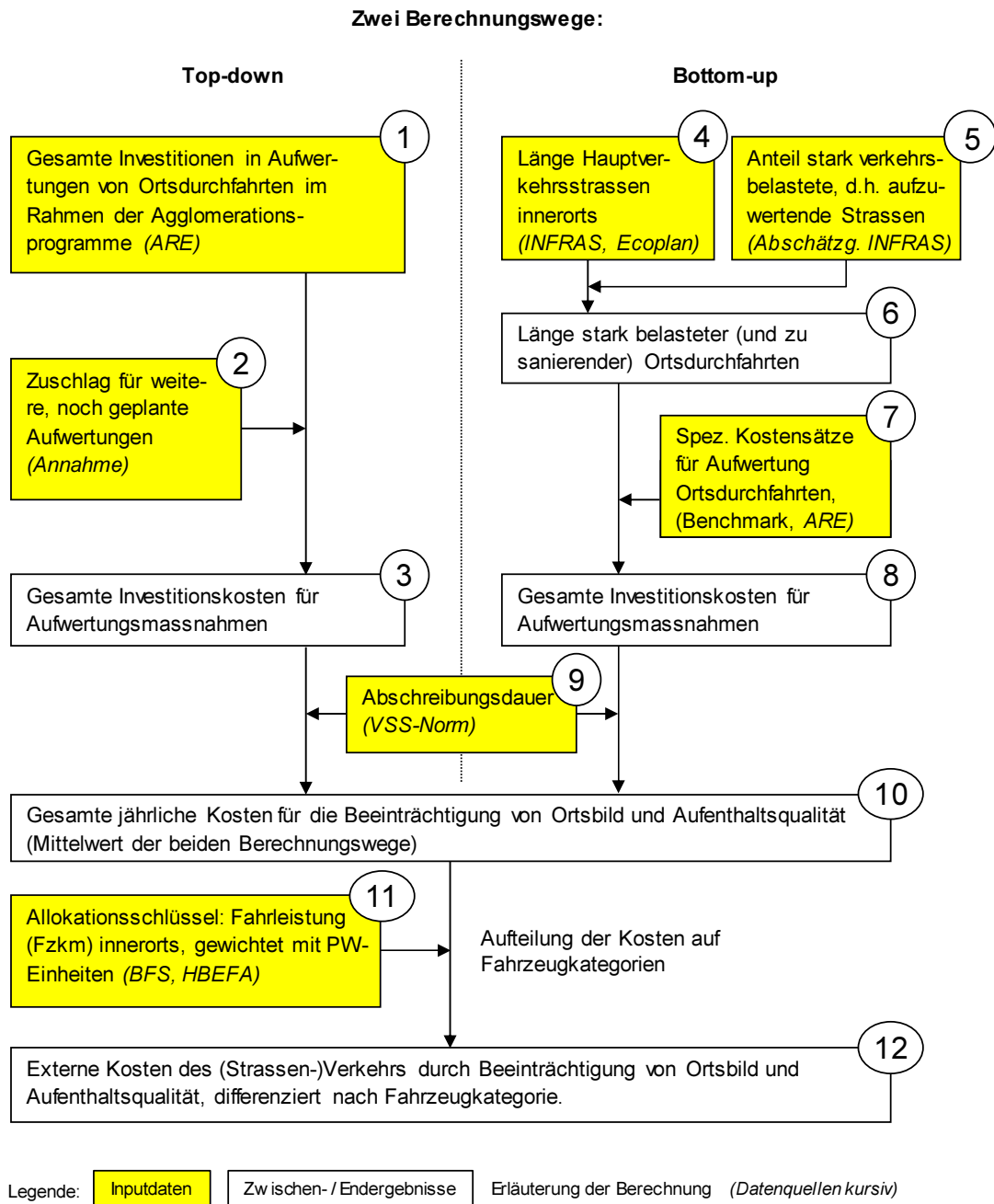
Die Berechnung der Kosten durch Beeinträchtigung von Ortsbild und Aufenthaltsqualität beruht auf dem Reparaturkostenansatz. Dabei werden aktuell durchgeführte Aufwertungs- und Sanierungsprojekte von stark belasteten Ortsdurchfahrten im Rahmen von Agglomerationsprogrammen als Grundlage für die Monetarisierung verwendet.

Für die Berechnung werden zwei alternative Ansätze verfolgt, die schliesslich miteinander verglichen werden und gemeinsam die Grundlage für das Hauptergebnis bilden. Dabei handelt es sich um einen top-down- sowie einen bottom-up-Ansatz. Die folgende Abbildung illustriert die beiden Berechnungsansätze:

- **Top-down:** Bei diesem Ansatz werden direkt die gesamten Investitionen (1), die im Rahmen der 1. und 2. Generation der Agglomerationsprogramme vom Bund bewilligt werden, als Bewertungsbasis verwendet. Dabei werden Projekte im Bereich ‚Aufwertung von Ortsdurchfahrten‘ als Grundlage verwendet. Ausgeschlossen werden Projekte, bei denen explizit eine Verbesserung der Verkehrssicherheit im Zentrum steht. Zusätzlich wird eine Annahme getroffen, wie viele weitere Agglomerationsprogramme in gleichem Ausmass zusätzlich noch nötig sein werden (2), um alle stark beeinträchtigten Ortsdurchfahrten zu sanieren. Schliesslich werden die gesamten Investitionskosten (3) mit Hilfe einer typischen Abschreibungsdauer (9) in Jahreskosten umgerechnet (10).
- **Bottom-up:** Beim zweiten Ansatz wird die Länge an stark verkehrsbelasteten und damit zu sanierenden Strassen abgeschätzt (6). Dazu bilden die Länge aller Hauptverkehrsachsen innerorts (4) sowie eine Abschätzung, welcher Anteil dieser Strassen stark verkehrsbelastet ist (5, Details siehe Kap. 14.3.2), die Grundlage. Zur Berechnung der gesamten Investitionskosten (8) wird die Länge des zu sanierenden Strassennetzes mit einem spezifischen Benchmark-Kostensatz (7) für die Aufwertungskosten pro m<sup>2</sup> (bzw. m) multipliziert. Daraus werden wiederum mit Hilfe der Abschreibungsdauer die Jahreskosten berechnet (10).

d

Abbildung 14-2: Bewertungsmethodik Zusatzkosten in städtischen Räumen: Beeinträchtigung Ortsbild und Aufenthaltsqualität



Für die Ermittlung der Gesamtkosten wird der Mittelwert der beiden Berechnungswege verwendet.<sup>430</sup> Die Allokation der Gesamtkosten auf die einzelnen Fahrzeugkategorien des

<sup>430</sup> Bei der vorliegenden Rechnung liegen die Ergebnisse der beiden Berechnungswege nicht allzu weit auseinander: Bei der bottom-up Rechnung sind die Kosten gut ein Drittel tiefer als bei der top-down Rechnung.

Strassenverkehrs (12) erfolgt analog wie bei den Trenneffekten auf Basis der mit PW-Einheiten gewichteten Fahrleistung.

Für die Fortschreibung der Kosten nach 2010 werden die im Rahmen der 1. Generation (2011-2014) sowie 2. Generation (2015-2018) Agglomerationsprogramme bereits geplanten und vom Bund bewilligten Aufwertungen von Ortsdurchfahrten berücksichtigt und entsprechend von den Gesamtkosten abgezählt. Dies führt dazu, dass diese Kosten infolge Beeinträchtigung von Ortsbild und Aufenthaltsqualität in den nächsten 5-10 Jahren wieder erheblich zurückgehen werden.

## 14.3 Mengengerüst

### 14.3.1 Räumliche Trenneffekte

Die wichtigsten Inputgrössen für das Mengengerüst zur Berechnung der räumlichen Trenneffekte sind die Anzahl betroffener Personen sowie die Länge der relevanten städtischen Verkehrsinfrastruktur. Wie in den bisherigen Studien und in Anlehnung an internationale Studien basiert die Berechnung der räumlichen Trenneffekte auf allen Städten mit mehr als 50'000 Einwohnern. In diese Kategorie fallen in der Schweiz zurzeit zehn Städte. Für die Abschätzung der betroffenen Bevölkerung wird einerseits die Einwohnerzahl aus der BFS Bevölkerungsstatistik und andererseits die Pendlerstatistik verwendet. Die folgende Abbildung zeigt die für die Berechnung verwendeten Inputgrössen.

Abbildung 14-3: Von Trennwirkungen (potenziell) betroffene Bevölkerung sowie Strassenlängen

	Mittlere Wohnbevölkerung 2010	Pendlersaldo 2010	Total betroffene Personen 2010	Strassenlängen 2010 (in km)
Zürich	389'700	200'700	590'400	720
Genève	188'600	76'400	265'000	182
Basel	171'700	82'900	254'600	314
Bern	128'900	88'700	217'600	350
Lausanne	130'800	54'400	185'200	217
Winterthur	101'400	10'700	112'100	295
St.Gallen	75'500	29'400	104'900	171
Luzern	78'500	29'500	108'000	136
Lugano	56'300	27'500	83'800	107
Biel	51'100	12'600	63'700	135
<b>Total</b>	<b>1'372'500</b>	<b>612'800</b>	<b>1'985'300</b>	<b>2'628</b>

Quellen: Wohnbevölkerung: BFS Bevölkerungsstatistik (BFS 2013); Pendlersaldo: Pendlerstatistik 2000 (BFS 2003), aktualisiert auf das Jahr 2010 mit Hilfe der Erwerbstätigenstatistik des BFS<sup>431</sup>. Strassenlängen<sup>432</sup>: Statistik der Schweizer Städte (Städteverband 2013).

<sup>431</sup> BFS 2013: <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/03/02/blank/data/01.html>



Beim Schienenverkehr beträgt die Länge der relevanten Verkehrsinfrastruktur innerhalb der Städte gut 76 Kilometer.<sup>433</sup> Für die Anzahl Querungen pro betroffener Person und Tag werden die gleichen Grundlagendaten wie in den bisherigen Berechnungen verwendet (vgl. Abbildung 14-4). Die Anzahl Überquerungen pro Tag wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit mittels weniger einfacher Fallbeispiele überprüft und wird weiterhin als plausibel erachtet.

**Abbildung 14-4: Verwendete Anzahl Überquerungen und Zeitverluste**

Charakterisierung	Strassen-Typ A Gemeindestrasse	Strassen-Typ B städt. Hauptstrasse 2- bis max. 3-spurig	Strassen-Typ C Stadtautobahn 4-spurig; Bahnschienen
Anzahl Überquerungen pro Tag	3	2	1.5
Zeitverluste beim Überqueren in Sekunden	10	45	260

Quelle: Infrac (2006), Infrac, IWW (2000), EWS (1997).

Um diese Inputgrössen etwas besser einordnen zu können, ist folgendes Zwischenresultat hilfreich: Der in der vorliegenden Studie berechnete durchschnittliche Zeitverlust pro betroffener Person in den erwähnten zehn Städten beträgt rund 40 Sekunden pro Tag, was ein plausibler und tendenziell eher vorsichtiger Wert scheint.

Für die Allokation der Gesamtkosten des Strassenverkehrs auf die einzelnen Verkehrsträger werden die Fahrleistungen innerorts (Basis Handbuch Emissionsfaktoren Strassenverkehr, Infrac 2012) verwendet, wobei die Fahrleistung zusätzlich mit den so genannten PW-Einheiten gewichtet werden.<sup>434</sup>

### 14.3.2 Beeinträchtigung Ortsbild und Aufenthaltsqualität

Für die bottom-up Berechnung der Kosten durch Beeinträchtigung von Ortsbild und Aufenthaltsqualität bildet die Länge des betroffenen Strassennetzes der zentrale Input. Dabei geht es um die Frage, wie viele Strassen innerhalb des Siedlungsgebiets so stark verkehrsbelastet sind, dass sie zu einer Beeinträchtigung des Ortsbildes und der Aufenthaltsqualität führen. Gemäss Prüfbericht des Bundesamtes für Raumentwicklung der 1. Generation Agglomerationsprogramme (ARE 2009) gelten Strassen mit einer durchschnittlichen täglichen Verkehrsmenge von mehr als 10'000 Fahrzeugen (DTV: durchschnittlicher täglicher Verkehr) als betroffen und sind somit im Rahmen der Agglomerationsprogramme berechtigt, Beiträge für

<sup>432</sup> Es ist zu erwähnen, dass ein (kleiner) Teil des Strassennetzes für den Langsamverkehr nicht überquerungsrelevant ist. Dieser Anteil, der gemäss Pilotrechnung für Zürich (Infrac, IWW 2000) rund 12% beträgt, wird in den Berechnungen subtrahiert.

<sup>433</sup> Hochgerechnet auf Basis der Pilotrechnung für Zürich (Infrac, IWW 2000).

<sup>434</sup> Dazu werden die für Infrastrukturrechnungen üblichen PW-Einheiten verwendet: PW: 1.0, Gesellschaftswagen (Car): 2.5, Motorräder & Mofa: 0.5, Autobusse & Trolleybusse: 2.5, Tram 4.0, Lieferwagen: 1.5, Lastwagen: 2.5, Sattelschlepper: 3.5 (siehe Infrac, CE Delft, Fraunhofer ISI 2007).

Aufwertungsmassnahmen zu erhalten. Für die vorliegende Berechnung wird dieser Wert ebenfalls als Schwelle verwendet, ab wann eine Strasse als zu sanieren bzw. aufzuwerten ist.

Die Gesamtlänge der Hauptverkehrsachsen innerhalb des Siedlungsgebiets in der Schweiz beträgt gut 2'500 Kilometer (Infras, Ecoplan 2011, Zusatzstudie Transportrechnung). Auf Basis von einfachen Auswertungen von Verkehrsmodellen kann abgeschätzt werden, dass von diesen Strassen rund 25% eine Verkehrsbelastung über dem oben erwähnten Schwellenwert aufweisen.<sup>435</sup> Die Länge des betroffenen und zu sanierenden Strassennetzes für die bottom-up Rechnung beträgt somit rund 630 km.

Weil die top-down Berechnung direkt mit Kostendaten (siehe Wertgerüste) erfolgt, gibt es an dieser Stelle dazu kein Mengengerüst.

## 14.4 Wertgerüst

### 14.4.1 Räumliche Trenneffekte

Für die Monetarisierung der Zeitkosten des Langsamverkehrs durch die Wartezeiten wird ein aktualisierter Kostensatz verwendet. Dabei wird auf die neue VSS-Norm für Zeitkostenansätze im Personenverkehr zurückgegriffen (SN 641 822a, 2009). Da in dieser Norm keine expliziten Kostensätze für den Langsamverkehr angegeben sind, wird für die Wartezeiten an Strassen, Lichtsignalen und Barrieren (d.h. für die Infrastrukturtypen A und B) auf die Zeitkostensätze der Zu- und Abgangswege des öffentlichen Verkehrs (= Gehzeit zur Haltestelle) zurückgegriffen. Als Grundlage wird der für alle Fahrzwecke gemittelte Kostensatz verwendet, da die Wartezeiten durch Trenneffekte sämtliche Fahrzwecke betrifft (Pendeln, Freizeit, Nutzfahrten, Einkauf). Der in der Norm angegebene mittlere Kostensatz für die Zu- und Abgangszeiten von 19.2 CHF pro Stunde (für Wege <5km) bezieht sich auf das Jahr 2007. Umgerechnet auf das Jahr 2010 (mittels Nominallohnentwicklung) ergibt sich somit ein Zeitkostensatz von 20.1 CHF pro Stunde. Für die Zeitverluste infolge Umfahrung der grossen städtischen Autobahnen und Gleisfelder (Infrastrukturtypen C) wird gemäss at least Ansatz der etwas tiefere, durchschnittliche Kostensatz für die ÖV-Fahrzeit verwendet, weil die Zeitkosten einer Umwegfahrt weniger hoch sind als beim Warten vor einem Signal oder einer Barriere. Dieser mittlere Kostensatz für die ÖV-Fahrzeit beträgt gemäss VSS-Norm im Jahr 2007 14.4 CHF pro Stunde bzw. umgerechnet auf das Jahr 2010 15.2 CHF pro Stunde.

---

<sup>435</sup> Eigene Abschätzungen der Autoren auf Basis einfacher Modellrechnungen für den Kanton Zürich. Die Bandbreite des Anteils stark verkehrsbelasteter Strassen innerorts (über Schwellenwert) reicht von 15% bis 40% aller Hauptverkehrsachsen.

#### 14.4.2 Beeinträchtigung Ortsbild und Aufenthaltsqualität

Die top-down Berechnung der Reparaturkosten basiert auf den im Rahmen der Agglomerationsprogramme geplanten und bewilligten Aufwertungs- und Sanierungsprojekte für Ortsdurchfahrten. Die folgende Abbildung zeigt die Ausgaben, die im Rahmen der 1. und 2. Generation der Agglomerationsprogramme vom Bund bewilligt worden sind (bzw. bei denen die Bewilligung geplant ist). Die Liste beinhaltet alle Massnahmen zur Aufwertung von Ortsdurchfahrten, mit Ausnahme derjenigen, bei denen der Fokus im Bereich Sicherheit des Strassenraumes liegt. Bei vielen Massnahmen handelt es sich um Betriebs- und Gestaltungskonzepte für Ortsdurchfahrten. Allerdings enthält ein erheblicher Teil der Aufwertungsmassnahmen auch Elemente zur Erhöhung der Sicherheit. Aus unserer Sicht führt dies hier allerdings nicht zu einem relevanten Doppelzählungsproblem mit dem Unfallbereich, weil die Massnahmen in erster Linie eine Verbesserung des Sicherheitsgefühls und damit der Aufenthalts- und Lebensqualität zur Folge haben.

**Abbildung 14-5: Im Rahmen der Agglomerationsprogramme des Bundes geplante Ausgaben für die Aufwertung von Ortsdurchfahrten (in Mio. CHF)**

	Geplante Ausgaben für Massnahmen zur Aufwertung von Ortsdurchfahrten (in Mio. CHF)		
	Priorität A	Priorität B	Total A und B
1. Generation Agglomerationsprogramme (2011-2014)	494	139	633
2. Generation Agglomerationsprogramme (2015-2018)	604	248	852
<b>Total</b>	<b>1'098</b>	<b>387</b>	<b>1'485</b>

Quelle: Bundesrat 2009, UVEK 2013. Explizit ausgenommen sind Massnahmen, bei denen die Sicherheit im Zentrum steht. Daten inkl. MWST.

Für die beiden ersten Generationen von Agglomerationsprogrammen sind insgesamt fast 1.5 Mrd. CHF Investitionen für Aufwertungsmassnahmen vorgesehen. Diese geplanten und politisch gutgeheissenen Investitionen entsprechen einer tatsächlich geäusserten Zahlungsbereitschaft für die Minderung der Schäden an Ortsbild und Aufenthaltsqualität. Allerdings entspricht diese Summe einem absoluten Minimum, da es darüber hinaus noch eine ganze Reihe weiterer, bisher nicht aufgewerteter Ortsdurchfahrten gibt. Deshalb wird bei der top-down Rechnung ein Zuschlagsfaktor angewandt, um weitere, zukünftige Aufwertungsmassnahmen für ebenfalls übermässig belastete Ortsdurchfahrten abzudecken. Für die vorliegende Rechnung wird ein vorsichtiger Faktor 2 angewandt.<sup>436</sup> Das heisst, es wird davon ausgegangen, dass im Rahmen weiterer (zwei) Agglomerationsprogramme in den nächsten Jahren noch-

<sup>436</sup> Der Faktor 2.0 basiert auf unserer Praxiserfahrung, dass mindestens nochmals so viele Ortsdurchfahrten zu sanieren sind, wie bisher in der 1. und 2. Generation der Agglomerationsprogramme bewilligt wurden. Er stellt damit eine Expertenschätzung dar und widerspiegelt das at least Prinzip.

mals Investitionen im gleichen Ausmass in Aufwertungsmassnahmen von Ortsdurchfahrten fliessen werden.

Für die bottom-up Abschätzung der Aufwertungskosten wird die Länge des betroffenen Strassennetzes mit einem spezifischen Kostensatz für Aufwertungsmassnahmen bei Ortsdurchfahrten multipliziert. Für diesen Kostensatz bildet der Prüfbericht der Agglomerationsprogramme der 1. Generation (ARE 2009) eine gute Grundlage, weil dort Benchmarks für die Höhe der Kosten solcher Massnahmen ausgewiesen werden. Für die Aufwertung von Ortsdurchfahrten liegt der Kostenbenchmark demnach bei 300 CHF pro m<sup>2</sup>. Bei einer mittleren Fahrbahnbreite 10 Metern (Hauptverkehrs-, Sammelstrassen innerorts, 2-spurig) entspricht dies einem Wert von 3'000 CHF pro Meter.

Für die Monetarisierung in der vorliegenden Arbeit müssen die gesamten Investitionskosten noch in Jahreskosten umgerechnet werden. Da es sich um sehr unterschiedliche Massnahmen handelt, ist es schwierig eine einheitliche Abschreibungsdauer festzulegen. Insgesamt scheint uns eine Abschreibungsdauer von 20 Jahren am zweckmässigsten, da gemäss Vorgaben der VSS-Norm SN 641 820 (2006) solche für Aufwertungen typische Infrastrukturen eine Lebensdauer in diesem Bereich haben (Fahrbahndecken/Asphalt: 20 Jahre, Ausstattungen: 15 Jahre, Ausrüstungen: 20 Jahre, (Lärm)Schutzwände: 25 Jahre).

## 14.5 Ergebnisse

### 14.5.1 Externe Kosten aus Sicht Verkehrsträger

#### a) Überblick Gesamtverkehr

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die gesamten externen Zusatzkosten in städtischen Räumen im Jahr 2010 nach Verkehrsträgern. Aus Sicht Verkehrsträger betragen die externen Zusatzkosten in städtischen Räumen 2010 **144 Mio. CHF**. Davon verursachte der Strassenverkehr gut drei Viertel bzw. 112 Mio. CHF, der Schienenverkehr 23% (32 Mio. CHF). Keine Kosten werden durch den Luft- und Schiffsverkehr verursacht. Aus Sicht Verkehrsträger stammen die Kosten des Strassenverkehrs vollumfänglich aus der Beeinträchtigung von Ortsbild und Aufenthaltsqualität, da die Trennwirkungen beim Strassenverkehr (zwischen motorisiertem Verkehr und Langsamverkehr) verkehrsträgerintern sind. Beim Schienenverkehr dagegen werden die Zusatzkosten in städtischen Räumen ausschliesslich durch die Trennwirkungen verursacht, die verkehrsträgerextern sind.

Abbildung 14-6: Überblick über die externen Kosten in städtischen Räumen 2010 (Trenneffekte, Beeinträchtigung Ortsbild), Sicht Verkehrsträger

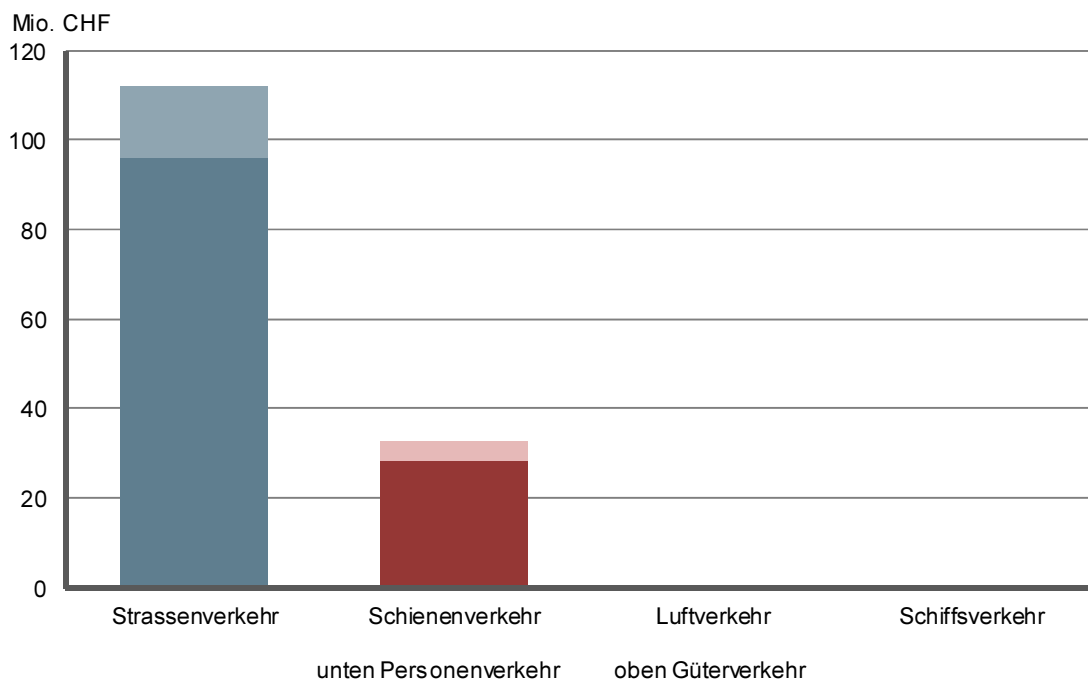


Abbildung 14-7: Überblick über die externen Kosten in städtischen Räumen 2010, Sicht Verkehrsträger

Zusatzkosten in städtischen Räumen in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	96.1	15.8	111.8	77.5%
Schienenverkehr	28.3	4.2	32.5	22.5%
Luftverkehr	-	-	-	0.0%
Schiffsverkehr	-	-	-	0.0%
<b>Total</b>	<b>124.3</b>	<b>19.9</b>	<b>144.3</b>	100.0%
in % des Totals	86.2%	13.8%	100.0%	

#### b) Strassenverkehr

Beim Strassenverkehr werden 83% der Kosten vom motorisierten privaten Verkehr verursacht. Die höchsten Kosten fallen mit gut 90 Mio. CHF bei den Personenwagen an. Der Güterverkehr verursacht Kosten von 16 Mio. bzw. 14%, während es beim öffentlichen Strassenverkehr nur 3 Mio. CHF sind.

Abbildung 14-8: Externe Kosten in städtischen Räumen 2010 nach Fahrzeugkategorien, Sicht Verkehrsträger

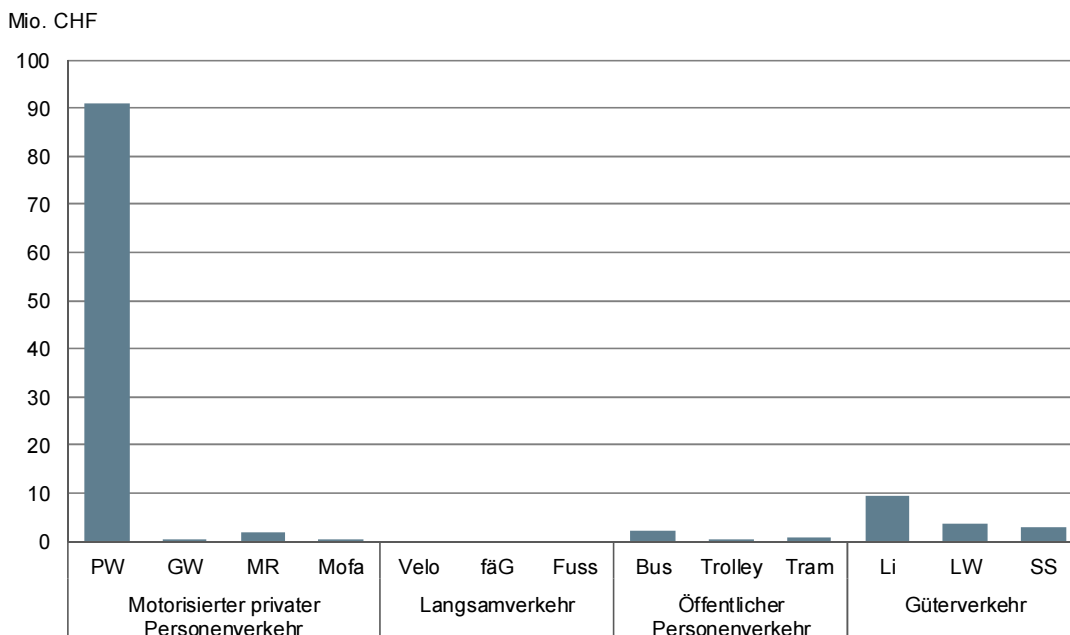


Abbildung 14-9: Externe Kosten des Strassenverkehrs in städtischen Räumen 2010 nach Fahrzeugkategorien sowie Kostenelementen, Sicht Verkehrsträger

Zusatzkosten in städtischen Räumen in Mio. CHF	Personenverkehr									Güterverkehr			Gesamttotal	
	Motorisierter privater Personenverkehr				Langsamverkehr			Öffentlicher Personenverkehr			Li	LW		SS
	PW	GW	MR	Mofa	Velo	fäG	Fuss	Bus	Trolley	Tram				
Trenneffekte	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Beeinträchtigung Ortsbild	90.6	0.3	1.9	0.1	-	-	-	2.2	0.4	0.6	9.3	3.5	2.9	111.8
<b>Total städtische Räume</b>	<b>90.6</b>	<b>0.3</b>	<b>1.9</b>	<b>0.1</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>2.2</b>	<b>0.4</b>	<b>0.6</b>	<b>9.3</b>	<b>3.5</b>	<b>2.9</b>	<b>111.8</b>
in % des Gesamttotals	81.0%	0.3%	1.7%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	1.9%	0.3%	0.6%	8.3%	3.2%	2.6%	100.0%
<b>Total Teilbereiche</b>	<b>92.9</b>				<b>0.0</b>			<b>3.2</b>			<b>15.8</b>			<b>111.8</b>
in % des Gesamttotals	83.1%				0.0%			2.8%			14.1%			100.0%

PW = Personenwagen, GW = Gesellschaftswagen, MR = Motorrad, fäG = fahrzeugähnliches Gerät, Fuss = Fussverkehr, Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper.

### c) Schienenverkehr

Beim Schienenverkehr fallen nur Kosten im Bereich der räumlichen Trenneffekte an. Diese werden zu fast 90% vom Personenverkehr verursacht.<sup>437</sup>

<sup>437</sup> Die Aufteilung auf Personen- und Güterverkehr erfolgt vereinfachend wie in den früheren Berechnungen auf Basis der Gesamtfahrleistung des Schienenverkehrs (Fzkm), da keine Angaben zur Fahrleistung innerorts bzw. ausserorts vorliegen.

**Abbildung 14-10: Externe Kosten des Schienenverkehrs in städtischen Räumen 2010 nach Personen- und Güterverkehr sowie Kostenelementen**

Zusatzkosten in städtischen Räumen in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
Trenneffekte	28.3	4.2	<b>32.5</b>
Beeinträchtigung Ortsbild	0.0	0.0	<b>0.0</b>
<b>Schieneverkehr Total</b>	<b>28.3</b>	<b>4.2</b>	<b>32.5</b>

#### 14.5.2 Externe Kosten aus Sicht Verkehrsteilnehmenden und Verkehrsart Schwerverkehr

Bei den Zusatzkosten in städtischen Räumen unterscheiden sich die Ergebnisse je nach Sichtweise: Aus Sicht Verkehrsträger sind die Kosten durch räumliche Trenneffekte im Strassenverkehr verkehrsträgerintern, da die Wirkung zwischen dem motorisierten Strassenverkehr und dem Langsamverkehr auftreten. Werden die Kosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende ausgewiesen, sind diese Kosten dagegen als extern zu betrachten. Das gleiche gilt für die externen Kosten aus Sicht Verkehrsart Schwerverkehr sowie für die sozialen Kosten.

Die folgenden Abbildungen zeigen die externen Zusatzkosten in städtischen Räumen aus Sicht Verkehrsteilnehmende<sup>438</sup> (= Sicht Verkehrsart Schwerverkehr). Sie betragen insgesamt 302 Mio. CHF, wobei 270 Mio. CHF oder gegen 90% auf den Strassenverkehr entfallen.

Beim Strassenverkehr kommen die Kosten durch Trenneffekte im Umfang von 158 Mio. CHF dazu. Sie sind damit etwas höher als die Kosten durch die Beeinträchtigung des Ortsbildes und der Aufenthaltsqualität.

**Abbildung 14-11: Überblick über die externen Kosten in städtischen Räumen 2010, Sicht Verkehrsteilnehmende und Sicht Verkehrsart Schwerverkehr**

Zusatzkosten in städtischen Räumen in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	231.5	38.0	<b>269.5</b>	89.2%
Schieneverkehr	28.3	4.2	<b>32.5</b>	10.8%
Luftverkehr	-	-	-	0.0%
Schiffsverkehr	-	-	-	0.0%
<b>Total</b>	<b>259.8</b>	<b>42.2</b>	<b>302.0</b>	100.0%
in % des Totals	86.0%	14.0%	100.0%	

<sup>438</sup> Die externen Kosten aus Sicht Verkehrsteilnehmenden entsprechen gleichzeitig den sozialen Kosten.

Beim Strassenverkehr verursacht der motorisierte private Personenverkehr rund 224 Mio. CHF (83%), der öffentliche Verkehr knapp 8 Mio. CHF (3%) und der Güterverkehr 38 Mio. CHF (14%).

Abbildung 14-12: Externe Kosten in städtischen Räumen 2010 nach Fahrzeugkategorien, Sicht Verkehrsteilnehmende und Sicht Verkehrsart Schwerverkehr

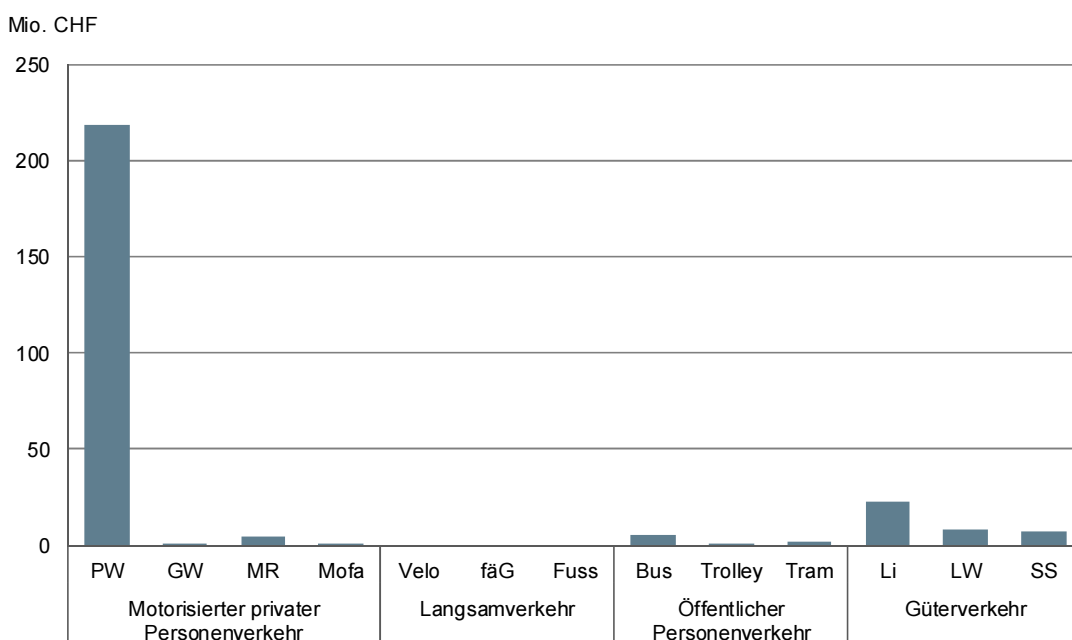


Abbildung 14-13: Externe Kosten des Strassenverkehrs in städtischen Räumen 2010 nach Fahrzeugkategorien sowie Kostenelementen, Sicht Verkehrsteilnehmende und Sicht Verkehrsart Schwerverkehr

Zusatzkosten in städtischen Räumen in Mio. CHF	Personenverkehr										Güterverkehr			Gesamttotal
	Motorisierter privater Personenverkehr				Langsamverkehr			Öffentlicher Personenverkehr			Li	LW	SS	
	PW	GW	MR	Mofa	Velo	fäG	Fuss	Bus	Trolley	Tram				
Trenneffekte	127.7	0.5	2.6	0.2	-	-	-	3.1	0.5	0.9	13.2	5.0	4.1	157.7
Beeinträchtigung Ortsbild	90.6	0.3	1.9	0.1	-	-	-	2.2	0.4	0.6	9.3	3.5	2.9	111.8
<b>Total städtische Räume</b>	<b>218.3</b>	<b>0.8</b>	<b>4.5</b>	<b>0.3</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>5.2</b>	<b>0.9</b>	<b>1.5</b>	<b>22.5</b>	<b>8.5</b>	<b>7.0</b>	<b>269.5</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	<b>81.0%</b>	<b>0.3%</b>	<b>1.7%</b>	<b>0.1%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>1.9%</b>	<b>0.3%</b>	<b>0.6%</b>	<b>8.3%</b>	<b>3.2%</b>	<b>2.6%</b>	<b>100.0%</b>
<b>Total Teilbereiche</b>	<b>223.9</b>				<b>0.0</b>			<b>7.6</b>			<b>38.0</b>			<b>269.5</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	<b>83.1%</b>				<b>0.0%</b>			<b>2.8%</b>			<b>14.1%</b>			<b>100.0%</b>

PW = Personenwagen, GW = Gesellschaftswagen, MR = Motorrad, fäG = fahrzeugähnliches Gerät, Fuss = Fussverkehr, Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper.



## 14.6 Sensitivitätsanalyse

### 14.6.1 Zusammenfassung der Annahmen und Unsicherheiten

Bei der Ermittlung der Zusatzkosten in städtischen Räumen werden für die beiden Schadensbereiche Trennwirkungen und Beeinträchtigung Ortsbild eine Reihe von Inputdaten verwendet, die zum Teil mit erheblichen Unsicherheiten behaftet sind. In der folgenden Abbildung werden die Unsicherheiten der Inputdaten aufgelistet. Im folgenden Teilkapitel wird dann untersucht, wie sensitiv die Ergebnisse reagieren, wenn diese Annahmen verändert werden.

Bei der Länge des betroffenen Strassennetzes ist die Unsicherheit nach unten aufgrund des at least Ansatzes relativ gering, nach oben ist die Unsicherheit viel höher (Annahme: 100%).

**Abbildung 14-14: Übersicht über Inputdaten, Annahmen und Bandbreiten bei den Zusatzkosten in städtischen Räumen**

Bereich / Annahme	Wissenstand	Vorgehen	Bandbreite
<b>Mengengerüst Trennwirkungen</b>			
Betroffene Personen	Statistische Daten & Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 25%
Länge relevantes Strassen-/Schienennetz	Statistische Daten & Wissen mit kl. Unsicherheiten	best guess	± 5%
Zeitverluste pro Tag bzw. Querung	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 50%
<b>Wertgerüst</b>			
Zeitkostensatz für Langsamverkehr	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 25%
<b>Mengengerüst</b>			
Betroffenes Strassennetz (Ortsdurchfahrten)	Wissen mit Unsicherheiten	at least	-10% / +100%
<b>Wertgerüst</b>			
Spezifische Reparaturkosten für Aufwertung	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 25%

### 14.6.2 Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

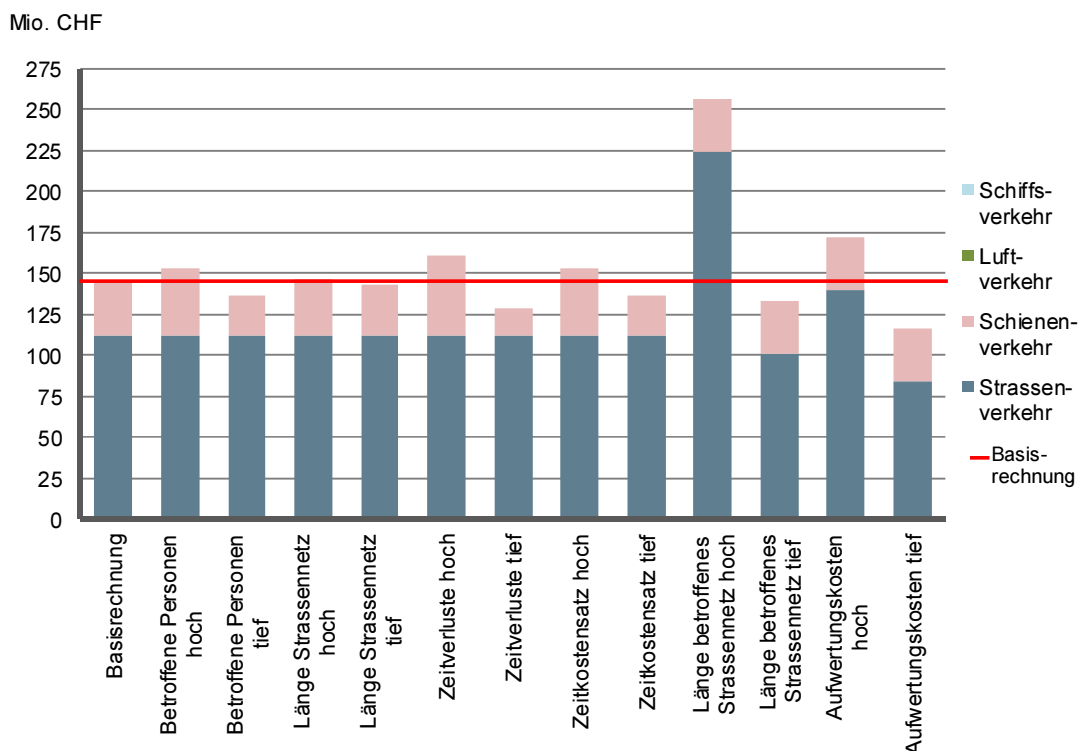
Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse. Für sechs verschiedene Inputgrößen wurde eine Sensitivitätsrechnung mit jeweils einem hohen und einem tiefen Wert gerechnet.

Am sensitivsten reagieren die Ergebnisse auf die Veränderung des betroffenen Strassennetzes (vor allem Unsicherheit nach oben: +77%) sowie den spezifischen Aufwertungskosten bei der Beeinträchtigung des Ortsbildes (± 19%). Werden die Zeitverluste pro Querung variiert, führt dies zu einer Veränderung des Ergebnisses von ± 11%. Alle anderen Inputgrößen führen in der Sensitivitätsanalyse zu einer Veränderung des Ergebnisses von weniger als 10%.

**Abbildung 14-15: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für Zusatzkosten in städtischen Räumen 2010 (Sicht Verkehrsträger)**

Zusatzkosten in städtischen Räumen in Mio. CHF	Strassenverkehr	Schieneverkehr	Luftverkehr	Schiffsverkehr	Total
<b>Basisrechnung</b>	<b>111.8</b>	<b>32.5</b>	-	-	<b>144.3</b>
Betroffene Personen hoch	111.8	40.6	-	-	<b>152.4</b>
Betroffene Personen tief	111.8	24.4	-	-	<b>136.2</b>
Länge Strassennetz hoch	111.8	34.1	-	-	<b>145.9</b>
Länge Strassennetz tief	111.8	30.9	-	-	<b>142.7</b>
Zeitverluste hoch	111.8	48.7	-	-	<b>160.5</b>
Zeitverluste tief	111.8	16.2	-	-	<b>128.1</b>
Zeitkostensatz hoch	111.8	40.6	-	-	<b>152.4</b>
Zeitkostensatz tief	111.8	24.4	-	-	<b>136.2</b>
Länge betroffenes Strassennetz hoch	223.6	32.5	-	-	<b>256.1</b>
Länge betroffenes Strassennetz tief	100.6	32.5	-	-	<b>133.1</b>
Aufwertungskosten hoch	139.8	32.5	-	-	<b>172.2</b>
Aufwertungskosten tief	83.9	32.5	-	-	<b>116.3</b>
<b>Abweichung von Basisrechnung in %</b>					
Betroffene Personen hoch	0.0%	25.0%			<b>5.6%</b>
Betroffene Personen tief	0.0%	-25.0%			<b>-5.6%</b>
Länge Strassennetz hoch	0.0%	5.0%			<b>1.1%</b>
Länge Strassennetz tief	0.0%	-5.0%			<b>-1.1%</b>
Zeitverluste hoch	0.0%	50.0%			<b>11.3%</b>
Zeitverluste tief	0.0%	-50.0%			<b>-11.3%</b>
Zeitkostensatz hoch	0.0%	25.0%			<b>5.6%</b>
Zeitkostensatz tief	0.0%	-25.0%			<b>-5.6%</b>
Länge betroffenes Strassennetz hoch	100.0%	0.0%			<b>77.5%</b>
Länge betroffenes Strassennetz tief	-10.0%	0.0%			<b>-7.7%</b>
Aufwertungskosten hoch	25.0%	0.0%			<b>19.4%</b>
Aufwertungskosten tief	-25.0%	0.0%			<b>-19.4%</b>

Abbildung 14-16: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für die Zusatzkosten in städtischen Räumen 2010 (Sicht Verkehrsträger)

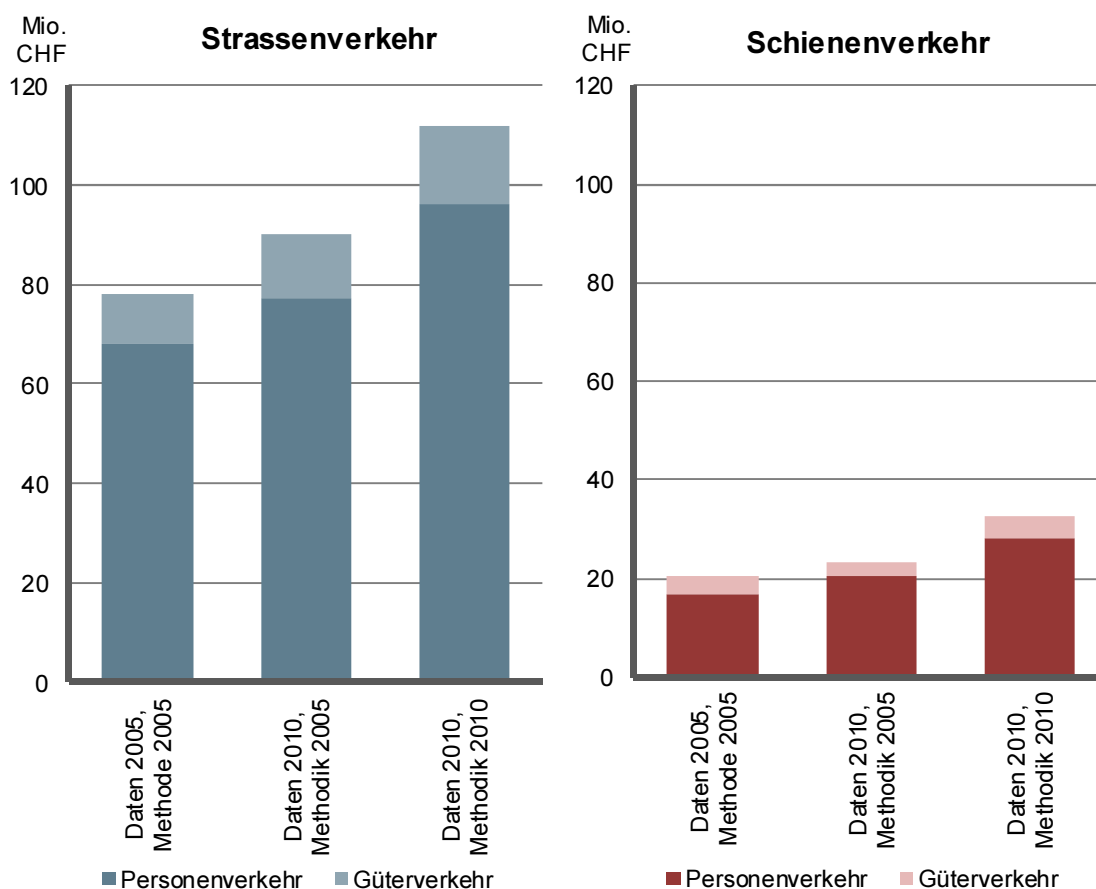


## 14.7 Vergleich zu den bisherigen Berechnungen

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen grafisch und tabellarisch den Vergleich der Zusatzkosten in städtischen Räumen 2010 mit den Ergebnissen der Berechnungen mit der früheren Methodik. Dabei sind sowohl die Daten für 2005 als auch die Daten für 2010 mit der früheren Methodik dargestellt. Der Vergleich der Ergebnisse von 2010 zwischen neuer und bisheriger Methodik zeigt den Effekt der angepassten Methodik.

Der Strassenverkehr verursachte 2005 gemäss früherer Methodik Zusatzkosten in städtischen Räumen im Umfang von 78 Mio. CHF. Mit der gleichen Methodik stiegen die Kosten bis 2010 auf 90 Mio. CHF (+15%). Auch beim Schienenverkehr haben die Zusatzkosten in städtischen Räumen gemäss bisheriger Methodik zwischen 2005 und 2010 um rund 15% von 20 auf 23 Mio. CHF zugenommen. Diese Zunahme hat sowohl beim Strassen- als auch beim Schienenverkehr zwei Gründe: Erstens ist der Zeitkostensatz in dieser Periode gemäss Aktualisierungstool um 8% gestiegen (Basis Nominallohnwachstum). Zweitens hat die Zahl der betroffenen Personen in dieser Phase um 7% zugenommen.

Abbildung 14-17: Vergleich der Berechnungen für die Zusatzkosten in städtischen Räumen 2005 und 2010



Die Anpassung der Methodik hat sowohl beim Strassen- als auch beim Schienenverkehr nochmals zu einer Zunahme der Kosten geführt. Beim Strassenverkehr lässt sich das Ergebnis aus Sicht Verkehrsträger nicht mehr mit der früheren Berechnung vergleichen, weil damals die Trennwirkungen noch als extern berücksichtigt wurden, diese im vorliegenden Bericht aus Sicht Verkehrsart jedoch als verkehrsträgerintern gelten und somit null sind. Mit der neuen Methodik werden aus Sicht Verkehrsträger beim Strassenverkehr damit alle externen Kosten durch die erstmals berechnete Beeinträchtigung von Ortsbild und Aufenthaltsqualität verursacht.

Beim Schienenverkehr nehmen die externen Kosten durch die Methodenanpassung um knapp 40% zu. Der wichtigste Grund für die Zunahme liegt bei der Anpassung des Zeitkostensatzes für die Wartezeiten des Langsamverkehrs (+30% bei der Schiene). Zweite wichtige Ursache ist die Zunahme der betroffenen Wohnbevölkerung aufgrund der neu berücksichtigten Städte mit mehr als 50'000 Einwohnern (Lugano, Biel). Ganz leicht dämpfend auf das Ergebnis wirkt sich aus, dass der Schadensbereich ‚Raumknappheitseffekte‘ neu nicht mehr berücksichtigt wird.

**Abbildung 14-18: Vergleich der Berechnungen für die Zusatzkosten in städtischen Räumen 2005 und 2010**

	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
<b>Daten 2005, Methodik 2005</b>			
Strassenverkehr	68.1	10.2	<b>78.2</b>
Schienerverkehr	16.7	3.6	<b>20.3</b>
<b>Total</b>	<b>84.8</b>	<b>13.7</b>	<b>98.5</b>
<b>Daten 2010, Methodik 2005</b>			
Strassenverkehr	77.2	12.8	<b>90.0</b>
Schienerverkehr	20.3	3.0	<b>23.4</b>
<b>Total</b>	<b>97.6</b>	<b>15.8</b>	<b>113.4</b>
<b>Daten 2010, Methodik 2010</b>			
Strassenverkehr	96.1	15.8	<b>111.8</b>
Schienerverkehr	28.3	4.2	<b>32.5</b>
<b>Total</b>	<b>124.3</b>	<b>19.9</b>	<b>144.3</b>
<b>Veränderung Daten 2005 - 2010</b>			
Strassenverkehr	13.4%	26.1%	<b>15.1%</b>
Schienerverkehr	21.8%	-15.5%	<b>15.2%</b>
<b>Total</b>	<b>15.1%</b>	<b>15.3%</b>	<b>15.1%</b>
<b>Veränderung Methodenanpassung</b>			
Strassenverkehr	24.3%	23.1%	<b>24.2%</b>
Schienerverkehr	39.1%	39.1%	<b>39.1%</b>
<b>Total</b>	<b>27.4%</b>	<b>26.2%</b>	<b>27.2%</b>

Die folgende Abbildung zeigt zusammenfassend die wichtigsten Veränderungen infolge der Methodenanpassung.

**Abbildung 14-19: Hauptgründe für die Unterschiede durch die Methodenanpassung**

Inputgrösse	Unterschiede angepasste Methodik	Wirkung auf Ergebnis
Beeinträchtigung Ortsbild	Schadensbereich neu in der Berechnung berücksichtigt (Strassenverkehr)	↗
Raumknappheitseffekte	Verzicht auf Einbezug dieses Schadensbereichs	(↘)
Umsetzung Sicht Verkehrsträger bei Trenneffekten	Aus Sicht Verkehrsträger fallen Trenneffekte beim Strassenverkehr weg, nicht aber aus Sicht Verkehrsteilnehmende	Strasse: Sicht Verkehrsträger: ↘ Sicht Verkehrsteiln.: →
Betroffene Bevölkerung	Anstieg höher als Bevölkerungswachstum, da neu mehr Städte in die Kategorie >50'000 Einwohner fallen	↗
Zeitkostensatz	Anpassung: Verwendung aktuellste Daten aus VSS-Norm	↗

## 15 Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr

### 15.1 Berechnungsgegenstand

Die körperliche Betätigung im Langsamverkehr (insbesondere Fuss- und Veloverkehr) wirkt sich positiv auf die Gesundheit aus und führt zu zusätzlichen Lebensjahren sowie vermiedenen Krankheitsfällen. Damit können medizinische Behandlungskosten, Nettoproduktionsausfälle und immaterielle Kosten eingespart werden. Es handelt sich prinzipiell um ähnliche Auswirkungen wie bei der Luftbelastung, aber hier sind es Gesundheitsnutzen, bei der Luftbelastung hingegen Gesundheitskosten.

Die Nutzen aus der körperlichen Aktivität im Langsamverkehr sind primär intern, d.h. diejenige Person, die körperlich aktiv ist, lebt auch gesünder. Von einem Teil der positiven Auswirkungen profitieren aber auch Dritte: Der verbesserte Gesundheitszustand führt zu einer Reduktion von Krankheitsfällen, was Einsparungen bei den medizinischen Heilungskosten, bei den Nettoproduktionsausfällen und bei den Wiederbesetzungskosten zur Folge hat. Da diese Kosten auf Krankenkassen (bei den medizinischen Heilungskosten), Gesellschaft (bei den Nettoproduktionsausfällen) und Arbeitgeber (bei den Wiederbesetzungskosten) überwältzt werden, entstehen durch die körperliche Aktivität nicht nur interne Nutzen bei den Teilnehmern des Langsamverkehrs sondern auch externe Nutzen (in Form von eingesparten Kosten) bei Dritten. Zudem können durch die Vermeidung von frühzeitigen Todesfällen Hinterlassenenrenten (Witwen-, Witwer- und Waisenrenten) eingespart werden, die von der AHV und damit von der Allgemeinheit zu bezahlen wären.

Neben den externen Nutzen sollen aber auch die sozialen Nutzen des Langsamverkehrs bestimmt werden, um das gesamte Ausmass der entstehenden Nutzen aufzuzeigen. Die internen Nutzen sollen zwar nicht in die Transportrechnung einfließen,<sup>439</sup> können aber mit geringem Zusatzaufwand bestimmt werden und werden deshalb hier auch berechnet.

Verschiedentlich wird in diesem Kontext auch die Frage aufgeworfen, ob es sich bei den eingesparten Gesundheitskosten (z.B. eingesparte medizinische Heilungskosten) als Folge der körperlichen Aktivität im Langsamverkehr wirklich um Nutzen handle, die als echte Ressourceneinsparung zu berücksichtigen sind. Die Antwort hierzu ist u.E. klar: Wenn man auf die Ortsverschiebung mit dem Langsamverkehr verzichtet und zuhause bleibt (Referenzfall<sup>440</sup>), dann fehlt der positive Effekt auf den Gesundheitszustand und die Personen wären potenziell häufiger krank und würden mehr Kosten verursachen. In diesem Sinne handelt es sich aus volkswirtschaftlicher Sicht tatsächlich um eine Ressourceneinsparung, die als Nutzen zu betrachten ist.

---

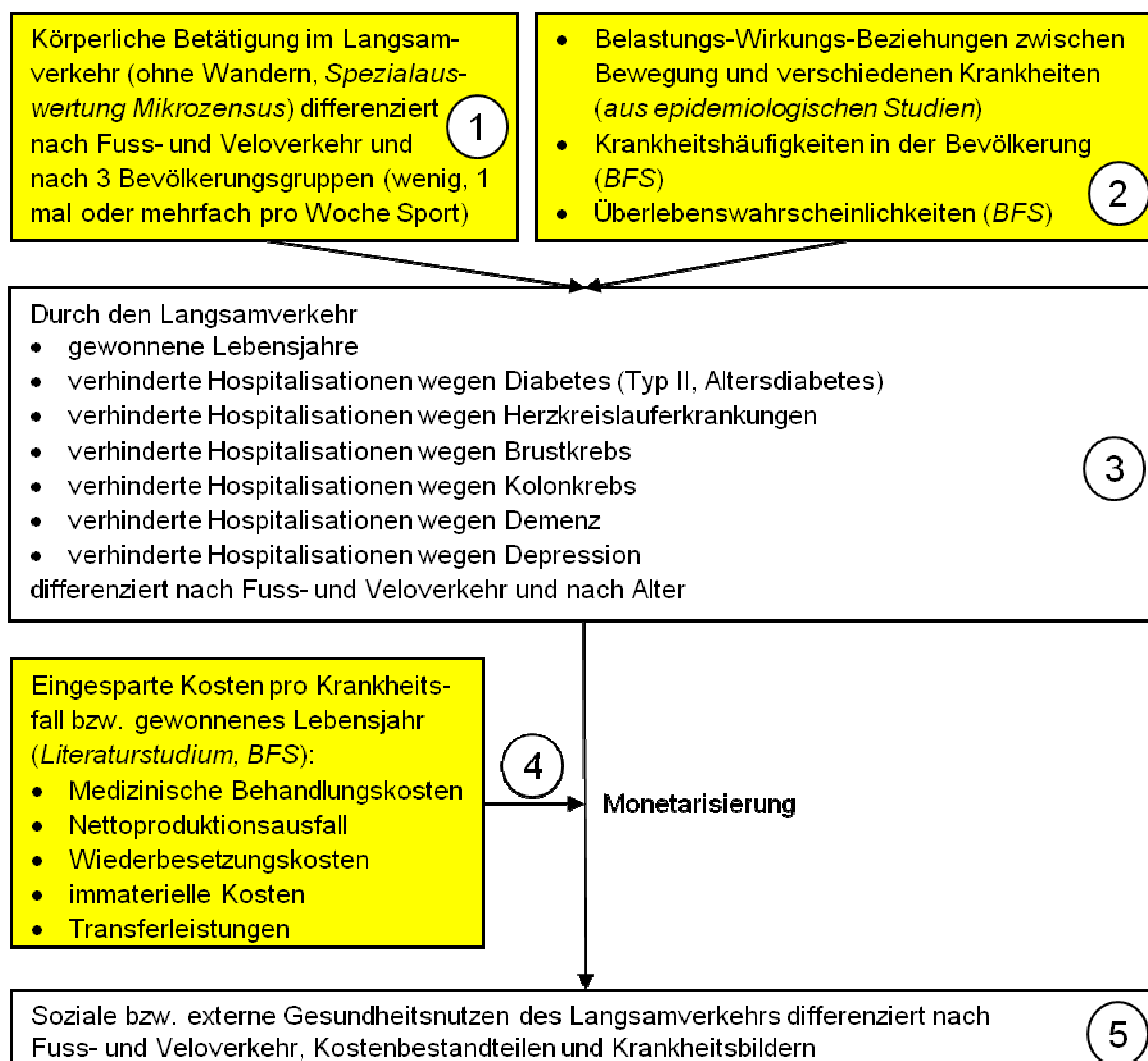
<sup>439</sup> Zur Begründung siehe Ecoplan, ISPMZ (2013), Integration des Langsamverkehrs in die Transportrechnung, Kapitel 11.

<sup>440</sup> Der Referenzfall der gesamten Transportrechnung (bzw. der Bestimmung der externen Kosten) ist immer keine Aktivität im Verkehr (bzw. man bleibt zu Hause).

## 15.2 Bewertungsmethodik

Die Gesundheitsnutzen des Langsamverkehrs in der Schweiz werden zum ersten Mal bestimmt, so dass hier kein Vergleich zur bisherigen Methodik stattfinden kann. Die Bewertungsmethodik orientiert sich stark an der Methodik der Gesundheitskosten durch Luft- und Lärmbelastung. Die gewonnenen Lebensjahre und die verhinderten Krankheitsfälle (Schritt 3 in Abbildung 15-1) errechnen sich aus dem Ausmass der körperlichen Betätigung im Langsamverkehr (Schritt 1) und den Belastungs-Wirkungs-Beziehungen zwischen Bewegung und verschiedenen Krankheitsbildern (Schritt 2 in Abbildung 15-1). Diese werden mit den prinzipiell gleichen Kostensätzen pro Krankheitsfall bzw. gewonnenem Lebensjahr monetarisiert wie die Gesundheitskosten durch Luft- und Lärmbelastung, wobei die Transferleistungen (Hinterlassenenrenten) aus dem Unfallbereich übernommen werden (Schritt 4). Daraus ergeben sich die sozialen bzw. externen Gesundheitsnutzen des Langsamverkehrs (Schritt 5).

Abbildung 15-1: Bewertungsmethodik für die Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr



Legende: Inputdaten Zwischen- / Endergebnisse Erläuterung der Berechnung *(Datenquellen kursiv)*

### 15.3 Mengengerüst

Die positiven Auswirkungen des Langsamverkehrs auf die Gesundheit wurden in der Studie zum Langsamverkehr erstmals erhoben (Schritt 3 als Ergebnis aus Schritt 1 und Schritt 2 in Abbildung 15-1).<sup>441</sup> Insbesondere wurden dabei folgende Effekte ermittelt:

- Geringere Gesamtmortalität, d.h. gewonnene Lebensjahre und Erwerbsjahre (bzw. verhinderte frühzeitige Todesfälle)
- Weniger Hospitalisationen wegen geringerer Anzahl Fälle
  - Diabetes (Typ II – Altersdiabetes)
  - Herz-Kreislaufkrankungen
  - Brustkrebs
  - Kolonkrebs<sup>442</sup>
  - Demenz
  - Depression

Es wurden also nicht nur die Auswirkungen auf die Mortalität untersucht (wie dies in bisherigen Studien zu den Nutzen des Langsamverkehrs oft geschah), sondern auch die Auswirkungen bzw. positiven Effekte auf sechs Krankheitsbilder.

Es wurden nur der Fuss- und Veloverkehr berücksichtigt. Die fäG (fahrzeugähnliche Geräte) wurden nicht untersucht, weil sie bloss 1.5% des gesamten Langsamverkehrsvolumens ausmachen, weil sie in erster Linie von jungen Leuten genutzt werden, bei denen die Gesundheitseffekte weniger stark ins Gewicht fallen, und weil für die Intensität der körperlichen Betätigung bei fäG keine Daten vorhanden sind.<sup>443</sup>

Bei der Wirkung auf die Mortalität berücksichtigt die WHO (2011) in ihrem HEAT-Tool (Health Economic Assessment Tool for walking and cycling) nur die Erwachsenen bis 74 Jahre beim zu Fuss Gehen bzw. bis 64 Jahre beim Velofahren. Im Rahmen der eingangs erwähnten Studie<sup>444</sup> zum Langsamverkehr werden aber auch die älteren Personen berücksichtigt.<sup>445</sup>

Die beiden folgenden Abbildungen zeigen die Ergebnisse aus der Langsamverkehrs-Studie: Insgesamt werden knapp 125'000 Lebensjahre gewonnen (jeweils nicht abdiskontiert), davon handelt es sich bei knapp 15'000 um Erwerbsjahre. Gut 10'000 Todesfälle können damit verhindert (bzw. auf durchschnittlich 12 Jahre später verschoben) werden – davon betreffen

---

<sup>441</sup> Ecoplan, ISPMZ (2013), Integration des Langsamverkehrs in die Transportrechnung, Kapitel 9.

<sup>442</sup> Der Kolon (oder Colon) ist der mittlere Abschnitt des Dickdarms (auch Grimmdarm genannt).

<sup>443</sup> Ecoplan, ISPMZ (2013), Integration des Langsamverkehrs in die Transportrechnung, S. 85.

<sup>444</sup> Ecoplan, ISPMZ (2013), Integration des Langsamverkehrs in die Transportrechnung, Kapitel 9. Das ISPMZ (Institut für Sozial- und Präventivmedizin der Universität Zürich) hat die Berechnungen im Kapitel 9 erstellt.

<sup>445</sup> In der Sensitivitätsanalyse (vgl. Kapitel 15.6) wird untersucht, wie sich die Ergebnisse verändern würden, wenn auf den Einbezug der älteren Personen verzichtet wird. Entsprechend werden diese Altersklassen einzeln untersucht. Für die unter 20-Jährigen wurden bisher keine Studien durchgeführt, so dass diese in der Hauptrechnung ausgeschlossen werden. Im Rahmen einer zweiten Sensitivität werden sie jedoch ebenfalls miteinbezogen.



1'500 Todesfälle Erwerbstätige. Die Gesundheitseffekte ergeben sich zu ca. 65% bis 75% aus dem Fussverkehr und folglich zu ca. 25% bis 35% aus dem Veloverkehr.

Abbildung 15-2: Mortalitätsreduktion durch den Langsamverkehr im Jahr 2010

<b>Anzahl gewonnene Lebensjahre</b>	Zu Fuss	Velo	Total
<b>Total (über 20-Jährige)</b>	<b>86'875</b>	<b>37'886</b>	<b>124'762</b>
6-19-Jährige	835	434	<b>1'269</b>
20-74 bzw. 64-Jährige	50'554	16'723	<b>67'277</b>
Über 74 bzw. 64-Jährige	36'321	21'164	<b>57'485</b>
<b>Anzahl gewonnene Erwerbsjahre</b>			
<b>Total (über 20-Jährige)</b>	<b>9'286</b>	<b>5'184</b>	<b>14'470</b>
6-19-Jährige	485	254	<b>739</b>
20-74 bzw. 64-Jährige	9'118	4'782	<b>13'900</b>
Über 74 bzw. 64-Jährige	168	402	<b>570</b>
<b>Anzahl verhinderte frühzeitige Todesfälle</b>			
<b>Total (über 20-Jährige)</b>	<b>7'481</b>	<b>2'705</b>	<b>10'187</b>
6-19-Jährige	13	7	<b>20</b>
20-74 bzw. 64-Jährige	2'369	610	<b>2'979</b>
Über 74 bzw. 64-Jährige	5'113	2'095	<b>7'208</b>
<b>Anzahl verhinderte frühzeitige Todesfälle von Erwerbstätigen</b>			
<b>Total (über 20-Jährige)</b>	<b>978</b>	<b>533</b>	<b>1'510</b>
6-19-Jährige	3	1	<b>4</b>
20-74 bzw. 64-Jährige	922	349	<b>1'271</b>
Über 74 bzw. 64-Jährige	56	184	<b>240</b>
<b>Durchschnittlich gewonnene Lebensjahre je verhinderter Todesfall</b>			
<b>Total (über 20-Jährige)</b>	<b>11.6</b>	<b>14.0</b>	<b>12.2</b>
6-19-Jährige	64.7	64.7	<b>64.7</b>
20-74 bzw. 64-Jährige	21.3	27.4	<b>22.6</b>
Über 74 bzw. 64-Jährige	7.1	10.1	<b>8.0</b>

Bei den Krankheitsfällen können insgesamt gut 20'000 Spiteleinweisungen verhindert werden. Ein Grossteil davon (12'300 Hospitalisationen) sind auf Herzkreislauferkrankungen zurückzuführen. Weitere 4'000 Fälle auf Depressionen, bei den übrigen vier Krankheitsbildern können je ca. 1'000 Spiteleinweisungen verhindert werden. Der Fussverkehr ist jeweils für 67% bis 72% der verhinderten Hospitalisationen verantwortlich, der Veloverkehr für die verbleibenden 28% bis 33%.

Abbildung 15-3: Durch den Langsamverkehr verhinderte Spitaleinweisungen

LV-Modus	Altersklasse	Diabetes (II)	Herz-Kreislauf	Brustkrebs	Kolonkrebs	Demenz	Depression
zu Fuss	6-14	3	11	0	0	3	32
	15-39	23	169	33	15	8	818
	40-69	253	4'029	391	339	102	1'505
	70+	238	4'299	153	363	821	367
<b>Total</b>	<b>15+</b>	<b>514</b>	<b>8'497</b>	<b>578</b>	<b>717</b>	<b>931</b>	<b>2'690</b>
Velo	6-14	1	6	0	0	1	17
	15-39	11	85	17	8	4	409
	40-69	136	2'170	212	183	55	809
	70+	88	1'579	57	134	299	134
<b>Total</b>	<b>15+</b>	<b>235</b>	<b>3'834</b>	<b>286</b>	<b>325</b>	<b>358</b>	<b>1'352</b>
<b>Total LV</b>	<b>15+</b>	<b>749</b>	<b>12'331</b>	<b>864</b>	<b>1'042</b>	<b>1'289</b>	<b>4'042</b>

Bei der Demenz ist anzumerken, dass häufig die Spitalweisung aufgrund einer anderen Krankheit oder eines Unfalls erfolgt, aber der Spitalaufenthalt aufgrund der Demenz verlängert wird.<sup>446</sup> Hier werden jedoch nur die Kosten durch Hospitalisationen mit Hauptdiagnose Demenz erfasst, was zu einer Unterschätzung der Kosten der Demenz führt.

## 15.4 Wertgerüst

### 15.4.1 Allgemeines

Im Rahmen der vorliegenden Arbeiten sind die oben bestimmten Auswirkungen in Geldeinheiten zu bewerten (Schritt 4 in Abbildung 15-1). Dabei sind für die Bestimmung der sozialen Nutzen in Form von eingesparten Kosten dieselben Kostenkomponenten relevant wie bei den Gesundheitskosten der Luftbelastung (vgl. Kapitel 3):

- Verminderte Medizinische Behandlungskosten
- Verminderte Nettoproduktionsausfälle
- Verminderte Wiederbesetzungskosten
- Verminderte immaterielle Kosten

Methodisch kann somit analog wie bei der Bewertung der luftverschmutzungsbedingten Gesundheitskosten vorgegangen werden. Da jedoch beim Langsamverkehr teilweise andere Krankheitsbilder relevant sind als bei den luftverschmutzungsbedingten Gesundheitsschäden, sind auch entsprechend andere Kostensätze zur Bewertung der Ersparnisse zu verwenden (nur die Herz-Kreislaufkrankheiten werden auch bei der Luftbelastung betrachtet und werden hier gleich bewertet). Der Unterschied zwischen den Gesundheitsnutzen des Langsamverkehrs und den Gesundheitskosten der Luftverschmutzung ist zudem, dass die Luftbe-

<sup>446</sup> Ecoplan (2010), Kosten der Demenz in der Schweiz, Kapitel 4.3.

lastung fremdverursacht ist, der Nutzen im Langsamverkehr jedoch selbstverursacht. Dies hat Konsequenzen bei der Ermittlung der externen Kosten bzw. Nutzen: Bei der Luftbelastung sind die gesamten immateriellen Kosten fremdverursacht und damit für den Verursacher extern. Bei den Gesundheitsnutzen des Langsamverkehrs hingegen profitiert der Verursacher selbst (weil ich viel Velo fahre, erfreue ich mich einer guten Gesundheit). Somit sind die immateriellen Nutzen prinzipiell vollständig intern.<sup>447</sup> Ein (relativ kleiner) Teil der immateriellen Nutzen wird jedoch externalisiert: Die Teilnahme am Langsamverkehr führt zu einer geringeren Wahrscheinlichkeit eines (vorzeitigen) Todesfalls und damit zu weniger Waisen-, Witwen- oder Witwerrenten an die Hinterlassenen. Zudem erhalten weniger Demenzpatienten Invalidenrenten. Damit wird ein Teil der immateriellen Nutzen an die Allgemeinheit übertragen. In Analogie zu den Unfallkosten beschränken sich die externen immateriellen Nutzen somit auf die durch bessere Gesundheit verhinderten Transferleistungen der AHV und IV an den Langsamverkehrsteilnehmer bzw. dessen Hinterlassenen.<sup>448</sup>

Die übrigen Nutzenbestandteile – eingesparte medizinische Behandlungskosten, Nettoproduktionsausfälle und Wiederbesetzungskosten – fallen nicht beim Langsamverkehrsteilnehmer selbst an, sondern bei anderen (Krankenkassen, Staat, Arbeitgeber). Diese Nutzen sind – wie bei den selbstverschuldeten Unfällen – vollständig extern.

Im Folgenden beschreiben wir die verwendeten Kostensätze zur Bewertung der verschiedenen, eingesparten Kostenbestandteile. Aufgrund fehlender Datengrundlagen können gewisse real auftretende **Kostenbestandteile** jedoch **nicht berücksichtigt** werden:

- Bei allen sechs Krankheitsbildern werden nur die eingesparten Kosten durch Spitalaufenthalte untersucht. Vermiedene Kosten durch **weniger gravierende Krankheitsverläufe (ohne Spitalaufenthalt)** sind damit vernachlässigt, dazu zählen insbesondere die Kosten für den eingesparten Medikamentenkonsum sowie für Arzt- und Psychiaterbesuche. Relevant dürfte dies vor allem für Demenz und Depression sein.<sup>449</sup>
- Selbst bei **leichten Depressionen** (ohne Spitalaufenthalt) können hohe volkswirtschaftliche Kosten durch **verminderte Produktivität, Arbeitsausfälle und Folgebehandlungen**

---

<sup>447</sup> Ergänzend hierzu stellt sich die Frage, ob sich die Velofahrer und Fussgänger der positiven Auswirkungen der körperlichen Aktivität auf ihre Gesundheit voll bewusst sind. Es wäre möglich, dass die positiven Auswirkungen unter- bzw. überschätzt werden. Dies hätte zur Folge, dass man sich zu wenig bzw. zu viel im Langsamverkehr bewegt. Solange dieses ineffiziente Ergebnis aber nur den Entscheidungsträger selbst trifft (interne Kosten), ist dies kein Grund für ein staatliches Eingreifen. Bei einer Unterschätzung der positiven Wirkungen entstehen dadurch z.B. aber auch externe Nettoproduktionsausfälle. Der Staat sollte nun dafür sorgen, dass diese externen Nutzen vom Langsamverkehrs-Teilnehmer berücksichtigt werden, wenn dieser vor der Entscheidung steht, den Langsamverkehr zu benutzen oder ein anderes Verkehrsmittel.

<sup>448</sup> Die bei den Unfallkosten relevante Differenzierung zwischen Unfallverursacher und Nicht-Unfallverursacher ist bei der Ermittlung der Gesundheitsnutzen durch den Langsamverkehr nicht relevant, da es hier nur „Verursacher“ gibt bzw. jene, die den Langsamverkehr nutzen, unmittelbar selbst davon profitieren. Damit entfällt auch die Unterscheidung zwischen der Sicht Verkehrsträger und der Sicht Verkehrsteilnehmende, die sich nur bei den Nicht-Unfallverursachenden unterscheiden.

<sup>449</sup> Diese Kosten dürften bei der Depression insgesamt in der Grössenordnung von 32% der Spitalkosten liegen (Tomonaga et al. 2013, The Economic Burden of Depression in Switzerland, S. 244).

- entstehen.<sup>450</sup> So haben z.B. rund neun von zehn Personen mit depressiven Symptomen gleichzeitig körperliche Beschwerden oder Schmerzen. Besonders häufig sind Rückenbeschwerden und Schlafstörungen. Diese Auswirkungen können hier nicht miteinbezogen werden.
- Insbesondere **Depressionen** führen immer wieder zu **Kosten bei der IV**. Da unsere Bewertung über die Spitaltage geht und das Verhältnis zwischen Hospitalisationen und IV-Entschädigungen nicht bekannt ist, kann keine Abschätzung der eingesparten IV-Kosten erfolgen.<sup>451</sup>
  - Die **Demenz** führt nicht nur zu **Kosten** für Spitalaufenthalte, sondern auch für Aufenthalte in **Alters- und Pflegeheimen**, für die **Spitex**, für **Arztbesuche**, für **Medikamente** und für die **informelle Pflege** durch Angehörige. All diese anderen eingesparten Kosten können hier nicht berücksichtigt werden, weil keine Daten vorhanden sind, um Spitalaufenthalte in andere Formen der Pflege umzurechnen. Die gesamten direkten Kosten der Demenz sind **35-mal höher als die Spitalkosten**.<sup>452</sup>
  - Insbesondere bei der Depression ist anzumerken, dass **nach der Depression** möglicherweise nur noch eine **weniger anspruchsvolle Arbeit** erledigt werden kann.<sup>453</sup> Dies kann hier aber nicht berücksichtigt werden.

All diese Punkte führen zu einer deutlichen Unterschätzung der Nutzen des Langsamverkehrs.

#### 15.4.2 Eingesparte medizinische Heilungskosten

Die Bestimmung der eingesparten Spitalkosten beruht für die ersten vier Krankheitsbilder (ohne Demenz und Depression) auf denselben Datengrundlagen wie bei den luftverschmutzungs- und lärmbedingten Spitalkosten (vgl. Kapitel 3.4.2 und 8.4.2b). Für die durch den Langsamverkehr verhinderten Krankheitsfälle ergeben sich die folgenden Ergebnisse (vgl. folgende Abbildung): Pro Spitalaufenthalt liegen die Kosten zwischen 9'000 und 14'000 CHF. Die durchschnittliche Aufenthaltsdauer im Spital streut zwischen 7.0 und 12.5 Tagen, so dass die Kosten pro Spitaltag stärker streuen (zwischen gut 700 und gut 1'600 CHF). Für Herz-Kreislaufkrankungen werden genau dieselben Daten verwendet wie für die Herz-Kreislaufkrankungen, die durch Luftverschmutzung verursacht werden (vgl. Abbildung 3-10).

---

<sup>450</sup> Tomonaga et al. (2013), The Economic Burden of Depression in Switzerland, S. 245 und BFS (2013), Vielfältige Folgen leichter Depressionen.

<sup>451</sup> Die IV-Kosten dürften in der Grössenordnung von 12% der Produktionsausfälle liegen (Tomonaga et al. 2013, The Economic Burden of Depression in Switzerland, S. 244).

<sup>452</sup> Gemäss Ecoplan (2010, Kosten der Demenz in der Schweiz, S. 35) betragen die direkten Kosten der Demenz in der Schweiz im Jahr 2007 insgesamt 6'257 Mio. CHF, davon sind nur 180 Mio. CHF auf Spitalkosten zurückzuführen. Bedeutend sind insbesondere die Heimkosten (2'946 Mio. CHF), die informelle Pflege (2'771 Mio. CHF) und die Kosten der Spitex (302 Mio. CHF). Dabei wurden in Ecoplan (2010) die immateriellen Kosten, die Netto-produktionsausfälle und die Wiederbesetzungskosten nicht berücksichtigt.

<sup>453</sup> So zeigt Baer et al. (2013, Depressionen in der Schweiz, S. 100), dass bei starker Depression bei Männern der Lohn sinkt (bei Frauen ist kein Effekt feststellbar).

**Abbildung 15-4: Eingesparte Spitalkosten der durch Langsamverkehr verhinderten Krankheitsbilder**

	Diabetes	HerzKreis- lauferkran- kungen	Brustkrebs	Kolonkrebs
Anzahl relevante Krankheitsbilder	3	84	9	2
Anzahl relevante Fälle	3'411	143'074	9'001	4'066
<b>Durchschnittliche Kosten pro Spitalaufenthalt in CHF</b>	<b>8'815</b>	<b>13'969</b>	<b>11'505</b>	<b>9'214</b>
Durchschnittliche Aufenthaltsdauer in Tagen	9.34	9.16	7.00	12.54
<b>Eingesparte Kosten pro Spitaltag in CHF</b>	<b>944</b>	<b>1'524</b>	<b>1'642</b>	<b>735</b>

Die für alle bisher betrachteten Krankheitsfälle verwendeten Datengrundlagen sind jedoch für Demenz und Depression nicht geeignet: Die APDRG-Daten (vgl. Kapitel 3.4.2) beruhen auf 50 Spitälern ohne Rehabilitation und Psychiatrie. Für Demenz und Depression sind jedoch psychiatrische Kliniken von Bedeutung. Vom BFS wurde speziell für dieses Projekt eine Auswertung der Medizinischen Statistik der Krankenhäuser erstellt, mit der die Anzahl Hospitalisierungen und die Anzahl Spitaltage für Demenz bzw. Depression differenziert nach 5 Krankentypen enthalten sind (Zentrumsversorgung, Grundversorgung, psychiatrische Klinik, Reha-Klinik und andere Spezialkliniken). Aus derselben Statistik stammen auch die Daten zu den gesamten Spitaltagen und dem Betriebsaufwand für diese 5 Krankentypen, woraus die durchschnittlichen Kosten pro Spitaltage nach Spitaltyp berechnet werden. Daraus können die durchschnittlichen Kosten pro Hospitalisierung ermittelt werden, die für **Demenz gut 50'000 CHF** betragen und für **Depression gut 40'000 CHF**. Diese Werte sind deutlich höher als für die anderen vier Krankheitsbilder, weil auch die Aufenthaltsdauer mit je ca. 35 Tagen viel länger ist. Pro eingesparten Spitaltag ergeben sich vergleichbare Werte von 1'440 (Demenz) und 1'121 CHF (Depression).

#### 15.4.3 Eingesparter Produktionsausfall

Wie in Kapitel 3.4.3 gehen wir von einem Nettoproduktionsausfall von knapp 15'000 CHF pro Jahr und Erwerbstätigen oder 40 CHF pro Tag und Erwerbstätigen aus. Bei den Todesfällen werden wiederum die abdiskontierten gewonnenen Erwerbsjahre sehr detailliert berechnet. Bei den verlorenen Erwerbstagen durch Spitalaufenthalte wird wie bei der Luft- und Lärmbelastung auf das amerikanische "Official Disability Guideline" abgestellt. Die Auswertungsergebnisse zeigen, dass pro Hospitalisation wegen Diabetes 18.7 Ausfalltage zu verzeichnen sind, für Herz-Kreislaufkrankungen wie bei der Luftbelastung 62.0 Tage, für Brustkrebs 29.2 Tage, für Kolonkrebs 65.7 Tage und für Depression 35.7 Tage.<sup>454</sup> Für die Ermittlung der vermiedenen Nettoproduktionsausfälle bei Erwerbstätigen werden diese Tageswerte übernommen und mit 40 CHF pro Tag multipliziert.

<sup>454</sup> In der "Official Disability Guideline" sind es nur 34.6 Tage. Dies ist jedoch weniger als die durchschnittliche Aufenthaltsdauer in Spitälern in der Schweiz von 35.7, was nicht plausibel ist. Deshalb wird der höhere Wert von 35.7 verwendet. Wir verwenden hier also einen Faktor 1 auf die Spitaltage, für die anderen Krankheitsbilder ergibt sich ein Faktor von 2.0 bis 6.8 (vgl. Abbildung 15-4).

Diese verminderten Ausfalltage gelten für Erwerbstätige, nicht alle Hospitalisationen betreffen aber Erwerbstätige. Entsprechend müssen die Kostensätze pro Hospitalisation (einer beliebigen Person) noch reduziert werden. Aus den Grundlagedaten des BFS zu den Erwerbstätigen und zur Bevölkerung lässt sich ableiten, dass bei den 15-39-Jährigen 74% erwerbstätig sind, bei den 40-69-Jährigen 70% und bei den über 70-Jährigen 3% (bei den 0-14-Jährigen gibt es keine Erwerbstätigen). Mit diesen Angaben kann der Produktionsgewinn pro eingesparte Hospitalisation entsprechend angepasst werden. Die verwendeten durchschnittlichen Produktionsgewinne pro eingesparte Hospitalisation (einer beliebigen Person) sind in Abbildung 15-5 unten zusammengestellt.

Bei Demenzpatienten muss aufgrund der Unheilbarkeit der Krankheit davon ausgegangen werden, dass sie nach einer Spitaleinweisung nicht mehr an ihren Arbeitsplatz zurückkehren können. Für einen Demenzfall eines 15-39-Jährigen (sehr selten) verwenden wir deshalb approximativ den Produktionsausfall eines 30-Jährigen (abdiskontiert 23.41 Jahre oder 344'000 CHF), für 40-69-Jährige den Produktionsausfall eines 60-Jährigen (abdiskontiert 3.00 Jahre oder 44'000 CHF) und für über 70-Jährige den Produktionsausfall eines 80-Jährigen (abdiskontiert 0.06 Jahre oder 1'000 CHF).<sup>455</sup>

#### 15.4.4 Eingesparte Wiederbesetzungskosten

Vermindert sich dank dem Langsamverkehr die Anzahl Todesfälle von Erwerbstätigen, können auch entsprechende Wiederbesetzungskosten eingespart werden. Diese belaufen sich auf 38'350 / 30'560 CHF (Männer / Frauen, vgl. Kapitel 3.4.4).

Bei den Demenzfällen gehen wir wie erwähnt davon aus, dass sie nicht an ihren Arbeitsplatz zurückkehren. Allerdings ist bei den Demenzfällen nur bekannt, wie viele Spitaleintritte sich insgesamt (nach 3 Altersklassen) ergeben, nicht aber der Anteil der Erwerbstätigen, bei denen sich Wiederbesetzungskosten ergeben. Um diese Lücke zu schliessen, wird der obige Kostensatz mit der Bevölkerungsgrösse und der Zahl der Erwerbstätigen nach den Altersklassen umgerechnet und zwischen Männern und Frauen gemittelt. Dies ergibt zur Bewertung der eingesparten Wiederbesetzungskosten folgende Ansätze: 25'800 CHF für 15-39-Jährige Demenzpatienten, 24'900 CHF für 40-69-Jährige und 1'450 CHF bei den über 70-Jährigen.

Auch bei Depressionspatienten ist damit zu rechnen, dass sie möglicherweise ihrer bisherigen Arbeit nicht mehr nachgehen können. Die dabei entstehenden Wiederbesetzungskosten (bzw. deren Einsparung) werden hier jedoch vernachlässigt, weil nicht bekannt ist, wie gross der Anteil der Depressionspatienten ist, die nicht mehr an ihre Arbeit zurückkehren können.

---

<sup>455</sup> Werden im Rahmen der Sensitivität auch 6-19-Jährige berücksichtigt, so gehen wir von einem Produktionsausfall eines 10-Jährigen von abdiskontiert 28.52 Jahren aus oder 0.419 Mio. CHF.

### 15.4.5 Immaterielle Nutzen

#### a) Soziale immaterielle Nutzen

Für die Bewertung der gewonnenen Lebensjahre wird derselbe Kostensatz von 99'900 CHF verwendet wie bei den verlorenen Lebensjahren durch Luftverschmutzung (Kapitel 3.4.5a) bzw. Lärmbelastung (Kapitel 8.4.2e).

Für die Vermeidung von **Demenz** liegt eine Schweizer Zahlungsbereitschaftsstudie vor.<sup>456</sup> Wir berücksichtigen dabei gemäss dem at least Ansatz nur die Zahlungsbereitschaft für die Heilung der Demenz, nicht jedoch Kosten für die Betreuung des Patienten durch den Ehepartner, die in der Studie ebenfalls ausgewiesen werden, aber zu den Heilungskosten gehören würden, die nicht über eine Zahlungsbereitschaft abgeschätzt werden sollen.<sup>457</sup> Dies führt zu einer Unterschätzung der Nutzen, die tendenziell noch dadurch verstärkt wird, dass die Studie nur Fälle mit leichter und mittlerer Demenz betrachtet.<sup>458</sup> Die Studie weist sowohl den Median als auch den Mittelwert der Zahlungsbereitschaften aus. Beim VOSL verwenden wir den Durchschnitt dieser beiden Werte,<sup>459</sup> so dass wir auch hier dieses Vorgehen wählen. Für die Demenz ergibt dies eine Zahlungsbereitschaft von 11.6% des Haushaltvermögens.<sup>460</sup> Bei einem durchschnittlichen Haushaltvermögen von 614'000 CHF (Werte 2001 gemäss Studie)<sup>461</sup> ergibt sich eine Zahlungsbereitschaft von knapp 75'000 CHF pro Fall (hochgerechnet auf 2010 und zu Faktorpreisen).<sup>462</sup>

Bei den übrigen hier betrachteten Krankheitsfällen geht es jeweils um Spitalaufenthalte. Für die **Herz-Kreislaufkrankungen** kann der Ansatz zur Bewertung des Nutzens eines vermie-

---

<sup>456</sup> König, Zweifel (2004), Willingness-to-pay Against Dementia: Effects of Altruism in Between Patients and Theirs Spouse Caregivers.

<sup>457</sup> Die Studie weist sowohl die Zahlungsbereitschaft für die vollständige Heilung aus (in der Studie *cure* genannt), als auch die Zahlungsbereitschaft dafür, dass kein Betreuungsaufwand mehr anfällt (*no burden*). Wir berücksichtigen nur die Differenz dieser beiden Zahlungsbereitschaften, die der Heilung des Patienten entspricht ohne dass der Betreuungsaufwand berücksichtigt wird.

<sup>458</sup> König, Zweifel (2004), Willingness-to-pay Against Dementia: Effects of Altruism in Between Patients and Theirs Spouse Caregivers, S. 7.

<sup>459</sup> Carthy, Jones-Lee et al. (1999, On the Contingent Valuation of Safety and the Safety of Contiongent Valuation) empfehlen den Mittelwert aus Durchschnitt und Median zu verwenden. Diese Empfehlung wird von Nellthorp et al. (2001, Valuation Convention for UNITE) übernommen. Damit liegt dieses Vorgehen auch dem von uns verwendeten VOSL zugrunde.

<sup>460</sup> König, Zweifel (2004), Willingness-to-pay Against Dementia: Effects of Altruism in Between Patients and Theirs Spouse Caregivers, S. 20. Da die Studie perfekten Altruismus findet (d.h. die Präferenzen des einen Ehepartners entsprechen den egoistischen Präferenzen des anderen), wird die Zahlungsbereitschaft des Betreuers verwendet, um die Zahlungsbereitschaft des Patienten abzubilden.

<sup>461</sup> Die Verwendung des Haushaltvermögens der befragten Personen in der Studie führt in etwa zu demselben Ergebnis wie wenn das durchschnittliche Vermögen in der Schweiz verwendet würde (gemäss SNB (2012: Vermögen der privaten Haushalte 2011, S. 8) beträgt das durchschnittliche Vermögen pro Kopf 342'030 CHF im Jahr 2010. Da sich die ausgewiesene Zahlungsbereitschaft in der Studie jedoch auf Zweipersonenhaushalte bezieht, ist dieser Betrag auf ein Haushaltsvermögen von 684'060 CHF zu verdoppeln).

<sup>462</sup> Es wurde keine Abhängigkeit vom Alter analysiert, so dass wir diesen Wert für alle Altersklassen verwenden.

denen Spitalaufenthalts direkt von der Bewertung der Luftverschmutzung übernommen werden, wo pro Spitaltag aufgrund von Herz-Kreislaufkrankungen mit 807 CHF gerechnet wird.

Zu den **anderen Krankheitsbildern** konnten trotz Literaturrecherche keine verwertbaren Studien gefunden werden (mit einer Ausnahme, vgl. unten).<sup>463</sup> Folglich muss ein Kostensatz für ein anderes Krankheitsbild zur Bewertung der Nutzen der hier betrachteten Krankheitsbilder eingesetzt werden. Wir verwenden dabei – wie für die Schlaganfälle in Kapitel 8.4.2e) und gemäss dem at least Ansatz – den tiefsten Kostensatz pro Spitaltag aller anderen Krankheitsbilder. Dies ist der Kostensatz von 807 CHF, der in Kapitel 3.4.5b) für Spitaltage aufgrund der Luftbelastung hergeleitet wurde. In einer Studie zu den Kosten des Passivrauchens wurde dieser Kostensatz ebenfalls für die Bewertung von 11 verschiedenen Krankheitsbildern verwendet (darunter Schlaganfall, Brustkrebs und Lungenkrebs).<sup>464</sup> Es könnte zwar vermutet werden, dass Krebserkrankungen höher bewertet werden, doch liegen dazu keine Grundlagen vor, die diesen Unterschied untermauern könnten. In einer schwedischen Studie über Brustkrebs wurde ein sehr ähnlicher Wert hergeleitet, der den von uns gewählten Wert bestätigt.<sup>465</sup>

Obwohl ein einheitlicher Kostensatz pro eingesparten Spitaltag verwendet wird, ergeben sich aufgrund der unterschiedlichen Aufenthaltsdauern differenzierte Kostensätze pro Hospitalisation: Für Diabetes resultiert eine Ersparnis pro vermiedene Spitaleinweisung von 7'500 CHF, für Herz-Kreislaufkrankungen 7'400 CHF, für Brustkrebs 5'700 CHF, für Kolonkrebs 10'100 CHF und für Depression 28'800 CHF.

## b) Externe immaterielle Nutzen

Die externen immateriellen Nutzen ergeben sich aus den aufgrund der Verkehrsteilnahme im Langsamverkehr eingesparten Renten der Sozialversicherungen (AHV und IV, vgl. Kapitel

---

<sup>463</sup> Zu **Altersdiabetes** gibt es zwar einige wenige Studien, die sich mit immateriellen Kosten befassen, doch beziehen sich diese nicht auf Spitalaufenthalte, sondern auf immaterielle Kosten pro Jahr (d.h. inkl. vieler leichter Fälle ohne Spitalaufenthalt) oder für spezifische Programme gegen Diabetes (Chang 2010, Comorbidities, quality of life and patients' willingness to pay for a cure for type 2 diabetes in Taiwan und Johnson et al. 2006, High-Risk Individuals' Willingness to Pay for Diabetes Risk-Reduction Programs.) Beide können nicht auf Spitalaufenthalte übertragen werden.

Bei koreanischen Patienten mit einem **Brustkrebs**, der Metastasen gebildet hat und deshalb mit einer palliativen Chemotherapie behandelt wird (lindernde Therapie, die oft eingesetzt wird, wenn die Heilung nicht mehr möglich ist), ist die monatliche Zahlungsbereitschaft, um wieder den Gesundheitszustand vor der Krebserkrankung zu erlangen, deutlich grösser als das monatliche Einkommen (Oh et al. 2012, Evaluation of the willingness-to-pay for cancer treatment in Korean metastatic breast cancer patients: A multicenter, cross-sectional study.). Die Patienten sind also bereit, neben ihrem Einkommen auch einen Teil ihres Vermögens einzusetzen. Allerdings ist zu vermuten, dass viele dieser Patienten kein langes Leben mehr vor sich haben. Diese Zahlungsbereitschaft kann nicht auf einen durchschnittlichen Spitaleintritt umgerechnet werden (teilweise weniger schlimme Fälle, Umrechnung Zahlungsbereitschaft pro Monat auf Spitaltage).

<sup>464</sup> ISPM et al. (2009), Gesundheitskosten des Passivrauchens in der Schweiz.

<sup>465</sup> Lidgren et al. (2007, Cost of breast cancer in Sweden in 2002) haben zwar keine Zahlungsbereitschaft erhoben, aber die immateriellen Kosten wurden über die sogenannten QALY (quality adjusted life years) und einer Zahlungsbereitschaft pro QALY monetarisiert, wobei die Zahlungsbereitschaft pro QALY ziemlich genau unserem VOSL entspricht. Würde unser VOSL eingesetzt, so ergäbe sich ein Wert pro Spitaltag von 914 CHF. Wir wenden jedoch auch für Brustkrebs weiterhin den Kostensatz von 807 CHF pro Spitaltag.



13.4.2a). Dabei wird nur auf verhinderte frühzeitige Todesfälle (Gesamtmortalität) und verhinderte Demenzerkrankungen abgestellt. Bei den übrigen Krankheitsbildern (bzw. Spitalaufenthalt) entstehen keine Transfers der Sozialversicherungen an die Hinterbliebenen oder an Invalide.

Wie bei den externen immateriellen Kosten im Unfallbereich erläutert, werden die Transferleistungen der Sozialversicherungen durch die Allgemeinheit finanziert und sind damit extern (analog den Unfallverursachern in Abbildung 13-16). Die vermiedenen Leistungen der Sozialversicherungen werden wie folgt ermittelt:

- **Todesfälle**

Bei einem Todesfall erhalten die Angehörigen der verstorbenen Person eine Hinterlassenenrente (Witwen-, Witwer- oder Waisenrente). Diese Leistungen werden aufgrund der höheren Lebenserwartung (dank Teilnahme am Langsamverkehr) erst später ausbezahlt, wodurch die Sozialversicherungen entlastet werden. Dies ist somit ein externer Nutzen des Langsamverkehrs. Da nur bei Todesfällen von Erwachsenen Hinterlassenenrenten ausbezahlt werden,<sup>466</sup> führen nur die verhinderten frühzeitigen Todesfälle von Erwachsenen zu externen Nutzen des Langsamverkehrs. Die Berechnung erfolgt nach folgendem Schema:

- Aus den Berechnungen zu den gewonnenen Lebensjahren geht hervor, dass pro verhinderten Todesfall eines Erwachsenen durchschnittlich 26 Lebensjahre (Männer) bzw. 30 Lebensjahre (Frauen) gewonnen werden.
- Zur Bestimmung der vermiedenen Hinterlassenenrenten (Witwen-, Witwer- und Waisenrenten der AHV) wird das Alter einer Person bestimmt, die statistisch noch 26/30 Jahre zu Leben hätten, was bei beiden Geschlechtern etwas über 56 Jahre ergibt. Anschliessend wird eine durchschnittliche Hinterlassenenrente für die Angehörigen einer Person dieses Alters ermittelt. Hinzu kommen allfällige Ergänzungsleistungen.

Dies ergibt pro vermiedenen Todesfall eines Erwachsenen eine Ersparnis von rund 240'000 CHF. Da die bezahlte Rente je nach Alter des Todesopfers deutlich schwankt und da das Alter nur abgeschätzt werden kann, untersuchen wir im Rahmen der Sensitivität, wie sich das Ergebnis verändert, wenn die Rentenleistungen um 30% höher oder tiefer ausfallen.

- **Demenz**

Bei Demenz werden die Betroffenen zu 100% arbeitsunfähig bzw. invalid. Es wird angenommen, dass sie nicht wieder eingegliedert werden können. Sie beziehen daher ab dem Alter der Erkrankung bis zur Erreichung des AHV-Alters eine volle Invalidenrente inklusive allfälliger Ergänzungsleistungen.

Das durchschnittliche Alter der Erkrankten (10 Jahre, 30 Jahre und 60 Jahre – wie bei der

---

<sup>466</sup> Bei Kindern sind keine Hinterlassenenrenten zu berücksichtigen (sie sind weder verheiratet noch haben sie schon Kinder). Senioren erhalten eine Altersrente, keine Hinterlassenenrente und ihre Kinder sind (meist) schon aus dem unterstützungspflichtigen Alter herausgewachsen.

Bestimmung des Nettoproduktionsausfalls) wird verwendet, um die abdiskontierte Summe der IV-Rente bis zur Erreichung des AHV-Alters zu berechnen.

Gewichtet mit der Zahl aller Demenzfälle nach Alter ergibt sich pro vermiedenen Fall eine durchschnittliche Ersparnis von gut 15'000 CHF. Wiederum hängt die Rentenleistung stark vom Alter ab, das nicht genau bestimmt werden kann. Deshalb wird im Rahmen der Sensitivität auch die Höhe der IV-Rente um  $\pm 30\%$  variiert.

#### 15.4.6 Zusammenfassung der verwendeten Kostensätze zur Bewertung der Nutzen

In den folgenden beiden Abbildungen sind die verwendeten sozialen bzw. externen Ansätze zur Bewertung der Nutzen zusammengestellt. Bei den vermiedenen Todesfällen können die Ersparnisse nicht direkt miteinander verglichen werden, weil sie in anderen Einheiten gemessen werden (pro Lebensjahr, Erwerbsjahr bzw. Todesfall eines Erwerbstätigen oder Erwachsenen).

Abbildung 15-5: Übersicht über die verwendeten Ansätze zur Bewertung der sozialen Nutzen (in CHF)

	CHF pro	Medizinische Behandlungskosten	Nettoproduk- tionsausfall	Wiederbeset- zungskosten	Immaterielle Kosten	Total
Gewonnenes Lebensjahr	Lebensjahr	-	-	-	99'907	<b>99'907</b>
Gewonnenes Erwerbsjahr	Erwebsjahr	-	14'686	-	-	<b>14'686</b>
Todesfall eines Erwerbstätigen ( Mann / Frau)	Todesfall	-	-	38350 / 30560	-	<b>38350 / 30560</b>
Diabetes (Typ II – Altersdiabetes)	Hospitalisation	8'815	308	-	7'538	<b>16'661</b>
Herz-Kreislaufkrankungen	Hospitalisation	13'969	951	-	7'395	<b>22'315</b>
Brustkrebs	Hospitalisation	11'505	565	-	5'653	<b>17'722</b>
Kolonkrebs	Hospitalisation	9'214	1'007	-	10'120	<b>20'341</b>
Demenz	Hospitalisation	50'228	9'247	4'533	74'607	<b>138'614</b>
Depression	Hospitalisation	40'046	902	-	28'818	<b>69'767</b>

Abbildung 15-6: Übersicht über die verwendeten Ansätze zur Bewertung der externen Nutzen (in CHF)

	CHF pro	Medizinische Behandlungskosten	Nettoproduk- tionsausfall	Wiederbeset- zungskosten	Immaterielle Kosten	Total
Verhinderter Todesfall eines Erwachsenen	Todesfall Erw.	-	-	-	239'621	<b>239'621</b>
Gewonnenes Erwerbsjahr	Erwebsjahr	-	14'686	-	-	<b>14'686</b>
Todesfall eines Erwerbstätigen ( Mann / Frau)	Todesfall	-	-	38350 / 30560	-	<b>38350 / 30560</b>
Diabetes (Typ II – Altersdiabetes)	Hospitalisation	8'815	308	-	-	<b>9'123</b>
Herz-Kreislaufkrankungen	Hospitalisation	13'969	951	-	-	<b>14'920</b>
Brustkrebs	Hospitalisation	11'505	565	-	-	<b>12'070</b>
Kolonkrebs	Hospitalisation	9'214	1'007	-	-	<b>10'221</b>
Demenz	Hospitalisation	50'228	9'247	4'533	15'288	<b>79'295</b>
Depression	Hospitalisation	40'046	902	-	-	<b>40'948</b>

Bei den **sozialen Nutzen** der sechs Krankheitsbilder zeigt sich, dass die medizinischen Heilungskosten immer am grössten sind (45% bis 65% der Kosten pro Krankheitsbild), gefolgt

von den immateriellen Kosten (mit 32% bis 45%) – ausser bei der Demenz, wo die immateriellen Nutzen wichtiger sind (54% versus 36%). Auf die eingesparten Produktionsausfälle entfallen nur 1% bis 7% der Kosten, die eingesparten Wiederbesetzungskosten gibt es nur bei der Demenz (3% der Kosten).

Bei den **externen Nutzen** sind die Ansätze zur Bewertung der eingesparten medizinischen Behandlungskosten, die vermiedenen Produktionsausfälle und Wiederbesetzungskosten mit den Ansätzen zu den sozialen Nutzen identisch. Einzig bei den vermiedenen immateriellen Kosten unterscheiden sich die Kostensätze. Bei den vermiedenen Todesfällen ist der Ansatz deutlich tiefer (er ist mit 240'000 CHF zwar höher als die 100'000 CHF bei den sozialen Nutzen, doch gilt der Ansatz zur Bewertung der externen Nutzen pro vermiedenen Todesfall eines Erwachsenen, der Ansatz für die sozialen Nutzen hingegen pro gewonnenes Lebensjahr). Bei den sechs Krankheitsbildern werden nur bei der Demenz vermiedene Invalidenrenten berechnet, die 19% der Gesamtnutzen von vermiedenen Demenzfällen ausmachen. Bei den übrigen Krankheitsbildern sind nun die eingesparten medizinischen Behandlungskosten dominant (90% bis 98%, Nettoproduktionsausfall 2% bis 10%). Auch bei der Demenz sind die vermiedenen medizinischen Behandlungskosten am bedeutendsten (63%).

#### 15.4.7 Internalisierungsbeiträge

Wie bereits erläutert ist ein Grossteil der immateriellen Nutzen intern. Die übrigen vermiedenen Kostenbereiche (medizinische Heilungskosten, Nettoproduktionsausfälle und Wiederbesetzungskosten) sind jedoch wie erläutert vollständig extern.

### 15.5 Ergebnisse

#### 15.5.1 Soziale Nutzen

##### a) Überblick Gesamtverkehr

Wie in der nachstehenden Abbildung dargestellt, ergeben sich nur beim Langsamverkehr soziale Gesundheitsnutzen. Sie belaufen sich auf insgesamt 12.3 Mrd. CHF und sind damit sehr hoch.

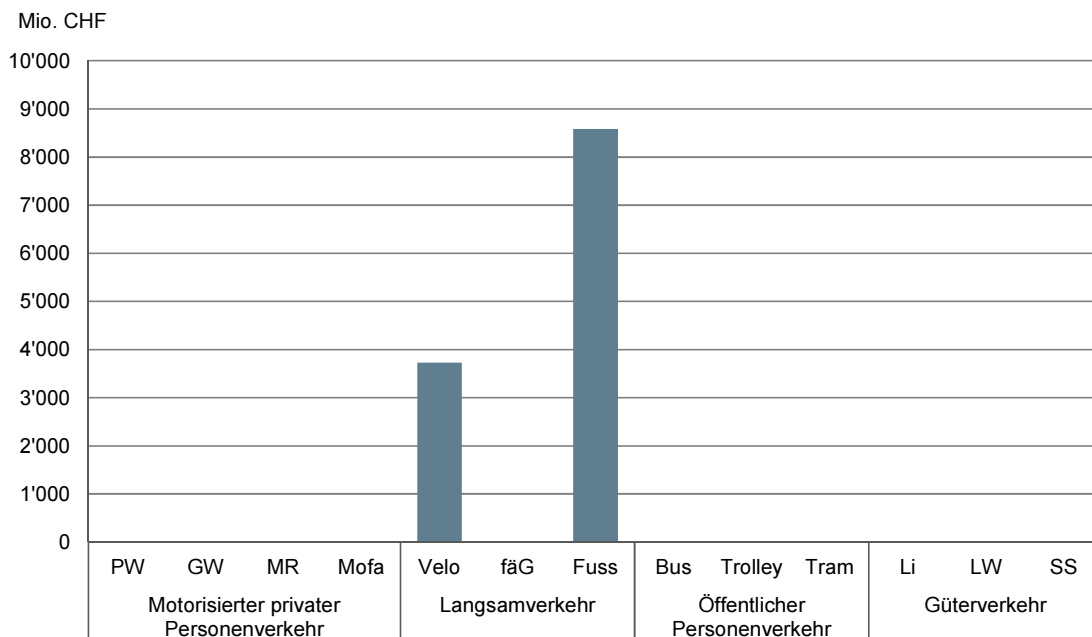
Abbildung 15-7: Überblick über die sozialen Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr 2010

Gesundheitsnutzen Langsamverkehr in Mio. CHF	Personen- verkehr	Güter- verkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	12'314.4	-	12'314.4	100.0%
Schienenverkehr	-	-	-	0.0%
Luftverkehr	-	-	-	0.0%
Schiffsverkehr	-	-	-	0.0%
<b>Total</b>	12'314.4	-	12'314.4	100.0%
in % des Totals	100.0%	0.0%	100.0%	

**b) Strassenverkehr**

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die Ergebnisse etwas detaillierter, insbesondere wird ersichtlich, dass 3.7 Mrd. CHF (oder 30%) vom Veloverkehr stammen und 8.6 Mrd. CHF (oder 70%) vom Fussverkehr.

**Abbildung 15-8: Soziale Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr 2010 nach Fahrzeugkategorien**



**Abbildung 15-9: Soziale Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr 2010 nach Kostenbestandteilen und Fahrzeugkategorien**

Gesundheitsnutzen Langsamverkehr in Mio. CHF	Personenverkehr									Güterverkehr			Gesamttotal	
	Motorisierter privater Personenverkehr				Langsamverkehr			Öffentlicher Personenverkehr			Li	LW		SS
	PW	GW	MR	Mofa	Velo	fäG	Fuss	Bus	Trolley	Tram				
Gewonnene Lebensjahre					3'486.2	n.a.	8'043.3							11'529.5
Verhinderte Krankheitsfälle					246.6	n.a.	538.3							784.8
Total Fahrzeugkategorien	-	-	-	-	3'732.8	n.a.	8'581.6	-	-	-	-	-	-	12'314.4
in % des Gesamttotals	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	30.3%	n.a.	69.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%
Total Teilbereiche		0.0			12'314.4			0.0			0.0			12'314.4
in % des Gesamttotals		0.0%			100.0%			0.0%			0.0%			100.0%

PW = Personenwagen, GW = Gesellschaftswagen, MR = Motorrad, fäG = fahrzeugähnliches Gerät, Fuss = Fussverkehr, Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper.

Die nachstehende Abbildung zeigt die Detailergebnisse für den gesamten Langsamverkehr. Da der Anteil des Fussverkehrs bei allen vermiedenen Kostenbestandteilen (bzw. Zellen in

Abbildung 15-10) zwischen 64% und 72% liegt, verzichten wir darauf, die Ergebnisse für den Fuss- und Veloverkehr separat darzustellen. Der Grossteil der Nutzen (94%) stammt von den gewonnenen Lebensjahren, insbesondere von den immateriellen Nutzen der gewonnenen Lebensjahre, die allein 92% der gesamten Nutzen ausmachen (11.3 Mrd. CHF). Bei den sechs Krankheitsbildern steuern zwei (Herz-Kreislaufkrankungen und Depression) je ca. 280 Mio. CHF (oder gut 2%) zum Total bei, die vermiedenen Demenzfälle weitere 180 Mio. CHF (oder 1.5%). Die Ersparnisse in den drei anderen Krankheitsbildern sind beinahe unbedeutend und betragen je nur ca. 20 Mio. CHF (oder je ca. 0.15% des Totals).

Bei den Kostenbestandteilen stechen die immateriellen Nutzen mit 94% heraus. Die vermiedenen Behandlungskosten tragen noch 3% zum Total bei, die ausbleibenden Produktionsausfälle 2%, und die eingesparten Wiederbesetzungskosten 0.5%. Würden hingegen nur die sechs Krankheitsbilder (ohne gewonnene Lebensjahre) betrachtet, ist die Verteilung gleichmässiger: Eingesparte medizinische Behandlungskosten 54%, immaterielle Nutzen 41%, vermiedene Nettproduktionsausfälle 4% und eingesparten Wiederbesetzungskosten 0.7%.

**Abbildung 15-10: Soziale Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr 2010 im Detail**

<b>Total Langsamverkehr</b>	Medizinische	Nettproduktions-	Wiederbesetzungs-	Immaterielle	<b>Total</b>	Anteil
in Mio. CHF	Behandlungskosten	ausfall	kosten	Kosten		
Gewonnene Lebensjahre	-	196.1	54.4	11'279.0	<b>11'529.5</b>	93.6%
Diabetes (Typ II – Altersdiabetes)	6.6	0.2	-	5.6	<b>12.5</b>	0.1%
Herz-Kreislaufkrankungen	172.3	11.7	-	91.2	<b>275.2</b>	2.2%
Brustkrebs	9.9	0.5	-	4.9	<b>15.3</b>	0.1%
Kolonkrebs	9.6	1.0	-	10.5	<b>21.2</b>	0.2%
Demenz	64.7	11.9	5.8	96.2	<b>178.7</b>	1.5%
Depression	161.9	3.6	-	116.5	<b>282.0</b>	2.3%
<b>Total</b>	<b>425.0</b>	<b>225.2</b>	<b>60.2</b>	<b>11'603.9</b>	<b>12'314.4</b>	100.0%
Anteil	3.5%	1.8%	0.5%	94.2%	100.0%	

### 15.5.2 Externe Nutzen

Die externen Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr sind für alle Sichtweisen genau gleich hoch (Sicht Verkehrsträger und Sicht Verkehrsteilnehmende). Sie betragen knapp 1.3 Mrd. CHF (vgl. Abbildung 15-11). Wie bei den sozialen Nutzen entfallen 30% (388 Mio. CHF) davon auf die Velos und 70% (892 Mio. CHF) auf die Fussgänger. Damit sind insgesamt 10% der sozialen Nutzen extern (100% bei allen eingesparten Kostenkategorien ausser bei den immateriellen Nutzen mit 5%).

Abbildung 15-11: Externe Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr 2010 nach Kostenbestandteilen und Fahrzeugkategorien

Gesundheitsnutzen Langsamverkehr in Mio. CHF	Personenverkehr									Güterverkehr			Gesamt- total	
	Motorisierter privater Personenverkehr				Langsamverkehr			Öffentlicher Personenverkehr			Li	LW		SS
	PW	GW	MR	Mofa	Velo	fäG	Fuss	Bus	Trolley	Tram				
Gewonnene Lebensjahre					235.8	n.a.	565.3							801.1
Verhinderte Krankheitsfälle					152.7	n.a.	326.9							479.6
<b>Total Fahrzeugkategorien</b>	-	-	-	-	<b>388.5</b>	<b>n.a.</b>	<b>892.2</b>	-	-	-	-	-	-	<b>1'280.7</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>30.3%</b>	<b>n.a.</b>	<b>69.7%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>100.0%</b>
<b>Total Teilbereiche</b>	<b>0.0</b>				<b>1'280.7</b>			<b>0.0</b>			<b>0.0</b>			<b>1'280.7</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	<b>0.0%</b>				<b>100.0%</b>			<b>0.0%</b>			<b>0.0%</b>			<b>100.0%</b>

PW = Personenwagen, GW = Gesellschaftswagen, MR = Motorrad, fäG = fahrzeugähnliches Gerät, Fuss = Fussverkehr, Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper.

Die Detailergebnisse in Abbildung 15-12 zeigen, dass auch bei den externen Nutzen die gewonnenen Lebensjahre mit 63% am bedeutsamsten sind, auch wenn der Anteil deutlich geringer ist als bei den sozialen Nutzen (94%). Knapp die Hälfte (43%) der eingesparten Kosten (551 Mio. CHF) ist auf die Hinterlassenenrenten zurückzuführen. Vermiedene Herz-Kreislauf-erkrankungen und Depressionen steuern 184 bzw. 166 Mio. CHF (oder 14% bzw. 13%) bei, die vermiedenen Demenzfälle weitere 100 Mio. CHF (oder 8%). Die Ersparnisse in den übrigen drei Krankheitsbildern verursachen zusammen nur Nutzen von 28 Mio. CHF (oder 2%).

Die Transferleistungen (bzw. immateriellen Nutzen) machen 45% der externen Nutzen aus, 33% entfallen auf die vermiedenen medizinischen Behandlungskosten, 18% auf den ausbleibenden Nettoproduktionsausfall und 5% auf die eingesparten Wiederbesetzungskosten. Betrachtet man nur die sechs Krankheitsbilder (ohne gewonnene Lebensjahre), sind 89% der externen Nutzen eingesparte medizinische Behandlungskosten, 6% ausbleibende Nettoproduktionsausfälle, 4% vermiedene IV-Renten und 1% eingesparte Wiederbesetzungskosten.

Abbildung 15-12: Externe Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr 2010 im Detail

Total Langsamverkehr in Mio. CHF	Medizinische Behandlungskosten	Nettoproduktions- ausfall	Wiederbesetzungs- kosten	Immaterielle Kosten	Total	Anteil
Gewonnene Lebensjahre	-	196.1	54.4	550.6	<b>801.1</b>	62.6%
Diabetes (Typ II – Altersdiabetes)	6.6	0.2	-	-	<b>6.8</b>	0.5%
Herz-Kreislauf-erkrankungen	172.3	11.7	-	-	<b>184.0</b>	14.4%
Brustkrebs	9.9	0.5	-	-	<b>10.4</b>	0.8%
Kolonkrebs	9.6	1.0	-	-	<b>10.6</b>	0.8%
Demenz	64.7	11.9	5.8	19.7	<b>102.2</b>	8.0%
Depression	161.9	3.6	-	-	<b>165.5</b>	12.9%
<b>Total</b>	<b>425.0</b>	<b>225.2</b>	<b>60.2</b>	<b>570.3</b>	<b>1'280.7</b>	100.0%
Anteil	33.2%	17.6%	4.7%	44.5%	100.0%	

## 15.6 Sensitivitätsanalyse

### 15.6.1 Zusammenfassung der Annahmen und Unsicherheiten

Die oben dargestellten Ergebnisse sind mit Unsicherheiten verbunden. Deshalb soll im Folgenden eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt werden, um aufzuzeigen, welche Auswirkungen diese Unsicherheiten auf das Ergebnis haben. Dazu werden zuerst die wesentlichen Unsicherheiten kurz diskutiert (vgl. auch Abbildung 15-13).

**Abbildung 15-13: Übersicht über Inputdaten, Annahmen und Bandbreiten bei den Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr**

Bereich / Annahme	Wissenstand	Vorgehen	Bandbreite
<b>Mengengerüst</b>			
Körperliche Betätigung im Langsamverkehr	Gesichertes Wissen	Datenauswertung	
Belastungs-Wirkungs-Beziehungen	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	nicht ausgewertet
Sportliche Betätigung in Bevölkerung ausserhalb Langsamverkehr	Wissen mit Unsicherheiten	Datenauswertung	nicht ausgewertet
Effekte auf Kinder berücksichtigt?	Wissen mit Unsicherheiten	at least	ja / nein
Effekte auf Senioren berücksichtigt?	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	ja / nein
<b>Wertgerüst</b>			
Soziale immaterielle Nutzen (VOSL bzw. gewonnene Lebensjahre)	Wissen mit Unsicherheiten	at least	-50% / +100%
Soziale immaterielle Nutzen für Krankheiten	Wissen mit Unsicherheiten	best guess / at least	±50%
Externe immaterielle Nutzen für gewonnene Lebensjahre	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	±30%
Externe immaterielle Nutzen für Demenzfälle	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	±30%
Übriges Wertgerüst	Wissen mit Unsicherheiten	Datenauswertung / best guess	

- **Körperliche Betätigung:** Der erste Input in die Berechnung ist die körperliche Aktivität im Langsamverkehr. Diese wurde aus dem Mikrozensus Verkehr speziell für dieses Projekt ausgewertet (Ausschluss Wandern und Mountainbiken). Die Unsicherheit dieser Daten ist im Vergleich zu den anderen Unsicherheiten vernachlässigbar.
- **Belastungs-Wirkungs-Beziehungen:** Wie bei der Luft- und Lärmbelastung werden die Belastungs-Wirkungs-Beziehungen der aktuellen Fachliteratur entnommen, können aber nicht genau festgelegt werden. Da jedoch bei der Bestimmung des Mengengerüsts auftragsgemäss keine Sensitivitätsanalyse durchgeführt wurde, ist die Grösse der Unsicherheit nicht bekannt, so dass hier keine Sensitivitätsanalyse dafür durchgeführt werden kann. Die Unsicherheiten dürften jedoch in einer ähnlichen Grössenordnung liegen wie bei der Luft- und Lärmbelastung.
- **Sportliche Betätigung:** Der Nutzen des Langsamverkehrs für die Gesundheit hängt auch davon ab, wie viel Sport die Personen betreiben (da die erste Stunde körperlicher Betätigung viel mehr bringt als die letzte). Die Unsicherheiten der diesbezüglichen Annahmen wurden im Vorgängerprojekt ebenfalls nicht bestimmt.
- **Altersklassen:** Es stellt sich prinzipiell die Frage, für welche Altersklassen die Effekte des Langsamverkehrs in den Berechnungen berücksichtigt werden. Studien wurden bisher

kaum für Altersklassen unter 20 Jahren durchgeführt, da in dieser Altersklasse die Grundhäufigkeiten der Krankheiten sehr klein sind, so dass eine riesige Stichprobe nötig wäre, um Effekte zeigen zu können. Da es keine Studien für Kinder gibt, wird die unterste Altersklasse gemäss dem at least Ansatz in der Hauptrechnung nicht berücksichtigt. Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse werden die Kinder jedoch miteinbezogen, da davon auszugehen ist, dass die Effekte auch für Kinder gelten dürften.<sup>467</sup>

Die WHO (2011) berücksichtigt in ihrem HEAT-Tool (Health Economic Assessment Tool for walking and cycling) nur die Erwachsenen bis 74 Jahre beim zu Fuss Gehen bzw. bis 64 Jahre beim Velofahren. Deshalb untersuchen wir, wie sich die Ergebnisse verändern, wenn die Senioren über 74 bzw. 64 Jahren nicht mitberücksichtigt werden.<sup>468</sup>

- **Wertgerüst:** Beim den Kostensätzen zur Bewertung der sozialen Nutzen werden dieselben Unsicherheiten unterstellt wie bei der Luft- und Lärmbelastung: Der VOSL wird um 50% reduziert bzw. um 100% erhöht, und die immateriellen Nutzen der vermiedenen Krankheitsbilder werden um  $\pm 50\%$  variiert. Die Ansätze zur Bewertung der externen Nutzen bzw. die Transferleistungen schwanken um  $\pm 30\%$  (vgl. Kapitel 15.4.5b).

### 15.6.2 Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse werden in den folgenden beiden Abbildungen dargestellt und können wie folgt erläutert werden:

- **Altersklassen:** Die Berücksichtigung der Kinder erhöht die sozialen und externen Nutzen nur geringfügig um 1%. Die Vernachlässigung der Senioren halbiert die sozialen Nutzen jedoch beinahe. Dies ist darauf zurückzuführen, dass beinahe die Hälfte der gewonnenen Lebensjahre auf Senioren zurückzuführen ist (vgl. Abbildung 15-2), und dies auch bei vielen der vermiedenen Krankheitsbildern ähnlich ist, wobei bei der Demenz ohne Senioren sogar 80% der Kosten wegfallen (vgl. Abbildung 15-3). Die externen Nutzen nehmen aber nur um 15% ab, weil es keine Transferleistungen an Senioren gibt und damit die externen immateriellen Nutzen von dieser Sensitivität nicht beeinflusst werden (nur die anderen drei Nutzenbereiche).
- **Immaterielle Kostensätze zur Bewertung der gewonnenen Lebensjahre:** Da die sozialen Nutzen zu 92% von den immateriellen Nutzen der gewonnenen Lebensjahre dominiert werden, schwanken die sozialen Nutzen sehr stark, wenn der VOSL halbiert oder verdoppelt wird ( $-46\%$ ,  $+92\%$ ). Bei den externen Nutzen sind die Unsicherheiten bei der Bestimmung der Transferleistungen kleiner ( $\pm 30\%$  statt  $-50\%$ ,  $+100\%$ ) und die Transferleistungen machen nur knapp die Hälfte der Nutzen aus, so dass die externen Nutzen nur um  $\pm 13\%$  variieren.

---

<sup>467</sup> Konkret werden bei den gewonnenen Lebensjahren auch die Altersklassen der 6-19-Jährigen berücksichtigt, bei den Krankheitsfällen zusätzlich die Klasse der 6-14-Jährigen.

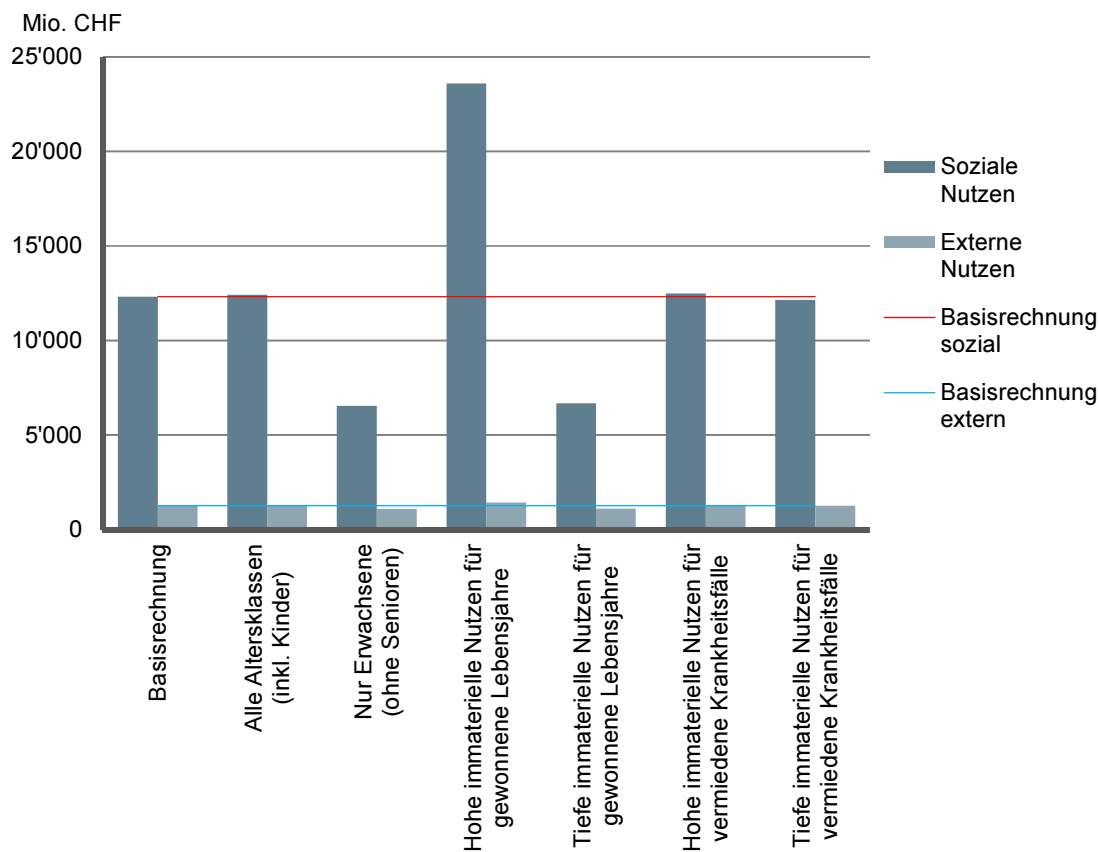
<sup>468</sup> Bei den Krankheitsfällen wird die Altersklasse der über 70-Jährigen ausgeschlossen.



Abbildung 15-14: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für die Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr 2010

Gesundheitsnutzen des Langsamverkehrs in Mio. CHF	Soziale Nutzen	Externe Nutzen
<b>Basisrechnung</b>	<b>12'314.4</b>	<b>1'280.7</b>
Alle Altersklassen (inkl. Kinder)	12'420.1	1'296.3
Nur Erwachsene (ohne Senioren)	6'538.0	1'092.2
Hohe immaterielle Nutzen für gewonnene Lebensjahre	23'593.4	1'445.9
Tiefe immaterielle Nutzen für gewonnene Lebensjahre	6'674.9	1'115.5
Hohe immaterielle Nutzen für vermiedene Krankheitsfälle	12'476.8	1'286.6
Tiefe immaterielle Nutzen für vermiedene Krankheitsfälle	12'151.9	1'274.8
<b>Abweichung vom Basisrechnung in %</b>		
Alle Altersklassen (inkl. Kinder)	0.9%	1.2%
Nur Erwachsene (ohne Senioren)	-46.9%	-14.7%
Hohe immaterielle Nutzen für gewonnene Lebensjahre	91.6%	12.9%
Tiefe immaterielle Nutzen für gewonnene Lebensjahre	-45.8%	-12.9%
Hohe immaterielle Nutzen für vermiedene Krankheitsfälle	1.3%	0.5%
Tiefe immaterielle Nutzen für vermiedene Krankheitsfälle	-1.3%	-0.5%

Abbildung 15-15: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für die Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr



- **Immaterielle Kostensätze zur Bewertung der vermiedenen Krankheitsfälle:** Die Unsicherheiten bei den immateriellen Kostensätzen der Krankheitsfälle führen nur zu geringen Schwankungen in den Nutzen ( $\pm 1\%$ ).

Während die Höhe der sozialen Nutzen also relativ unsicher ist, können die externen Nutzen verhältnismässig genau bestimmt werden.

### 15.6.3 Zusätzliche Unter- oder Überschätzungen

Die dargestellten Ergebnisse dürften eine **deutliche Unterschätzung der Gesundheitsnutzen des Langsamverkehrs** darstellen. Dies insbesondere aus folgenden Gründen:

#### Mengengerüst

- Es wurden sechs verschiedenen Krankheitsbilder berücksichtigt. Der Langsamverkehr bzw. die Bewegung dürfte jedoch auch das Risiko auf **weitere Krankheitsbilder** reduzieren (z.B. Hirnschlag, Bluthochdruck, Osteoporose, weitere Krebsarten).<sup>469</sup>
- Es werden nur die vermiedenen Kosten bei Spitaleinweisungen berücksichtigt. Die sechs Krankheitsbilder können jedoch auch zu **Kosten ausserhalb der Spitäler** führen (Medikamentenkonsument sowie Arzt- und Psychiaterbesuche, Kosten der IV). Bei der Depression dürften diese Kosten etwa halb so hoch sein wie die Spitalkosten. Dazu kommen noch Produktionsausfälle durch leichte Depressionen. Zudem haben 9 von 10 Depressiven gleichzeitig körperliche Beschwerden oder Schmerzen.
- Die **vermiedenen Demenzfälle** führen nicht nur zu **Ersparnissen** bei Spitalaufenthalten, sondern auch bei Aufenthalten in **Alters- und Pflegeheimen, Spitexeinsätzen, Arztbesuche, Medikamente** und bei der **informellen Pflege** durch Angehörige. Die gesamten direkten Kosten der Demenz bzw. der Ersparnisse bei der Vermeidung von Demenzfällen sind ca. 35-mal höher als die eingesparten Spitalkosten (vgl. Fussnote 452). Damit könnten die Nutzen um mehr als 2 Mrd. CHF höher ausfallen. Knapp die Hälfte davon betrifft die informelle Pflege durch Ehepartner etc. Diese Nutzen sind als extern zu betrachten.
- Es werden nur vermiedene Spitaleinweisungen berücksichtigt, bei denen die Hauptdiagnose einem der sechs betrachteten Krankheitsbilder entspricht. Hospitalisationen, in denen die **Nebendiagnose** einem der sechs Krankheitsbilder entspricht werden folglich vernachlässigt. Dies führt insbesondere bei der Demenz zu einer Unterschätzung.
- Der Nutzen des Langsamverkehrs wird ermittelt, indem unterstellt wird, dass die Personen zuerst Sport betreiben und dann zusätzlich noch im Langsamverkehr unterwegs sind. Dadurch ist der dem Langsamverkehr zugewiesene Effekt kleiner als wenn man von einem Zustand ohne Sport ausgehen würde: Je mehr Sport getrieben wird, desto kleiner ist der zusätzliche Effekt des Langsamverkehrs. Der Effekt des Sportes wird bei den Berechnungen jedoch insofern überschätzt, als dass ein Teil des Sportes im Langsamverkehr erfolgt (Velofahren, Joggen auf Strassen). Dementsprechend wird der Effekt des Langsam-

---

<sup>469</sup> Ecoplan, ISPMZ (2013), Integration des Langsamverkehrs in die Transportrechnung, S. 84.

verkehrs etwas unterschätzt.<sup>470</sup> Würde unterstellt, dass zuerst die Aktivitäten im Langsamverkehr kommen und erst dann der Sport (in der Studie genau umgekehrt angenommen), so wären die Nutzen deutlich höher.

- Es ist zu vermuten, dass die Langsamverkehrsaktivitäten bei Senioren mit zunehmendem Alter abnehmen. Der positive Effekt des Langsamverkehrs auf die Gesundheit hängt aber nicht nur vom aktuellen Niveau der körperlichen Betätigung im Langsamverkehr ab, sondern vom Niveau in den vergangenen Jahren. In die vorliegenden Berechnungen ist jedoch nur das aktuelle Niveau eingeflossen, was tendenziell zu einer Unterschätzung der Nutzen führt.<sup>471</sup>

### Wertgerüst

- Die **Anpassung des VOSL an den Risikokontext** könnte zu tieferen Nutzen führen, da die Teilnahme am Langsamverkehr freiwillig ist, unter der Verantwortung und Kontrolle des Fussgängers / Velofahrers liegt und er den Nutzen aus seiner Bewegung direkt selbst erfährt.<sup>472</sup> Die verfügbaren empirischen Grundlagen reichen jedoch zurzeit für eine Anpassung der Zahlungsbereitschaft nicht aus. Deshalb wird wie bei Luft- und Lärmbelastung auf eine Anpassung verzichtet. Diese Unsicherheit gilt nur für die sozialen Nutzen.
- Die **vermiedenen administrativen Kosten** der Gesundheitsschäden werden nicht mit einbezogen, dürften aber wie im den Bereichen Luft- und Lärmbelastung weniger als 0.5% der Nutzen ausmachen (vgl. Kapitel 3.6.3 und 8.6.3).
- Bei der Bestimmung der **übrigen Kostensätze** zur Bewertung der Nutzen wurden gemäss dem at least Ansatz ebenfalls **vorsichtige Werte** verwendet (vgl. Fussnote 165).
- Insbesondere bei der Depression ist anzumerken, dass **nach der Depression** möglicherweise nur noch eine **weniger anspruchsvolle Arbeit** erledigt werden kann. Muss die Stelle eines Depressiven gar neu besetzt werden, sind die Kosten der Wiederbesetzung bzw. die Nutzen für deren Vermeidung nicht enthalten.

## 15.7 Vergleich zu den bisherigen Berechnungen

Die Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr werden erstmals für die Schweiz bestimmt. Folglich entfällt ein Vergleich mit bisherigen Berechnungen.

---

<sup>470</sup> Für genauere Erläuterungen siehe Ecoplan, ISPMZ (2013), Integration des Langsamverkehrs in die Transportrechnung, S. 91-94.

<sup>471</sup> Für genauere Erläuterungen siehe Ecoplan, ISPMZ (2013), Integration des Langsamverkehrs in die Transportrechnung, S. 94-96.

<sup>472</sup> Ecoplan, Infrass (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz, S. 131.

## 16 Übersicht über die Ergebnisse

In diesem Schlusskapitel werden die Ergebnisse der 13 untersuchten Kostenbereiche zusammengefasst und übersichtlich dargestellt. Dabei gehen wir zuerst auf die externen Effekte des Verkehrs ein und präsentieren die externen Kosten für die drei verschiedenen Sichtweisen (Sicht Verkehrsträger Kapitel 16.1; Sicht Verkehrsart Schwerverkehr Kapitel 16.2; Sicht Verkehrsteilnehmende Kapitel 16.3). Anschliessend folgt die Zusammenfassung zu den sozialen Effekten (Kapitel 16.4). In Kapitel 16.5 werden die spezifischen Kostensätze pro Leistungseinheit (Personenkilometer, Tonnenkilometer, Fahrzeugkilometer und Zugkilometer) ausgewiesen, wobei auch ein Vergleich zwischen den vier Verkehrsträgern Strasse, Schiene, Luft und Wasser erfolgt. In Kapitel 16.6 werden die Unsicherheiten der Berechnungen thematisiert. Schliesslich werden in Kapitel 16.7 die Ergebnisse noch mit den Resultaten aus dem Jahr 2005 verglichen.

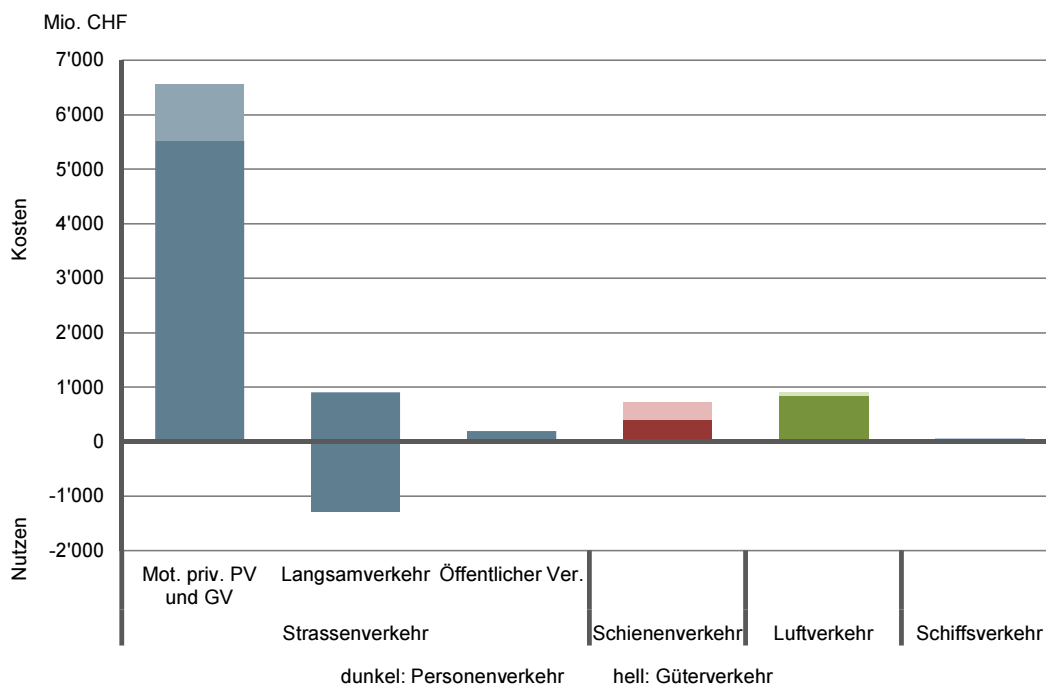
### 16.1 Externe Effekte aus Sicht Verkehrsträger

#### 16.1.1 Überblick Gesamtverkehr

Die Abbildung 16-1 und Abbildung 16-2 zeigen, dass der Verkehr aus Sicht Verkehrsträger insgesamt externe Kosten von 9'400 Mio. CHF verursacht (wobei alle Internalisierungsbeiträge inkl. einem Teil der LSVA bereits abgezogen wurden, vgl. hierzu den nachfolgenden Exkurs). Der Strassenverkehr verursacht den Grossteil dieser Kosten (82% oder 7'700 Mio. CHF – davon motorisierter privater Personenverkehr 5'500 Mio. CHF, Güterverkehr 1'000 Mio. CHF (ein Teil der LSVA wurde als Internalisierung angerechnet), Langsamverkehr 900 Mio. CHF und öffentlicher Strassenverkehr 190 Mio. CHF). An zweiter Stelle folgt der Luftverkehr mit 10% oder 920 Mio. CHF. Der Schienenverkehr verursacht Kosten von 730 Mio. CHF (oder 8%). Der Schiffsverkehr weist mit einem Betrag von 57 Mio. CHF (0.6%) vergleichsweise geringe externe Kosten aus. Im Langsamverkehr fallen ausserdem Gesundheitsnutzen von 1'300 Mio. CHF an. Zu beachten ist, dass die Verkehrsleistungen der einzelnen Verkehrsträger sehr unterschiedlich sind. Auf der Strasse werden deutlich mehr Personen- und Tonnenkilometer zurückgelegt als auf den anderen Verkehrsträgern, was ein wichtiger Grund für die höheren Kosten ist.

Insgesamt werden 84% der externen Kosten durch den Personenverkehr verursacht und 16% durch den Güterverkehr. Dies entspricht beinahe dem Ergebnis im Strassenverkehr (86% Personenverkehr). Im Luftverkehr ist der Anteil des Personenverkehrs mit 92% höher, im Schienen- und Schiffsverkehr hingegen mit 56% bzw. 53% tiefer. Die Gesundheitsnutzen fallen alle im Personenverkehr an.

**Abbildung 16-1: Überblick über die externen Effekte aus Sicht Verkehrsträger 2010**  
 Strassen- / Schienenverkehr: Territorialprinzip\*, Luft- / Schiffsverkehr: Halbstreckenprinzip\*\*



\* Territorialprinzip : Verkehr innerhalb Schweizer Grenzen

\*\* Halbstreckenprinzip: Verkehr innerhalb Schweizer Grenzen und halbe Flug- / Schiffstrecke von der Schweiz in die Auslandsdestination und umgekehrt (vgl. Kapitel 2.3.2)

**Abbildung 16-2: Überblick über die externen Effekte aus Sicht Verkehrsträger 2010**  
 Strassen- / Schienenverkehr: Territorialprinzip, Luft- / Schiffsverkehr: Halbstreckenprinzip

Externe Kosten in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	6'618.7	1'045.1	<b>7'663.8</b>	81.8%
Schienenverkehr	410.3	316.7	<b>727.0</b>	7.8%
Luftverkehr	841.8	77.3	<b>919.0</b>	9.8%
Schiffsverkehr	30.6	26.8	<b>57.5</b>	0.6%
<b>Total externe Kosten</b>	<b>7'901.3</b>	<b>1'465.9</b>	<b>9'367.3</b>	100.0%
in % des Totals	84.4%	15.6%	100.0%	
<b>Gesundheitsnutzen Langsamverkehr</b>	<b>-1'280.7</b>		<b>-1'280.7</b>	

**Exkurs: Umgang mit der LSVa beim Ausweis der externen Kosten**

Die Darstellung der externen Kosten des Schwerverkehrs erfolgt in diesem Kapitel **nach** Abzug der LSVa (leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe).<sup>473</sup> Die Ergebnisse entsprechen somit einer Nettobetrachtung und zeigen auf, ob und wenn ja, in welcher Höhe noch ungedeckte externe Kosten des Schwerverkehrs in den betrachteten Kostenbereichen verbleiben, wenn die Internalisierungswirkung der LSVa berücksichtigt wird.<sup>474</sup>

Der Berechnungsvorgang zum Ausweis der verbleibenden externen Kosten des Schwerverkehrs ist vergleichsweise einfach:

- In einem ersten Schritt werden die Einzelergebnisse zum Schwerverkehr in den Kapiteln 3 bis 13 nach den drei Fahrzeugkategorien (Gesellschaftswagen, Lastwagen, Sattelschlepper) aufsummiert.
- Hiervon werden in einem zweiten Schritt die anrechenbaren LSVa-Einnahmen abgezogen. Diese berechnen sich wie folgt:
  - Ausgangslage bilden die Einnahmen aus der LSVa im Jahr 2010 von 1'490 Mio. CHF. Davon werden einerseits 369 Mio. CHF abgezogen,<sup>475</sup> die in der Strassenrechnung als Einnahmen verbucht werden („LSVa für Strassenzwecke“) und deshalb hier nicht nochmals berücksichtigt werden dürfen (Vermeidung von Doppelzählungen). Andererseits sind auch die vom Schwerverkehr dem übrigen Verkehr verursachten Staukosten abzuziehen (gemäss Bundesgerichtsurteil): Diese betragen 401 Mio. CHF im Jahr 2010.<sup>476</sup> Damit verbleiben 720 Mio. CHF, die als Internalisierungsbeitrag zu berücksichtigen sind.<sup>477</sup>

<sup>473</sup> In den Kapiteln 3 bis 14 wurde beim Ausweis der Kosten des Schwerverkehrs die LSVa noch nicht in Abzug gebracht, da – wie in Kapitel 2.6.2 erläutert – eine Zurechnung der LSVa-Einnahmen auf die einzelnen Kostenbereiche nicht direkt möglich ist. Erst nach der Aufsummierung aller Kostenbereiche lässt sich hier in der Schlussbetrachtung eine sinnvolle Gegenüberstellung zwischen den verursachten Kosten durch den Schwerverkehr und seinem durch die LSVa bereits geleisteten Internalisierungsbeitrag vornehmen.

<sup>474</sup> Das resultierende Ergebnis lässt jedoch keine Rückschlüsse darüber zu, ob die Höhe der LSVa richtig bemessen wurde bzw. ob der Schwerverkehr sämtliche Kosten deckt, die er der Allgemeinheit verursacht oder nicht. Um diese Frage beurteilen zu können, muss zusätzlich die Über- oder Unterdeckung des Schwerverkehrs bei den Infrastrukturkosten (bzw. in der Kategorienrechnung der Strassenrechnung) berücksichtigt werden. Diese Berücksichtigung erfolgt in der Transportrechnung 2010, deren Publikation auf Ende 2014 vorgesehen ist.

<sup>475</sup> Angaben ARE, vom 18. November 2013.

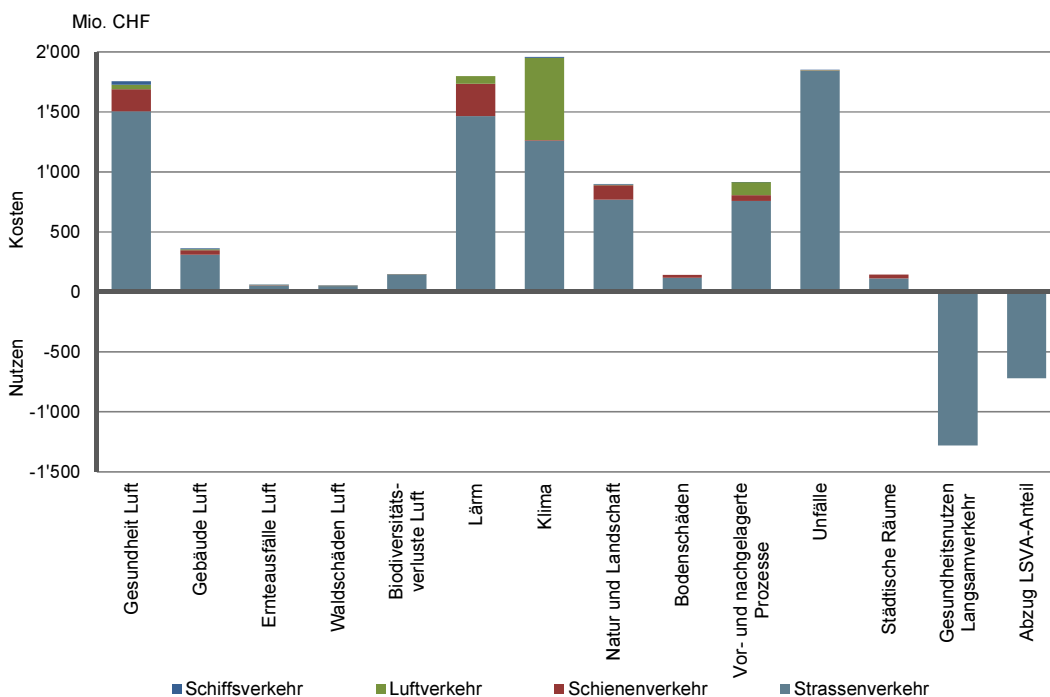
<sup>476</sup> Infras (2012), Neuberechnung der Stauzeitkosten, S. 52.

<sup>477</sup> Die so ermittelte Höhe des Internalisierungsbeitrags von 720 Mio. CHF korrespondiert mit der Sicht Verkehrsart Schwerverkehr, die vom Bundesgericht für die Berechnung der externen Kosten des Schwerverkehrs bzw. der LSVa vorgeschrieben wurde. Aufgrund dieser Vorgabe wird dieser Internalisierungsbeitrag auch für die beiden Sichtweisen „Verkehrsträger“ und „Verkehrsteilnehmende“ verwendet. Zwar würden aus rein ökonomischer Sicht die Staukosten bei der Sicht Verkehrsträger entfallen und bei der Sicht Verkehrsteilnehmende höher ausfallen – was bei gleich bleibender LSVa-Höhe zu höheren bzw. tieferen Internalisierungsbeiträgen für die hier betrachteten externen Kosten führen würde. Möglicherweise würde aber die Höhe der LSVa in einem solchen Fall den geringeren (Sicht Verkehrsträger) bzw. höheren (Sicht Verkehrsteilnehmende) Staukosten angepasst, so dass der Internalisierungsbeitrag zur Deckung der hier betrachteten externen Kosten (exklusive Staukosten) gleich bleiben würde. Der Ausweis der verbleibenden externen Kosten des Schwerverkehrs nach Abzug der LSVa in den drei

– Dieser Betrag wird nach folgendem Verfahren auf die drei Fahrzeugkategorien aufgeteilt: Den Gesellschaftswagen wird ein Anteil von 1.74% zugerechnet (13 Mio. CHF).<sup>478</sup> Die übrigen Einnahmen werden basierend auf einer Spezialauswertung der LSVA-Datenbank<sup>479</sup> zu 53% den Lastwagen zugeordnet und zu 47% den Sattelschleppern (375 bzw. 332 Mio. CHF).

Die Abbildung 16-3 weist die Verteilung der gesamten externen Kosten und Nutzen auf die 13 Kostenbereiche aus. Es zeigt sich, dass vier Kostenbereiche massgeblich zum Total beitragen: Die Klimakosten, die Unfallkosten, die Lärmkosten und die Gesundheitskosten der Luftverschmutzung verursachen je Kosten von 1'750 bis 2'000 Mio. CHF. Durch vor- und nachgelagerte Prozesse sowie Natur und Landschaft entstehen weitere Kosten von je ca. 900 Mio. CHF. Auf die Gebäudeschäden entfallen noch ca. 350 Mio. CHF, alle übrigen Kos-

**Abbildung 16-3: Externe Effekte aus Sicht Verkehrsträger 2010 nach Kostenbestandteilen**  
 Strassen- / Schienenverkehr: Territorialprinzip, Luft- / Schiffsverkehr: Halbstrreckenprinzip



Sichtweisen Verkehrsträger, Verkehrsart Schwerverkehr und Verkehrsteilnehmende geht implizit von diesem „Anpassungsszenario“ aus.

<sup>478</sup> Die Gesellschaftswagen bezahlen die pauschale Schwerverkehrsabgabe (PSVA). Der Anteil an den Gesamteinnahmen betrug in den Jahren 2005-2009 durchschnittlich 1.74% (Ecoplan, Infrass 2010, Ertragsprognose der leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe (LSVA), S. 23).

<sup>479</sup> Die Aufteilung erfolgt dabei gemäss den geschätzten LSVA-Einnahmen (Fahrleistungen nach Gewichtsklassen und EURO-Kategorien \* Tonnen zulässiges Gesamtgewicht nach Gewichtsklasse \* LSVA-Abgabesatz nach EURO-Klassen).

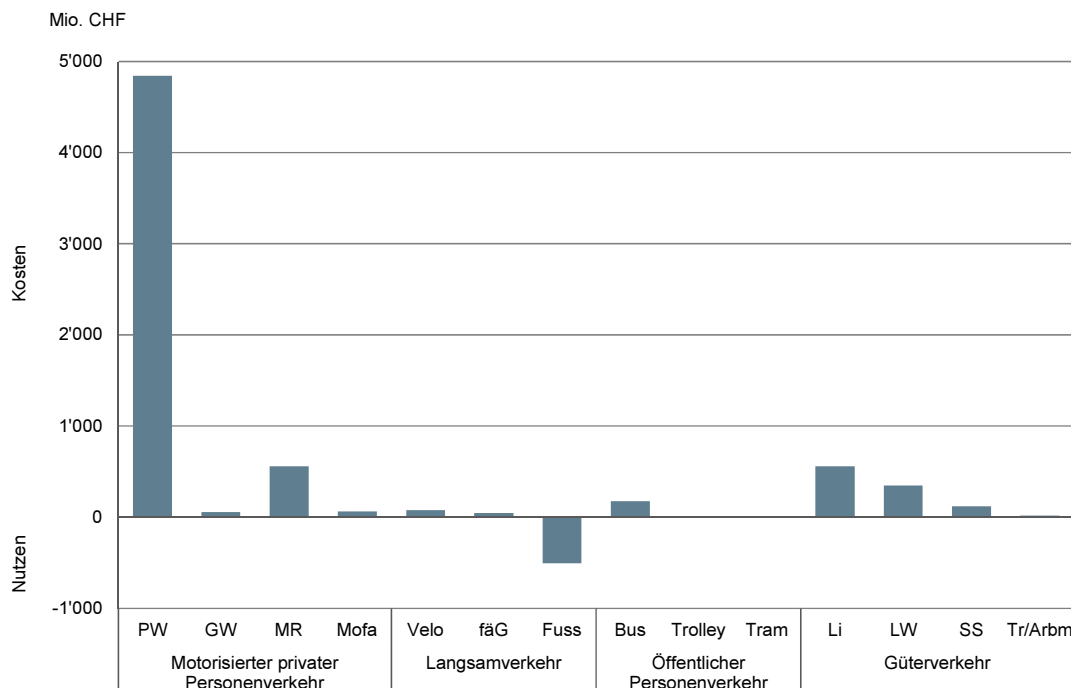
tenbereiche liegen unter 150 Mio. CHF. Von diesen Kosten abziehen ist die Internalisierung durch einen Teil der LSVA (gut 700 Mio. CHF, die nicht direkt auf die einzelnen Kostenbereiche aufgeteilt werden kann). Neben diesen Kosten entstehen im Langsamverkehr auch Gesundheitsnutzen von 1'300 Mio. CHF.

Innerhalb aller Kostenbereiche ist der Strassenverkehr aufgrund der hohen Verkehrsleistungen dominant und verursacht 64% bis 100% der Kosten. Die anderen Verkehrsträger sind vor allem bei folgenden Kostenbereichen relevant (und damit in Abbildung 16-3 erkennbar): Der Luftverkehr bei den Klimakosten, bei den vor- und nachgelagerten Prozessen sowie beim Lärm, der Schienenverkehr beim Lärm, bei den Gesundheitskosten der Luftverschmutzung und bei Natur und Landschaft und der Schiffsverkehr nur knapp bei den Gesundheitskosten der Luftverschmutzung.

### 16.1.2 Strassenverkehr

Wie Abbildung 16-4 und Abbildung 16-5<sup>480</sup> zeigen, sind die Personenwagen für den Grossteil (63%) der externen Kosten im Strassenverkehr verantwortlich. Motorräder und Lieferwagen

**Abbildung 16-4: Externe Effekte aus Sicht Verkehrsträger im Strassenverkehr 2010 nach Fahrzeugkategorien**



<sup>480</sup> In der Abbildung 16-5 sowie den folgenden Abbildungen werden unten jeweils auch die Ergebnisse der externen Kosten aus Sicht Verkehrsart und aus Sicht Verkehrsteilnehmende sowie die sozialen Kosten dargestellt (grau hinterlegt). Damit sollen alle relevanten Ergebnisse auf einen Blick erfasst werden können. Besprochen werden die anderen Ergebnisse aber erst in den nachfolgenden Kapiteln 16.2 bis 16.4.



**Abbildung 16-5: Externe Effekte aus Sicht Verkehrsträger im Strassenverkehr 2010 nach Kostenbestandteilen und Fahrzeugkategorien**

Externe Kosten Strassenverkehr in Mio. CHF	Personenverkehr								Güterverkehr				Gesamt- total		
	Motorisierter privater Personenverkehr				Langsamverkehr			Öffentlicher Personenverkehr			Li	LW		SS	Tr/Arbm
	PW	GW	MR	Mofa	Velo	fäG	Fuss	Bus	Trolley	Tram					
Gesundheit Luft	1'019.2	22.7	8.3	0.6	-	-	-	60.2	n.a.	n.a.	129.3	169.4	94.9	n.a.	1'504.6
Gebäude Luft	209.8	4.7	1.7	0.1	-	-	-	12.4	n.a.	n.a.	26.6	34.9	19.5	n.a.	309.7
Ernteausfälle Luft	27.0	1.2	0.6	0.0	-	-	-	3.7	-	-	6.1	10.0	6.9	n.a.	55.5
Waldschäden Luft	25.0	1.0	0.5	0.0	-	-	-	2.9	-	-	4.9	8.0	5.5	n.a.	47.9
Biodiversitätsverluste Luft	86.5	2.3	1.1	0.0	-	-	-	6.8	-	-	12.3	18.8	13.0	n.a.	140.8
Lärm	644.1	17.2	249.7	1.7	-	-	-	35.4	0.3	1.1	142.6	233.6	137.8	n.a.	1'463.5
Klima	956.2	9.5	17.9	0.8	-	-	-	26.1	-	-	86.5	94.8	68.6	n.a.	1'260.6
Natur und Landschaft	601.1	4.0	9.0	0.5	4.2	0.1	5.9	9.3	0.1	0.1	45.9	53.5	36.1	n.a.	769.7
Bodenschäden	56.8	2.2	1.2	0.1	-	-	-	4.6	0.5	0.0	10.9	26.2	15.5	n.a.	117.9
Vor- und nachgelagerte Prozesse	537.3	4.8	8.7	0.5	12.3	0.5	21.6	11.5	1.9	6.2	49.7	56.4	46.8	n.a.	758.1
Unfälle	590.7	1.7	257.7	59.0	449.7	45.9	360.0	3.1	2.6	1.5	34.2	13.9	6.6	16.6	1'843.3
Städtische Räume	90.6	0.3	1.9	0.1	-	-	-	2.2	0.4	0.6	9.3	3.5	2.9	n.a.	111.8
<b>Zwischentotal aller Kostenbereiche</b>	<b>4'844.2</b>	<b>71.5</b>	<b>558.1</b>	<b>63.6</b>	<b>466.2</b>	<b>46.5</b>	<b>387.5</b>	<b>178.2</b>	<b>5.8</b>	<b>9.5</b>	<b>558.3</b>	<b>723.1</b>	<b>454.2</b>	<b>16.6</b>	<b>8'383.5</b>
<b>Abzug LSVA-Anteil</b>	<b>-</b>	<b>12.5</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>375.1</b>	<b>332.1</b>	<b>-</b>	<b>719.7</b>
<b>Total aller Kostenbereiche (mit LSVA Abzug)</b>	<b>4'844.2</b>	<b>58.9</b>	<b>558.1</b>	<b>63.6</b>	<b>466.2</b>	<b>46.5</b>	<b>387.5</b>	<b>178.2</b>	<b>5.8</b>	<b>9.5</b>	<b>558.3</b>	<b>348.0</b>	<b>122.2</b>	<b>16.6</b>	<b>7'663.8</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	<b>63.2%</b>	<b>0.8%</b>	<b>7.3%</b>	<b>0.8%</b>	<b>6.1%</b>	<b>0.6%</b>	<b>5.1%</b>	<b>2.3%</b>	<b>0.1%</b>	<b>0.1%</b>	<b>7.3%</b>	<b>4.5%</b>	<b>1.6%</b>	<b>0.2%</b>	<b>100.0%</b>
<b>Total Teilbereiche (mit LSVA Abzug)</b>		<b>5'524.8</b>			<b>900.3</b>			<b>193.5</b>			<b>1'045.1</b>				<b>7'663.8</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>		<b>72.1%</b>			<b>11.7%</b>			<b>2.5%</b>			<b>13.6%</b>				<b>100.0%</b>
<b>Gesamttotal Sicht Verkehrsträger</b>	<b>4'844.2</b>	<b>58.9</b>	<b>558.1</b>	<b>63.6</b>	<b>466.2</b>	<b>46.5</b>	<b>387.5</b>	<b>178.2</b>	<b>5.8</b>	<b>9.5</b>	<b>558.3</b>	<b>348.0</b>	<b>122.2</b>	<b>16.6</b>	<b>7'663.8</b>
<b>Gesamttotal Sicht Verkehrsart</b>		<b>64.0</b>										<b>372.2</b>	<b>136.7</b>		
<b>Gesamttotal Sicht Verkehrsteilnehmende</b>	<b>5'533.1</b>	<b>65.8</b>	<b>616.9</b>	<b>69.2</b>	<b>488.4</b>	<b>51.4</b>	<b>402.4</b>	<b>191.6</b>	<b>16.2</b>	<b>16.4</b>	<b>619.2</b>	<b>373.4</b>	<b>136.9</b>	<b>31.4</b>	<b>8'612.2</b>
<b>Gesamttotal soziale Kosten</b>	<b>9'649.8</b>	<b>99.0</b>	<b>1'631.9</b>	<b>293.7</b>	<b>2'174.7</b>	<b>237.8</b>	<b>1'946.9</b>	<b>238.9</b>	<b>60.8</b>	<b>41.5</b>	<b>966.8</b>	<b>840.8</b>	<b>509.6</b>	<b>115.4</b>	<b>18'807.5</b>
<b>Gesundheitsnutzen Langsamverkehr</b>															
<b>Externer Nutzen (alle Sichtweisen)</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-388.5</b>	<b>n.a.</b>	<b>-892.2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-1'280.7</b>
<b>Sozialer Nutzen</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-3'732.8</b>	<b>n.a.</b>	<b>-8'581.6</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-12'314.4</b>

PW = Personenwagen, GW = Gesellschaftswagen, MR = Motorrad, fäG = fahrzeugähnliches Gerät, Fuss = Fussverkehr, Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper, Tr = Traktor, Arbm = Arbeitsmaschine, n.a. = not available (nicht verfügbar)

tragen ebenfalls je 7.3% zum Total bei, Lastwagen und Sattelschlepper zusammen 6.1% (ein Teil der LSVA wurde als Internalisierung angerechnet). Im Langsamverkehr entstehen externe Kosten von 900 Mio. CHF (vor allem vom Langsamverkehr verursachte Unfallkosten). Dem stehen jedoch externe Gesundheitsnutzen von 1'280 Mio. CHF gegenüber. Aufgrund der hohen Gesundheitsnutzen kann im Fussverkehr ein externer Nutzenüberschuss von 505 Mio. CHF erreicht werden.<sup>481</sup> Bei den Velos sind die externen Gesundheitsnutzen geringer als die verursachten externen Unfallkosten, so dass geringe Nettokosten resultieren (78 Mio. CHF). Trolleybusse und Trams weisen nur sehr geringe externe Kosten aus (je unter 10 Mio. CHF).

Bei der Aufteilung nach Kostenbereichen zeigt sich, dass 1'840 Mio. CHF der Kosten auf Unfälle zurückzuführen sind. Die Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung belaufen sich

<sup>481</sup> Ein Nettonutzen wäre auch bei den fäG denkbar, wenn es möglich wäre, die Gesundheitsnutzen der fäG zu quantifizieren.

auf 1'500 Mio. CHF, die Folgekosten des Lärms auf 1'460 Mio. CHF und diejenigen im Klimabereich auf 1'260 Mio. CHF. Je ca. 760 Mio. CHF verursachen Natur und Landschaft sowie vor- und nachgelagerte Prozesse. Die übrigen Kostenbereiche tragen je 300 Mio. CHF oder weniger zum Total bei. Davon abzuziehen ist ein Teil der LSVA von 720 Mio. CHF. Im Langsamverkehr stehen diesen Kosten zudem externe Gesundheitsnutzen von 1'280 Mio. CHF gegenüber.

### 16.1.3 Schienenverkehr

Im Schienenverkehr entstehen insgesamt externe Kosten von 744 Mio. CHF (siehe Abbildung 16-6). Davon entfallen 17 Mio. CHF auf von Dritten verursachte Unfallkosten, die nicht dem Schienenverkehr anzulasten sind (und deshalb in Abbildung 16-2 ausgeschlossen werden). Der Personenverkehr ist für 410 Mio. CHF verantwortlich, auf den Güterverkehr entfallen 317 Mio. CHF.

Im Schienenverkehr sind die Lärmkosten mit 36% des Totals am bedeutsamsten, gefolgt von den Gesundheitskosten der Luftbelastung mit 25% sowie Natur und Landschaft mit 16%. Die übrigen Kostenbereiche tragen nur je 6% oder weniger zum Total bei.

**Abbildung 16-6: Externe Effekte aus Sicht Verkehrsträger im Schienenverkehr 2010 nach Kostenbestandteilen**

Externe Kosten in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Dritte	Total
<b>Schieneverkehr</b>				
Gesundheit Luft	116.0	69.1		<b>185.0</b>
Gebäude Luft	23.8	14.2		<b>38.0</b>
Ernteauffälle Luft	0.1	0.7		<b>0.8</b>
Waldschäden Luft	0.1	0.6		<b>0.7</b>
Biodiversitätsverluste Luft	0.2	1.3		<b>1.5</b>
Lärm	101.0	168.1		<b>269.1</b>
Klima	0.6	3.2		<b>3.8</b>
Natur und Landschaft	87.9	31.1		<b>119.0</b>
Bodenschäden	21.1	3.1		<b>24.3</b>
Vor- und nachgelagerte Prozesse	29.2	18.8		<b>48.0</b>
Unfälle	2.0	2.4	17.2	<b>21.6</b>
Städtische Räume	28.3	4.2		<b>32.5</b>
<b>Total</b>	<b>410.3</b>	<b>316.7</b>	<b>17.2</b>	<b>744.3</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	<b>55.1%</b>	<b>42.6%</b>	<b>2.3%</b>	<b>100.0%</b>
<b>Gesamttotal Sicht Verkehrsteilnehmende</b>	<b>416.8</b>	<b>324.2</b>	<b>17.3</b>	<b>758.3</b>
<b>Gesamttotal soziale Kosten</b>	<b>444.2</b>	<b>355.1</b>	<b>62.5</b>	<b>861.8</b>

#### 16.1.4 Luftverkehr

Im Luftverkehr betragen die Kosten insgesamt 919 Mio. CHF, wobei 92% oder 842 Mio. CHF vom Personenverkehr verursacht werden und 77 Mio. CHF vom Güterverkehr (siehe Abbildung 16-7). Im Luftverkehr sind die Klimakosten mit 75% des Totals der klar dominierende Kostenbereich. Daneben resultieren 12% von vor- und nachgelagerten Prozessen, 7% vom Lärm und 4% von den Gesundheitskosten der Luftverschmutzung. Die übrigen Kostenbereiche tragen je weniger als 1% zum Total bei (bzw. zusammen weniger als 2.4%). Verwendet man als Sensitivitätsrechnung den minimalen bzw. maximalen CO<sub>2</sub>-Kostensatz für die Klimakosten und die vor- und nachgelagerten Prozesse, schwanken die Gesamtkosten des Luftverkehrs zwischen 580 und 1'515 Mio. CHF.

Aus der Abbildung 16-7 nicht ablesbar ist, dass 95% dieser Kosten oder 875 Mio. CHF durch Flüge ab / nach Landesflughäfen verursacht werden und nur 5% oder 44 Mio. CHF durch Flüge ab / nach Regionalflugplätzen (Flugfelder und Heliports wurden hier nicht betrachtet). Der Linien- und Charterverkehr ist für 90% der Kosten verantwortlich (je hälftig verteilt auf den interkontinentalen bzw. europäischen Linien- und Charterverkehr mit 416 bzw. 415 Mio. CHF). Helikopter verursachen nur Kosten von 2.4 Mio. CHF (0.3%), die übrige General Aviation trägt die verbleibenden 9% der Kosten (85 Mio. CHF) – beides ohne Flüge ab Flugfelder und Heliports.

Abbildung 16-7: Externe Effekte aus Sicht Verkehrsträger im Luftverkehr 2010 nach Kostenbestandteilen

Externe Kosten in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
<b>Luftverkehr</b>			
Gesundheit Luft	33.8	3.3	<b>37.1</b>
Gebäude Luft	7.6	0.8	<b>8.4</b>
Ernteausfälle Luft	1.4	0.1	<b>1.6</b>
Waldschäden Luft	1.2	0.1	<b>1.3</b>
Biodiversitätsverluste Luft	2.7	0.3	<b>3.0</b>
Lärm	62.4	3.8	<b>66.2</b>
Klima	627.1	59.0	<b>686.1</b>
Natur und Landschaft	5.4	0.5	<b>6.0</b>
Bodenschäden	-	-	-
Vor- und nachgelagerte Prozesse	98.3	9.3	<b>107.6</b>
Unfälle	1.7	0.0	<b>1.8</b>
Städtische Räume	-	-	-
<b>Total</b>	<b>841.8</b>	<b>77.3</b>	<b>919.0</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	91.6%	8.4%	100.0%
<b>Gesamttotal Sicht Verkehrsteilnehmende</b>	<b>846.0</b>	<b>77.5</b>	<b>923.5</b>
<b>Gesamttotal soziale Kosten</b>	<b>899.9</b>	<b>84.6</b>	<b>984.5</b>

### 16.1.5 Schiffsverkehr

Im Schiffsverkehr entstehen insgesamt externe Kosten (aus Sicht Verkehrsträger) von 57 Mio. CHF (siehe Abbildung 16-8). Dabei entfallen 53% oder 31 Mio. CHF auf den Personenverkehr auf den Schweizer Seen und 47% oder 27 Mio. CHF auf den Güterverkehr. Innerhalb des Güterverkehrs verursacht die Rheinschiffahrt unterhalb Basel 10 Mio. CHF Kosten (nach dem Halbstreckenprinzip), der Güterverkehr auf den Schweizer Seen hingegen knapp doppelt so viel, nämlich 17 Mio. CHF.

Im Schiffsverkehr führen die hohen PM10-Emissionen zu den höchsten Kosten, nämlich zu 51% durch Gesundheitskosten und 11% durch Gebäudeschäden. Das Klima trägt 14% zum Total bei, Natur und Landschaft 9%. Die übrigen Kostenbereiche führen jeweils nur zu 6% der Kosten oder weniger (zusammen 15%).

Abbildung 16-8: Externe Effekte aus Sicht Verkehrsträger im Schiffsverkehr 2010 nach Kostenbestandteilen

Externe Kosten in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
<b>Schiffsverkehr</b>			
Gesundheit Luft	17.0	12.5	29.4
Gebäude Luft	3.5	2.6	6.1
Ernteauffälle Luft	0.8	0.6	1.4
Waldschäden Luft	0.7	0.5	1.2
Biodiversitätsverluste Luft	1.6	1.1	2.7
Lärm	-	-	-
Klima	4.8	3.3	8.1
Natur und Landschaft	0.8	4.2	5.0
Bodenschäden	-	-	-
Vor- und nachgelagerte Prozesse	1.5	1.9	3.4
Unfälle	0.0	0.1	0.1
Städtische Räume	-	-	-
<b>Total</b>	<b>30.6</b>	<b>26.8</b>	<b>57.5</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	<b>53.3%</b>	<b>46.7%</b>	<b>100.0%</b>
<b>Gesamttotal Sicht Verkehrsteilnehmende</b>	<b>30.7</b>	<b>27.1</b>	<b>57.7</b>
<b>Gesamttotal soziale Kosten</b>	<b>31.1</b>	<b>28.6</b>	<b>59.7</b>

## 16.2 Externe Effekte aus Sicht Verkehrsart Schwerverkehr

Die Sicht Verkehrsart Schwerverkehr wurde vom Bundesgericht zur Bestimmung der Höhe der LSVa im Strassenverkehr vorgeschrieben.<sup>482</sup> Mit dieser Sichtweise werden die Kosten

<sup>482</sup> Bundesgericht, Urteil vom 17. Dezember 2011, LSVa, Abklassierung EURO-3.

bestimmt, die der Schwerverkehr den anderen Verkehrsteilnehmenden und der Allgemeinheit (inkl. Staat) auferlegt.

Vor Abzug der LSVA-Einnahmen betragen die externen Kosten des Schwerverkehrs aus Sicht Verkehrsart 1'293 Mio. CHF (siehe Abbildung 16-9).<sup>483</sup> Sie sind damit um 44 Mio. CHF höher als aus Sicht Verkehrsträger. Unterschiede zwischen den beiden Sichtweisen gibt es lediglich bei den Unfallkosten (+34 Mio. CHF), bei denen die vom Schwerverkehr dem restlichen Strassenverkehr verursachten Kosten aus Sicht Verkehrsart als extern betrachtet werden und bei den städtischen Räumen (+10 Mio. CHF), bei denen die vom Schwerverkehr dem Langsamverkehr verursachten Kosten hier mitgezählt werden. Diesen externen Kosten gegenüber steht ein Teil der LSVA Einnahmen von 720 Mio. CHF (siehe Exkurs in Kap. 16.1.1.), der einen Internalisierungsbeitrag an die externen Umwelt- und Unfallkosten darstellt. Die verbleibenden Umwelt- und Unfallkosten des Schwerverkehrs aus Sicht Verkehrsart belaufen sich somit auf 573 Mio. CHF.<sup>484</sup> Von den 573 Mio. CHF werden 65% von Lastwagen verursacht, 24% von Sattelschleppern und 11% von Gesellschaftswagen.

**Abbildung 16-9: Externe Effekte aus Sicht Verkehrsart Schwerverkehr im Strassenverkehr 2010 nach Kostenbestandteilen und Fahrzeugkategorien**

<b>Externe Kosten Sicht Verkehrsart</b>	Gesellschaftswagen	Lastwagen	Sattelschlepper	<b>Total</b>
<b>Strassenverkehr</b>				
Gesundheit Luft	22.7	169.4	94.9	287.0
Gebäude Luft	4.7	34.9	19.5	59.0
Ernteaussfälle Luft	1.2	10.0	6.9	18.1
Waldschäden Luft	1.0	8.0	5.5	14.5
Biodiversitätsverluste Luft	2.3	18.8	13.0	34.0
Lärm	17.2	233.6	137.8	388.6
Klima	9.5	94.8	68.6	173.0
Natur und Landschaft	4.0	53.5	36.1	93.6
Bodenschäden	2.2	26.2	15.5	43.9
Vor- und nachgelagerte Prozesse	4.8	56.4	46.8	108.0
Unfälle	6.4	33.1	17.0	56.4
Städtische Räume	0.8	8.5	7.0	16.3
<b>Zwischentotal aller Kostenbereiche</b>	<b>76.5</b>	<b>747.3</b>	<b>468.7</b>	<b>1'292.6</b>
<b>Abzug LSVA-Anteil</b>	12.5	375.1	332.1	719.7
<b>Total aller Kostenbereiche (mit LSVA Abzug)</b>	<b>64.0</b>	<b>372.2</b>	<b>136.7</b>	<b>572.9</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	11%	65%	24%	100%

<sup>483</sup> Vgl. hierzu den Exkurs „Umgang mit der LSVA“ (auf Seite 459).

<sup>484</sup> Wie erwähnt lässt dieser Betrag alleine keine Rückschlüsse darüber zu, ob die Höhe der LSVA richtig bemessen wurde, um die Kosten des Schwerverkehrs gegenüber der Allgemeinheit abdecken zu können. Diese Frage lässt sich nur mit Einbezug der Infrastrukturkosten (bzw. der Über- oder Unterdeckung des Schwerverkehrs in der Kategorienrechnung der Strassenrechnung) klären (vgl. hierzu auch die Erläuterung in Fussnote **Fehler! Textmarke nicht definiert.** auf S. 464).

## 16.3 Externe Effekte aus Sicht Verkehrsteilnehmende

### 16.3.1 Überblick Gesamtverkehr

Wechselt man zu den externen Kosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende, werden alle Kosten, die andere Verkehrsteilnehmende als der Verursacher tragen müssen, als extern betrachtet. Bei allen Verkehrsträgern entstehen dadurch im Vergleich zur Sicht Verkehrsträger zusätzliche Unfallkosten (Strasse +791 Mio. CHF, Schiene +14 Mio. CHF, Luftverkehr +4 Mio. CHF, Schiffsverkehr +0.3 Mio. CHF). Im Strassenverkehr kommen zudem die Trenneffekte in städtischen Räumen hinzu, die der motorisierte Verkehr dem Langsamverkehr verursacht (+158 Mio. CHF). Gesamthaft fallen damit die externen Kosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende um 967 Mio. CHF höher aus als aus Sicht Verkehrsträger und betragen somit insgesamt gut 10'300 Mio. CHF (siehe Abbildung 16-10). Die Unfälle sind mit 2'660 Mio. CHF klar der bedeutendste Kostenbereich (aus Sicht Verkehrsträger sind die Klimakosten leicht höher), während die Zusatzkosten in städtischen Räumen relativ unbedeutend bleiben (neu 2.9% statt 1.5%). Die externen Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr bleiben unverändert bei 1'280 Mio. CHF.

Der Strassenverkehr ist in der Sicht Verkehrsteilnehmende noch etwas dominanter (83% statt 82%), während die Bedeutung der anderen Verkehrsträger etwas tiefer ausfällt. Die Verteilung auf Personen- und Güterverkehr bleibt sehr ähnlich (Veränderungen um  $\pm 0.2\%$ ).

**Abbildung 16-10: Überblick über die externen Effekte aus Sicht Verkehrsteilnehmende 2010**  
Strassen- / Schienenverkehr: Territorialprinzip, Luft- / Schiffsverkehr: Halbstreckenprinzip

Externe Kosten in Mio. CHF	Personen- verkehr	Güter- verkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	7'451.4	1'160.8	<b>8'612.2</b>	83.3%
Schienenverkehr	416.8	324.2	<b>741.0</b>	7.2%
Luftverkehr	846.0	77.5	<b>923.5</b>	8.9%
Schiffsverkehr	30.7	27.1	<b>57.7</b>	0.6%
<b>Total externe Kosten</b>	<b>8'744.8</b>	<b>1'589.6</b>	<b>10'334.4</b>	100.0%
in % des Totals	84.6%	15.4%	100.0%	
<b>Gesundheitsnutzen Langsamverkehr</b>	<b>-1'280.7</b>		<b>-1'280.7</b>	

### 16.3.2 Strassenverkehr

In Abbildung 16-11 werden die externen Kosten des Strassenverkehrs aus Sicht Verkehrsteilnehmende detailliert dargestellt. Wie erwähnt sind nur die Unfallkosten und die Zusatzkosten in städtischen Räumen höher als aus Sicht Verkehrsträger. Die übrigen Kostenbereiche sind identisch. Gesamthaft betragen die externen Kosten des Strassenverkehrs aus Sicht Verkehrsteilnehmende 8'610 Mio. CHF (daneben 1'280 Mio. CHF Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr). Die Verteilung auf die Fahrzeugkategorien ist sehr ähnlich wie aus Sicht Verkehrsträger (vgl. Abbildung 16-4). Wiederum ist darauf hinzuweisen, dass bei den Fussgängern die Nutzen um 490 Mio. CHF grösser sind als die Kosten (15 Mio. CHF weniger als

aus Sicht Verkehrsträger). Aus Sicht Verkehrsteilnehmende sind die Unfälle noch eindeutiger der wichtigste Kostenbereich mit 2'630 Mio. CHF (statt 1'840 Mio. CHF wie aus Sicht Verkehrsträger). Die Zusatzkosten aus städtischen Räumen bleiben relativ unbedeutend (270 statt 112 Mio. CHF). Die übrigen Kostenbereiche sind unverändert.

**Abbildung 16-11: Externe Effekte aus Sicht Verkehrsteilnehmende im Strassenverkehr 2010 nach Kostenbestandteilen und Fahrzeugkategorien**

Externe Kosten Strassenverkehr in Mio. CHF	Personenverkehr									Güterverkehr				Gesamt- total	
	Motorisierter privater Personenverkehr				Langsamverkehr			Öffentlicher Personenverkehr			Li	LW	SS		Tr/Arbm
	PW	GW	MR	Mofa	Velo	fäG	Fuss	Bus	Trolley	Tram					
Gesundheit Luft	1'019.2	22.7	8.3	0.6	-	-	-	60.2	n.a.	n.a.	129.3	169.4	94.9	n.a.	1'504.6
Gebäude Luft	209.8	4.7	1.7	0.1	-	-	-	12.4	n.a.	n.a.	26.6	34.9	19.5	n.a.	309.7
Ernteauffälle Luft	27.0	1.2	0.6	0.0	-	-	-	3.7	-	-	6.1	10.0	6.9	n.a.	55.5
Waldschäden Luft	25.0	1.0	0.5	0.0	-	-	-	2.9	-	-	4.9	8.0	5.5	n.a.	47.9
Biodiversitätsverluste Luft	86.5	2.3	1.1	0.0	-	-	-	6.8	-	-	12.3	18.8	13.0	n.a.	140.8
Lärm	644.1	17.2	249.7	1.7	-	-	-	35.4	0.3	1.1	142.6	233.6	137.8	n.a.	1'463.5
Klima	956.2	9.5	17.9	0.8	-	-	-	26.1	-	-	86.5	94.8	68.6	n.a.	1'260.6
Natur und Landschaft	601.1	4.0	9.0	0.5	4.2	0.1	5.9	9.3	0.1	0.1	45.9	53.5	36.1	n.a.	769.7
Bodenschäden	56.8	2.2	1.2	0.1	-	-	-	4.6	0.5	0.0	10.9	26.2	15.5	n.a.	117.9
Vor- und nachgelagerte Prozesse	537.3	4.8	8.7	0.5	12.3	0.5	21.6	11.5	1.9	6.2	49.7	56.4	46.8	n.a.	758.1
Unfälle	1'151.9	8.2	313.9	64.5	471.9	50.7	374.8	13.5	12.4	7.4	81.9	34.3	17.2	31.4	2'634.0
Städtische Räume	218.3	0.8	4.5	0.3	-	-	-	5.2	0.9	1.5	22.5	8.5	7.0	n.a.	269.5
<b>Zwischentotal aller Kostenbereiche</b>	<b>5'533.1</b>	<b>78.4</b>	<b>616.9</b>	<b>69.2</b>	<b>488.4</b>	<b>51.4</b>	<b>402.4</b>	<b>191.6</b>	<b>16.2</b>	<b>16.4</b>	<b>619.2</b>	<b>748.5</b>	<b>468.9</b>	<b>31.4</b>	<b>9'331.9</b>
<b>Abzug LSVA-Anteil</b>	-	12.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	375.1	332.1	-	719.7
<b>Total aller Kostenbereiche (mit LSVA Abzug)</b>	<b>5'533.1</b>	<b>65.8</b>	<b>616.9</b>	<b>69.2</b>	<b>488.4</b>	<b>51.4</b>	<b>402.4</b>	<b>191.6</b>	<b>16.2</b>	<b>16.4</b>	<b>619.2</b>	<b>373.4</b>	<b>136.9</b>	<b>31.4</b>	<b>8'612.2</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	64.2%	0.8%	7.2%	0.8%	5.7%	0.6%	4.7%	2.2%	0.2%	0.2%	7.2%	4.3%	1.6%	0.4%	100.0%
<b>Total Teilbereiche (mit LSVA Abzug)</b>	<b>6'285.1</b>				<b>942.2</b>			<b>224.1</b>			<b>1'160.8</b>				<b>8'612.2</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	73.0%				10.9%			2.6%			13.5%				100.0%
<b>Gesundheitsnutzen Langsamverkehr</b>	-	-	-	-	-388.5	n.a.	-892.2	-	-	-	-	-	-	-	-1'280.7

PW = Personenwagen, GW = Gesellschaftswagen, MR = Motorrad, fäG = fahrzeugähnliches Gerät, Fuss = Fussverkehr, Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper, Tr = Traktor, Arbm = Arbeitsmaschine, n.a. = not available (nicht verfügbar)

### 16.3.3 Schienenverkehr

Im Schienenverkehr sind die Kosten aufgrund der höheren Unfallkosten um 14 Mio. CHF (je ca. 7 Mio. CHF für Personen- und Güterverkehr) höher und betragen somit insgesamt 758 Mio. CHF bzw. ohne von Dritten verursachte Unfälle 741 Mio. CHF. Davon entfallen 417 Mio. CHF (56%) auf den Personen- und 324 Mio. CHF (44%) auf den Güterverkehr. Die Bedeutung des Kostenbereichs Unfälle steigt von 2.9% (Sicht Verkehrsträger) auf 4.7% (Sicht Verkehrsteilnehmende). Die Ergebnisse finden sich in Abbildung 16-6 in Kapitel 16.1.3.

### 16.3.4 Luftverkehr

Aus Sicht Verkehrsteilnehmende fallen im Luftverkehr die Unfallkosten höher aus: 6.2 statt 1.8 Mio. CHF. Damit ergeben sich auch leicht höhere Gesamtkosten (923 Mio. CHF). Durch diese Anpassung ändert sich beinahe nichts an der Verteilung auf Personen- und Güterver-

kehr, auf die Kostenbereiche, auf Flugplatztypen und auf Flugfahrzeugkategorien (vgl. Abbildung 16-7 und Kapitel 16.1.4).

### 16.3.5 Schiffsverkehr

Auch im Schiffsverkehr sind die Veränderungen sehr gering, da nur die Unfallkosten um 0.3 Mio. CHF höher ausfallen (neu 0.4 Mio. CHF). Aus Sicht Verkehrsteilnehmende betragen die Gesamtkosten des Schiffsverkehrs somit 58 Mio. CHF. Die Verteilung innerhalb des Schiffsverkehrs verändert sich dadurch praktisch nicht (vgl. Abbildung 16-8 und Kapitel 16.1.5).

## 16.4 Soziale Effekte

### 16.4.1 Überblick Gesamtverkehr

Schliesslich sollen auch noch die gesamten sozialen Kosten und Nutzen der im vorliegenden Bericht untersuchten Bereiche dargestellt werden. Dabei werden neu neben den externen Effekten auch die internen Kosten und Nutzen miteinbezogen, d.h. insbesondere auch alle beim Verursacher anfallenden Kosten und Nutzen. Durch den Einbezug der internen Kosten und Nutzen gibt es zwei grosse Veränderungen:

- Die internen **Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr** werden miteinbezogen: Dank der Bewegung im Langsamverkehr erhöht sich die Lebenserwartung und die Anzahl Spitalaufenthalte verringert sich. Zusätzlich zu den ausgewiesenen 1'281 Mio. CHF externe Nutzen beträgt die interne Zahlungsbereitschaft für diesen immateriellen Nutzen (Vermeidung von Leid, Schmerz, Schock und Gewinn an Lebensfreude) ca. 11'000 Mio. CHF.
- Die internen **Unfallkosten** sind zu berücksichtigen: Diese betragen 10'300 Mio. CHF (davon 10'200 Mio. CHF im Strassenverkehr) und bestehen zu ca. drei Vierteln ebenfalls aus immateriellen Kosten, ein grosser Kostenblock sind aber auch die Sachschäden, welche die Unfallverursacher bzw. ihre Haftpflichtversicherungen bezahlen müssen.

Neben diesen Haupteffekten gibt es allerdings zwei weitere Elemente, die im Vergleich zu den externen Kosten zu höheren sozialen Kosten führen:

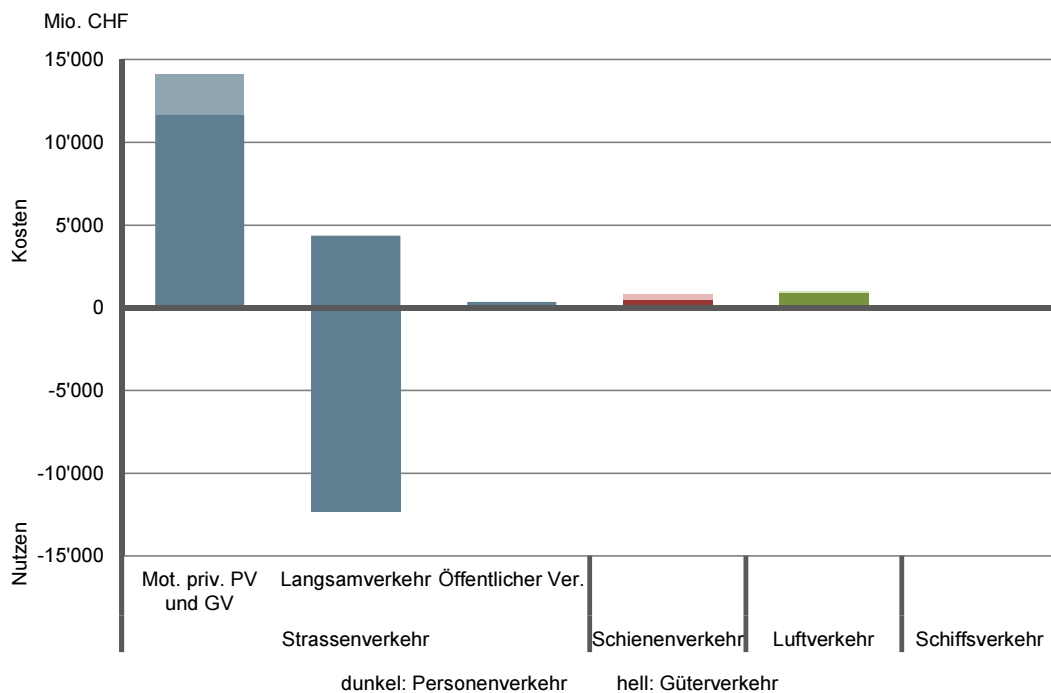
- Internalisierungsbeiträge: Bei der Ermittlung der externen Kosten wurden Internalisierungsbeiträge abgezogen. Für die Ermittlung der sozialen Kosten sind diese nun wieder aufzurechnen. Sie bestehen aus einem Teil der LSVA (720 Mio. CHF), den Einnahmen aus dem Klimarappen (106 Mio. CHF, davon 105 Mio. CHF im Strassenverkehr), den lärmabhängigen Landegebühren (34 Mio. CHF) und den emissionsabhängigen Landegebühren (4 Mio. CHF).
- Trenneffekte, d.h. Wartezeiten im Langsamverkehr, aufgrund des motorisierten Verkehrs (158 Mio. CHF).



Das Total der sozialen Effekte liegt somit bei 20'700 Mio. CHF (vgl. Abbildung 16-12 und Abbildung 16-13). Der Strassenverkehr ist unter anderem aufgrund der hohen Verkehrsleistungen und der hohen Unfallkosten für 91% dieser Kosten verantwortlich (18'800 Mio. CHF). Allerdings muss der Strassenverkehr differenziert betrachtet werden: Der motorisierte Privatverkehr verursacht soziale Kosten von 11'700 Mio. CHF, der Güterverkehr 2'400 Mio. CHF und der öffentliche Strassenverkehr 340 Mio. CHF. Im Langsamverkehr entstehen einerseits Kosten von 4'400 Mio. CHF und andererseits Nutzen von 12'300 Mio. CHF, so dass ein sozialer Nutzenüberschuss von 8'000 Mio. CHF resultiert. Der Luftverkehr verursacht soziale Kosten von 985 Mio. CHF (5%), der Schienenverkehr solche von 800 Mio. CHF (4%) und der Schiffsverkehr lediglich 60 Mio. CHF (0.3%).

**Abbildung 16-12: Überblick über die sozialen Effekte 2010**

Strassen- / Schienenverkehr: Territorialprinzip, Luft- / Schiffsverkehr: Halbstreckenprinzip



**Abbildung 16-13: Überblick über die sozialen Effekte 2010**

Strassen- / Schienenverkehr: Territorialprinzip, Luft- / Schiffsverkehr: Halbstreckenprinzip

Soziale Kosten in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr (ohne LV)	16'374.9	2'432.6	<b>18'807.5</b>	91.1%
Schienenverkehr	444.2	355.1	<b>799.3</b>	3.9%
Luftverkehr	899.9	84.6	<b>984.5</b>	4.8%
Schiffsverkehr	31.1	28.6	<b>59.7</b>	0.3%
<b>Total soziale Kosten</b>	<b>17'750.1</b>	<b>2'901.0</b>	<b>20'651.1</b>	100.0%
in % des Totals	86.0%	14.0%	100.0%	
<b>Gesundheitsnutzen Langsamverkehr</b>	<b>-12'314.4</b>		<b>-12'314.4</b>	

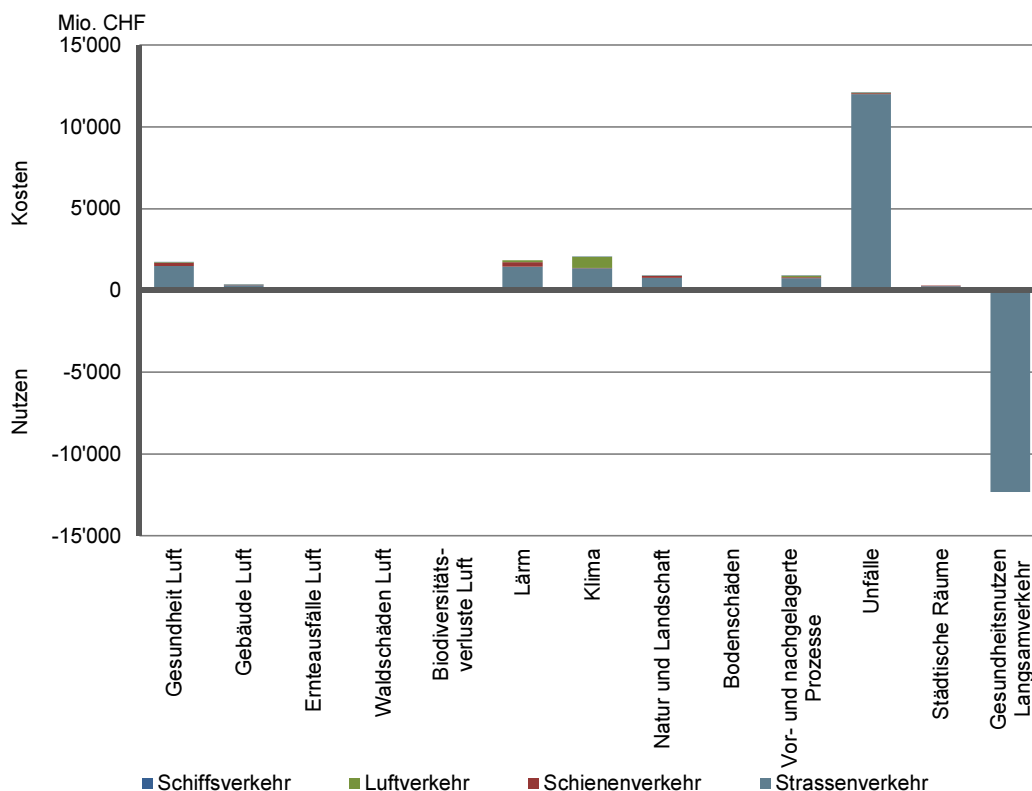
Insgesamt werden 86% der sozialen Kosten durch den Personenverkehr verursacht und 14% durch den Güterverkehr. Der Anteil des Personenverkehrs liegt damit leicht höher als bei den externen Kosten, weil im Strassenverkehr die Unfallkosten vor allem durch den Personenverkehr verursacht werden. Bei den anderen drei Verkehrsträgern ist der Anteil des Personenverkehrs leicht tiefer als bei den externen Kosten (Schienenverkehr 56%, Luftverkehr 91%, Schiffsverkehr 52%, je ca. -1% gegenüber externen Kosten). Die hohen Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr sind dem Personenverkehr zuzurechnen.

Die Abbildung 16-14 zeigt die Beiträge der 13 Kostenbereiche an die Gesamtkosten des Verkehrs auf. Bei den sozialen Kosten stehen die beiden Haupteffekte Unfälle und Gesundheitsnutzen Langsamverkehr mit gut +12 bzw. -12 Mrd. CHF sofort ins Auge. Die Klimakosten, der Lärm und die Gesundheitskosten der Luftverschmutzung verursachen soziale Kosten von je 1'750 bis 2'100 Mio. CHF. Durch vor- und nachgelagerte Prozesse sowie Natur und Landschaft entstehen weitere Kosten von je ca. 900 Mio. CHF. Die übrigen Kostenbereiche sind in der Abbildung kaum mehr erkennbar.

Der Strassenverkehr nimmt vor allem aufgrund der hohen Verkehrsleistungen bei allen untersuchten Kostenbereichen eine dominante Rolle ein. Die Beiträge der anderen Verkehrsträger sind in der Abbildung nur beim Klima, beim Lärm und bei den Gesundheitskosten der Luftverschmutzung noch knapp erkennbar.

**Abbildung 16-14: Soziale Effekte 2010 nach Kostenbestandteilen**

Strassen- / Schienenverkehr: Territorialprinzip, Luft- / Schiffsverkehr: Halbstreckenprinzip

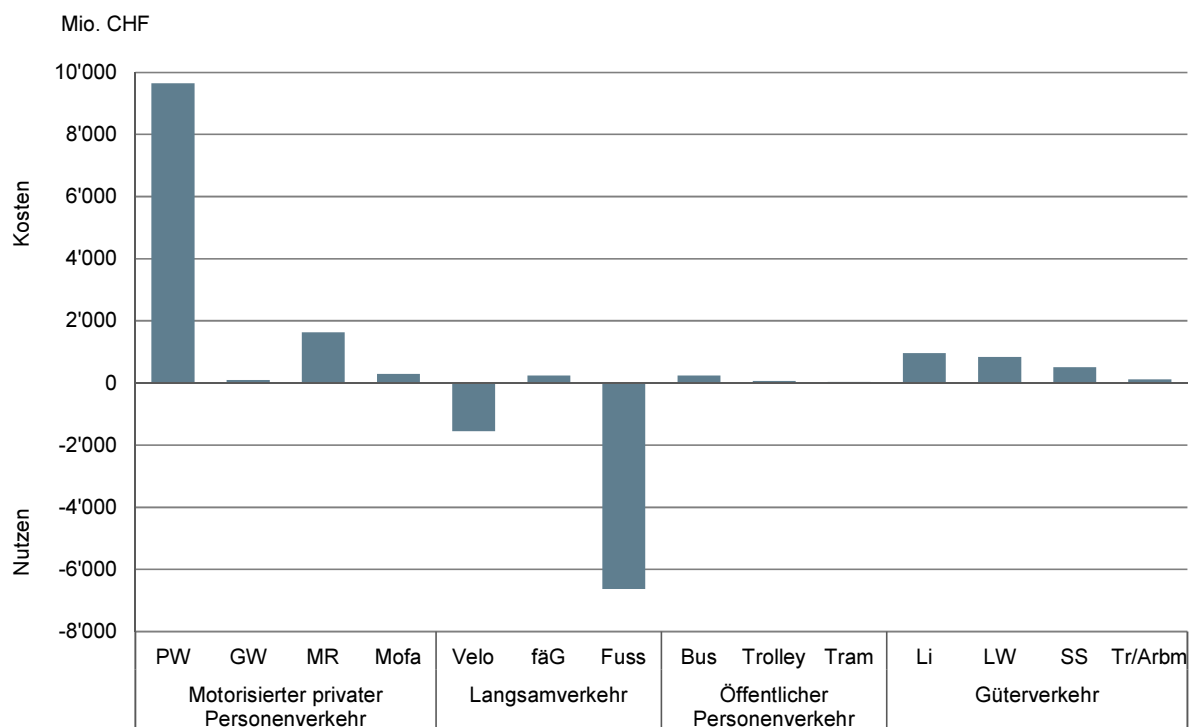


### 16.4.2 Strassenverkehr

Abbildung 16-15 und Abbildung 16-16 zeigen die grossen Unterschiede zwischen den Fahrzeugkategorien des Strassenverkehrs: Einerseits fallen die Personenwagen auf, die 9'600 Mio. CHF soziale Kosten verursachen. Andererseits fällt der Langsamverkehr auf, bei dem soziale Nutzen anfallen: Die sozialen Gesundheitsnutzen sind mit 12'300 Mio. CHF deutlich höher als die durch den Langsamverkehr verursachten Unfallkosten von 4'300 Mio. CHF (und die geringen übrigen Kosten in den anderen untersuchten Bereichen). Die Gegenüberstellung der untersuchten Kostenbereiche führt für den Fussverkehr somit zu einem Nutzenüberschuss von 6'600 Mio. CHF, und auch im Veloverkehr ergibt sich ein Nutzenüberschuss von 1'600 Mio. CHF.<sup>485</sup>

Bei den übrigen Fahrzeugkategorien weisen die Motorräder mit 1'630 Mio. CHF die grössten sozialen Kosten auf, gefolgt von den Lieferwagen, Lastwagen und Sattelschleppern mit 970, 840 bzw. 510 Mio. CHF.

Abbildung 16-15: Soziale Effekte im Strassenverkehr 2010 nach Fahrzeugkategorien



<sup>485</sup> Bei den fäG dürfte bei einer Gegenüberstellung der Kosten und Nutzen in den untersuchten Bereichen auch ein Nutzenüberschuss resultieren, wenn es gelingen würde, die Gesundheitsnutzen zu quantifizieren, was bisher noch nicht möglich war.

Abbildung 16-16: Soziale Effekte im Strassenverkehr 2010 nach Kostenbestandteilen und Fahrzeugkategorien

Soziale Kosten Strassenverkehr in Mio. CHF	Personenverkehr									Güterverkehr				Gesamt- total	
	Motorisierter privater Personenverkehr				Langsamverkehr			Öffentlicher Personenverkehr			Li	LW	SS		Tr/Arbm
	PW	GW	MR	Mofa	Velo	fäG	Fuss	Bus	Trolley	Tram					
Gesundheit Luft	1'019.2	22.7	8.3	0.6	-	-	-	60.2	n.a.	n.a.	129.3	169.4	94.9	n.a.	1'504.6
Gebäude Luft	209.8	4.7	1.7	0.1	-	-	-	12.4	n.a.	n.a.	26.6	34.9	19.5	n.a.	309.7
Ernteauffälle Luft	27.0	1.2	0.6	0.0	-	-	-	3.7	-	-	6.1	10.0	6.9	n.a.	55.5
Waldschäden Luft	25.0	1.0	0.5	0.0	-	-	-	2.9	-	-	4.9	8.0	5.5	n.a.	47.9
Biodiversitätsverluste Luft	86.5	2.3	1.1	0.0	-	-	-	6.8	-	-	12.3	18.8	13.0	n.a.	140.8
Lärm	644.1	17.2	249.7	1.7	-	-	-	35.4	0.3	1.1	142.6	233.6	137.8	n.a.	1'463.5
Klima	1'036.2	10.3	19.5	0.9	-	-	-	28.3	-	-	93.5	102.5	74.2	n.a.	1'365.4
Natur und Landschaft	601.1	4.0	9.0	0.5	4.2	0.1	5.9	9.3	0.1	0.1	45.9	53.5	36.1	n.a.	769.7
Bodenschäden	56.8	2.2	1.2	0.1	-	-	-	4.6	0.5	0.0	10.9	26.2	15.5	n.a.	117.9
Vor- und nachgelagerte Prozesse	537.3	4.8	8.7	0.5	12.3	0.5	21.6	11.5	1.9	6.2	49.7	56.4	46.8	n.a.	758.1
Unfälle	5'188.5	28.0	1'327.3	288.9	2'158.2	237.1	1'919.4	58.6	57.0	32.5	422.6	118.9	52.3	115.4	12'004.8
Städtische Räume	218.3	0.8	4.5	0.3	-	-	-	5.2	0.9	1.5	22.5	8.5	7.0	n.a.	269.5
<b>Total aller Kostenbereiche</b>	<b>9'649.8</b>	<b>99.0</b>	<b>1'631.9</b>	<b>293.7</b>	<b>2'174.7</b>	<b>237.8</b>	<b>1'946.9</b>	<b>238.9</b>	<b>60.8</b>	<b>41.5</b>	<b>966.8</b>	<b>840.8</b>	<b>509.6</b>	<b>115.4</b>	<b>18'807.5</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	<b>51.3%</b>	<b>0.5%</b>	<b>8.7%</b>	<b>1.6%</b>	<b>11.6%</b>	<b>1.3%</b>	<b>10.4%</b>	<b>1.3%</b>	<b>0.3%</b>	<b>0.2%</b>	<b>5.1%</b>	<b>4.5%</b>	<b>2.7%</b>	<b>0.6%</b>	<b>100.0%</b>
<b>Total Teilbereiche</b>		<b>11'674.3</b>			<b>4'359.4</b>			<b>341.2</b>			<b>2'432.6</b>				<b>18'807.5</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>		<b>62.1%</b>			<b>23.2%</b>			<b>1.8%</b>			<b>12.9%</b>				<b>100.0%</b>
<b>Gesundheitsnutzen Langsamverkehr</b>	-	-	-	-	<b>-3'732.8</b>	<b>n.a.</b>	<b>-8'581.6</b>	-	-	-	-	-	-	-	<b>-12'314.4</b>

PW = Personenwagen, GW = Gesellschaftswagen, MR = Motorrad, fäG = fahrzeughähnliches Gerät, Fuss = Fussverkehr, Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper, Tr = Traktor, Arbm = Arbeitsmaschine, n.a. = not available (nicht verfügbar)

### 16.4.3 Schienenverkehr

Im Schienenverkehr fallen im Vergleich zu den externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger die Unfallkosten um 117 Mio. CHF höher aus und betragen somit 139 Mio. CHF, wovon 62 Mio. CHF von Dritten verursacht werden und damit nicht dem Schienenverkehr anzulasten sind (und deshalb in Abbildung 16-13 ausgeschlossen werden). Auf den Personenverkehr entfallen 444 Mio. CHF, auf den Güterverkehr 355 Mio. CHF (siehe Abbildung 16-17).

Abbildung 16-17: Soziale Effekte im Schienenverkehr 2010 nach Kostenbestandteilen

Soziale Kosten in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Dritte	Total
<b>Schieneverkehr</b>				
Gesundheit Luft	116.0	69.1		<b>185.0</b>
Gebäude Luft	23.8	14.2		<b>38.0</b>
Ernteauffälle Luft	0.1	0.7		<b>0.8</b>
Waldschäden Luft	0.1	0.6		<b>0.7</b>
Biodiversitätsverluste Luft	0.2	1.3		<b>1.5</b>
Lärm	101.0	168.1		<b>269.1</b>
Klima	0.6	3.5		<b>4.1</b>
Natur und Landschaft	87.9	31.1		<b>119.0</b>
Bodenschäden	21.1	3.1		<b>24.3</b>
Vor- und nachgelagerte Prozesse	29.2	18.8		<b>48.0</b>
Unfälle	35.8	40.5	62.5	<b>138.8</b>
Städtische Räume	28.3	4.2		<b>32.5</b>
<b>Total</b>	<b>444.2</b>	<b>355.1</b>	<b>62.5</b>	<b>861.8</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	<b>51.5%</b>	<b>41.2%</b>	<b>7.2%</b>	<b>100.0%</b>

Im Schienenverkehr sind die Lärmkosten mit 31% des Totals am bedeutsamsten, gefolgt von den Gesundheitskosten der Luftbelastung mit 21% und den Unfällen mit 16% sowie Natur und Landschaft mit 14%. Die übrigen Kostenbereiche tragen jeweils nur 6% oder weniger zum Total bei.

#### 16.4.4 Luftverkehr

Durch den Wechsel von den externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger zu den sozialen Kosten entstehen im Luftverkehr 28 Mio. CHF höhere Unfallkosten. Zudem müssen die Internalisierungen der Lärm- und Luftverschmutzungskosten von 34 bzw. 4 Mio. CHF addiert werden. Damit betragen die sozialen Kosten im Luftverkehr 985 Mio. CHF, wobei 91% oder 900 Mio. CHF vom Personenverkehr verursacht werden und 85 Mio. CHF vom Güterverkehr (siehe Abbildung 16-18). Weiterhin dominieren die Klimakosten das Ergebnis (70%), gefolgt von den vor- und nachgelagerten Prozessen und dem Lärm mit 11% bzw. 10%. Die übrigen Kostenbereiche machen nur noch je 4% oder weniger aus. Verwendet man als Sensitivitätsrechnung den minimalen bzw. maximalen CO<sub>2</sub>-Kostensatz für die Klimakosten und die vor- und nachgelagerten Prozesse, schwanken die Gesamtkosten des Luftverkehrs zwischen 650 und 1'580 Mio. CHF.

Abbildung 16-18: Soziale Effekte im Luftverkehr 2010 nach Kostenbestandteilen

Soziale Kosten in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
<b>Luftverkehr</b>			
Gesundheit Luft	37.1	3.7	<b>40.8</b>
Gebäude Luft	7.6	0.8	<b>8.4</b>
Ernteaussfälle Luft	1.4	0.1	<b>1.6</b>
Waldschäden Luft	1.2	0.1	<b>1.3</b>
Biodiversitätsverluste Luft	2.7	0.3	<b>3.0</b>
Lärm	93.6	6.6	<b>100.1</b>
Klima	627.1	59.0	<b>686.1</b>
Natur und Landschaft	5.4	0.5	<b>6.0</b>
Bodenschäden	-	-	-
Vor- und nachgelagerte Prozesse	98.3	9.3	<b>107.6</b>
Unfälle	25.4	4.2	<b>29.6</b>
Städtische Räume	-	-	-
<b>Total</b>	<b>899.9</b>	<b>84.6</b>	<b>984.5</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	<b>91.4%</b>	<b>8.6%</b>	<b>100.0%</b>

Weitere Berechnungen zeigen, dass 927 Mio. CHF (94%) bei Flügen ab / nach Landesflughäfen verursacht werden und 56 Mio CHF (6%) bei Flügen ab / nach Regionalflughäfen.<sup>486</sup>

<sup>486</sup> Rund 2 Mio. CHF an Unfallkosten können nicht eindeutig auf eine der beiden Kategorien zugeordnet werden.

Der Linien- und Charterverkehr ist für 89% der Kosten verantwortlich, wobei 43% oder 424 Mio. CHF auf interkontinentale Flüge entfallen und 46% oder 453 Mio. CHF auf europäische. Helikopter verursachen Kosten von 11 Mio. CHF (1.1%), auf die General Aviation entfallen 97 Mio. CHF (10%).

#### 16.4.5 Schiffsverkehr

Im Schiffsverkehr sind die sozialen Kosten nur geringfügig höher als die externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger: Die Unfallkosten fallen um 1.6 Mio. CHF und die Klimakosten um 0.6 Mio. CHF (wegen der Internalisierung durch den Klimarappen) höher aus. Die sozialen Kosten betragen somit 60 Mio. CHF (siehe Abbildung 16-19). An den Verteilungen innerhalb des Schiffsverkehrs ändert sich damit nur wenig (vgl. Kapitel 16.1.5).

Abbildung 16-19: Soziale Effekte im Schiffsverkehr 2010 nach Kostenbestandteilen

Soziale Kosten in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
<b>Schiffsverkehr</b>			
Gesundheit Luft	17.0	12.5	29.4
Gebäude Luft	3.5	2.6	6.1
Ernteausfälle Luft	0.8	0.6	1.4
Waldschäden Luft	0.7	0.5	1.2
Biodiversitätsverluste Luft	1.6	1.1	2.7
Lärm	-	-	-
Klima	5.2	3.6	8.8
Natur und Landschaft	0.8	4.2	5.0
Bodenschäden	-	-	-
Vor- und nachgelagerte Prozesse	1.5	1.9	3.4
Unfälle	0.1	1.6	1.7
Städtische Räume	-	-	-
<b>Total</b>	<b>31.1</b>	<b>28.6</b>	<b>59.7</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	<b>52.1%</b>	<b>47.9%</b>	<b>100.0%</b>

## 16.5 Externe und soziale Effekte pro Leistungseinheit

### 16.5.1 Datengrundlagen

Schliesslich sollen noch die externen bzw. sozialen Effekte pro Leistungseinheit (d.h. pro Fahrzeugkilometer Fzkm, Personenkilometer pkm, Tonnenkilometer tkm und Zugkilometer Zugkm) bestimmt werden. Dabei basieren die Daten für die Höhe der externen und sozialen Effekte des Verkehrs auf den vorangehenden Zusammenstellungen in diesem Kapitel. Für die Leistungseinheiten wurden grundsätzlich folgende Quellen verwendet:

- Strassen- und Schienenverkehr: Offizielle Zahlen des BFS
- Luftverkehr: Spezialauswertung des BAZL nach dem Halbstreckenprinzip
- Schiffsverkehr: Angaben aus der Studie zum Schiffsverkehr<sup>487</sup>

Für die Kostenbereiche Lärm, Gesundheits- sowie Gebäudeschäden durch Luftverschmutzung erfolgt die Umrechnung auf die Fahr- und Verkehrsleistung im Strassen- und Schienenverkehr jeweils auf den Inputmengen, die dem jeweiligen Berechnungsmodell (Lärmmodell SonBase bzw. Schadstoffausbreitungsmodell) zugrunde lagen.<sup>488</sup>

## 16.5.2 Strassenverkehr

### a) Effekte pro Fahrzeugkilometer

Die Kosten pro Fzkm sind wenig überraschend besonders in den grossen Fahrzeugkategorien hoch, insbesondere bei Bussen mit 72 Rappen / Fzkm und Gesellschaftswagen mit 60 (Gesellschaftswagen abzüglich LSVA noch 49 Rp / Fzkm – siehe Abbildung 16-20 und Abbildung 16-21). Auch der schwere Güterverkehr kommt auf Kosten von ca. 50 Rp / Fzkm – wird ein Teil der LSVA als Internalisierungsbeitrag angerechnet, sinken diese jedoch auf 23 (Lastwagen) bzw. 13 (Sattelschlepper) Rp / Fzkm. Bei den Personenwagen belaufen sich die externen Kosten auf 9 Rp / Fzkm. Auffällig sind des Weiteren die hohen Kosten von Mofas, fäG und Motorrädern (32 bis 48 Rp / Fzkm). Dies ist auf die hohen von ihnen verursachten Unfallkosten zurückzuführen und bei den Motorrädern zudem auf die Lärmkosten (vgl. Abbildung 16-21). Beim Fussverkehr sind die externen Nutzen von 18 Rp / km deutlich höher als die externen Kosten mit 8 Rp / km. Hingegen reichen bei den Velos die externen Gesundheitsnutzen des Langsamverkehrs nicht ganz aus, um die von Velofahrenden verursachten hohen externen Unfallkosten zu decken, so dass externe Kosten von 4 Rp / Fzkm verbleiben.

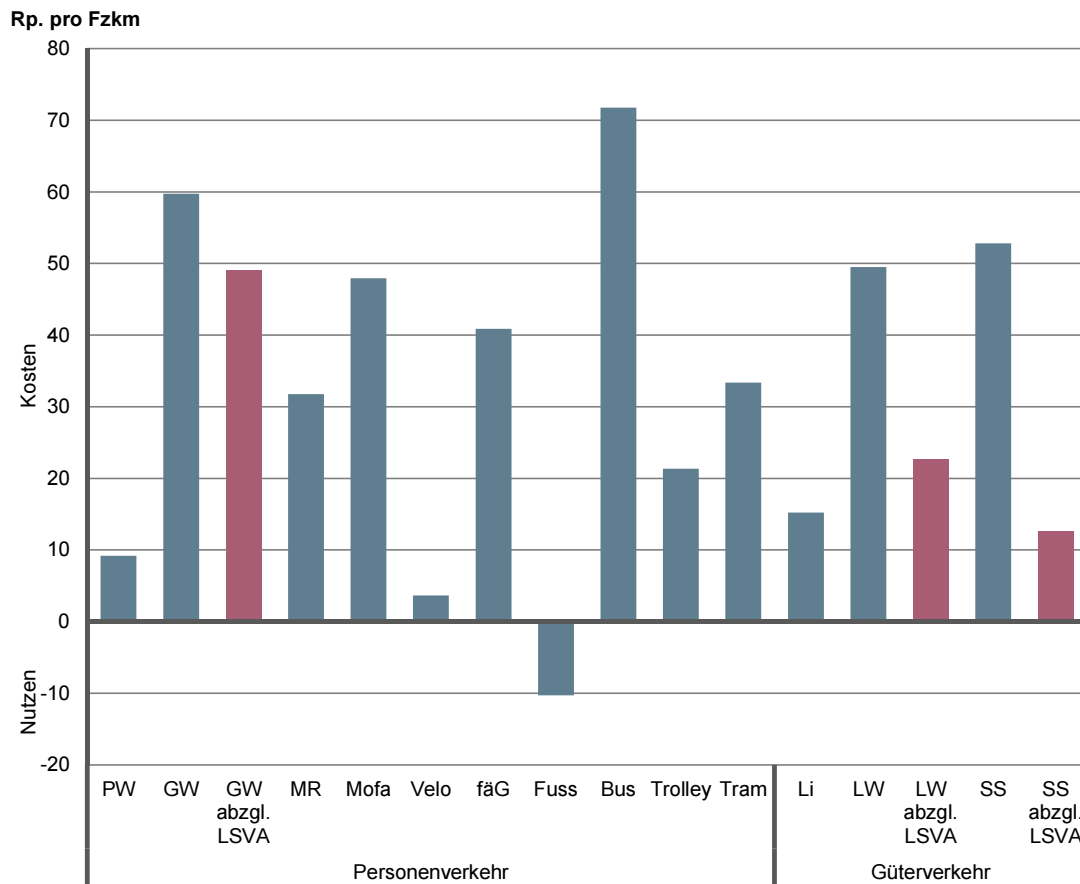
Die externen Kosten aus **Sicht Verkehrsart** Schwerverkehr liegen nur geringfügig höher als aus Sicht Verkehrsträger (vgl. unterste Zeilen in Abbildung 16-21). Aus **Sicht Verkehrsteilnehmende** liegen die Kosten um 0.3 bis 6 Rp / Fzkm höher als aus Sicht Verkehrsträger – ausser in den Kategorien Trolleybus und Tram, in denen sie um 38 bzw. 24 Rp / Fzkm höher sind, und damit etwa gleich hoch ausfallen wie die Kosten der Gesellschaftswagen (abzüglich LSVA-Anteil).

---

<sup>487</sup> IRENE und Ecosys (2013), L'integration de la navigation dans le compte des transports.

<sup>488</sup> Der Input in diese Modelle basiert zwar auch auf publizierten Angaben des BFS. Allerdings wurden in den letzten Jahren die Fahr- und Verkehrsleistungen verschiedentlich vom BFS an neue Erkenntnisse angepasst, so dass die ursprünglich verwendeten Inputdaten für die Berechnungsmodelle (Lärm, Schadstoffausbreitung) nicht mehr mit den aktuellen Daten des BFS für 2010 übereinstimmen.

Abbildung 16-20: Externe Effekte aus Sicht Verkehrsträger pro Fahrzeugkilometer im Strassenverkehr 2010



Bei den **sozialen Kosten** zeigen sich deutliche Unterschiede zu den vorangehenden Grössenordnungen: Aufgrund der hohen Unfallkosten liegen die sozialen Kosten von Trolleybus, Mofas und fäG über 200 Rp / Fzkm (bei den fäG allerdings ohne Gesundheitsnutzen). Auch das Tram verursacht soziale Kosten von beinahe 150 Rp / Fzkm und das Motorrad von 94 Rp / Fzkm. Der schwere Güterverkehr kommt bei gut 58 Rp / Fzkm zu liegen und die Personenwagen bei 19 Rp / Fzkm. Der Fuss- bzw. Veloverkehr aber generiert soziale Nutzen von 136 bzw. 74 Rp / Fzkm.



Abbildung 16-21: Externe und soziale Effekte pro Fahrzeugkilometer im Strassenverkehr 2010

Externe Effekte pro Fzkm Strassenverkehr	Personenverkehr										Güterverkehr		
	Motorisierter privater Personenverkehr				Langsamverkehr			Öffentlicher Personenverkehr			Güterverkehr		
	PW	GW	MR	Mofa	Velo	fäG	Fuss	Bus	Trolley	Tram	Li	LW	SS
<b>Mio. Fzkm</b>													
Grundlage Gesundheit / Gebäude Luft	57'418.0	119.0	2'264.5	144.5	2'116.0	113.8	4'894.9	250.0	27.0	28.4	3'607.0	1'449.0	855.0
Grundlage Lärm	53'023.4	123.1	1'790.0	137.7	2'116.0	113.8	4'894.9	253.9	28.1	29.6	3'792.2	1'556.6	918.4
Grundlage Übrige	50'948.6	118.3	1'720.0	132.3	2'116.0	113.8	4'894.9	244.0	27.0	28.4	3'643.8	1'400.6	826.4
<b>Rp. pro Fzkm</b>													
Gesundheit Luft	1.8	19.1	0.4	0.4	-	-	-	24.1	n.a.	n.a.	3.6	11.7	11.1
Gebäude Luft	0.4	3.9	0.1	0.1	-	-	-	4.9	n.a.	n.a.	0.7	2.4	2.3
Ernteausfälle Luft	0.1	1.0	0.0	0.0	-	-	-	1.5	-	-	0.2	0.7	0.8
Waldschäden Luft	0.0	0.8	0.0	0.0	-	-	-	1.2	-	-	0.1	0.6	0.7
Biodiversitätsverluste Luft	0.2	1.9	0.1	0.0	-	-	-	2.8	-	-	0.3	1.3	1.6
Lärm	1.2	13.9	13.9	1.2	-	-	-	13.9	1.2	3.8	3.8	15.0	15.0
Klima	1.9	8.0	1.0	0.6	-	-	-	10.7	-	-	2.4	6.8	8.3
Natur und Landschaft	1.2	3.3	0.5	0.4	0.2	0.1	0.1	3.8	0.4	0.4	1.3	3.8	4.4
Bodenschäden	0.1	1.9	0.1	0.1	-	-	-	1.9	1.9	0.0	0.3	1.9	1.9
Vor- und nachgelagerte Prozesse	1.1	4.0	0.5	0.4	0.6	0.4	0.4	4.7	7.0	21.9	1.4	4.0	5.7
Unfälle	1.2	1.5	15.0	44.6	21.3	40.3	7.4	1.3	9.5	5.1	0.9	1.0	0.8
Städtische Räume	0.2	0.3	0.1	0.1	-	-	-	0.9	1.4	2.2	0.3	0.3	0.4
Gesundheitsnutzen Langsamverkehr	-	-	-	-	-18.4	n.a.	-18.2	-	-	-	-	-	-
<b>Total aller Kostenbereiche</b>	<b>9.2</b>	<b>59.7</b>	<b>31.7</b>	<b>47.9</b>	<b>3.7</b>	<b>40.9</b>	<b>-10.3</b>	<b>71.8</b>	<b>21.3</b>	<b>33.4</b>	<b>15.2</b>	<b>49.5</b>	<b>52.8</b>
<b>Abzug LSVA-Anteil</b>	<b>-</b>	<b>10.6</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>26.8</b>	<b>40.2</b>
<b>Total mit LSVA Abzug</b>	<b>9.2</b>	<b>49.1</b>	<b>31.7</b>	<b>47.9</b>	<b>3.7</b>	<b>40.9</b>	<b>-10.3</b>	<b>71.8</b>	<b>21.3</b>	<b>33.4</b>	<b>15.2</b>	<b>22.7</b>	<b>12.6</b>
<b>Total Teilbereiche</b>		<b>10.1</b>				<b>-5.3</b>		<b>63.7</b>			<b>29.0</b>		
<b>Gesamttotal Sicht Verkehrsart</b>		<b>53.4</b>										<b>24.4</b>	<b>14.4</b>
<b>Gesamttotal Sicht Verkehrsteilnehmende</b>	<b>10.5</b>	<b>54.9</b>	<b>35.2</b>	<b>52.2</b>	<b>4.7</b>	<b>45.1</b>	<b>-10.0</b>	<b>77.3</b>	<b>59.8</b>	<b>57.4</b>	<b>16.9</b>	<b>24.5</b>	<b>14.4</b>
<b>Gesamttotal soziale Kosten</b>	<b>18.6</b>	<b>83.0</b>	<b>94.2</b>	<b>221.9</b>	<b>-73.6</b>	<b>208.9</b>	<b>-135.5</b>	<b>96.6</b>	<b>225.0</b>	<b>145.7</b>	<b>26.4</b>	<b>57.9</b>	<b>59.5</b>

PW = Personenwagen, GW = Gesellschaftswagen, MR = Motorrad, fäG = fahrzeugähnliches Gerät, Fuss = Fussverkehr, Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper, n.a. = not available (nicht verfügbar)

## b) Effekte pro Personen- bzw. Tonnenkilometer

Im **Personenverkehr** verursachen Mofas und fäG aufgrund der hohen Unfallkosten aus Sicht Verkehrsträger die höchsten externen Kosten (48 bzw. 41 Rp / pkm, bei den fäG wiederum ohne Gesundheitsnutzen – vgl. Abbildung 16-22 und Abbildung 16-23). Auch Motorräder führen zu Kosten von 24 Rp / pkm (vor allem wegen hoher Unfall- und Lärmkosten). Etwas überraschend verursachen Busse mit 7.0 Rp / pkm etwas höhere Kosten als Personenwagen mit 5.6 Rp / pkm. Dies ist vor allem auf die bei den Bussen höheren Kosten der Luftverschmutzung und des Lärms zurückzuführen, die durch die übrigen Effekte nicht aufgewogen werden können. Bei den Bussen kann aber aufgrund der Datengrundlagen nicht zwischen städtischen Bussen und Regionalbussen unterschieden werden, wobei die städtischen Busse aufgrund der höheren Auslastung besser abschneiden würden. Zudem sollten die Busse nicht isoliert betrachtet werden, sondern als Teil einer möglicherweise langen ÖV-Wegekette mit weiteren Teilstücken im Zug (2.3 Rp / pkm) oder im Tram oder Trolleybus, die beide nur

auf 1 Rp / pkm zu liegen kommen. Die Differenz zwischen Bussen bzw. Trams / Trolleybussen ist auf die vergleichsweise hohen Besetzungsgrade von Trolleybussen und Trams (19 bzw. 34) im Vergleich zu Bussen (10) sowie auf die unterschiedliche Antriebsart (Emissionen und Lärm) zurückzuführen. Insgesamt liegen die Kosten des öffentlichen Personenverkehrs (nur Strasse, ohne Schiene) aber 1.0 Rp / pkm unter den Kosten des motorisierten privaten Verkehrs. Zudem ist zu beachten, dass Personenwagen in Städten zu höheren Kosten führen als auf Autobahnen. Im innerstädtischen Verkehr dürfte deshalb der Bus klar tiefere externe Kosten pro pkm aufweisen als die Personenwagen. Der Fussverkehr ermöglicht einen externen Nutzenüberschuss von 10 Rp / pkm, im Veloverkehr hingegen sind die verursachten Unfallkosten höher als die Gesundheitsnutzen (insgesamt Kosten von 4 Rp / pkm).

**Abbildung 16-22: Externe Effekte aus Sicht Verkehrsträger pro Personen- bzw. Tonnenkilometer im Strassenverkehr 2010**

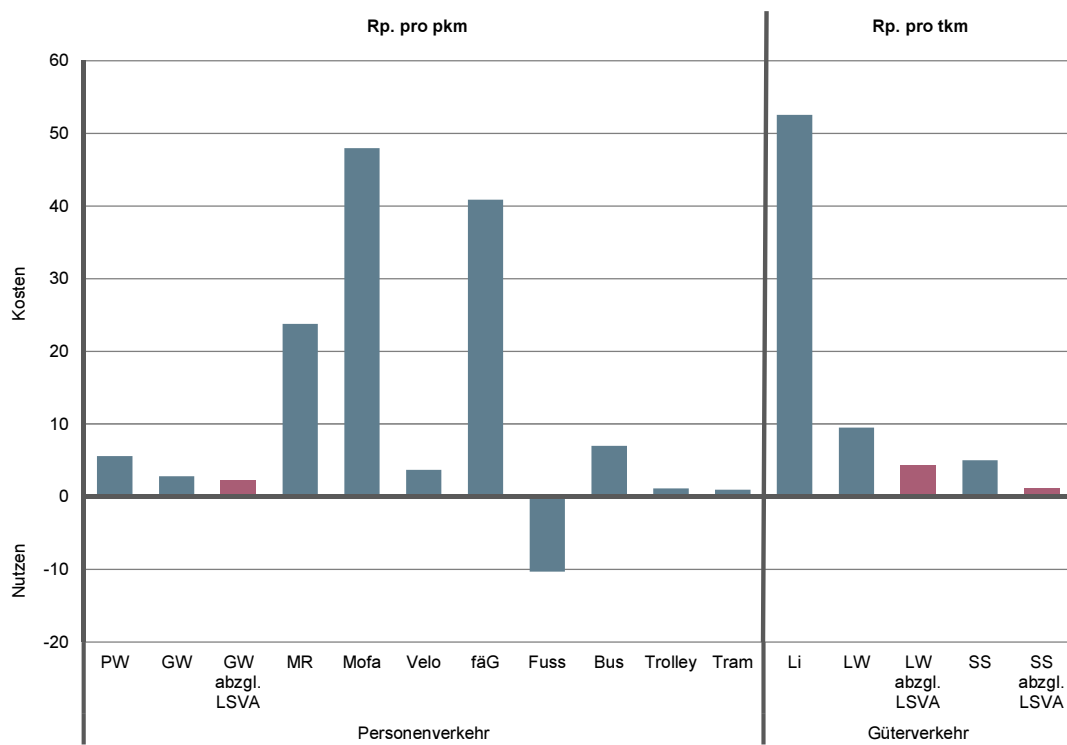


Abbildung 16-23: Externe und soziale Effekte pro Personen- bzw. Tonnenkilometer im Strassenverkehr 2010

Externe Effekte pro pkm / tkm Strassenverkehr	Personenverkehr in Rp / pkm										Güterverkehr in Rp / tkm			
	Motorisierter privater Personenverkehr				Langsamverkehr			Öffentlicher Personenverkehr			Li	LW	SS	
	PW	GW	MR	Mofa	Velo	fäG	Fuss	Bus	Trolley	Tram				
<b>Mio. pkm bzw. tkm</b>														
Grundlage Gesundheit / Gebäude Luft	94'412.2	2'513.3	3'022.5	144.5	2'116.0	113.8	4'894.9	2'573.0	515.3	978.2	1'044.1	7'535.0	9'021.5	
Grundlage Lärm	87'186.1	2'600.7	2'389.3	137.7	2'116.0	113.8	4'894.9	2'613.5	536.3	1'018.0	1'097.7	8'094.2	9'691.0	
Grundlage Übrige	83'774.6	2'499.0	2'295.8	132.3	2'116.0	113.8	4'894.9	2'511.2	515.3	978.2	1'054.8	7'283.1	8'719.9	
<b>Rp. pro pkm bzw. tkm</b>														
Gesundheit Luft	1.1	0.9	0.3	0.4	-	-	-	2.3	n.a.	n.a.	12.4	2.2	1.1	
Gebäude Luft	0.2	0.2	0.1	0.1	-	-	-	0.5	n.a.	n.a.	2.5	0.5	0.2	
Ernteausfälle Luft	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	0.1	-	-	0.6	0.1	0.1	
Waldschäden Luft	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	0.1	-	-	0.5	0.1	0.1	
Biodiversitätsverluste Luft	0.1	0.1	0.0	0.0	-	-	-	0.3	-	-	1.2	0.3	0.1	
Lärm	0.7	0.7	10.4	1.2	-	-	-	1.4	0.1	0.1	13.0	2.9	1.4	
Klima	1.1	0.4	0.8	0.6	-	-	-	1.0	-	-	8.2	1.3	0.8	
Natur und Landschaft	0.7	0.2	0.4	0.4	0.2	0.1	0.1	0.4	0.0	0.0	4.3	0.7	0.4	
Bodenschäden	0.1	0.1	0.1	0.1	-	-	-	0.2	0.1	0.0	1.0	0.4	0.2	
Vor- und nachgelagerte Prozesse	0.6	0.2	0.4	0.4	0.6	0.4	0.4	0.5	0.4	0.6	4.7	0.8	0.5	
Unfälle	0.7	0.1	11.2	44.6	21.3	40.3	7.4	0.1	0.5	0.1	3.2	0.2	0.1	
Städtische Räume	0.1	0.0	0.1	0.1	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.9	0.0	0.0	
Gesundheitsnutzen Langsamverkehr	-	-	-	-	-18.4	n.a.	-18.2	-	-	-	-	-	-	
<b>Total aller Kostenbereiche</b>	<b>5.6</b>	<b>2.8</b>	<b>23.8</b>	<b>47.9</b>	<b>3.7</b>	<b>40.9</b>	<b>-10.3</b>	<b>7.0</b>	<b>1.1</b>	<b>1.0</b>	<b>52.6</b>	<b>9.5</b>	<b>5.0</b>	
<b>Abzug LSWA-Anteil</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>5.2</b>	<b>3.8</b>	
<b>Total mit LSWA Abzug</b>	<b>5.6</b>	<b>2.3</b>	<b>23.8</b>	<b>47.9</b>	<b>3.7</b>	<b>40.9</b>	<b>-10.3</b>	<b>7.0</b>	<b>1.1</b>	<b>1.0</b>	<b>52.6</b>	<b>4.4</b>	<b>1.2</b>	
<b>Total Teilbereiche</b>		<b>6.0</b>				<b>-5.3</b>			<b>4.8</b>			<b>9.8</b>		
<b>Gesamttotal Sicht Verkehrsart</b>		<b>2.5</b>										<b>4.7</b>	<b>1.4</b>	
<b>Gesamttotal Sicht Verkehrsteilnehmende</b>	<b>6.4</b>	<b>2.6</b>	<b>26.3</b>	<b>52.2</b>	<b>4.7</b>	<b>45.1</b>	<b>-10.0</b>	<b>7.5</b>	<b>3.1</b>	<b>1.7</b>	<b>58.3</b>	<b>4.7</b>	<b>1.4</b>	
<b>Gesamttotal soziale Kosten</b>	<b>11.3</b>	<b>3.9</b>	<b>70.6</b>	<b>221.9</b>	<b>-73.6</b>	<b>208.9</b>	<b>-135.5</b>	<b>9.4</b>	<b>11.8</b>	<b>4.2</b>	<b>91.3</b>	<b>11.1</b>	<b>5.6</b>	

PW = Personenwagen, GW = Gesellschaftswagen, MR = Motorrad, fäG = fahrzeugähnliches Gerät, Fuss = Fussverkehr, Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper, n.a. = not available (nicht verfügbar)

Aus Sicht Verkehrsteilnehmende sind die Kosten je nach Fahrzeugkategorie um 0.3 bis 4.3 Rp / pkm höher als aus Sicht Verkehrsträger. Die sozialen Kosten liegen bei Mofas und fäG über 200 Rp / pkm, und auch die Motorräder erreichen 71 Rp / pkm. Die Personenwagen liegen nun mit 11 Rp / pkm über dem öffentlichen Personenverkehr mit durchschnittlich 8 Rp / pkm. Der Langsamverkehr kann dank der Gesundheitsnutzen wiederum grössere Nutzen ausweisen.

Im **Güterverkehr** verursachen die Lieferwagen aufgrund der geringen Transportmengen (0.3t pro Fahrzeug) mit 53 Rp / tkm die höchsten externen Kosten. Lastwagen mit durchschnittlich 5.2t pro Fahrzeug bzw. Sattelschlepper mit 10.6t verursachen Kosten von 4.4 bzw. 1.2 Rp / tkm (nach Anrechnung des LSWA-Anteils). Diese sind aus Sicht Verkehrsart Schwerverkehr und aus Sicht Verkehrsteilnehmende nur wenig höher als aus Sicht Verkehrsträger. Die sozialen Kosten liegen jedoch deutlich höher (bei 91, 11 bzw. 6 Rp / tkm).

### 16.5.3 Schienenverkehr

Aus Sicht Verkehrsträger liegen die externen Kosten der Bahn im Personenverkehr bei 237 Rp / Zugkm, im Güterverkehr hingegen bei 1'031 Rp / Zugkm – und damit gut 4-mal höher (vgl. Abbildung 16-24). Dies ist einerseits auf die meist langen Güterzüge zurückzuführen, andererseits auf die sehr hohen Lärmkosten der Güterzüge (die oft in der Nacht verkehren). Auch bei den Gesundheitskosten der Luftbelastung, bei Natur und Landschaft sowie bei den vor- und nachgelagerten Prozessen sind grössere Unterschiede zwischen Personen- und Güterverkehr erkennbar.

Pro Personenkilometer fallen im Schienenverkehr Kosten von 2.3 Rp / pkm an. Dies ist vor allem auf Gesundheitskosten der Luftverschmutzung, Lärm und Natur und Landschaft zurückzuführen. Im Güterverkehr entstehen Kosten von 2.8 Rp / tkm.<sup>489</sup>

Die externen Kosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende (pro Zugkm, pkm und tkm) steigen nur um 1% bis 3%. Die sozialen Kosten sind im Personenverkehr um 8% höher, im Güterverkehr um 14%.

**Abbildung 16-24: Externe und soziale Effekte pro Fahr- und Verkehrsleistung im Schienenverkehr 2010**

Externe Kosten Schienenverkehr	Kosten pro Zugkm			pro pkm	pro tkm
	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	Personenverkehr	Güterverkehr
<b>Mio. Zugkm, pkm bzw. tkm</b>					
Grundlage Gesundheit / Gebäude Luft	163.5	27.4	<b>191.0</b>	17'100.0	9'923.2
Grundlage Lärm	170.6	34.6	<b>205.2</b>	17'838.6	12'518.6
Grundlage Übrige	183.4	27.1	<b>210.5</b>	19'177.0	9'805.0
<b>Rp. pro Zugkm</b>					
Gesundheit Luft	70.9	251.8	<b>96.9</b>	0.68	0.70
Gebäude Luft	14.6	51.7	<b>19.9</b>	0.14	0.14
Ernteauffälle Luft	0.1	2.6	<b>0.4</b>	0.00	0.01
Waldschäden Luft	0.1	2.1	<b>0.3</b>	0.00	0.01
Biodiversitätsverluste Luft	0.1	4.8	<b>0.7</b>	0.00	0.01
Lärm	59.2	485.9	<b>131.1</b>	0.57	1.34
Klima	0.3	11.8	<b>1.8</b>	0.00	0.03
Natur und Landschaft	47.9	114.8	<b>56.5</b>	0.46	0.32
Bodenschäden	11.5	11.5	<b>11.5</b>	0.11	0.03
Vor- und nachgelagerte Prozesse	15.9	69.4	<b>22.8</b>	0.15	0.19
Unfälle	1.1	8.8	<b>2.1</b>	0.01	0.02
Städtische Räume	15.4	15.4	<b>15.4</b>	0.15	0.04
<b>Total</b>	<b>237.1</b>	<b>1'030.6</b>	<b>359.5</b>	<b>2.27</b>	<b>2.85</b>
<b>% Abweichung zum Durchschnitt</b>	<b>-34.0%</b>	<b>186.7%</b>			
<b>Gesamttotal Sicht Verkehrsteilnehmende</b>	<b>240.6</b>	<b>1'058.2</b>	<b>1'298.8</b>	<b>2.30</b>	<b>2.92</b>
<b>Gesamttotal soziale Kosten</b>	<b>255.6</b>	<b>1'172.4</b>	<b>1'428.0</b>	<b>2.44</b>	<b>3.24</b>

<sup>489</sup> Dabei werden die sogenannten NNtkm (NettoNetto-tkm) verwendet, bei denen nur das Gewicht der transportierten Güter berücksichtigt wird (wie in den anderen Verkehrsträgern).

#### 16.5.4 Luftverkehr

Im Luftverkehr belaufen sich die externen Kosten für den Personentransport auf 2.7 Rp / pkm (Sicht Verkehrsträger – vgl. Abbildung 16-25). Im Frachtverkehr liegen die Kosten in der Sicht Verkehrsträger bei 7.6 Rp / tkm. Der Grossteil der Kosten stammt jeweils vom Klimabereich. Aus Sicht Verkehrsteilnehmende steigen die Kosten um weniger als 0.5%, die sozialen Kosten fallen ebenfalls nur um 7% bzw. 10% höher aus.

Abbildung 16-25: Externe und soziale Effekte pro Verkehrsleistung im Luftverkehr 2010

Externe Kosten pro pkm bzw. tkm Luftverkehr	Personenverkehr pkm	Güterverkehr tkm
<b>Mio. pkm bzw. tkm</b>		
Berechnungsgrundlage	30'748.2	1'016.0
<b>Rp. pro pkm bzw. tkm</b>		
Gesundheit Luft	0.11	0.33
Gebäude Luft	0.02	0.08
Ernteauffälle Luft	0.00	0.01
Waldschäden Luft	0.00	0.01
Biodiversitätsverluste Luft	0.01	0.03
Lärm	0.20	0.37
Klima	2.04	5.81
Natur und Landschaft	0.02	0.05
Bodenschäden	-	-
Vor- und nachgelagerte Prozesse	0.32	0.91
Unfälle	0.01	0.00
Städtische Räume	-	-
<b>Total</b>	<b>2.74</b>	<b>7.61</b>
<b>Gesamttotal Sicht Verkehrsteilnehmende</b>	<b>2.75</b>	<b>7.63</b>
<b>Gesamttotal soziale Kosten</b>	<b>2.93</b>	<b>8.33</b>

#### 16.5.5 Schiffsverkehr

Im Schiffsverkehr liegen die externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger bei 19 Rp / pkm bzw. bei 1.3 Rp / tkm (vgl. Abbildung 16-26). Dies ist vor allem auf die vergleichsweise hohen Kosten durch die Luftbelastung zurückzuführen (insbesondere Gesundheitskosten und Gebäudeschäden).

Im Güterverkehr gibt es bedeutende Unterschiede zwischen dem Schiffsverkehr auf dem Rhein (unterhalb Basel) und dem Güterverkehr auf den Schweizer Seen. Unterhalb Basel belaufen sich die Kosten lediglich auf 0.5 Rp / tkm, auf den Seen hingegen auf 46 Rp / tkm

(also 95-mal mehr). Dies ist eine Folge der deutlich kleineren Tonnagen und kürzeren Strecken auf den Seen sowie der höheren Schadstoffemissionen (vgl. Kapitel 16.1.5).

Die sozialen Kosten bzw. die externen Kosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende übersteigen die externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger kaum.

**Abbildung 16-26: Externe und soziale Effekte pro Verkehrsleistung im Schiffsverkehr 2010**

Externe Kosten pro Kilometer Schiffsverkehr	Personenverkehr	Güterverkehr	davon	
	pkm	tkm	Rhein	Seen
Verkehrsleistung (Mio. pkm bzw. Mio. tkm)	161.3	1'992.9	1'955.48	37.40
<b>in Rp. pro pkm bzw. tkm</b>				
Gesundheit Luft	10.5	0.63	0.23	21.3
Gebäude Luft	2.2	0.13	0.05	4.4
Ernteauffälle Luft	0.5	0.03	0.01	1.1
Waldschäden Luft	0.4	0.02	0.01	0.8
Biodiversitätsverluste Luft	1.0	0.06	0.02	2.0
Lärm	-	-	-	-
Klima	3.0	0.17	0.05	6.3
Natur und Landschaft	0.5	0.21	0.09	6.8
Bodenschäden	-	-	-	-
Vor- und nachgelagerte Prozesse	0.9	0.10	0.03	3.6
Unfälle	0.0	0.01	0.01	0.0
Städtische Räume	-	-	-	-
Gesundheitsnutzen Langsamverkehr	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>19.0</b>	<b>1.35</b>	<b>0.49</b>	<b>46.3</b>
<b>Gesamttotal Sicht Verkehrsteilnehmende</b>	<b>19.0</b>	<b>1.36</b>	<b>0.50</b>	<b>46.3</b>
<b>Gesamttotal soziale Kosten</b>	<b>19.3</b>	<b>1.44</b>	<b>0.57</b>	<b>46.8</b>

### 16.5.6 Vergleich der Verkehrsträger

Schliesslich sollen die Kosten pro Verkehrsleistung der vier Verkehrsträger noch miteinander verglichen werden. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass die einzelnen Fahrzeugkategorien nur bedingt vergleichbar sind bzw. dass der Vergleich vor allem für Verkehre mit ähnlichen Streckenlängen sinnvoll ist. So lassen sich verschiedene städtische Fahrzeugkategorien gut vergleichen, zudem verschiedene Fahrzeugkategorien des nationalen oder kontinentalen Verkehrs. Beim Luftverkehr ist die Vergleichbarkeit aber eingeschränkt, solange der interkontinentale Verkehr mit eingerechnet ist. Ein Vergleich von Personenwagen und Fernzügen müsste mit dem kontinentalen Luftverkehr erfolgen (der interkontinentale verursacht pro pkm tendenziell niedrigere Kosten, da Start und Landung weniger ins Gewicht fallen). Im Güterverkehr ist zu beachten, dass die Wertigkeit der Güter pro Tonne sehr unterschiedlich ist (z.B. Massengüter im Schiffsverkehr, hochwertige Güter im Luftverkehr).

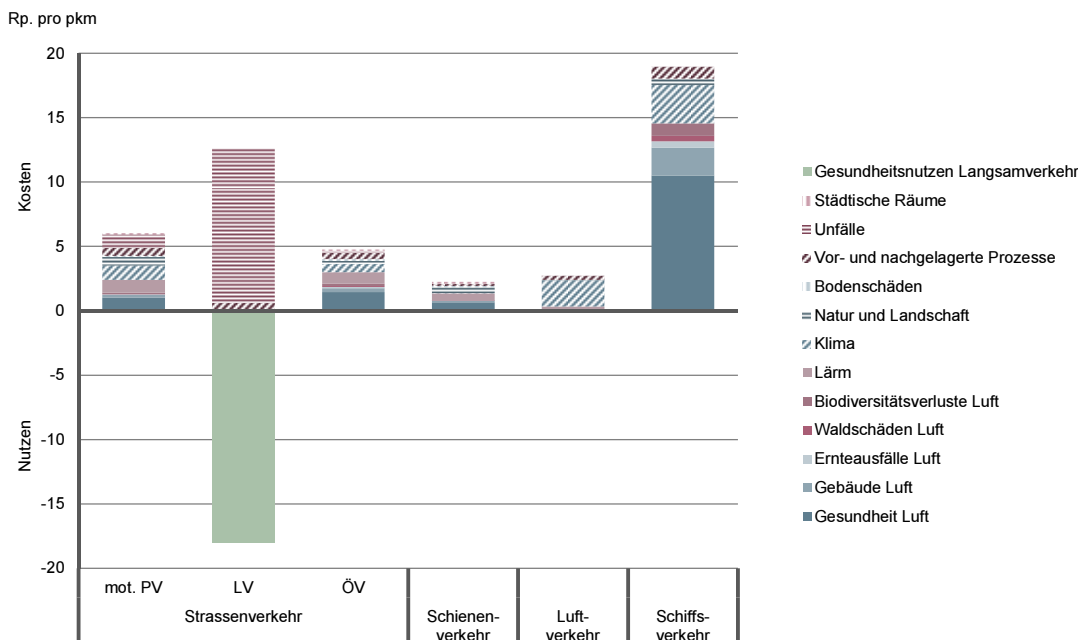
**a) Personenverkehr**

Zieht man die Ergebnisse zum Personenverkehr in den vorangehenden Kapiteln zusammen, wird sofort ersichtlich, dass der Schiffsverkehr mit 19 Rp / pkm die höchsten Kosten pro pkm verursacht (vgl. Abbildung 16-27 und Abbildung 16-28). Dies ist auf die sehr hohen Emissionen von Luftschadstoffen (aber auch von Klimagasen) zurückzuführen. Ansonsten verursacht der Langsamverkehr die höchsten Kosten (vor allem vom Langsamverkehr verursachte Unfallkosten) – er kann diese aber durch die noch höheren externen Gesundheitsnutzen mehr als kompensieren, so dass sich gesamthaft ein Nutzenüberschuss von 5.3 Rp / pkm ergibt. Der motorisierte Privatverkehr verursacht Kosten von 6.0 Rp / pkm, was etwas höher liegt als der öffentliche Strassenverkehr mit 4.8 Rp / pkm. Der Luftverkehr liegt aufgrund der grossen Distanzen und der hohen Auslastung mit 2.7 Rp / pkm darunter. Der Schienenverkehr schliesslich verursacht mit 2.3 Rp / pkm die tiefsten Kosten pro pkm.

Aus Sicht Verkehrsteilnehmende steigen die Kosten des Strassenverkehrs um ca. 15%, während die Kosten der anderen Verkehrsträger sich kaum erhöhen. Bei den sozialen Kosten ist dies noch ausgeprägter: Die Kosten des Strassenverkehrs nehmen zu (ca. Verdoppelung), während die anderen Verkehrsträger um weniger als 8% zunehmen. Der grösste Effekt ist im Langsamverkehr zu beobachten, der einen Nutzenüberschuss von 112 Rp / pkm ausweist.

**Abbildung 16-27: Vergleich der Verkehrsträger im Personenverkehr 2010: Externe Kosten pro pkm (Sicht Verkehrsträger)**

Strassen- / Schienenverkehr: Territorialprinzip, Luft- / Schiffsverkehr: Halbstreckenprinzip



**Abbildung 16-28: Vergleich der Verkehrsträger im Personenverkehr 2010: Externe und soziale Kosten pro pkm**

Strassen- / Schienenverkehr: Territorialprinzip, Luft- / Schiffsverkehr: Halbstreckenprinzip

	Personenverkehr in Rp / pkm					
	Strassenverkehr		Schienenverkehr		Luftverkehr	Schiffsverkehr
	mot. PV	LV	ÖV			
Gesundheit Luft	1.0	0.0	1.5	0.7	0.1	10.5
Gebäude Luft	0.2	0.0	0.3	0.1	0.0	2.2
Ernteauffälle Luft	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.5
Waldschäden Luft	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.4
Biodiversitätsverluste Luft	0.1	0.0	0.2	0.0	0.0	1.0
Lärm	1.0	0.0	0.9	0.6	0.2	-
Klima	1.1	0.0	0.7	0.0	2.0	3.0
Natur und Landschaft	0.7	0.1	0.2	0.5	0.0	0.5
Bodenschäden	0.1	0.0	0.1	0.1	-	-
Vor- und nachgelagerte Prozesse	0.6	0.5	0.5	0.2	0.3	0.9
Unfälle	1.0	12.0	0.2	0.0	0.0	0.0
Städtische Räume	0.1	0.0	0.1	0.1	-	-
Gesundheitsnutzen Langsamverkehr	0.0	-18.0	0.0	-	-	-
<b>Total</b>	<b>6.0</b>	<b>-5.3</b>	<b>4.8</b>	<b>2.3</b>	<b>2.7</b>	<b>19.0</b>
Abzug LSVA-Anteil	0.01	-	-	-	-	-
<b>Total mit LSVA Abzug</b>	<b>6.0</b>	<b>-5.3</b>	<b>4.8</b>	<b>2.3</b>	<b>2.7</b>	<b>19.0</b>
<b>Gesamttotal Sicht Verkehrsteilnehmende</b>	<b>6.9</b>	<b>-4.8</b>	<b>5.5</b>	<b>2.3</b>	<b>2.8</b>	<b>19.0</b>
<b>Gesamttotal soziale Kosten</b>	<b>13.0</b>	<b>-111.7</b>	<b>8.5</b>	<b>2.4</b>	<b>2.9</b>	<b>19.3</b>

## b) Güterverkehr

Im Güterverkehr ergeben sich im Luftverkehr mit 7.6 Rp / tkm die höchsten Kosten (Sicht Verkehrsträger – vgl. Abbildung 16-29 und Abbildung 16-30). Etwas tiefer (7.1 Rp / tkm) liegen die Kosten des Strassengüterverkehrs (Durchschnitt Lastwagen und Sattelschlepper). Im Strassenverkehr werden davon aber 4.4 Rp / tkm durch den LSVA-Anteil internalisiert, so dass nur noch 2.6 Rp / tkm extern sind. Dies liegt gerade etwas unter dem Schienenverkehr mit 2.8 Rp / tkm. Im Schiffsverkehr entstehen auf dem Rhein nur Kosten von 0.5 Rp / tkm, auf Seen hingegen 46 Rp / tkm (der Güterverkehr auf Seen ist jedoch kaum relevant, nur 37 Mio. tkm oder 2% des Schiffsverkehrs<sup>490</sup>).

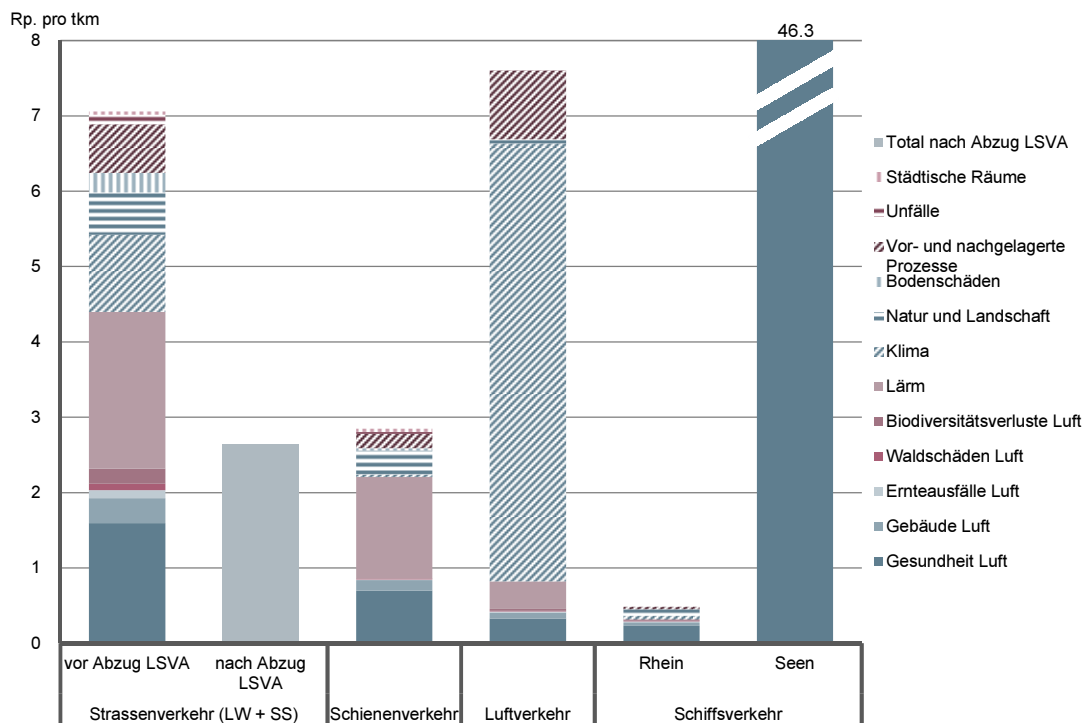
Aus Sicht Verkehrsteilnehmende schneidet der Strassenverkehr etwas weniger gut ab. Bei den sozialen Kosten fallen die Kosten des Strassenverkehrs dreimal höher aus und liegen nur noch knapp unter dem Luftverkehr (8.1 versus 8.3 Rp / tkm). Die sozialen Kosten des Schienen- und Schiffsverkehrs liegen nur geringfügig über den externen Kosten (3.2 bzw. 0.6 Rp / tkm).

<sup>490</sup> Entsprechend schätzen wir die Datenlage im Schiffsverkehr als vergleichsweise unsicher ein.



**Abbildung 16-29: Vergleich der Verkehrsträger im Güterverkehr 2010: Externe Kosten pro tkm (Sicht Verkehrsträger)**

Strassen- / Schienenverkehr: Territorialprinzip, Luft- / Schiffsverkehr: Halbstreckenprinzip



**Abbildung 16-30: Vergleich der Verkehrsträger im Güterverkehr 2010: Externe und soziale Kosten pro tkm**

Strassen- / Schienenverkehr: Territorialprinzip, Luft- / Schiffsverkehr: Halbstreckenprinzip

	Güterverkehr in Rp. pro tkm				
	Schwerverkehr (LW + SS)	Schienenverkehr	Luftverkehr	Schiffsverkehr Rhein	Seen
Gesundheit Luft	1.6	0.7	0.3	0.2	21.3
Gebäude Luft	0.3	0.1	0.1	0.0	4.4
Ernteaussfälle Luft	0.1	0.0	0.0	0.0	1.1
Waldschäden Luft	0.1	0.0	0.0	0.0	0.8
Biodiversitätsverluste Luft	0.2	0.0	0.0	0.0	2.0
Lärm	2.1	1.3	0.4	-	-
Klima	1.0	0.0	5.8	0.0	6.3
Natur und Landschaft	0.6	0.3	0.1	0.1	6.8
Bodenschäden	0.3	0.0	-	-	-
Vor- und nachgelagerte Prozesse	0.6	0.2	0.9	0.0	3.6
Unfälle	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Städtische Räume	0.0	0.0	-	-	-
<b>Total</b>	<b>7.1</b>	<b>2.8</b>	<b>7.6</b>	<b>0.5</b>	<b>46.3</b>
<b>Abzug LSVA-Anteil</b>	<b>4.4</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>Total mit LSVA Abzug</b>	<b>2.6</b>	<b>2.8</b>	<b>7.6</b>	<b>0.5</b>	<b>46.3</b>
<b>Gesamttotal Sicht Verkehrsart</b>	<b>2.9</b>				
<b>Gesamttotal Sicht Verkehrsteilnehmende</b>	<b>2.9</b>	<b>2.9</b>	<b>7.6</b>	<b>0.5</b>	<b>46.3</b>
<b>Gesamttotal soziale Kosten</b>	<b>8.1</b>	<b>3.2</b>	<b>8.3</b>	<b>0.6</b>	<b>46.8</b>

## 16.6 Unsicherheiten

Die Berechnungen der externen und sozialen Kosten unterliegen teilweise grossen Unsicherheiten. Diese wurden im Rahmen von Sensitivitätsanalysen in den vorangehenden 13 Kapiteln untersucht. Dabei wurden einzelne wesentliche Annahmen verändert und analysiert, wie sich das Ergebnis dadurch verändert. Die folgende Abbildung 16-31 fasst die Ergebnisse zusammen und zeigt pro Kostenbereich die Schwankungsbreiten der externen Kosten für jeweils die Summe der vier Verkehrsträger (Sicht Verkehrsträger). Die Schwankungsbreiten variieren je nach Kostenbereich wie dargestellt zwischen  $-11\%$  /  $+11\%$  und  $-50\%$  /  $+80\%$ . Viele dieser Unsicherheiten sind jedoch unabhängig voneinander, so dass sie sich bei einer Aufsummierung über alle Kostenbereiche vermindern würden.<sup>491</sup> In den Berechnungen der externen Kosten für das Jahr 2005<sup>492</sup> wurde mittels einer Monte-Carlo-Analyse gezeigt, dass sich die Schwankungsbreite (maximaler minus minimaler Wert) ohne Monte-Carlo-Analyse (also durch einfache Addition der Schwankungsbreiten der einzelnen Teilbereiche) um 72% grösser wäre. Obwohl die Schwankungsbreiten in den Berechnungen für 2005 in allen Bereichen grösser waren als hier dargestellt,<sup>493</sup> ergaben sich für 2005 Schwankungsbreiten von  $-25\%$  /  $+52\%$  (Strasse) bzw.  $-28\%$  /  $+56\%$  (Schiene). Es ist zu vermuten, dass die Schwankungsbreiten in einer Monte-Carlo-Analyse für das Gesamtergebnis 2010 in einer ähnlichen Grössenordnung liegen dürften.

Abbildung 16-31: Maximale Schwankungsbreiten in den Sensitivitätsanalysen

in Mio. CHF	Basisresultat	Minimaler Wert	Maximaler Wert	Schwankungsbreite
Gesundheit Luft	1'756	1'133	3'002	-35% bis +71%
Gebäude Luft	362	272	453	-25% bis +25%
Ernteauffälle Luft	59	43	76	-27% bis +29%
Waldschäden Luft	51	35	66	-32% bis +30%
Biodiversitätsverluste Luft	148	118	178	-20% bis +20%
Lärm	1'799	1'136	2'593	-37% bis +44%
Klima	1'959	1'069	3'528	-45% bis +80%
Natur und Landschaft	900	703	1'140	-22% bis +27%
Bodenschäden	142	71	213	-50% bis +50%
Vor- und nachgelagerte Prozesse	917	551	1'562	-40% bis +70%
Unfälle	1'850	1'649	2'056	-11% bis +11%
Städtische Räume	144	116	256	-19% bis +77%
Gesundheitsnutzen Langsamverkehr	-1'281	-1'092	-1'446	-15% bis +13%

<sup>491</sup> Die Reduktion ergibt sich aus dem Umstand, dass bei einer gleichzeitigen Analyse von voneinander unabhängigen Unsicherheiten grosse Werte in einem Kostenbereich durch kleine Werte in einem anderen Kostenbereich kompensiert werden.

<sup>492</sup> Ecoplan, Infrac (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz, S. 298.

<sup>493</sup> Dies auch weil in Ecoplan, Infrac (2008, Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz) im Rahmen der Monte-Carlo-Analysen alle Annahmen gleichzeitig verändert wurden, während hier nur die Schwankungsbreite durch die Veränderung einer Annahme betrachtet werden kann.

Die wichtigsten untersuchten Unsicherheiten im vorliegenden Bericht sind die Folgenden:

- **Gesundheit Luft:** Die Bewertung der immateriellen Kosten der verlorenen Lebensjahre mit dem VLYL (value of life year lost) ist unsicher, da dieser eine Schwankungsbreite von –50% bis +100% hat. Das Ergebnis schwankt dadurch um –35% bis +71%.
- **Lärm:** Obwohl grosse Anstrengungen unternommen wurden, zuverlässige Lärmmodelle zu entwickeln, führen die Unsicherheiten in der Lärmberechnung zu einer Schwankungsbreite von –37% bis +44%.
- **Klima:** Bei den Klimakosten führt vor allem die unsichere Höhe des CO<sub>2</sub>-Kostensatzes zu grossen Schwankungen. Der Unsicherheitsbereich ist aber nicht symmetrisch, sondern nach oben höher (–45% bis +80%).
- **Natur und Landschaft:** Hier führt die unsichere Höhe des Kostensatzes für Habitatfragmentierungen zu Schwankungen von –22% bis +27%.
- **Unfälle:** Die externen Unfallkosten können relativ genau bestimmt werden ( $\pm 11\%$ ), wobei die Schwankungen vor allem auf die unsichere Höhe der Transferleistungen und der Regressanteile zurückzuführen ist.
- **Gesundheitsnutzen Langsamverkehr:** Die Gesundheitsnutzen schwanken lediglich um  $\pm 15\%$ . Die Unsicherheit beim Zusammenhang zwischen Bewegungsaktivität und Gesundheitsnutzen konnte jedoch nicht quantifiziert werden.

Daneben wurde zu den einzelnen Kostenbereichen erläutert, dass es diverse Gründe gibt, warum die dargestellten Kosten eine Unterschätzung (oder Überschätzung) darstellen. Als wichtigste Gründe sind zu nennen:

#### **Mehrere Kostenbereiche**

- Der VLYL wurde nicht an den Risikokontext angepasst, was im Bereich Luftverschmutzung und Lärm zu deutlich höheren Kosten führen könnte, im Bereich Langsamverkehr aber zu tieferen (was sich allerdings im Langsamverkehr nur auf die sozialen Kosten auswirken würde).
- Verschiedene Gesundheitseffekte durch Luftbelastung (z.B. Langzeitwirkungen), Lärm und Bewegung (Langsamverkehr) konnten mangels Datengrundlagen nicht berücksichtigt werden.

#### **Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung**

- Es konnte nur der Leitschadstoff PM10 berücksichtigt werden.
- Die Emissionen des Verkehrs könnten toxischer sein als andere Emissionen.

#### **Übrige Kosten durch Luftverschmutzung**

- Für verschiedene, nachweisbare Einflüsse von Luftschadstoffen auf Ökosysteme (Wald, Biodiversität generell) sind keine quantitativen Aussagen möglich, weil entweder die Dosis-Wirkungs-Zusammenhänge nicht bekannt oder nicht quantifizierbar sind (z.B. Kosten zusätzlicher Naturgefahren, wenn Schutzwälder durch Immissionen von Luftschadstoffen beeinträchtigt sind).

**Lärm**

- Die Lärmkosten konnten nur am Wohnort bestimmt werden. Weitere Lärmkosten mussten vernachlässigt werden (z.B. Auswirkungen am Arbeitsplatz und in der Schule, in Schutz- und Erholungsgebieten, Kosten von Schallschutzmassnahmen etc.).
- Negative Lärmwirkungen können auch unterhalb der betrachteten Schwellenwerte auftreten.
- Der erhöhte Leerstand und erhöhte Mieterfluktuationen von belärmten Wohnungen führen zu zusätzlichen, hier nicht berücksichtigten Kosten.
- Die tiefe Leerwohnungsziffer bzw. der Nachfrageüberhang auf den Schweizer Wohnungsmarkt könnten zur Unterschätzung der Reduktion der Wohnungspreise führen.

**Klima**

- Bei den Klimakosten nicht explizit abgedeckt sind mögliche Kippeffekte des Klimas oder andere unvorhersehbare Grossrisiken im Zusammenhang mit der Klimaveränderung.

**Natur und Landschaft**

- Im Bereich Natur und Landschaft gibt es eine Reihe weiterer Schadwirkungen, die im Rahmen der vorliegenden Studie nicht monetarisiert werden konnten, z.B. durch Lichtimmissionen, Eintrag von Streusalz in die Umwelt, Habitatdegradierung oder invasive Neophyten.

**Unfälle**

- Aus diversen Gründen dürften die Unfallkosten leicht unterschätzt werden, im Schienen- und Luftverkehr könnten die Unterschätzungen prozentual nicht vernachlässigbar sein, absolut sind sie jedoch gering.

**Gesundheitsnutzen des Langsamverkehrs**

- Vor allem bei der Demenz und bei Depressionen konnten nicht alle Nutzen des Langsamverkehrs abgebildet werden.
- Die Gesundheitsnutzen dürften auch aus weiteren Gründen höher sein (mindernder Effekt des Sports überschätzt, Abnahme der Langsamverkehrsaktivitäten mit dem Alter).

**Nicht berücksichtigte Kostenbereiche**

- Schliesslich ist zu erwähnen, dass mehrere Kostenbereiche im Rahmen dieser Studie nicht quantifiziert werden konnten: Risiken durch die Energiebereitstellung (Öltransport und Kernkraft Risiken), Beeinträchtigung des Landschaftsbildes, Gewässerschäden und Erschütterungen (vgl. Anhang A).

**16.7 Vergleich zu den bisherigen Berechnungen**

In diesem Abschnitt werden die neuen Ergebnisse für das Jahr 2010 mit den Resultaten für das Jahr 2005 verglichen. Der Vergleich beschränkt sich hierbei auf den Strassen- und Schienenverkehr, da zu den anderen Verkehrsträgern keine offiziellen Berechnungen für das Jahr 2005 vorliegen.

Bei der vergleichenden Darstellung zwischen 2005 und 2010 interessieren einerseits Veränderungen, die sich aus der zeitlichen Entwicklung ergeben (z.B. Zu- oder Abnahmen im Verkehrsaufkommen, bei der Schadstoffemission oder bei den Kostensätzen). Von Interesse ist aber auch, in welchem Ausmass methodische Änderungen im Berechnungsvorgang zu einer Resultatveränderung geführt haben. Daher wurden für das Jahr 2010 die externen Kosten des Verkehrs nicht nur mit der neuen Methodik, sondern zusätzlich auch mit der Methodik 2005 ermittelt.<sup>494</sup> In den Abbildung 16-32 und Abbildung 16-33 werden die Ergebnisse dieser Berechnungen zusammengefasst und im Folgenden kurz erläutert.

Beim Strassenverkehr haben wir für den Vergleich auf den Einbezug des Langsamverkehrs verzichtet. Eine umfassende Kostenbetrachtung für den Langsamverkehr einschliesslich der Gesundheitsnutzen findet erstmals in diesem Bericht für das Jahr 2010 statt (basierend auf den Vorarbeiten in Ecoplan, ISPMZ 2013, Integration des Langsamverkehrs in die Transportrechnung).<sup>495</sup> Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit dem Jahr 2005 zu gewährleisten, werden diese Ergänzungen jedoch nicht miteinbezogen. Der Langsamverkehr wird im Abschnitt c) unten kurz diskutiert.

#### a) Zeitliche Entwicklung 2005 bis 2010

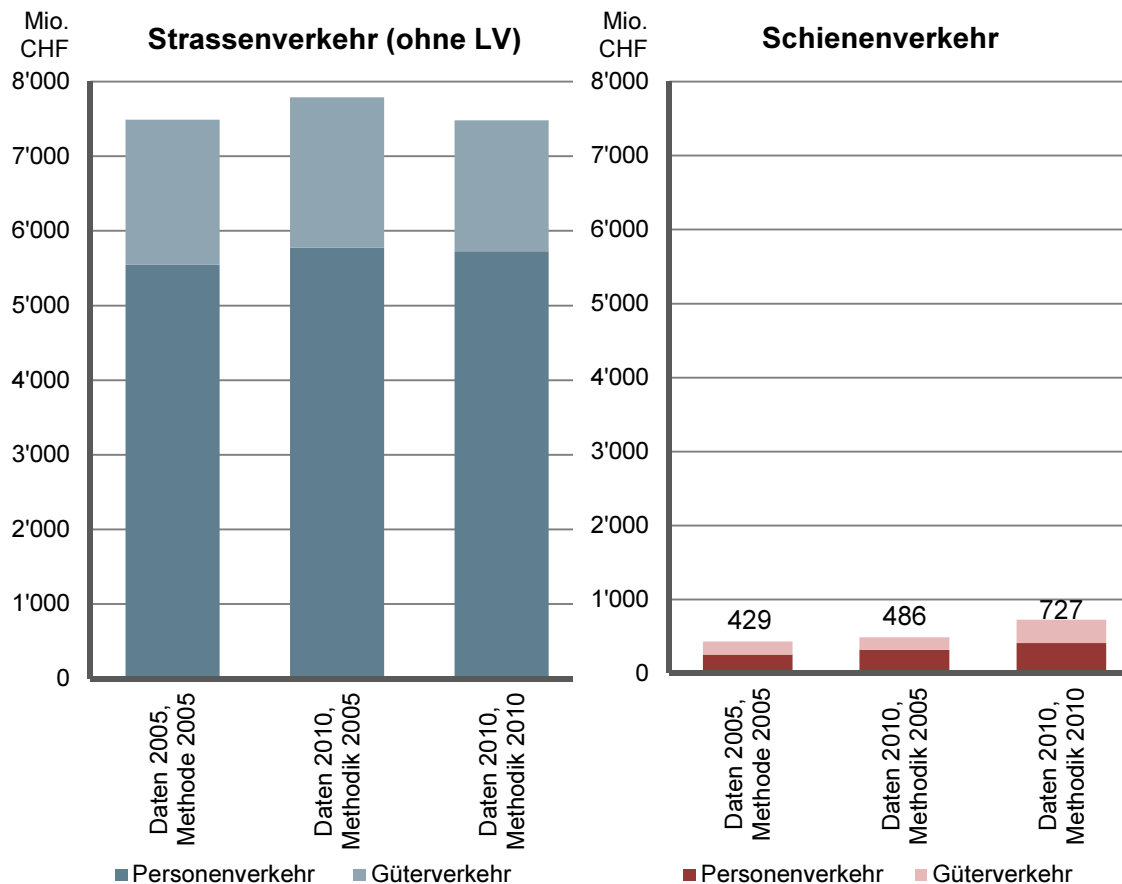
Im **Strassenverkehr** (ohne Langsamverkehr) haben die Kosten zwischen 2005 und 2010 – jeweils mit der alten Methodik berechnet – um 4% oder 300 Mio CHF zugenommen. Diese Veränderung kann mit den höheren Lärmkosten (+223 Mio. CHF) und den höheren Gesundheitskosten der Luftbelastung (+105 Mio. CHF) erklärt werden. Beide Kostenbereiche haben sich insbesondere aufgrund der steigenden Preise (Nominallohnwachstum, Zunahme der Mieten), der wachsenden Bevölkerung und der steigenden Zahl der Wohnungen erhöht. Die übrigen Effekte gleichen sich gegenseitig in etwa aus. Der deutliche Rückgang der Klimakosten sowie der Kosten durch Ernteauffälle und Waldschäden ist nicht auf eine tatsächliche Reduktion der Emissionen zurückzuführen, sondern primär auf eine tiefere Schätzung der Emissionen aufgrund angepasster Fahrleistungsdaten des BFS (insbesondere für die Personwagen). Teuerungsbereinigt würde das Ergebnis 2010 unter dem Ergebnis 2005 liegen: In realen Grössen haben sich also die externen Kosten des Strassenverkehrs etwas vermindert.

---

<sup>494</sup> Die Berechnung der Kosten 2010 nach der Berechnungsmethodik 2005 wurde mit Hilfe eines Aktualisierungstools durchgeführt. Mit dem Tool können die einfach verfügbaren zeitlichen Veränderungen in den Datengrundlagen nachgeführt werden. Schwer zu beschaffende Inputdaten wie z.B. Belastungs-Wirkungs-Beziehungen können jedoch erst im Rahmen einer Studie wie der vorliegenden angepasst werden und werden unter „Methodenanpassung“ erfasst, obwohl es sich streng genommen z.B. gerade bei geänderten Belastungs-Wirkungs-Beziehungen nicht um methodische Anpassungen handelt, sondern lediglich um bessere Datengrundlagen. Das ARE hat mit dem oben erwähnten Aktualisierungstool auch die Ergebnisse der Jahre 2006-2009 bestimmt (ARE 2012, Externe Kosten 2005 – 2009. Berechnung der externen Kosten des Strassen- und Schienenverkehrs in der Schweiz).

<sup>495</sup> Früher wurden lediglich im Unfallbereich Kosten für den Langsamverkehr ausgewiesen, diese waren aber nicht vollständig, da die Unfälle im Bereich Sport und Freizeit fehlten. Im Folgenden präsentieren wir deshalb die Ergebnisse des Strassenverkehrs ohne den Langsamverkehr.

Abbildung 16-32: Vergleich der Berechnungen für die Jahre 2005 und 2010 (externe Kosten Sicht Verkehrsträger)



Im **Schieneverkehr** nehmen die Kosten zwischen 2005 und 2010 um 13% oder 57 Mio. CHF zu. Dies ist vor allem auf die Gesundheitskosten der Luftverschmutzung (+26 Mio. CHF), den Lärm (+15 Mio. CHF) und den Kostenbereich Natur und Landschaft (+13 Mio. CHF) zurückzuführen. Bei den Gesundheitskosten und beim Lärm sind es die gleichen Gründe wie im Strassenverkehr, zusätzlich haben auch die PM10-Emissionen des Schienenverkehrs zugenommen. Die Zunahme der Kosten im Bereich Natur und Landschaft ist wie beim Strassenverkehr vor allem auf die steigenden Preise (Baupreisindex) zurückzuführen. Aber auch bei einer Betrachtung zu realen Preisen würden die externen Kosten des Schienenverkehrs im Jahr 2010 leicht höher liegen als im Jahr 2005.

#### b) Methoden Anpassung

Durch die neue Methodik reduzieren sich die Kosten im Strassenverkehr (ohne Langsamverkehr) leicht (-4% oder -310 Mio. CHF). Dies ist vor allem auf die Abnahme der Gesundheitskosten der Luftverschmutzung (-434 Mio. CHF) und der Unfälle (-456 Mio. CHF) zurückzuführen. Bei der Luftbelastung beruht dies auf den neuen Studien, die zeigen, dass die Belas-

tungs-Wirkungs-Beziehung zwischen Luftbelastung und verlorenen Lebensjahren kleiner ist als bisher geschätzt. Die Unfallkosten fallen vor allem tiefer aus, weil die Schwere der Unfälle deutlich abgenommen hat.

**Abbildung 16-33: Vergleich der Berechnungen für die Jahre 2005 und 2010 (externe Kosten Sicht Verkehrsträger)**

in Mio. CHF	Daten 2005, Methodik 2005	Daten 2010, Methodik 2005	Daten 2010, Methodik 2010	Veränderung Daten 05 - 10	Veränderung Methodenanpassung
<b>Strassenverkehr (ohne Langsamverkehr)</b>					
Gesundheit Luft	1'834	1'938	1'505	105	-434
Gebäude Luft	274	298	310	24	12
Ernteauffälle Luft	63	40	55	-23	15
Waldschäden Luft	64	34	48	-30	14
Biodiversitätsverluste Luft	n.a.	n.a.	141	n.a.	141
Lärm	1'101	1'323	1'463	223	140
Klima	1'256	1'165	1'261	-92	96
Natur und Landschaft	687	757	760	70	3
Bodenschäden	107	119	118	12	-1
Vor- und nachgelagerte Prozesse	593	584	724	-9	140
Unfälle	1'435	1'444	988	9	-456
Städtische Räume	78	90	112	12	22
<b>Total</b>	<b>7'492</b>	<b>7'793</b>	<b>7'483</b>	<b>301</b>	<b>-310</b>
<b>Langsamverkehr</b>					
Natur und Landschaft	n.a.	n.a.	10	n.a.	10
Vor- und nachgelagerte Prozesse	n.a.	n.a.	34	n.a.	34
Unfälle	582	588	856	6	268
Gesundheitsnutzen Langsamverkehr	n.a.	n.a.	-1'281	n.a.	-1'281
<b>Total</b>	<b>582</b>	<b>588</b>	<b>-380</b>	<b>6</b>	<b>-968</b>
<b>Schieneverkehr</b>					
Gesundheit Luft	120	146	185	26	39
Gebäude Luft	15	20	38	4	18
Ernteauffälle Luft	2	1	1	-1	0
Waldschäden Luft	2	1	1	-1	0
Biodiversitätsverluste Luft	n.a.	n.a.	2	n.a.	2
Lärm	74	88	269	15	181
Klima	7	3	4	-4	0
Natur und Landschaft	110	123	119	13	-4
Bodenschäden	33	36	24	3	-12
Vor- und nachgelagerte Prozesse	41	40	48	-1	7
Unfälle	4	5	4	1	-0
Städtische Räume	20	23	32	3	9
<b>Total</b>	<b>429</b>	<b>486</b>	<b>727</b>	<b>57</b>	<b>241</b>

Diesen starken Abnahmen stehen Mehrkosten in folgenden Bereichen gegenüber: Biodiversitätsverluste durch Luftbelastung (+141 Mio. CHF – neu berücksichtigt), Lärm (+140 Mio. CHF), vor- und nachgelagerte Prozesse (+140 Mio. CHF), Klima (+96 Mio. CHF) sowie weitere kleinere Effekte (je ca. 20 Mio. CHF oder weniger). Die Kostenzunahme bei den vor- und

nachgelagerten Prozessen ist auf die neu berücksichtigten indirekten Luftschadstoffemissionen sowie den höheren CO<sub>2</sub>-Kostensatz zurückzuführen. Letzterer führte auch zur Steigerung der Klimakosten. Beim Lärm ist die Zunahme der Kosten auf die tieferen Lärmgrenzwerte bei der Ermittlung der Gesundheitskosten zurückzuführen.

Im Schienenverkehr führt die neue Methodik zu einer Erhöhung der Kosten um 241 Mio. CHF (oder 49%). Dies ist mehrheitlich auf den Lärmbereich zurückzuführen (+181 Mio. CHF): Einerseits basiert die Bewertung der Lärmauswirkungen neu hauptsächlich auf dem Nachtlärm (anstatt dem Taglärm), der im Schienenverkehr nur unbedeutend unter dem Taglärm liegt. Andererseits werden die Schwellenwerte reduziert, ab denen die Lärmauswirkungen berücksichtigt werden. Wichtig sind zudem auch die höheren PM10-Immissionen, die zu höheren Gesundheitskosten und Gebäudeschäden führen (zusammen +57 Mio. CHF).

### **c) Langsamverkehr**

Der Langsamverkehr wird wie erwähnt in diesem Bericht erstmals umfassend bewertet (basierend auf Ecoplan, ISPMZ 2013). Im Unfallbereich werden die bisherigen Unfallkosten ergänzt durch die Unfälle im Bereich Sport und Freizeit auf der Strasse (+250 Mio. CHF). Zudem wurden erstmals die (geringen) Kosten in den Bereichen Natur und Landschaft sowie vor- und nachgelagerte Prozesse berechnet (insgesamt 45 Mio. CHF). Am bedeutendsten sind die ebenfalls erstmals ermittelten Gesundheitsnutzen des Langsamverkehrs von 1'280 Mio. CHF. Diese führen dazu, dass über die betrachteten Bereiche im Langsamverkehr ein Nutzenüberschuss von 380 Mio. CHF resultiert.



## Anhang A: Nicht berücksichtigte Kostenbereiche

Im Rahmen der Phase I wurden verschiedene Kostenbereiche untersucht, die in der Folge nicht in die Berechnungen der externen Kosten des Verkehrs (Kapitel 3 bis 15) einfließen. Es handelt sich um folgende Bereiche:

- Risiken durch Energiebereitstellung
- Beeinträchtigung des Landschaftsbildes
- Gewässerschäden
- Schäden durch Erschütterungen

Die Gründe für die Nicht-Berücksichtigung der ersten drei Kostenbereiche werden in den folgenden Teilkapiteln erläutert. Nicht weiter vertieft wurden die Schäden durch Erschütterungen. Aus unserer Sicht hat sich hier die Situation gegenüber der Studie von Ecoplan, Infraras (2008) nicht geändert. Einerseits sehen wir keine Möglichkeit für eine verlässliche Quantifizierung dieser Schäden, andererseits schätzen wir die Kosten als gering ein.

### Risiken durch Energiebereitstellung

#### a) Berechnungsgegenstand

Bei der Bereitstellung der Energie treten teilweise Risiken auf, die bisher meist nicht mitberücksichtigt werden: Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn der Bahnstrom aus **Atomkraftwerken** mit all ihren Risiken stammen oder wenn bei der Herstellung und dem Transport des Treibstoffs durch Unfälle Öl in die Umwelt gelangen kann (z.B. **Unglücke auf Ölplattformen** wie dem Unglück von Deepwater Horizon im Golf von Mexiko am 20.4.2010 oder **Tankerunfälle** oder Pipelineunfälle auf dem Transport des Öls).

#### b) Mögliche Bewertungsmethoden: Stand der Literatur

#### Risiken beim Transport von Öl

In Europa wurde im Rahmen des Projektes NEEDS (New Energy Externalities Developments for Sustainability) erstmals versucht, die externen Kosten durch Risiken beim Öltransport zu bestimmen. Falls sich ein Tankerunfall tatsächlich ereignet, ist mit Kosten von 100 Mio. bis 100 Mrd. € zu rechnen. Die Wahrscheinlichkeit, dass sich der Tankerunfall ereignet, ist jedoch nur sehr gering und zudem die Menge des transportierten Öls gross, so dass die Kosten pro Tonne importiertes Öl lediglich ca. 2.5 € betragen.<sup>496</sup> Um diese Zahl zu ermitteln wurden die Tankerrouten für den Transport / Import des Öls nach Europa genau untersucht.

---

<sup>496</sup> NEEDS (2007), Report on the economic evaluation of externalities due to extraction and transport of oil.

Dabei wurde festgestellt, dass sich viele Schutzgebiete entlang der Tankerrouten befinden und dass die Wirtschaft durch ein Tankerunglück geschwächt würde.

Risiken beim Fördern von Öl auf Ölplattformen konnten bisher unseres Wissens noch nicht miteinbezogen werden.

### **Kernkrafttrisiken<sup>497</sup>**

#### ***Kernkraftrisiko ist ein Damokles-Risiko: Risikoaversion spielt eine zentrale Rolle***

Beim Kernkraft-Risiko handelt es sich um ein sogenanntes Damokles-Risiko – ein Risiko mit sehr hohen Kosten aber sehr kleiner Wahrscheinlichkeit.<sup>498</sup> Solche Risiken sind problematisch (selbst wenn der Erwartungswert gleich ist, wie bei einem Risiko mit kleinen Folgen, aber grosser Wahrscheinlichkeit). Für Damokles-Risiken besteht in der Bevölkerung eine Risikoaversion. Das Ausmass der Risikoaversion kann beträchtlich sein, ist aber bis heute nicht abschliessend geklärt. So werden z.B. in der Schweiz<sup>499</sup> Risiken, die zu nationalen Katastrophen führen können, mit einem 100-fach höheren Faktor bewertet, als er für Ereignisse mit risikoneutraler Einstellung verwendet wird. Dieser Risikoaversionsfaktor geht auf eine umfangreiche Diskussion mit Beteiligung der relevanten Entscheidungsträger zurück. Die Methode kann jedoch nicht als international akzeptiert gelten. So kam die Europäische Kommission 2005 zum Schluss, dass eine Methode, um diese Risiken zu bewerten, noch entwickelt werden muss.<sup>500</sup> Zudem gab es seit den 90er-Jahren im Rahmen der EU-Forschung keine neuen Studien zu den externen Kosten der Kernkrafttrisiken.<sup>501</sup>

#### ***Kernkraftunfälle – Unterschiedliche Bewertung der Schadens- und Eintretenswahrscheinlichkeit***

Bei einem Kernkraftunfall kommt neben der schwierigen Bestimmung der externen Kosten aufgrund der Risikoaversion noch dazu, dass die Schätzungen des Schadens und der Eintretenswahrscheinlichkeit sehr unterschiedlich sind. Zur Illustration mögen folgende Zahlen dienen: Die Schätzung der Schäden eines Kernschmelzunfalls in Deutschland variieren von 500

---

<sup>497</sup> Die folgenden Ausführungen basieren auf: EcoPlan (2012), Energiestrategie 2050 – volkswirtschaftliche Auswirkungen, S. 104-108.

<sup>498</sup> Damokles-Risiken treten in weniger extremem Ausmass auch in der Wasserkraft auf, da ein sehr unwahrscheinlicher Dambruch ebenfalls zu hohen Kosten führen kann. In diesem Fall handelt es sich jedoch meist nur um lokale oder regionale Katastrophen, nicht um nationale. Zudem handelt es sich um eine einmalige Wirkung, während bei einem Nuklearunfall noch über Jahrzehnte der Boden verseucht bleibt. Nach einem Dambruch kann also das betroffene Gebiet im Prinzip sofort wieder bewohnt werden, bei einem grösseren Kernkraftunfall hingegen nicht. Deshalb dürfte die Risikoaversion bei der Wasserkraft kleiner sein als bei der Kernkraft. Solche Risiken der Wasserkraft werden im Folgenden vernachlässigt.

<sup>499</sup> KATARISK (2002), KATARISK - Katastrophen und Notlagen in der Schweiz. Erläuterung der Methode, S. 6 und KATARISK (2002), KATARISK - Katastrophen und Notlagen in der Schweiz. Ergebnisse der Risikobewertung, S. 1.

<sup>500</sup> European Commission (2005), ExternE Externalities of Energy Methodology 2005 Update, S. 1.

<sup>501</sup> NEEDS (2009), External costs from emerging electricity generation technologies, Anhang S. 6.

Mrd. € bis 5 Bill. €, die geschätzten Eintrittswahrscheinlichkeiten liegen zwischen 1:33'000 bis zu 1: 10'000'000.<sup>502</sup> Deshalb gehen auch die Schätzungen der externen Kosten der Nuklearenergie weit auseinander und liegen zwischen 0.0001 Rp / kWh und 321 Rp / kWh – Schätzungen für die Schweiz schwanken zwischen 0.2 und 35.7 Rp / kWh).<sup>503</sup> Der Höchstwert von 321 Rp / kWh beruht auf versicherungsmathematischen Überlegungen zur Absicherung seltener, grosser Schäden.<sup>504</sup>

### ***Multikriterienanalyse zur Bewertung der Stromerzeugungstechnologien***

Da die Risiken der Kernkraft in den meisten Schätzungen der externen Kosten nur zu geringen Kosten führen, wurde im Rahmen des Projektes NEEDS eine Diskrepanz zwischen der Akzeptanz in der Bevölkerung und den externen Kosten festgestellt.<sup>505</sup> Dies zeigt sich insbesondere in den Ergebnissen der Multikriterienanalyse mit 36 Indikatoren (11 Umwelt-, 9 Wirtschafts- und 16 Gesellschaftsindikatoren). Dabei können verschiedene Stakeholder die verschiedenen Indikatoren unterschiedlich gewichten. Je nach Gewichtung kann die Kernenergie dabei am besten oder am schlechtesten abschneiden.<sup>506</sup>

Die folgende Abbildung zeigt für verschiedene Stromproduktionstechnologien in der Schweiz im Jahr 2050 einerseits die erwarteten Gesamtkosten (inkl. externe Kosten) sowie den durchschnittlichen Rang aus der Multikriterienanalyse (MCDA = multi-criteria decision analysis). Der durchschnittliche Rang bezieht sich dabei auf den Durchschnitt verschiedener Stakeholder, wobei 26 mögliche Technologien rangiert wurden (in der Abbildung sind nur 19 Technologien abgebildet, da für die anderen keine Kostendaten für die Schweiz vorliegen).

---

<sup>502</sup> Umweltbundesamt (2005), Ökonomische Bewertung von Umweltschäden, S. 27.

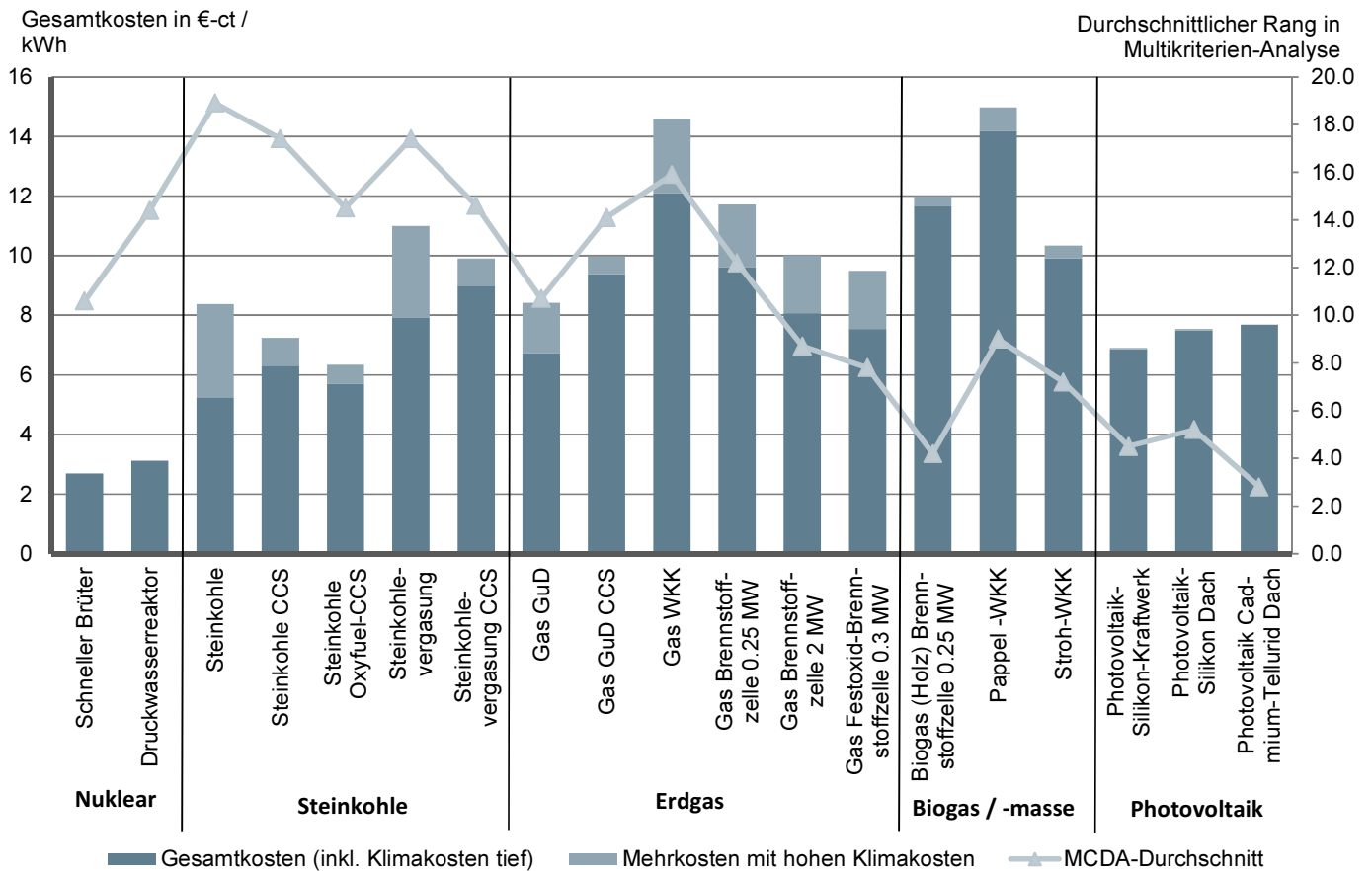
<sup>503</sup> Ecoplan (2007), Die Energieperspektiven 2035 – Band 3: Volkswirtschaftliche Auswirkungen, S. 119 und 148.

<sup>504</sup> B,S,S. (2009), Literaturübersicht Kernenergie, S. 60.

<sup>505</sup> NEEDS (2009), External costs from emerging electricity generation technologies, Anhang S. 2.

<sup>506</sup> NEEDS (2009), Publishable Final Activity Report, Anhang S. 45-46.

Abbildung Anhang A-1: Erwartete Gesamtkosten in der Schweiz im Jahr 2050 und den durchschnittlichen Rang aus der Multikriterienanalyse



CCS = CO<sub>2</sub> Capture and Storage (=CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Speicherung), WKK = Wärmekraftkopplung. Quelle: NEEDS (2009), Final report on sustainability assessment of advanced electricity supply options, S. 56-57 und 19.

Die Abbildung lässt erkennen, dass die ausgewiesenen Kosten der Kernenergie deutlich am tiefsten sind. In der MCDA hingegen schneidet die Kernenergie nur mittelmässig ab, weil auch weitere Aspekte – wie Unfälle und Endlagerung – berücksichtigt und relativ stark gewichtet werden, die in den externen Kosten fehlen.<sup>507</sup>

### **Kernenergie: Verzicht auf eine ökonomische Bewertung über externe Kosten – demokratischer Entscheid als Alternative**

Zu einer ähnlichen Schlussfolgerung kommt auch das deutsche Umweltbundesamt: Es tritt für eine getrennte Ausweisung von Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadenshöhe von Nuklearunfällen ein.<sup>508</sup> Auf die ökonomische Bewertung solle verzichtet werden, denn dies würde

<sup>507</sup> PSI (2010), Energie-Spiegel: Nachhaltige Elektrizität, S. 3.

<sup>508</sup> Umweltbundesamt (2005), Ökonomische Bewertung von Umweltschäden, S. 26.

bedeuten, dass man den möglichen Schaden (die Katastrophe) und den Nutzen der risikobehafteten Aktivität gegeneinander abwägen könne. Entscheidungen über den Umgang mit solchen Katastrophenrisiken müssten letztlich in einem gesellschaftlichen und politischen Diskurs gefällt werden, da das Ausmass der Risikoaversion schwer zu bestimmen ist.

Auch im NEEDS-Projekt wurde gezeigt, dass die Vorteilhaftigkeit der Kernenergie von der Gewichtung der Indikatoren bzw. Auswirkungen abhängt. Diese Gewichtung muss im Rahmen der politischen Diskussion gewählt werden. Das Ergebnis kann je nach Land sehr unterschiedlich ausfallen: So ist Italien schon 1986 nach Tschernobyl aus dem Atomstrom ausgestiegen, in Deutschland wurde ein stufenweiser Ausstieg bis 2022 beschlossen (nachdem der Ausstieg zuerst beschlossen und dann wieder rückgängig gemacht wurde) und auch in der Schweiz ist der Ausstieg geplant. In Frankreich hingegen soll lediglich der Anteil des Atomstroms von heute etwa 75 Prozent auf 50 Prozent verringert werden.

### c) Begründung der Nicht-Berücksichtigung

#### Risiken beim Transport von Öl

Die im Projekt NEEDS ermittelten externen Kosten der Risiken beim Öltransport sind sehr gering – insbesondere, wenn man sie mit den Kosten vergleicht, die beim Verbrennen der Treibstoffe entstehen.<sup>509</sup> Diese Kosten werden deshalb im vorliegenden Bericht **vernachlässigt**, auch weil hierzu mit dem NEEDS-Projekt erst eine einzige Berechnungsgrundlage vorliegt und sich noch kein standardmässiges Vorgehen etabliert hat. Zudem sollten die verschiedenen Energiequellen möglichst fair verglichen werden und die Kernkraftrisiken werden ebenfalls vernachlässigt.

#### Kernkraftrisiken

In Europa hat sich die Ansicht durchgesetzt, dass Kernkraftrisiken aufgrund der hohen Unsicherheiten und der unterschiedlichen Gewichtungen kaum in die Berechnung externen Kosten integriert werden können. Vielmehr muss demokratisch entschieden werden, ob die Risiken der Kernenergie als tragbar oder als zu hoch angesehen werden. Zudem sind die Kernkraftrisiken im Verkehr der Schweiz wenig relevant (die Bahn und der öffentliche Strassenverkehr benutzen nur relativ wenig Kernenergie). Auch in diesem Bericht werden folglich die Kernkraftrisiken **nicht monetarisiert**.

---

<sup>509</sup> Eine Grobabschätzung zeigt, dass sich diese Kosten im Strassenverkehr in der Grössenordnung von einem Viertel Prozent der bisher berechneten Kosten bewegen (ca. 20 Mio. CHF).

## Beeinträchtigung des Landschaftsbildes

*Bewertungsgegenstand:* In den Boomjahren des letzten Jahrtausends bestand noch relativ wenig Sensibilität in Bezug auf Einbettung von Infrastrukturbauten in die Landschaft. Diese Sensibilität hat sich nicht zuletzt auf Grund von Bausünden entwickelt. Das BAFU hat 2005 einen Leitfaden herausgegeben mit dem Titel ‚Landschaftsästhetik, Wege für das Planen und Projektieren‘ (BUWAL 2005). Dort werden die wichtigsten Bausünden ermittelt und mögliche Sanierungskosten abgeschätzt, damit die Bauwerke den Anforderungen des erwähnten Leitfadens entsprechen. Es stellt sich die Frage, ob die Beeinträchtigung des Landschaftsbildes durch spezifische Verkehrsbauwerke monetarisiert werden kann. Zu denken ist dabei vor allem an sehr auffällige und grosse Verkehrsinfrastrukturen, die sich in naturnahen Landschaften befinden und einen starken visuellen Einfluss haben (z.B. grosse Brückenbauwerke). Ein starker visueller Einfluss bzw. eine Beeinträchtigung des Landschaftsbildes durch Verkehrsinfrastrukturen kann zum Beispiel zu einer Verminderung des Erholungswertes einer Landschaft führen (z.B. geringere touristische Attraktivität, geringere Qualität von Erholungsräumen), was mit volkswirtschaftlichen Kosten verbunden ist.

*Einschätzung:* Wird hypothetisch eine Zahl von zehn zu sanierenden Bauwerken in der Schweiz angenommen, die mit je einer Summe von 100 Mio. CHF neu zu gestalten wären (im Sinne eines Reparaturkostenansatzes), ergäbe die ein Investitionsvolumen von rund 1 Mia. CHF. Daraus ergeben sich Jahreskosten in der Grössenordnung von 50 Mio. CHF. Dies ist natürlich nur eine sehr grobe, einfache Abschätzung und entspricht wohl eher einer Untergrenze. Für eine umfassende Berechnung müssten auch andere, differenziertere Bewertungsansätze geprüft werden.

*Begründung der Nicht-Berücksichtigung:* Das Niveau dieser Kosten könnte wie oben erwähnt durchaus relevant sein. Die Definition von „schlecht in die Landschaft eingebetteten“ oder „unschönen“ Bauwerken dürfte aber äusserst schwierig werden. Ebenfalls ungelöst ist die Frage, welche konkreten Bauwerke unter die gewählte Definition fallen und wie die Sanierungskosten ermittelt werden. Aus diesen Gründen wird im Rahmen der vorliegenden Studie auf die Ermittlung dieser externen Kosten verzichtet. Dazu wäre allenfalls ein separates Projekt notwendig.

Die Beeinträchtigung des Ortsbildes durch den Verkehr wird im Kapitel 14 Zusatzkosten in städtischen Räumen bearbeitet.

## Gewässerschäden

Die externen Kosten durch Gewässerschäden infolge des Verkehrs wurden bisher nicht berechnet. Zwar hat der Verkehr verschiedenartige negative Auswirkungen auf die Gewässer: Schäden aus Luftschadstoffen (Versauerung, Überdüngung, toxische Schadstoffe), Schäden durch chemische Hilfsmittel wie Streusalz oder Pflanzenschutzmittel, Verschmutzungen durch Unfälle oder Lecks, Aufwand für Reinigung von Meteorwasser auf Verkehrsflächen.

Je nach Schadensaspekt sind die Gründe unterschiedlich, weshalb in der umfassenden Studie von Infras (2006) auf eine Monetarisierung verzichtet wurde: Entweder lagen keine ver-

lässlichen quantitativen Expositions-Wirkungs-Zusammenhänge vor, die Schäden wurden als sehr gering eingestuft, oder aber die Schäden werden bereits durch den Verkehr selbst getragen, d.h. sind intern (z.B. separate Abwasserbehandlung bei Nationalstrassen).

Ein Teil der erwähnten Schädwirkungen ist zudem bereits bei anderen Kostenkategorien abgedeckt, insbesondere die Belastung durch Schwermetalle und langlebige organische Schadstoffe (siehe Kap. 11 Bodenschäden durch toxische Stoffe). Diese Schadstoffe gehören zu den wichtigsten Verschmutzungsquellen von Gewässern durch den Strassenverkehr (Hürlimann 2011).

Weil aber damit weiterhin mögliche Schäden an Gewässern nicht abgedeckt sind, müssten allfällige weitere Kosten durch Gewässerschäden im Rahmen einer separaten Studie nochmals umfassend untersucht werden. Ein Bereich, bei dem durchaus quantifizierbare Schäden nachweisbar sind, betrifft die Schädwirkung durch den Einsatz von Streusalz im Winter. Während die Materialschäden an Fahrzeugen grundsätzlich als interne Kosten zu bezeichnen sind, gibt es nachweisbare Schädigungen an der Flora (v.a. Bäumen) entlang der entsprechenden Strassen (betrifft vor allem Strassen innerorts). Diese Schäden könnten beispielsweise mit einem Reparaturkostenansatz monetarisiert werden, indem die Kosten für den Ersatz von Bäumen, Alleen, etc. ermittelt werden. Analoge Überlegungen sind für den Einsatz von Herbiziden denkbar. Gemäss einer Grobschätzung liegen die mit Streusalzschäden verbundenen Kosten klar unter 50 Mio. CHF.

Für die vorliegende Studie wurde auf eine Option zur Abschätzung möglicher weiterer Gewässerschäden verzichtet. Hauptgründe für den Verzicht waren die Unsicherheiten bezüglich Quantifizierbarkeit sowie die voraussichtlich geringe Höhe der quantifizierbaren externen Kosten.

## Anhang B: Ermittlung der Faktorpreise

Die gesamten Berechnungen zu den externen Kosten des Verkehrs werden zu **Faktorpreisen** durchgeführt, damit die internationale Vergleichbarkeit gegeben ist. Als Faktorpreise werden die Preise ohne indirekte Steuern (z.B. MWST) bezeichnet. Die Marktpreise liegen durchschnittlich 8.47% über den Faktorpreisen (vgl. Kapitel 2.3.1). In diesem Anhang wird dargestellt, wie in den einzelnen Kostenbereichen vorgegangen wird, um Faktorpreise herzustellen. Dabei stellt sich insbesondere die Frage, wie mit der MWST umzugehen ist.

### Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung

Kostenbestandteil	Herleitung der Faktorpreise
<b>Medizinische Heilungskosten</b>	Direkte Übernahme der Kostenangaben, da Gesundheitssystem nicht der MWST unterliegt
<b>Nettoproduktionsausfall</b>	Reduktion der Marktpreise um 8.47%
<b>Wiederbesetzungskosten</b>	Reduktion der Marktpreise um 8.47%
<b>Immaterielle Kosten</b>	Reduktion der Zahlungsbereitschaft (in Marktpreisen) um 8.47% (bzw. 7.7% da die Umrechnung zur Preisbasis 1998 erfolgt und deshalb der frühere Werte von 7.7% zu verwenden ist)

### Gebäudeschäden durch Luftverschmutzung

Kostenbestandteil	Herleitung der Faktorpreise
<b>Renovationskosten</b>	
<b>Kosten durch verkürzte Lebensdauer Gebäudehülle (Erstellungskosten)</b>	Direkte Übernahme der Kostenangaben, da alle spezifischen Kostensätze ohne MWST
<b>Reinigungskosten</b>	

### Ernteauffälle durch Luftverschmutzung

Kostenbestandteil	Herleitung der Faktorpreise
<b>Preise der Nutzpflanzen</b>	Produzentenpreise des BLW beinhalten keine MWST



### Waldschäden durch Luftverschmutzung

Kostenbestandteil	Herleitung der Faktorpreise
<b>Holzpreise</b>	Produzentenpreise Holz des BFS beinhalten keine MWST
<b>Kosten grosser Sturmereignisse</b>	Einkommensverluste der Waldeigentümer ohne MWST, d.h. direkte Übernahme der Daten. Anpassung der Ausgaben der öffentlichen Hand um MWST (7.7%, Daten von 2000).

### Biodiversitätsverluste durch Luftverschmutzung

Kostenbestandteil	Herleitung der Faktorpreise
<b>Kostensätze Biodiversitätsverluste pro Tonne Schadstoff</b>	Direkte Übernahme der Kostensätze, da Kostenangaben in NEEDS-Studie netto, d.h. ohne indirekte Steuern

### Lärm

Kostenbestandteil	Herleitung der Faktorpreise
<b>Reduktion Wohnungspreise</b>	Direkte Übernahme der Wohnungspreise, da Mietwohnungen nicht besteuert werden
<b>Übrige Kosten</b>	Vgl. Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung

### Klima

Kostenbestandteil	Herleitung der Faktorpreise
<b>CO<sub>2</sub>-Kostensatz (Vermeidungskosten)</b>	Direkte Übernahme der Kostensätze, da Grundlagen zu Vermeidungskosten ohne indirekte Steuern

### Natur und Landschaft (Habitatverluste und Habitatfragmentierungen)

Kostenbestandteil	Herleitung der Faktorpreise
<b>Ersatzkosten Wiederherstellung verlorener Biotope</b>	Originalkostensätze aus Econcept, Nateco (2004) enthielten MWST (damals noch Satz von 7.5%), die im Rahmen der vorliegenden Arbeit herausgerechnet (korrigiert) wurde.
<b>Ersatzkosten für Defragmentierungsbauwerke</b>	Originalkostensätze aus Econcept, Nateco (2004) enthielten MWST (damals noch Satz von 7.5%), die im Rahmen der vorliegenden Arbeit herausgerechnet (korrigiert) wurde.

### Bodenschäden durch toxische Stoffe

Kostenbestandteil	Herleitung der Faktorpreise
<b>Kostensatz für Sanierung der Böden</b>	Direkte Übernahme des Kostensatzes, da er keine MWST enthält (Produzentenpreis).

### Kosten vor- und nachgelagerter Prozesse (Klima und Luftverschmutzung)

Kostenbestandteil	Herleitung der Faktorpreise
<b>CO<sub>2</sub>-Kostensatz (Vermeidungskosten)</b>	Siehe Klima: Direkte Übernahme der Kostensätze, da Grundlagen zu Vermeidungskosten ohne indirekte Steuern
<b>Kostensätze für Luftschadstoffemissionen aus vor-/nachgelagerten Prozessen (nördl. Hemisphäre)</b>	Direkte Übernahme der Kostensätze, da Kostenangaben in HEIMTSA-Studie netto, d.h. ohne indirekte Steuern

### Unfälle

Kostenbestandteil	Herleitung der Faktorpreise
<b>Administrativkosten Personenschäden</b>	AHV, IV, Krankenkassen und Unfallversicherungen <sup>510</sup> sind von der MWST befreit, so dass auch auf den Prämien dieser Versicherungen keine MWST bezahlt werden muss. Entsprechend ist auch auf den administrativen Kosten der Versicherung keine MWST fällig. Somit ist keine Anpassung nötig.
<b>Sachschäden</b>	Reduktion der Marktpreise um 8.47%.
<b>Administrativkosten Sachschäden</b>	Reduktion der Marktpreise um 8.47%, da die Prämien der Haftpflichtversicherungen MWST-pflichtig sind.
<b>Polizeikosten</b>	Die Unfallaufnahme durch die Polizei ist von der MWST befreit, <sup>511</sup> so dass keine Anpassung nötig ist.
<b>Rechtsfolgekosten</b>	Die Gerichte sind von der MWST befreit, <sup>512</sup> die Kosten für Anwälte und Expertisen werden jedoch um 8.47% reduziert.
<b>Administrativkosten Rechtsfolgekosten</b>	Reduktion der Marktpreise um 8.47%, da die Prämien der Rechtsschutzversicherungen MWST-pflichtig sind.
<b>Übrige Kosten</b>	Vgl. Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung.

<sup>510</sup> Weil auf Taggelder, Integritätsentschädigungen, Invaliden-, und Hinterlassenenrenten keine MWST zu zahlen ist.

<sup>511</sup> Siehe <http://mwst-institut.ch/node/7806> (27.12.2013).

<sup>512</sup> Obergericht des Kantons Zürich (2006), Kreisschreiben über die Mehrwertsteuer.

**Zusatzkosten in städtischen Räumen (Trennungseffekte und Ortsbild)**

Kostenbestandteil	Herleitung der Faktorpreise
<b>Zeitkostensatz Langsamverkehr</b>	Direkte Übernahme des Kostensatzes, da er keine MWST enthält.
<b>Kosten für Aufwertungsmassnahmen bei Ortsdurchfahrten</b>	Angaben zu den Investitionskosten enthalten MWST. Die Kostensätze werden deshalb um 8.47% angepasst (nach unten korrigiert).

**Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr**

Die Bestimmung der Faktorpreise erfolgt genau gleich wie bei den Gesundheitskosten der Luftverschmutzung (vgl. oben).

## Anhang C: PM10-Emissionen

Die folgende Abbildung zeigt die PM10-Emissionen des Jahres 2010, die als Grundlage in die Modellierung der PM10-Immissionen eingeflossen sind.

**Abbildung:** PM10-Emissionen des Verkehrs sowie aus anderen Quellen in der Schweiz 2010: Grundlage für die Immissionsmodellierung

Verkehrsträger (Sektor)	Fahrzeugkategorie	PM10-Emissionen 2010 (in t/a)
Strassenverkehr	Personenwagen	2'805
	Lieferwagen	370
	Schwere Nutzfahrzeuge (LW+SS)	571
	Gesellschaftswagen (Car)	37
	Bus (ÖV)	99
	Motorräder (inkl. Mofa)	22
Schienenverkehr	Personenverkehr	671
	Güterverkehr	595
Schiffsverkehr	Personenverkehr	25
	Güterverkehr	18
Luftverkehr	Personen-/Güterverkehr	48
<i>Weitere Quellen:</i>		
	Haushalte	2'715
	Industrie	6'857
	Land-/Forstwirtschaft	5'594
Gesamttotal		20'429

## Anhang D: Lärmdaten Strassen- und Schienenverkehr

Im Folgenden werden die Lärmimmissionen des Strassen- und Schienenverkehrs detailliert dargestellt, d.h.

- Wohnungen: ZKB-Lärmklassen nach 1-dB(A)-Lärmklassen und Kantonen (Anzahl dB(A) über 40 dB(A) Nachtlärm bzw. falls darunter, Anzahl dB(A) über 50 dB(A) Taglärm)
- Personen: LDEN nach 1-dB(A)-Lärmklassen

Abbildung D-1: Auswirkungen des Strassenlärms auf Wohnungen nach Kantonen

ZKB-Lärmklassen	Zürich	Bern	Luzern	Uri	Schwyz	Obwalden	Nidwalden	Glarus	Zug	Freiburg	Solothurn	Basel-Stadt
0	207'113	257'111	75'487	8'880	31'884	11'710	7'831	10'057	21'891	53'771	60'882	14'116
>0 - 0,99	44'610	24'742	9'061	825	3'168	949	1'150	1'015	2'899	7'202	7'399	3'152
1,00-1,99	43'302	24'420	8'984	800	3'282	988	1'098	958	3'042	7'372	6'566	3'251
2,00-2,99	36'276	21'281	8'005	755	2'828	830	1'011	828	2'366	6'774	5'989	3'393
3,00-3,99	32'153	19'232	7'752	661	2'706	737	954	932	2'217	6'099	5'525	3'332
4,00-4,99	28'905	17'564	6'723	603	2'738	581	841	747	1'770	5'094	4'404	3'680
5,00-5,99	26'689	15'833	6'249	760	2'646	552	783	682	1'659	4'912	4'365	3'982
6,00-6,99	25'006	14'338	5'568	669	2'617	485	735	801	1'587	4'827	4'029	4'997
7,00-7,99	23'684	13'351	5'334	551	2'452	477	682	649	1'671	4'830	3'463	4'182
8,00-8,99	21'151	12'181	4'937	495	2'140	352	661	647	1'485	4'165	3'230	4'342
9,00-9,99	19'703	12'226	4'333	407	1'892	322	626	480	1'218	3'816	2'829	3'970
10,00-10,99	15'643	9'685	3'768	339	1'588	302	464	448	894	3'135	2'129	3'376
11,00-11,99	14'105	9'425	3'278	284	1'362	212	399	380	954	2'421	1'808	3'759
12,00-12,99	12'435	9'172	2'870	248	1'331	183	339	303	1'262	2'336	1'548	3'354
13,00-13,99	12'971	9'310	2'480	202	967	183	326	267	1'105	1'818	1'519	4'665
14,00-14,99	11'920	9'295	2'686	129	916	139	313	272	903	1'685	1'456	4'641
15,00-15,99	12'867	8'884	2'771	138	795	152	279	236	977	1'788	1'337	5'918
16,00-16,99	13'268	8'603	2'589	127	796	111	309	225	722	1'548	1'200	6'694
17,00-17,99	13'277	7'036	2'260	122	663	57	194	311	777	1'271	1'039	5'645
18,00-18,99	13'437	5'579	2'222	161	579	27	159	223	846	1'173	895	5'059
19,00-19,99	12'328	4'346	2'075	174	534	23	115	143	641	999	678	4'231
20,00-20,99	11'079	3'367	1'818	92	429	16	122	143	461	753	663	3'428
21,00-21,99	8'889	2'521	1'696	87	343	11	120	169	296	668	490	2'917
22,00-22,99	6'141	1'519	891	65	243	19	77	101	176	376	360	1'379
23,00-23,99	4'066	800	702	63	200	8	77	69	158	321	272	556
24,00-24,99	2'407	452	411	22	131	2	75	55	92	181	183	260
25,00-25,99	1'873	195	280	12	70	1	43	33	55	69	100	109
26,00-26,99	1'524	115	193	7	42	1	41	2	97	8	51	127
27,00-27,99	1'128	109	96	3	43	-	50	15	92	20	20	93
28,00-28,99	679	103	32	1	35	-	45	3	85	10	8	64
29,00-29,99	415	131	33	1	28	-	27	4	4	9	9	91
30,00-30,99	160	39	12	-	4	-	13	-	0	2	0	39
31,00-31,99	125	13	10	-	2	-	6	-	-	0	1	14
32,00-32,99	168	4	0	-	0	-	1	-	-	-	-	-
33,00-33,99	70	5	0	-	2	-	2	-	-	-	-	-
≥34	54	3	14	-	-	-	5	-	-	-	-	10
<b>Total</b>	<b>679'610</b>	<b>522'990</b>	<b>175'622</b>	<b>17'683</b>	<b>69'470</b>	<b>19'440</b>	<b>19'972</b>	<b>21'200</b>	<b>52'401</b>	<b>129'443</b>	<b>124'438</b>	<b>108'823</b>

(Fortsetzung nächste Seite)

## Fortsetzung Abbildung D-1

ZKB-Lärmklass	Basel-Landschaft	Schaffhausen	Appenzell A.Rh.	Appenzell I.Rh.	St.Gallen	Graubünden	Aargau	Thurgau	Tessin	Waadt	Wallis	Neuenburg	Genf	Jura	Summe Schweiz
0	48'741	14'539	11'580	3'650	94'091	78'158	122'979	47'608	80'860	95'434	116'726	24'767	25'813	16'499	1'542'188
>0 - 0,99	7'441	2'094	1'516	364	13'566	9'089	14'704	7'422	11'591	18'361	12'015	4'827	6'106	1'898	217'166
1.00-1.99	7'515	2'208	1'491	371	12'891	8'989	15'382	6'755	11'493	19'472	12'510	4'957	6'608	1'879	216'603
2.00-2.99	6'658	1'681	1'370	274	11'513	7'564	13'431	5'830	10'814	18'259	10'675	4'518	7'080	1'700	191'801
3.00-3.99	6'049	1'472	1'216	274	10'437	6'613	11'551	5'532	9'854	18'647	9'033	4'138	7'422	1'440	175'979
4.00-4.99	5'367	1'167	991	206	9'285	5'998	10'371	4'783	9'265	17'129	7'100	3'875	7'583	1'372	158'142
5.00-5.99	4'787	1'374	928	250	8'517	5'719	9'914	4'563	9'210	16'198	6'873	3'762	8'660	1'281	151'147
6.00-6.99	4'808	1'459	950	283	8'371	5'412	9'179	4'332	8'675	15'866	6'750	3'691	8'107	1'191	144'733
7.00-7.99	4'291	1'396	846	237	7'948	4'841	8'500	4'098	8'321	15'520	6'392	3'525	8'906	1'097	137'244
8.00-8.99	3'970	1'548	878	209	7'406	4'321	7'340	3'866	7'950	14'556	6'257	3'062	9'159	1'026	127'336
9.00-9.99	3'446	1'507	747	159	6'349	3'430	6'767	3'069	7'589	12'909	5'115	2'991	6'639	841	113'385
10.00-10.99	2'991	1'169	719	130	5'448	3'138	5'766	2'771	6'243	10'727	4'054	2'969	5'635	759	94'289
11.00-11.99	2'758	932	534	99	4'488	2'804	5'766	2'236	5'385	10'216	3'106	2'859	5'268	598	85'235
12.00-12.99	2'615	799	502	73	4'169	2'283	5'348	2'187	4'731	9'362	2'791	2'245	5'859	539	78'882
13.00-13.99	2'642	832	460	100	4'015	1'786	4'535	1'874	4'511	8'651	2'108	2'048	6'890	468	76'732
14.00-14.99	3'100	735	367	62	3'835	1'379	4'285	1'608	3'527	8'284	1'732	1'820	7'461	422	72'971
15.00-15.99	2'739	660	328	40	3'598	1'078	4'369	1'433	3'001	7'818	1'468	1'734	8'940	464	73'811
16.00-16.99	2'593	633	322	29	3'502	909	4'206	1'187	2'392	7'825	1'464	1'815	11'999	348	75'407
17.00-17.99	2'195	364	245	18	2'963	689	3'722	1'121	2'130	7'625	1'438	1'743	14'052	370	71'326
18.00-18.99	1'809	309	183	4	2'601	550	3'431	1'033	2'077	7'705	1'087	1'684	14'183	333	67'351
19.00-19.99	1'647	329	171	7	2'097	478	2'669	826	1'822	6'456	886	1'502	12'640	263	58'079
20.00-20.99	1'273	284	98	1	1'743	294	2'144	568	1'612	5'536	822	1'559	9'733	203	48'240
21.00-21.99	826	301	105	2	1'423	217	1'764	437	1'214	4'521	556	1'254	6'049	199	37'066
22.00-22.99	517	175	97	2	911	146	1'322	325	1'056	2'995	385	958	3'882	138	24'248
23.00-23.99	366	88	68	1	551	87	907	145	809	1'927	224	449	2'015	100	15'026
24.00-24.99	127	118	34	1	342	47	593	127	582	1'557	116	270	1'086	66	9'337
25.00-25.99	55	61	19	-	253	61	418	60	542	789	67	90	700	47	6'002
26.00-26.99	38	30	18	-	92	27	138	25	197	310	42	87	150	29	3'391
27.00-27.99	19	18	5	-	57	23	97	15	148	164	30	35	56	27	2'363
28.00-28.99	5	1	2	-	22	2	85	4	143	147	16	2	53	11	1'557
29.00-29.99	6	1	1	-	1	-	45	0	56	66	2	25	1	6	960
30.00-30.99	2	6	0	-	3	-	30	2	23	117	1	-	0	3	457
31.00-31.99	2	1	-	-	1	-	11	1	2	28	-	1	0	5	224
32.00-32.99	-	1	-	-	0	-	2	-	17	11	-	-	-	-	204
33.00-33.99	-	-	-	-	-	-	0	-	-	2	1	0	0	-	84
≥34	-	1	-	-	0	-	0	-	5	-	-	1	0	-	93
<b>Total</b>	<b>131'397</b>	<b>38'292</b>	<b>26'787</b>	<b>6'947</b>	<b>232'488</b>	<b>156'144</b>	<b>281'769</b>	<b>115'844</b>	<b>217'847</b>	<b>365'189</b>	<b>221'842</b>	<b>89'063</b>	<b>218'736</b>	<b>35'623</b>	<b>4'079'060</b>

Abbildung D-2: Auswirkungen des Schienenlärms auf Wohnungen nach Kantonen

ZKB-Lärmklass	Zürich	Bern	Luzern	Uri	Schwyz	Obwalden	Nidwalden	Glarus	Zug	Freiburg	Solothurn	Basel-Stadt
0	6'15'597'23	4'70'135	16'00'37	13'053	60'489	18'704	18'935	20'587	46'636	123'225	103'653	86'598
>0-0.99	6'532	5'746	1'178	360	1'004	139	129	162	629	616	1'955	826
1.00-1.99	6'193	5'536	1'323	379	929	88	175	120	579	531	1'967	640
2.00-2.99	5'589	4'737	1'399	293	833	81	151	60	632	584	1'716	762
3.00-3.99	5'003	4'407	1'107	296	676	58	159	39	439	485	1'445	706
4.00-4.99	4'397	3'695	1'095	284	619	66	173	27	406	481	1'387	794
5.00-5.99	3'910	3'305	714	294	536	32	125	19	320	470	1'175	759
6.00-6.99	3'640	2'911	884	242	451	72	53	31	348	398	1'081	1'049
7.00-7.99	3'663	2'841	730	257	350	140	21	20	290	266	989	892
8.00-8.99	3'103	2'632	514	223	319	29	7	30	328	369	874	1'208
9.00-9.99	3'109	2'172	575	222	297	8	19	18	257	376	757	588
10.00-10.99	2'711	1'911	473	205	277	9	14	10	305	243	711	349
11.00-11.99	2'363	1'608	516	184	267	5	8	8	239	250	672	428
12.00-12.99	2'075	1'318	556	169	256	3	1	8	192	327	718	444
13.00-13.99	1'871	1'575	644	141	256	6	1	15	164	193	645	400
14.00-14.99	1'419	1'352	605	117	183	-	2	3	96	378	466	379
15.00-15.99	1'401	1'063	498	125	204	-	-	10	120	124	465	197
16.00-16.99	1'292	963	492	107	206	-	-	7	104	59	357	254
17.00-17.99	1'023	854	591	81	293	-	-	3	160	31	427	228
18.00-18.99	1'081	787	265	91	228	-	-	2	57	9	492	147
19.00-19.99	783	800	386	88	148	-	-	5	38	5	455	173
20.00-20.99	759	780	192	87	159	-	-	2	21	8	341	145
21.00-21.99	584	516	136	87	139	-	-	4	11	14	382	91
22.00-22.99	478	252	200	64	108	-	-	-	18	2	231	76
23.00-23.99	290	175	133	29	60	-	-	-	2	1	191	82
24.00-24.99	188	269	70	50	46	-	-	8	3	1	199	125
25.00-25.99	221	201	88	41	45	-	-	3	1	-	98	92
26.00-26.99	272	105	204	31	19	-	-	-	1	-	106	76
27.00-27.99	60	37	9	40	15	-	-	-	1	-	99	97
28.00-28.99	13	166	-	9	25	-	-	-	1	-	163	22
29.00-29.99	7	75	2	18	27	-	-	-	-	-	131	15
30.00-30.99	3	48	3	3	3	-	-	-	-	-	65	18
31.00-31.99	-	6	-	6	2	-	-	-	1	-	17	41
32.00-32.99	1	4	-	2	0	-	-	-	1	-	5	73
33.00-33.99	-	3	-	1	0	-	-	-	-	-	1	42
≥34	1	4	-	1	0	-	-	-	-	-	4	9
<b>Total</b>	<b>679'610</b>	<b>522'990</b>	<b>175'622</b>	<b>17'683</b>	<b>69'470</b>	<b>19'440</b>	<b>19'972</b>	<b>21'200</b>	<b>52'401</b>	<b>129'443</b>	<b>124'438</b>	<b>108'823</b>

(Fortsetzung nächste Seite)

## Fortsetzung Abbildung D-2

ZKB-Lärmklass	Basel-Landschaft	Schaffhausen	Appenzell A.Rh.	Appenzell J.Rh.	St.Gallen	Graubünden	Aargau	Thurgau	Tessin	Waadt	Wallis	Neuenburg	Genève	Jura	Summe Schweiz
0	115'807	36'258	24'727	6'712	216'312	147'367	246'074	105'915	195'416	308'986	211'657	72'085	206'230	34'685	3'675'989
>0 - 0,99	1'636	262	367	61	1'730	1426	3'313	1'133	1'732	3'896	1'126	1'191	709	221	38'077
1.00-1.99	1'605	319	401	58	1'832	1'379	3'616	1'152	1'830	3'874	1'054	1'185	915	187	37'867
2.00-2.99	1'186	299	312	29	1'648	955	2'964	935	1'678	3'947	897	1'132	857	155	33'820
3.00-3.99	1'177	174	275	36	1'586	715	2'602	834	1'480	3'633	826	1'078	721	161	30'117
4.00-4.99	1'092	158	205	16	1'329	579	2'611	750	1'314	3'294	773	1'030	733	130	27'439
5.00-5.99	969	118	108	10	1'220	467	2'503	602	1'264	2'968	635	920	722	36	24'201
6.00-6.99	858	96	78	8	1'111	461	2'020	532	1'312	2'908	541	924	502	19	22'530
7.00-7.99	838	280	58	4	969	354	1'763	507	1'157	2'629	660	922	439	12	21'042
8.00-8.99	665	114	60	3	630	321	1'521	457	1'011	2'433	451	780	428	9	18'519
9.00-9.99	636	36	45	5	505	273	1'413	427	952	2'568	506	860	962	3	17'587
10.00-10.99	517	26	24	2	545	458	1'230	330	974	2'066	560	720	794	2	15'466
11.00-11.99	512	30	23	3	544	296	1'180	264	917	2'270	374	591	443	1	13'984
12.00-12.99	437	65	32	-	564	238	1'122	332	847	1'893	309	629	639	0	13'173
13.00-13.99	448	29	18	-	529	172	1'099	328	825	1'746	288	483	336	-	12'211
14.00-14.99	373	14	17	-	462	210	1'023	281	711	1'772	272	480	317	-	10'933
15.00-15.99	252	-	22	-	352	107	779	213	641	1'677	326	361	344	-	9'279
16.00-16.99	231	2	7	-	285	93	706	305	718	1'520	217	261	386	-	8'574
17.00-17.99	281	3	2	-	194	39	619	225	564	1'412	137	407	435	-	8'009
18.00-18.99	252	3	5	-	67	99	600	104	362	1'704	75	462	272	-	7'161
19.00-19.99	225	1	1	-	47	79	545	77	381	1'913	63	391	204	1	6'809
20.00-20.99	190	2	1	-	18	22	510	94	404	1'689	46	503	431	-	6'404
21.00-21.99	188	1	-	-	1	3	362	26	219	1'406	26	543	415	-	5'155
22.00-22.99	188	-	-	-	5	2	341	10	190	901	18	486	251	-	3'824
23.00-23.99	195	-	-	-	2	-	260	5	232	620	2	324	174	-	2'778
24.00-24.99	143	-	-	-	1	6	263	-	131	664	1	169	56	-	2'393
25.00-25.99	133	-	-	-	0	5	313	2	115	366	2	89	9	-	1'844
26.00-26.99	88	-	-	-	0	-	110	4	132	248	-	13	9	-	1'416
27.00-27.99	120	-	-	-	-	-	108	-	114	41	1	10	1	-	754
28.00-28.99	50	-	-	-	-	-	104	-	122	37	-	3	-	-	715
29.00-29.99	96	-	-	-	-	-	33	-	61	60	-	29	1	-	555
30.00-30.99	1	-	-	-	-	-	30	-	14	7	-	0	1	-	196
31.00-31.99	2	-	-	-	-	-	22	-	8	1	-	0	1	-	108
32.00-32.99	2	-	-	-	-	-	13	-	7	10	-	-	-	-	117
33.00-33.99	3	-	-	-	-	-	3	-	5	-	-	-	-	-	57
≥34	3	-	-	-	-	-	5	-	8	11	-	0	-	-	47
<b>Total</b>	<b>131'397</b>	<b>38'292</b>	<b>26'787</b>	<b>6'947</b>	<b>232'488</b>	<b>156'144</b>	<b>281'769</b>	<b>115'844</b>	<b>217'847</b>	<b>365'189</b>	<b>221'842</b>	<b>89'063</b>	<b>218'736</b>	<b>35'623</b>	<b>4'079'060</b>



Abbildung D-3: Anzahl exponierter Personen pro Lärmklasse  $L_{DEN}$  für Strassen- und Schienenverkehr

Lärmniveau [dB(A)]	Strassenverkehr	Schienenverkehr
<48	1'259'496	6'313'332
48.00 - 48.99	285'365	121'412
49.00 - 49.99	323'457	113'291
50.00 - 50.99	346'730	106'601
51.00 - 51.99	366'216	98'120
52.00 - 52.99	377'379	88'164
53.00 - 53.99	381'843	82'118
54.00 - 54.99	369'173	76'758
55.00 - 55.99	351'245	71'837
56.00 - 56.99	326'575	66'252
57.00 - 57.99	300'709	63'663
58.00 - 58.99	288'486	57'773
59.00 - 59.99	281'153	55'390
60.00 - 60.99	274'258	52'073
61.00 - 61.99	266'179	49'571
62.00 - 62.99	259'481	44'652
63.00 - 63.99	250'412	42'770
64.00 - 64.99	242'012	39'257
65.00 - 65.99	225'179	37'221
66.00 - 66.99	211'218	33'729
67.00 - 67.99	194'071	30'697
68.00 - 68.99	170'528	25'572
69.00 - 69.99	145'712	23'730
70.00 - 70.99	113'365	23'330
71.00 - 71.99	82'407	21'658
72.00 - 72.99	53'614	17'180
73.00 - 73.99	33'470	16'047
74.00 - 74.99	20'083	14'724
75.00 - 75.99	11'559	11'714
76.00 - 76.99	6'612	9'484
77.00 - 77.99	4'157	6'499
78.00 - 78.99	2'822	4'118
79.00 - 79.99	1'520	3'928
≥80	1'485	5'301
<b>Total &gt;48 dB</b>	<b>6'568'474</b>	<b>1'514'638</b>

## Anhang E: Aufteilung auf die Kostenträger

### Einleitung

Als Input für die Transportrechnung werden die sozialen Effekte im vorliegenden Anhang zusätzlich nach den drei folgenden Kostenträgern aufgeteilt;

- Nutzer
- Allgemeinheit
- Staat

Die externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger fallen beim Staat und bei der Allgemeinheit an.

### Vorgehen bei der Berechnung

Bisher war die Aufteilung auf die Kostenträger kein zentrales Thema in der Transportrechnung und es wurde ein vergleichsweise pragmatisches Vorgehen gewählt:

- Konnte mit begrenztem Aufwand die Aufteilung nach den einzelnen Kostenträgern vorgenommen werden, so wurden pro Kostenbereich die Anteile von Nutzern, Staat und Allgemeinheit separat ausgewiesen.
- Liess sich eine Aufteilung auf die einzelnen Kostenträger nicht oder nur mit sehr grossem Aufwand realisieren, wurde der Kostenbereich vereinfachend dem Kostenträger „Allgemeinheit“ zugewiesen.

Dieser pragmatische Ansatz wird auch für die Aufteilung der Effekte 2010 übernommen. Konkret wird in den einzelnen Kostenbereichen wie folgt vorgegangen:

- **Gesundheitskosten der Luftverschmutzung:** Die Gesundheitskosten der Luftverschmutzung fallen beinahe ausschliesslich bei der Allgemeinheit an. Nur bei den Spitalkosten (aufgrund von Herz-/Kreislauf- und Atemwegserkrankungen) werden 35.3% der Kosten durch den Staat übernommen (Defizitdeckung).<sup>513</sup> Dies entspricht bei allen Verkehrsträgern 0.2% der gesamten Kosten oder insgesamt 4.0 Mio. CHF. Zudem wird im Luftverkehr über die emissionsabhängigen Landegebühren ein Teil der Kosten internalisiert und damit von den Benutzern getragen (3.7 Mio. CHF).
- **Lärm:** Die durch Belästigung verursachten Lärmkosten in Form von Mietzinsausfällen fallen ausschliesslich bei der Allgemeinheit an.<sup>514</sup> Bei den lärmbedingten Gesundheitskosten trägt der Staat 35.3% der Kosten durch Hospitalisationen (insgesamt 0.7% bzw. 12.0 Mio. CHF). Zudem findet im Luftverkehr durch die lärmabhängigen Gebühren eine Internalisierung statt (34.0 Mio. CHF).

---

<sup>513</sup> BFS (2012), Kosten und Finanzierung des Gesundheitswesens 2010, Tabelle T 14.5.3.4.

<sup>514</sup> Streng genommen ist bei staatlichen Liegenschaften auch der Staat von möglichen Mietzinsausfällen betroffen. Die Bestimmung dieses Anteils wäre jedoch mit grossem Aufwand verbunden, so dass vereinfachend darauf verzichtet wird und die gesamte Reduktion der Wohnungspreise bei der Allgemeinheit verbucht wird.

- **Klima:** Bei den Klimakosten ist davon auszugehen, dass ein beträchtlicher Anteil der Kosten am Ende vom Staat getragen wird (z.B. in Form zusätzlicher Hochwasserschutzbauten). Der konkrete Anteil lässt sich aber aus den Berechnungen der externen Klimakosten nicht direkt herleiten (vor allem wegen der Monetarisierung über die Vermeidungskosten) und müsste mit sehr grossem Aufwand zusätzlich ermittelt werden. Deshalb berücksichtigt die Aufteilung lediglich die Internalisierung durch den Klimarappen (im Luftverkehr keine Internalisierung).
- **Unfälle:** Bei den Unfällen wird die Aufteilung auf die Kostenträger für jeden einzelnen Kostenbestandteil einzeln betrachtet:
  - Medizinische Heilungskosten: Wie bei der Luftverschmutzung und beim Lärm werden 35.3% der Kosten durch den Staat getragen. Von den verbleibenden Kosten können die Unfallversicherungen bei nicht-unfallverursachenden Unfallopfern einen Teil über Regressforderungen auf die Unfallverursacher bzw. deren Haftpflichtversicherungen abwälzen. Je nach Verkehrsträger bzw. je nachdem wie viele Unfallopfer den Unfall selbst verursacht haben, werden auf diesem Wege 12% (Strasse) bis 59% (Schienenverkehr<sup>515</sup>, Schiffsverkehr) der gesamten medizinischen Heilungskosten auf die Nutzer (Kostenblock „Rest“<sup>516</sup>) abgewälzt.
  - Nettoproduktionsausfall und Wiederbesetzungskosten fallen bei der Allgemeinheit an.
  - Die administrativen Kosten sind vollständig der Allgemeinheit zuzuschreiben, ausser die Administrativkosten der Motorfahrzeug-Haftpflichtversicherungen, die als Internalisierungsbeitrag gelten und dem Nutzer zuzuschreiben sind.
  - Immaterielle Kosten: Die Aufteilung erfolgt auf Basis der Erläuterungen zu den in Abbildung 13-16 und Abbildung 13-23 dargestellten Kostentragungsmechanismen. Ein Teil der Kosten wird über Leistungen der IV, AHV und der Unfallversicherungen auf die Allgemeinheit übertragen (Strassenverkehr 9%, Schienen- und Schiffsverkehr 1%, Luftverkehr 5%). Bei den nicht-unfallverursachenden Opfern wird zudem ein Teil der Kosten über Regress- und Direktzahlungen dem Verursacher bzw. seiner Haftpflichtversicherung angelastet (Strassenverkehr 12%, Schienen- und Schiffsverkehr 32%, Luftverkehr 31%). Die restlichen Kosten verbleiben als immaterielle Kosten bei den Nutzern (Strassenverkehr 79%, Schienen- und Schiffsverkehr 67%, Luftverkehr 65%).
  - Die Sachschäden fallen beim Benutzer bzw. bei seiner Haftpflichtversicherung an. Einzig bei von Fussgängern und fäG verursachten Unfällen werden die Sachschäden grösstenteils über die Privathaftpflichtversicherungen gedeckt und damit der Allgemeinheit übertragen (0.04% im Strassenverkehr).

---

<sup>515</sup> In der Transportrechnung werden von Dritten verursachte Unfallkosten im Schienenverkehr nicht berücksichtigt. Entsprechend werden sie auch im Rahmen dieser Aufteilung ausgeschlossen.

<sup>516</sup> Bei den Nutzern wird zwischen dem Kostenblock „interne immaterielle Kosten“ und den restlichen, materiellen Kosten (Prämien für Haftpflicht- und Rechtsschutzversicherungen, direkte Beteiligung an Unfallkosten, Internalisierungsbeiträge) unterschieden. Mit dieser Differenzierung besteht die Möglichkeit, im Rahmen der Transportrechnung über Einbezug oder Ausschluss der internen immateriellen Kosten zu entscheiden – bisher wurde der Umgang mit den internen immateriellen Kosten vom BFS noch nicht abschliessend festgelegt (Vgl. Ecoplan, ISPMZ (2013), Integration des Langsamverkehrs in die Transportrechnung, Kapitel 11.2).

- Die Polizeikosten werden zu 15% dem Unfallverursacher in Rechnung gestellt. Im Strassenverkehr werden zudem 15% über die Strassenrechnung den Benutzern angelastet. Die verbleibenden Kosten werden von der Polizei bzw. vom Staat getragen.
- Bei den Rechtsfolgekosten werden 80% der Gerichts- und Verfahrenskosten vom Staat finanziert (bzw. 45% der Gesamtkosten), der Rest wird von den Unfallopfern bzw. ihren Rechtsschutzversicherungen getragen.
- **Zusatzkosten in städtischen Räumen:** Der Grossteil der sozialen Kosten in diesem Kostenbereich sind externe Kosten der Allgemeinheit. Die Trenneffekte, die der motorisierte Strassenverkehr dem Langsamverkehr auferlegt, sind jedoch verkehrsträgerintern und fallen somit beim Nutzer als interne immaterielle Kosten an (da es sich um Zeitkosten handelt).
- **Gesundheitsnutzen des Langsamverkehrs:** Der Grossteil der eingesparten Kosten von 11'000 Mio. CHF fallen als interne immaterielle Nutzen beim Langsamverkehrsteilnehmer selbst an. Aufgrund der vermiedenen Spitalkosten erfährt auch der Staat eine Entlastung (35% der vermiedenen Spitalkosten bzw. 150 Mio. CHF). Die übrigen Spitalkosten und die Transferleistungen werden über die Krankenkassen bzw. die Sozialversicherungen auf die Allgemeinheit externalisiert. Auch die Nettoproduktionsausfälle und die Wiederbesetzungskosten fallen bei der Allgemeinheit an. Damit profitiert die Allgemeinheit von 1'130 Mio. CHF.
- Schliesslich ist im Strassenverkehr noch zu berücksichtigen, dass durch den **LSVA**-Anteil der Staat eine Entlastung im Umfang von 720 Mio. CHF erfährt und die Nutzer in diesem Ausmass einen Internalisierungsbeitrag leisten.

In den übrigen Bereichen<sup>517</sup> ist die Aufteilung auf die Kostenträger entweder nicht relevant, weil alle Kosten bei der Allgemeinheit anfallen oder eine differenzierte Aufteilung kann mit vernünftigem Aufwand nicht erstellt werden. Deshalb werden in diesen Bereichen wie bisher die gesamten Kosten der Allgemeinheit zugewiesen.<sup>518</sup>

## Ergebnisse

In der folgenden Abbildung E-1 werden die Ergebnisse der Aufteilung dargestellt. Insgesamt fallen bei allen Verkehrsträgern über 90% der sozialen Kosten bei der Allgemeinheit – ausser im Strassenverkehr, wo es nur 42% sind, weil eine Grossteil der (dominanten) Unfallkosten intern anfällt (85%). Gesamthaft fallen deshalb nur 47% oder 9'600 Mio. CHF der sozialen Kosten von 20'700 Mio. CHF bei der Allgemeinheit an. Bei einer detaillierten Betrachtung nach den einzelnen Effekten zeigen sich Unterschiede:

---

<sup>517</sup> Gebäude- und Waldschäden, Biodiversitätsverluste und Ernteaufälle durch Luftverschmutzung, Natur und Landschaft, Bodenschäden durch toxische Stoffe sowie Kosten vor- und nachgelagerter Prozesse.

<sup>518</sup> Selbstverständlich müssen mit diesem Vorgehen gewisse Genauigkeitsverluste in Kauf genommen werden: Beispielsweise wäre es bei den Gebäudeschäden sehr schwierig, den Kostenanteil für die betroffenen, staatlichen Gebäude verlässlich zu bestimmen.

Abbildung E-1: Aufteilung der sozialen Kosten auf die Kostenträger

in Mio. CHF	Nutzer (interne immaterielle Effekte)	Nutzer (Rest)	Staat	Allgemeinheit	Total
<b>Strassenverkehr</b>					
Gesundheit Luft	-	-	3.5	1'501.2	<b>1'504.6</b>
Lärm	-	-	9.5	1'453.9	<b>1'463.5</b>
Klima	-	104.8	-	1'260.6	<b>1'365.4</b>
Unfälle	6'618.6	3'542.9	436.6	1'406.7	<b>12'004.8</b>
Städtische Räume	157.7	-	-	111.8	<b>269.5</b>
Übrige	-	-	-	2'199.6	<b>2'199.6</b>
LSVA	-	719.7	-719.7	-	-
<b>Total Strassenverkehr</b>	<b>6'776.3</b>	<b>4'367.4</b>	<b>-270.1</b>	<b>7'933.8</b>	<b>18'807.5</b>
<b>Gesundheitsnutzen LV</b>	<b>-11'033.6</b>	<b>-</b>	<b>-150.2</b>	<b>-1'130.5</b>	<b>-12'314.4</b>
<b>Schiennenverkehr</b>					
Gesundheit Luft	-	-	0.4	184.6	<b>185.0</b>
Lärm	-	-	2.1	267.0	<b>269.1</b>
Klima	-	0.3	-	3.8	<b>4.1</b>
Unfälle	13.9	58.0	2.6	1.7	<b>76.4</b>
Übrige	-	-	-	264.7	<b>264.7</b>
<b>Total Schienenverkehr</b>	<b>13.9</b>	<b>58.3</b>	<b>5.2</b>	<b>721.9</b>	<b>799.3</b>
<b>Luftverkehr</b>					
Gesundheit Luft	-	3.7	0.1	37.0	<b>40.8</b>
Lärm	-	34.0	0.4	65.8	<b>100.1</b>
Unfälle	8.3	19.5	0.1	1.6	<b>29.6</b>
Übrige	-	-	-	814.0	<b>814.0</b>
<b>Total Luftverkehr</b>	<b>8.3</b>	<b>57.2</b>	<b>0.6</b>	<b>918.4</b>	<b>984.5</b>
<b>Schiffsverkehr</b>					
Gesundheit Luft	-	-	0.1	29.4	<b>29.4</b>
Lärm	-	-	-	-	-
Klima	-	0.6	-	8.1	<b>8.8</b>
Unfälle	0.3	1.3	0.1	0.0	<b>1.7</b>
Übrige	-	-	-	19.8	<b>19.8</b>
<b>Total Schiffsverkehr</b>	<b>0.3</b>	<b>2.0</b>	<b>0.1</b>	<b>57.3</b>	<b>59.7</b>
<b>Gesamttotal Kosten</b>	<b>6'798.9</b>	<b>4'484.9</b>	<b>-264.1</b>	<b>9'631.4</b>	<b>20'651.1</b>
<b>Gesundheitsnutzen LV</b>	<b>-11'033.6</b>	<b>-</b>	<b>-150.2</b>	<b>-1'130.5</b>	<b>-12'314.4</b>

- Beim Lärm und bei den Gesundheitskosten der Luftverschmutzung müssen über 99% der Kosten von der Allgemeinheit getragen werden, beim Staat fallen 0.2% bis 0.8% an.
- Im Klimabereich werden ca. 7.5% durch den Klimarappen internalisiert (Luftverkehr 0%), der Rest fällt bei der Allgemeinheit an.
- Bei den Unfällen wird der grösste Anteil der Kosten von den Nutzern getragen (85% bis 95%, wovon 17% bis 55% der gesamten Kosten immaterielle Kosten sind). Der Staat beteiligt sich mit ca. 4% (ausser im Luftverkehr 0.4%) und die Allgemeinheit muss 2% (Schiennen- und Schiffsverkehr), 6% (Luftverkehr) oder 12% (Strassenverkehr) tragen.

- Bei den städtischen Effekten im Strassenverkehr fällt die Beeinträchtigung des Ortsbildes bei der Allgemeinheit an (41%) und die Trenneffekte (59%) bei den Nutzern. Im Schienenverkehr fallen die gesamten Kosten bei der Allgemeinheit an.
- Bei den Gesundheitsnutzen des Langsamverkehrs fallen 90% der Nutzen als immaterielle Nutzen bei den Nutzern an. Der Staat profitiert von 1% der sozialen Nutzen (150 Mio. CHF) und die Allgemeinheit wird von den verbleibenden 9% (1'130 Mio. CHF) entlastet.

Das positive Ergebnis beim Staat (Entlastung um insgesamt 414 Mio. CHF vor allem durch den Anteil der Einnahmen aus der LSVA) ist insofern zu relativieren, als es sich „nur“ auf die betrachteten Kosten in den Bereichen Umwelt und Unfälle bezieht. Erst im Rahmen der Transportrechnung ergibt sich ein aussagekräftiges Gesamtergebnis unter Einbezug der Aufwendungen der öffentlichen Hand für Bau, Betrieb und Unterhalt der Infrastrukturen.

## Anhang F: Detailliertes Vorgehen Ermittlung Mengengerüst Verkehrsinfrastruktur Natur und Landschaft (GIS-Analyse)

### Grundlagendaten

Vector25-Daten von Swisstopo mit den Layern Strassen (st\_25\_l), Eisenbahn (eis\_25\_l), Siedlung und Flugplätze (pri\_25\_a).

Für die Aufteilung der Regionen (Jura, Mittelland, Voralpen und Alpen) wurde dasselbe Shapefile verwendet wie 2002.

### Vorgehen Berechnung Daten im GIS - Übersicht

1. Eisenbahn in Siedlungsgebiet: Intersect (Toolbox) Siedlungsgebiet (ohne Flugplätze) und Eisenbahn
2. Eisenbahn ausserhalb Siedlungsgebiet: Erase (Toolbox) Eisenbahn mit Siedlungsgebiet (ohne Flugplätze)
3. Strassen in Siedlungsgebiet: Intersect (Toolbox) Siedlungsgebiet (ohne Flugplätze) und Strassen
4. Strassen ausserhalb Siedlungsgebiet: Erase (Toolbox) Strassen mit Siedlungsgebiet (ohne Flugplätze)
5. Alle Typen pro Region: Alle 5 Layer Intersect (Toolbox) nach Regionen.
6. Access-Auswertungen (Siehe Vorgehen Auswertung)

### Vorgehen Berechnung Daten im GIS - Dokumentation ausführlich

1. Eisenbahn in Siedlungsgebiet:
  - a. Definitionsabfrage auf Layer pri\_25\_a ("OBJECTVAL" = 'Z\_Siedl').
  - b. Intersect Siedlung (pri\_25\_a) und Eisenbahn (eis25\_l)
2. Eisenbahn ausserhalb Siedlungsgebiet:
  - a. Definitionsabfrage auf Layer pri\_25\_a ("OBJECTVAL" = 'Z\_Siedl').
  - b. Erase Eisenbahn (eis25\_l) mit Siedlung (pri\_25\_a)
3. Strassen in Siedlungsgebiet:
  - a. Definitionsabfrage auf Layer pri\_25\_a ("OBJECTVAL" = 'Z\_Siedl').
  - b. Intersect Siedlung (pri\_25\_a) und Strassen (str25\_l)
4. Strassen ausserhalb Siedlungsgebiet:
  - a. Definitionsabfrage auf Layer pri\_25\_a ("OBJECTVAL" = 'Z\_Siedl').
  - b. Erase Strassen (str25\_l) mit Siedlung (pri\_25\_a)
5. Alle Typen pro Region:
  - a. Die Layer aus dem Intersect und Erase (Punkt 1-4) mit den Regionen überschneiden (Intersect).

6. Auswertungen nach:
  - a. Regionen
  - b. Typ (Objectval)
  - c. Innerhalb / Ausserhalb Siedlung
  - d. Mit und ohne Brücken (dazu wurden auch GedBrue und Steg gezählt)
  - e. Mit und ohne Tunnel (dazu wurden auch Galerie gezählt)
 → Detailliertere Informationen unter folgendem Punkt **Vorgehen Auswertung**

## Vorgehen Auswertung

### Eisenbahn

Die Streckenlängen der Eisenbahnen wurden nach **Region** und nach **Typ** (OBJECTVAL) (z.B. NS\_Bahn1) summiert. Dies wurde sowohl für die Strecken **innerhalb**, wie auch **ausserhalb der Siedlung** gemacht. Für die definitiven Zahlen wurden nicht alle Typen von Eisenbahnen einbezogen. Folgende Typen wurden in die definitiven Zahlen einbezogen:

- Str\_Bhof (Strasse Bahnhof)
- NS\_Bahn1 (Normalspur eingleisig) --> Bahn eingleisig
- SS\_Bahn1 (Schmalspur eingleisig) --> Bahn eingleisig
- NS\_Bahn2 (Normalspur zweigleisig) --> Bahn zweigleisig
- SS\_Bahn2 (Schmalspur zweigleisig) --> Bahn zweigleisig

### Strassen

Die Streckenlängen der Strassen wurden nach **Region** und nach **Typ** (OBJECTVAL) (z.B. 1\_Klass) summiert. Dies wurde sowohl für die Strecken **innerhalb**, wie auch **ausserhalb der Siedlung** gemacht. Für die definitiven Zahlen wurden nicht alle Typen von Strassen einbezogen. Folgende Typen wurden in die definitiven Zahlen einbezogen:

- Autobahn --> Autobahn
- Autob\_Ri (Autobahn richtungsgetreunt) --> Autobahn
- A\_Zufahrt (Autobahn Zufahrt) --> Autobahn
- Autostr (Autostrasse)
- 1\_Klass (1. Klass-Strasse)
- 2\_Klass (2. Klass-Strasse)
- 3\_Klass (3. Klass-Strasse)

WICHTIG: Die Länge der Strassentypen **Autobahn** und **Autob\_Ri** wurden (in der Auswertung) **durch zwei** geteilt (da jeweils beide Achsen eingezeichnet sind).



## Abkürzungsverzeichnis

AHV	Alters- und Hinterlassenenversicherung
AOT40	Mass für die akkumulierte Ozondosis über einem Schwellenwert von 40ppb
ARA	Abwasserreinigungsanlage
Arbm	Arbeitsmaschine
ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
ASTRA	Bundesamt für Strassen
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BAG	Bundesamt für Gesundheit
BAV	Bundesamt für Verkehr
BAZL	Bundesamt für Zivilluftfahrt
BFE	Bundesamt für Energie
BFS	Bundesamt für Statistik
bfu	Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung
BFU	Büro für Flugunfalluntersuchungen
BLW	Bundesamt für Landwirtschaft
BSV	Bundesamt für Sozialversicherung
BUWAL	Ehemals Bundesamt für Umwelt, Wald & Landschaft, seit 1.1.2006 BAFU
CDM	Clean Development Mechanism
CH <sub>4</sub>	Methan
CHF	Schweizer Franken
CO	Kohlenmonoxid
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
CO <sub>2</sub> -eq	CO <sub>2</sub> -Äquivalente, mit dem jeweiligen Treibhauspotential gewichtete Summe der Treibhausgase CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
dB(A)	Dezibel mit A-Bewertung
DTV	Durchschnittlicher Tagesverkehr
€	Euro
EASA	European Aviation Safety Agency
EAWAG	Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz
EBA	Eisenbahn Bundesamt
ENA	European Nitrogen Assessment
EPlan	Emissionsplan
ETS	Emission Trading System (Emissionshandelsystem)
EU	Europäische Union
ExternE	Externalities of Energy
fäG	Fahrzeugähnliche Geräte
Fzkm	Fahrzeugkilometer
GV	Güterverkehr
GW	Gesellschaftswagen (privater Autobus / Car)
HBEFA	Handbuch Emissionsfaktoren
HEATCO	Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment
HEIMTSA	Health and Environment Integrated Methodology and Toolbox for Scenario Assessment
IAP	Institut für angewandte Pflanzenbiologie
ICAO	International Civil Aviation Organization
IER	Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung der Universität Stuttgart

IMPACT	Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport
IPCC	Zwischenstaatlicher Ausschuss über Klimaänderung (Intergovernmental Panel on Climate Change)
ISPMZ	Institut für Sozial- und Präventivmedizin der Universität Zürich
IV	Invalidenversicherung
LFI	Landesforstinventar
Li	Lieferwagen
LIK	Landesindex der Konsumentenpreise
Li	Lieferwagen
LRV	Luftreinhalteverordnung
LSVA	Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe
LW	Lastwagen
Mio.	Millionen
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MR	Motorrad
MWST	Mehrwertsteuer
N <sub>2</sub> O	Lachgas
NABEL	Nationales Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe
NEEDS	New Energy Externalities Development for Sustainability
NH <sub>3</sub>	Ammoniak
NHG	Natur- und Heimatschutzgesetz
NIR	National Inventory Report
NMVO	Non-methane volatile organic carbons
NO <sub>2</sub>	Stickstoffdioxid
NO <sub>x</sub>	Stickoxide
NGVM	Nationales Güterverkehrsmodell des UVEK
NPVM	Nationales Personenverkehrsmodell des UVEK
O <sub>3</sub>	Ozon
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PDF	Potentially Disappeared Fraction
pkm	Personen-Kilometer
PM <sub>2.5</sub>	Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von weniger als 2.5 Mikrometer
PM <sub>10</sub>	Feindisperse Schwebstoffe mit einem aerodynamischen Durchmesser von weniger als 10 Mikrometer (lungengängig)
POoE	Private Organisationen ohne Erwerbscharakter im Dienste der Haushalte
ppb	Parts per billion (Teile pro Milliarde), Konzentrationsmass
ppm	Parts per million (Teile pro Million), Konzentrationsmass
PV	Personenverkehr
PW	Personenwagen
RFI	Radiative Forcing Index (Emissionsgewichtungsfaktor)
Rp	Rappen (100 Rappen = 1 CHF)
SBV	Schweizerischer Bauernverband
SN	Schweizer Norm
SNF	Schwere Nutzfahrzeuge
SOA	Secondary organic aerosols
SO <sub>2</sub>	Schwefeldioxid
SonBase	GIS-basierte Lärmdatenbank Schweiz (BAFU)

---

SS	Sattelschlepper (Sattelzüge und Sattelmotorfahrzeuge)
SSUV	Sammelstelle für die Statistik der Unfallversicherungen
SUVA	Schweizerische Unfallversicherungsanstalt
tkm	Tonnen-Kilometer
Tr	Traktor
UBA	Umwelt Bundesamt
UIC	Internationalen Eisenbahnverbands
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe
UNFCCC	UN Framework Convention on Climate Change
UNITE	UNification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
UVG	Unfallversicherung bzw. Versicherung gemäss Unfallversicherungsgesetz
VBo	Verordnung über die Belastung des Bodens
Vector 25	digitale Landschaftsmodell der Schweiz, basierend auf der Landeskarte 1:25'000
VLYL	Value of life year lost (verlorenes Lebensjahr)
VOC	Flüchtige organische Verbindungen (volatile organic compounds)
VOSL	Value of statistical life (Wert eines frühzeitigen Todesfalles)
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute
WTP	Willingness to pay (Zahlungsbereitschaft)

## Literaturverzeichnis

Allianz Suisse (2013)

Finanzbericht 2012. Online im Internet unter [https://www.allianz.ch/v\\_1375093335000/media/ueber\\_uns/zahlen\\_und\\_fakten/finanzbericht/finanzbericht\\_allianz\\_suisse\\_2012.pdf](https://www.allianz.ch/v_1375093335000/media/ueber_uns/zahlen_und_fakten/finanzbericht/finanzbericht_allianz_suisse_2012.pdf) (Stand: 20.12.2013)

Anthoff (2007)

Report on marginal external damage costs inventory of greenhouse gas emissions. Deliverable D5.4 – RS 1b of the NEEDS project (NEEDS: New energy externalities development for sustainability). D. Anthoff. University of Michigan. Ann Arbor (USA).

ARE Bundesamt für Raumentwicklung (2006)

Erstellung des nationalen Personenverkehrsmodells für den öffentlichen und privaten Verkehr- Modellbeschreibung, Bern, 2006.

ARE Bundesamt für Raumentwicklung (2009)

Prüfung der Agglomerationsprogramme, Erläuterungsbericht. Bundesamt für Raumentwicklung ARE. Bern.

ARE Bundesamt für Raumentwicklung (2010)

Nationales Personenverkehrsmodell des UVEK, Basismodell 2005, Bundesamt für Raumentwicklung, Bern 21.12.2010

ARE Bundesamt für Raumentwicklung (2012a)

Darstellung der Berechnungsmethoden der externen Kosten des Strassen- und Schienenverkehrs 2005-2009 sowie des Luftverkehrs 2010.

ARE Bundesamt für Raumentwicklung (2012b)

Externe Kosten 2005 – 2009. Berechnung der externen Kosten des Strassen- und Schienenverkehrs in der Schweiz. Online im Internet: <http://www.are.admin.ch/themen/verkehr/00252/00472/index.html?lang=de> (12.4.2013).

ASTRA Bundesamt für Strassen (2011)

Unfallfassung, Unfallaufnahmeprotokoll (UAP). Online im Internet: <http://www.astra.admin.ch/unfalldaten/04403/04409/index.html?lang=de> (10.4.2013).

ASTRA Bundesamt für Strassen (2013)

Erhebungsformular Strassenverkehrsunfall (ab 2010 nicht mehr in allen Kantonen im Einsatz und durch ASTRA (2011) ersetzt). Bern.

Augustin, S. und Achermann B. (2012)

Deposition von Luftschadstoffen in der Schweiz: Entwicklung, aktueller Stand und Bewertung. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, Vol. 163, Issue 9, Seiten 323-330.

B,S,S. Volkswirtschaftliche Beratung AG (2009)

Literaturübersicht Kernenergie. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Energie. Online: [http://www.bfe.admin.ch/forschungewg/02544/02810/index.html?lang=de&dossier\\_id=03947](http://www.bfe.admin.ch/forschungewg/02544/02810/index.html?lang=de&dossier_id=03947) (4.2.2013).

- Babisch W., Kamp I (2009)  
Exposure-response relationship of the association between aircraft noise and the risk of hypertension. *Noise & health*. 2009;11(44):161-8.
- Babisch, W.; Beule, B.; Schust, M.; Kersten, N.; Ising, H. (2005)  
Traffic noise and risk of myocardial infarction. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)* 2005, 16, (1), 33-40.
- Babisch, W.; Ising, H.; Gallacher, J. E.; Sweetnam, P. M.; Elwood, P. C. (1999)  
Traffic noise and cardiovascular risk: the Caerphilly and Speedwell studies, third phase--10-year follow up. *Archives of environmental health* 1999, 54, (3), 210-6.
- Babisch, W.; Ising, H.; Kruppa, B.; Wiens, D. (1994)  
The incidence of myocardial infarction and its relation to road traffic noise— the Berlin case-control studies. *Environment International* 1994, 20, (4), 469-474.
- Baer N., Schuler D., Füglistler-Dousse S., Moreau-Gruet F. (2013)  
Depressionen in der Schweiz. Daten zur Epidemiologie, Behandlung und sozial-beruflichen Integration. Obsan Bericht 56. Neuchâtel: Schweizerisches Gesundheitsobservatorium. Online:  
<http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/news/publikationen.html?publicationID=5191>  
(20.8.2013)
- BAFU Bundesamt für Umwelt (2008)  
Treibstoffverbrauch und Schadstoffemissionen des Offroad-Sektors, Studie für die Jahre 1980–2020. Infrass im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU. Bern.
- BAFU Bundesamt für Umwelt (2009)  
Lärmbelastung in der Schweiz. Ergebnisse des nationalen Lärmmonitorings SonBase. Online im Internet:  
<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01036/index.html?lang=de>  
(17.6.2013).
- BAFU Bundesamt für Umwelt (2010)  
Switzerland's Fourth National Report under the Convention on Biological Diversity. Bundesamt für Umwelt (BAFU) / Federal Office for the Environment (FOEN). Bern.
- BAFU Bundesamt für Umwelt (2010a)  
Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1990–2035. Aktualisierung 2010. Bundesamt für Umwelt, Bern, Umwelt-Wissen Nr. 1021: 130 S.
- BAFU Bundesamt für Umwelt (2011)  
Jahrbuch Wald und Holz 2011. Bundesamt für Umwelt. Bern.
- BAFU Bundesamt für Umwelt (2011)  
Switzerland's Informative Inventory Report 2011 (IIR). Submission under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. Submission of March 2013 to the United Nations ECE Secretariat. Federal Office for the Environment. Bern.
- BAFU Bundesamt für Umwelt (2012)  
Auswirkungen von künstlichem Licht auf die Artenvielfalt und den Menschen. Bundesamt für Umwelt. Bern.

- BAFU Bundesamt für Umwelt (2013)  
PM10 and PM2.5 ambient concentrations in Switzerland, Modelling results for 2005, 2010, 2020. Env. Studies No 1304. INFRAS/METEOTEST im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU. Online im Internet: [www.bafu.admin.ch/uw-1304-e](http://www.bafu.admin.ch/uw-1304-e) (9.4.2013).
- BAFU Bundesamt für Umwelt (2013)  
Switzerland's Informative Inventory Report (IIR). Submission under the UNECE Convention Long-range Transboundary Air Pollution. Submission of March 2013 to the United Nations ECE Secretariat. Bundesamt für Umwelt BAFU. Bern.
- BAFU Bundesamt für Umwelt (2013)  
Treibhausgasinventar der Schweiz, Common Reporting Format CRF. Jährliche Submission unter der UN Klimarahmenkonvention UFCCC. Daten für 1990 bis 2011. Bundesamt für Umwelt. Bern.
- BAFU, MeteoSchweiz (2013)  
Klimaänderung in der Schweiz. Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen, Massnahmen. Bundesamt für Umwelt (BAFU) und Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz). Bern/Zürich.
- BAG Bundesamt für Gesundheit (2012)  
Statistik der obligatorischen Krankenversicherung 2010. Online im Internet: <http://www.bag.admin.ch/themen/krankenversicherung/01156/index.html?lang=de> (3.9.2013).
- Barfi S., Filippini M., Horehájová A., Pióro D. (2007)  
Zahlungsbereitschaft für eine verbesserte Umweltqualität am Wohnort. Schätzungen für die Städte Zürich und Lugano für die Bereiche Luftverschmutzung, Lärmbelastung und Elektromog von Mobilfunkantennen. Umwelt-Wissen Nr. 0717. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Baranzini Andrea, Ramirez José V. (2005)  
Paying for quietness: the impact of noise on Geneva rents. In: *Urban Studies* 42(4): 633-646.
- Baranzini Andrea, Schaerer Caroline (2007)  
A Sight for Sore Eyes: assessing the value of view and landscape use on the housing market. Cahier de recherche HES-SO/HEG-GE/C—07/1/1—CH an der Haute école de gestion de Genève.
- Baranzini Andrea, Schaerer Caroline, Ramirez José V., Thalmann Philippe (2006)  
Feel it or measure it. Perceived versus Measured Noise in Hedonic Models. Cahier de recherche HES-SO/HEG-GE/C—06/7/1—CH an der Haute école de gestion de Genève.

Beelen R., Raaschou-Nielsen O., Stafoggia M., Andersen Z.J., Weinmayr G., Hoffmann B., Wolf K., Samoli E., Fischer P., Nieuwenhuijsen M., Vineis P., Xun W.W., Katsouyanni K., Dimakopoulou K., Oudin A., Forsberg B., Modig L., Havulinna A.S., Lanki T., Turunen A., Oftedal B., Nystad W., Nafstad P., De Faire U., Pedersen N.L., Ostenson C.G., Fratiglioni L., Penell J., Korek M., Pershagen G., Eriksen K.T., Overvad K., Ellermann T., Eeftens M., Peeters P.H., Meliefste K., Wang M., Bueno-de-Mesquita B., Sugiri D., Kramer U., Heinrich J., de Hoogh K., Key T., Peters A., Hampel R., Concin H., Nagel G., Ineichen A., Schaffner E., Probst-Hensch N., Kunzli N., Schindler C., Schikowski T., Adam M., Phuleria H., Vilier A., Clavel-Chapelon F., Declercq C., Gironi S., Krogh V., Tsai M.Y., Ricceri F., Sacerdote C., Galassi C., Migliore E., Ranzi A., Cesaroni G., Badaloni C., Forastiere F., Tamayo I., Amiano P., Dorronsoro M., Katsoulis M., Trichopoulou A., Brunekreef B., Hoek G. (2013)

Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. *Lancet*, 6736 (13): 62158-3.; appendix

Beelen, R.; Hoek, G.; Houthuijs, D.; van den Brandt, P. A.; Goldbohm, R. A.; Fischer, P.; Schouten, L. J.; Armstrong, B.; Brunekreef, B. (2009)

The joint association of air pollution and noise from road traffic with cardiovascular mortality in a cohort study. *Occup Environ Med* 2009, 66, (4), 243-50.

Belojevic G.; Evans G. W.; Paunovic K.; Jakovljevic B. (2012)

Traffic noise and executive functioning in urban primary school children: The moderating role of gender. *Journal of Environmental Psychology* 2012, 32, (4), 337-341.

BFS Bundesamt für Statistik (2003)

Bevölkerungsstatistik: Mittlere Wohnbevölkerung nach Städten mit mehr als 30 000 Einwohnern. Bundesamt für Statistik. Neuchâtel.

BFS Bundesamt für Statistik (2003)

Pendlerstatistik 2000 auf Basis der eidgenössischen Volkszählung 2000. Online-Datenbank: <http://www.pendlerstatistik.admin.ch>

BFS Bundesamt für Statistik (2005)

Gesamtkonzept Mobilitäts- und Verkehrsstatistik Schweiz. Online im Internet: [www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/.../11/.../01.Document.100593.pdf](http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/.../11/.../01.Document.100593.pdf) (5.8.2013).

BFS Bundesamt für Statistik (2005)

Gesamtkonzept Mobilitäts- und Verkehrsstatistik, Modul 4: Nomenklaturen. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Statistik. Online: <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/11/11/01/03/01.html> (23.1.2013).

BFS Bundesamt für Statistik (2010)

Gesundheit und Gesundheitsverhalten in der Schweiz 2007. Schweizerische Gesundheitsbefragung. Neuchâtel.

BFS Bundesamt für Statistik (2011)

Input-Output-Tabelle 2008. Online im Internet: <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/04/02/01/dos/02.html> (26.3.2013).

- BFS Bundesamt für Statistik (2012)  
Medizinische Statistik der Krankenhäuser. Online im Internet:  
<http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/14/04/01/data/01/05.html>  
(14.3.2013).
- BFS Bundesamt für Statistik (2012)  
Kosten und Finanzierung des Gesundheitswesens 2010: Definitive Zahlen. Kosten und Finanzierung des Gesundheitswesens nach Leistungserbringern und Finanzierungsregimes 2010, Tabelle T 14.5.3.4  
[http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/14/01/new/nip\\_detail.html?gnpID=2012-350](http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/14/01/new/nip_detail.html?gnpID=2012-350) (2.9.2013).
- BFS Bundesamt für Statistik (2013)  
Fahrleistungen des privaten motorisierten Personenverkehrs. Neuchâtel.
- BFS Bundesamt für Statistik (2013)  
Fahrzeugbewegungen und Fahrleistungen im Personenverkehr. Neuchâtel.
- BFS Bundesamt für Statistik (2013)  
Leistungen des privaten Personenverkehrs auf der Strasse. Methodenbericht 2012. Neuchâtel.
- BFS Bundesamt für Statistik (2013)  
Produzentenpreise Rohholz. Bundesamt für Statistik BFS. Neuchâtel.
- BFS Bundesamt für Statistik (2013)  
Statistik diagnosebezogener Fallkosten. Online im Internet:  
<http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/14/04/01/data/01/05.html>  
(11.2.2013).
- BFS Bundesamt für Statistik (2013)  
STAT-TAB: Die interaktive Statistikdatenbank. Verkehrsunfälle und Umweltauswirkungen. Strassenverkehrsunfälle: Verunfallte ab 1992. Neuchâtel.
- BFS Bundesamt für Statistik (2013)  
STAT-TAB: Die interaktive Statistikdatenbank. Verkehrsinfrastruktur und Fahrzeuge. Strassenfahrzeugbestand: Motorfahrzeuge ab 1990. Neuchâtel.
- BFS Bundesamt für Statistik (2013)  
T 11.6.1.2.1. Unfälle der Eisenbahnen und verunfallte Personen. Neuchâtel.
- BFS Bundesamt für Statistik (2013)  
Strassenfahrzeuge – Bestand, Motorisierungsgrad. Neuchâtel
- BFS Bundesamt für Statistik (2013)  
T.11.4.1.2 Verkehrsleistungen im Personenverkehr. Neuchâtel.
- BFS Bundesamt für Statistik (2013)  
Unfälle nach Verkehrsträgern. Online im Internet:  
<http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/11/06/blank/01.html> (18.12.2013).



BFS Bundesamt für Statistik (2013)

Vielfältige Folgen leichter Depressionen. Medienmitteilung vom 17.6.2013. Online:  
[http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/14/01/new/nip\\_detail.html?gnpID=2010-057](http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/14/01/new/nip_detail.html?gnpID=2010-057) (20.8.2013).

BFS Bundesamt für Statistik (2013a)

Statistik der Bevölkerung und der Haushalte (STATPOP) ab 2010. Ergebnisse der neuen Volkszählung.  
[http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/dienstleistungen/geostat/datenbeschreibung/voelks-\\_\\_gebaeude-0.Document.162799.pdf](http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/dienstleistungen/geostat/datenbeschreibung/voelks-__gebaeude-0.Document.162799.pdf)

bfu Beratungsstelle für Unfallverhütung(2012)

Sinus-Report 2011. Sicherheitsniveau und Unfallgeschehen im Strassenverkehr 2010. Bern.

bfu Beratungsstelle für Unfallverhütung(2013)

Status 2013. Statistik der Nichtberufsunfälle und des Sicherheitsniveaus in der Schweiz. Bern. Online im Internte:  
[http://www.bfu.ch/sites/assets/Shop/bfu\\_2.118.01\\_STATUS%202013%20-%20Statistik%20der%20Nichtberufsunfälle%20und%20des%20Sicherheitsniveaus%20i n%20der%20Schweiz.pdf](http://www.bfu.ch/sites/assets/Shop/bfu_2.118.01_STATUS%202013%20-%20Statistik%20der%20Nichtberufsunfälle%20und%20des%20Sicherheitsniveaus%20i n%20der%20Schweiz.pdf) (20.12.2013).

Bickel Peter, Hunt Alistair, De Jon Gerard, Laird James, Lieb Christoph, Lindberg Gunnar, Mackie Peter, Navrud Stale, Odgaard Thomas, Shies Jeremy, Tavasszy Lori (2006) HEATCO D5: Proposal for Harmonized Guidelines. Deliverable 5 of HEATCO (Developing Harmonized European Approaches for Transport Costing and Project Assessment).

Braun, Rihm (2012)

Ozonbelastung von Waldbäumen in der Schweiz und damit verbundene Wachstumseinbussen. S. Braun, B. Rihm. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, Volume 163, Issue 9, pp. 383-388.

Braun, S. et al. (2010)

Does nitrogen deposition increase forest production? The role of phosphorus. S. Braun, V. F.D. Thomas, R. Quiring, W. Flückiger. Environment Pollution, Volume 158, Issue 6, Seiten 2043-2052.

Braun, S. et al. (2012)

Stickstoffeinträge in den Schweizer Wald : Ausmass und Auswirkungen. S. Braun, B. Rihm, W. Flückiger. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, Volume 163, Issue 9, Seiten 355-362.

Braun, S. und Flückiger, W. (2012)

Bodenversauerung in den Flächen des Interkantonalen Walddauerbeobachtungsprogramms. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, Vol. 163, Issue 9, Seiten 374-382.

Braun, S., Rihm, B. und Flückiger, W. (2012)

Stickstoffeinträge in den Schweizer Wald: Ausmass und Auswirkungen. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, Vol. 163, Issue 9, Seiten 355-362.

- Breyer Friedrich, Zweifel Peter, Kifmann Mathias (2005)  
Gesundheitsökonomik. Springer-Verlag.
- Briggs DJ. (2008).  
A framework for integrated environmental health impact assessment of systemic risks. Environ Health. Vol 7, 61. Online im Internet: <http://www.heimtsa.eu/>;  
[http://europa.eu/legislation\\_summaries/other/l28026\\_en.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/other/l28026_en.htm)
- Brimblecombe, P. und Grossi, C.M. (2010)  
Potential Damages to Modern Building Materials from 21<sup>st</sup> Century Air Pollution. The Scientific World Journal. 2010, Vol. 10, pp. 116-125.
- BSV Bundesamt für Sozialversicherungen (2013)  
Regress(gerichts)prozesse: Wirtschaftliches und Statistisches. In: Soziale Sicherheit. Ausgabe 3/2012. Bern.
- Bundesgericht (2011)  
Urteil vom 17. Dezember 2011, LSVa, Abklassierung EURO-3. II. öffentlich-rechtliche Abteilung.
- Bundesgesetzes über den Allgemeinen Teil des Sozialversicherungsrechts (ATSG) vom 6. Oktober 2000 (Stand 1. Januar 2012). Online:  
<http://www.admin.ch/ch/d/sr/8/830.1.de.pdf> (5.2.2013).
- Bundesrat (2009)  
Botschaft zum Bundesbeschluss über die Freigabe der Mittel ab 2011 für das Programm Agglomerationsverkehr. Bundesblatt 09.083. Schweizerischer Bundesrat.
- Bundesrat (2012)  
Strategie Biodiversität Schweiz. Bundesblatt Nr. 30 vom 24. Juli 2012, S. 7239-7342. Schweizerischer Bundesrat.
- Burkhardt Michael, Rossi Luca, Boller Markus (2008)  
Diffuse release of environmental hazards by railways. In: Desalination Vol 226 (2008), S. 106-113.
- Buser H., Kaufmann Y., Lack-Aschwanden N., Ott W. (2004)  
Externe Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft. Monetarisierung der Verluste und Fragmentierung von Habitaten. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumplanung, des Bundesamtes für Strassen und des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft. Bern.
- BUWAL Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (1998)  
Landschaftskonzept Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). Bern.
- BUWAL Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (2003)  
LOTHAR – Ökonomische Auswirkungen, Wald- und Gesamtwirtschaft. Umwelt-Materialien Nr. 157. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). Bern.

- BUWAL Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (2004)  
LOTHAR – Rechenschaftsbericht, Materielle und finanzielle Bilanz 2000-2003.  
Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). Bern.
- BUWAL Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (2005)  
Landschaftsästhetik Arbeitshilfe. Leitfaden Umwelt Nr. 9. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). Bern.
- BUWAL Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (2005)  
LOTHAR – Ursächliche Zusammenhänge und Risikoentwicklung. Umwelt-Materialien Nr. 184. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). Bern.
- BWO (2011)  
Wohneigentumsquote. Online im Internet:  
<http://www.bwo.admin.ch/dokumentation/00101/00105/index.html> (8.9.2011).
- BWO (2011)  
Wohneigentumsquoten Schweiz - EU (2008). Online im Internet:  
<http://www.bwo.admin.ch/dokumentation/00101/00105/index.html> (8.9.2011).
- CAFE (Cleaner Air for Europe)  
Online im Internet: <http://ec.europa.eu/environment/archives/cape/general/keydocs.htm>  
(11.4.2013).
- Cai, Judd, Lontzek (2012)  
The Social Cost Of Abrupt Climate Change. Y. Cai, K. L. Judd, T. S. Lontzek. National Bureau of Economic Research Working Paper Series (January 2013). Online im Internet:  
[http://www-2.iies.su.se/Nobel2012/Papers/Lontzek\\_et\\_al.pdf](http://www-2.iies.su.se/Nobel2012/Papers/Lontzek_et_al.pdf)
- California Department of Finance (1995)  
Stutter County General Plan. Background Report. Online  
<http://ceres.ca.gov/planning/genplan/sutter/> (2.11.2013).
- Carthy Trevor, Jones-Lee Michael, Chilton Susan, Loomes Graham, Covey Judith, Pidgeon Nick, Hopkins Lorraine, Spencer Anne (1999)  
On the Contingent Valuation of Safety and the Safety of Contingent Valuation: art 2 – The CV/SG “chained” Approach. In: Journal of Risk and Uncertainty 17 (3), S. 187-214.
- CE Delft, Infrac, ISI (2012)  
External Costs of Transport in Europe – Update Study for 2008; CE Delft, Infrac, ISI Fraunhofer im Auftrag des Internationalen Eisenbahnverbands UIC. Delft, Zürich und Karlsruhe.
- Chang K. (2010)  
Comorbidities, quality of life and patients' willingness to pay for a cure for type 2 diabetes in Taiwan. In: Public Health, Issue 24, S. 284-294.
- Clark C., Crombie R., Head J., van Kamp I., van Kempen E., Stansfeld S. A. (2012)  
Does traffic-related air pollution explain associations of aircraft and road traffic noise exposure on children's health and cognition? A secondary analysis of the United Kingdom sample from the RANCH project. Am J Epidemiol 176, (4), 327-37.

- Correia, A. W.; Peters, J. L.; Levy, J. I.; Melly, S.; Dominici, F. (2013)  
Residential exposure to aircraft noise and hospital admissions for cardiovascular diseases: multi-airport retrospective study. *BMJ* 2013, 347.
- DG Environment (2000)  
Recommended Interim Values for the Value of Preventing a Fatality in DG Environment Cost Benefit Analysis. Online im Internet:  
[http://www.europa.eu.int/comm/environment/enveco/others/recommended\\_interim\\_values.pdf](http://www.europa.eu.int/comm/environment/enveco/others/recommended_interim_values.pdf) (19.4.2004).
- DG MOVE (2014)  
Update of the Handbook on External Costs of Transport. Ricardo-AEA, DIW-econ und CAU Universität Kiel im Auftrag der EU Kommission, DG MOVE. Didcot (UK).
- Die Mobiliar (2013)  
Geschäftsbericht 2012. Online im Internet unter [http://www.mobiliar.ch/files/downloads/123401\\_MobiGB12\\_low\\_de.pdf](http://www.mobiliar.ch/files/downloads/123401_MobiGB12_low_de.pdf) (Stand: 20.12.2013)
- Dratva J, Phuleria HC, Foraster M, Gaspoz JM, Keidel D, Künzli N, Liu LJ, Pons M, Zemp E, Gerbase MW, Schindler C. (2012)  
Transportation noise and blood pressure in a population-based sample of adults. *Environ Health Perspect.* Vol 120(1), p. 50-55.
- EBA Eisenbahn Bundesamt (2006)  
Hinweise zur ökologischen Wirkungsprognose in UVP, LBP und FFH-Verträglichkeitsprüfungen bei Aus- und Neubaumassnahmen von Eisenbahnen des Bundes, veröffentlicht März 2004, aktualisiert November 2006.
- EC (2011)  
A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050. European Commission. Brussels.
- EC (2014)  
A policy framework for climate and energy in the period from 2020 to 2030. European Commission (Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions). Brussels.
- Eco-indicator 99 (2000)  
The Eco-indicator 99. A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment: Methodology Report. Goedkoop, M., Spriensma, R. (Pre Consultants). Amersfoort.
- Ecoinvent (2007)  
Ecoinvent data Version 2.0, Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Doka G., Heck T., Hellweg S., Hirschler, R., Nemecek T., Rebitzer G., Spielmann M., Wernet G. (2007) Overview and Methodology. ecoinvent report No. 1. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf. Ökoinventar-Datensätze aus Ecoinventdatenbank:  
<http://www.ecoinvent.org>
- Ecoinvent (2007)  
Transport Services, Data v2.0 (2007), M. Spielmann, Ch. Bauer., R. Dones, M. Tuchschnid. ETH Zürich. ecoinvent report No. 14. Villigen und Uster.

## Ecoinvent (2010):

Ecoinvent data Version 2.2. Hischier R., Weidema B., Althaus H.-J., Bauer C., Doka G., Dones R., Frischknecht R., Hellweg S., Humbert S., Jungbluth N., Köllner T., Loerincik Y., Margni M., and Nemecek T. Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. Final report ecoinvent v2.2 No. 3. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Dübendorf. Ökoinventar-Datensätze aus Ecoinventdatenbank. Online im Internet: <http://www.ecoinvent.org>

## Econcept (2006)

Die Kosten von Luftverschmutzung und Treibhausgasemissionen im Kanton Zürich 2005. Studie im Auftrag des AWEL Kanton Zürich. Zürich.

## Econcept (2012)

Erhebung der Zahlungsbereitschaft für Massnahmen zur Förderung der Biodiversität im Wald. Econcept im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt. Zürich.

## Econcept (2013)

Die Kosten der Luftverschmutzung für den Kanton Zürich, die Stadt Zürich und die Stadt Winterthur. Studie im Auftrag von AWEL Kanton Zürich, UGZ Stadt Zürich, Fachstelle Umwelt Winterthur. Zürich.

## Econcept, Nateco (2004)

Externe Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft. Monetarisierung der Verluste und Fragmentierung von Habitaten. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumplanung, des Bundesamtes für Strassen und des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft. Bern.

## Ecoplan (1992)

Der externe Nutzen des Verkehrs. Studie im Auftrag des Dienstes für Gesamtverkehrsfragen und des NFP 25 „Stadt und Verkehr“. Bern und Altdorf.

## Ecoplan (1996)

Monetarisierung der verkehrsbedingten externen Gesundheitskosten. Synthesebericht, GVF-Auftrag Nr. 272. Bern.

## Ecoplan (2001)

Externe Lärmkosten des Verkehrs: Hedonic Pricing Analyse, Arbeitspapier (Vorstudie II), Altdorf und Bern.

## Ecoplan (2002)

Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr der Schweiz 1998. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung. Altdorf.

## Ecoplan (2007)

Die Energieperspektiven 2035 – Band 3: Volkswirtschaftliche Auswirkungen, Ergebnisse des dynamischen Gleichgewichtsmodells, mit Anhang über die externen Kosten des Energiesektors. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Energie. Bern.

## Ecoplan (2007)

Volkswirtschaftliche Kosten der Nichtberufsunfälle in der Schweiz: Strassenverkehr, Sport, Haus und Freizeit. Bfu-report 58.

## Ecoplan (2008)

Externe Kosten im Strassenverkehr. Grundlagen für die Durchführung einer Kosten-Nutzen-Analyse. Forschungsauftrag 2005 / 204 des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS). Bern.

## Ecoplan (2010)

Kosten der Demenz in der Schweiz. Studie im Auftrag der Schweizerischen Alzheimervereinigung. Bern.

## Ecoplan (2011)

Vergleich der Berechnung von lärmbedingten DALY und externen Lärmkosten. Arbeitspapier zuhanden des Bundesamtes für Umwelt. Bern.

## Ecoplan (2012)

Energiestrategie 2050 – volkswirtschaftliche Auswirkungen. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Energie. Bern.

## Ecoplan (2012)

Vertiefung der Methodik zur Berechnung der externen Unfallkosten aus Sicht Verkehrsart. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung. Bern.

## Ecoplan (2012)

Volkswirtschaftliche Auswirkungen einer ökologischen Steuerreform. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Energie, der Eidgenössischen Steuerverwaltung und der Eidgenössischen Finanzverwaltung

## Ecoplan (2013)

Auswirkungen des Verkehrslärms auf die Gesundheit. Berechnung von DALY für die Schweiz. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt. Altdorf und Bern.

## Ecoplan, Infrac (2006)

Die Nutzen des Verkehrs – Teilprojekt 1: Begriffe, Grundlagen und Messkonzept. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung und des Bundesamtes für Strassen. Bern.

## Ecoplan, Infrac (2006)

Die Nutzen des Verkehrs, Synthese der Teilprojekte 1-4. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung und des Bundesamtes für Strassen.

## Ecoplan, Infrac (2008)

Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz. Aktualisierung für das Jahr 2005 mit Bandbreiten. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung und des Bundesamtes für Umwelt. Bern.

## Ecoplan, Infrac (2010)

Berechnungsmethodik und Prognose der externen Kosten des Schwerverkehrs. Arbeitspaket 2 im Rahmen der „Weiterentwicklung der LSVA“. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung. Bern, Altdorf und Zürich.

## Ecoplan, Infrac (2010)

Ertragsprognose der leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe (LSVA). Arbeitspaket 1 im Rahmen der „Weiterentwicklung der LSVA“. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung. Bern, Altdorf und Zürich.

## Ecoplan, Infrac, ISPM (Institut für Sozial- und Präventivmedizin) (2004)

Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz. Aktualisierung für das Jahr 2000. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung, des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft, des Bundesamtes für Energie sowie des Bundesamtes für Gesundheit. Bern.

## Ecoplan, ISPMZ (Institut für Sozial- und Präventivmedizin der Universität Zürich) (2013)

Integration des Langsamverkehrs in die Transportrechnung. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Statistik und des Bundesamtes für Raumentwicklung. Bern, Altdorf und Zürich.

## Ecoplan, metron (2005)

Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr. Kommentar zum Entwurf der VSS-Grundlagennorm SN 641 820. Forschungsauftrag VSS 2000/342 auf Antrag des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute. Bern und Brugg.

## Ecoplan, Planteam, IHA-ETH (Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie) (2004)

Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz. Aktualisierung für das Jahr 2000. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung, des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft sowie des Bundesamtes für Gesundheit. Bern.

## Ecoplan, Sigmaplan (2007)

Auswirkungen der Klimaänderung auf die Schweizer Volkswirtschaft (nationale Einflüsse). Ecoplan und Sigmaplan im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt und des Bundesamtes für Energie. Bern.

## EEA (European Environmental Agency) (2010)

Good practice guide on noise exposure and potential health effects. ISBN 978-92-9213-140-1, ISSN 1725-2237. Copenhagen, 2010.

## EEA (European Environmental Agency) (2013)

Road user charges for heavy goods vehicles (HGV). Tables with external costs of air pollution. EEA Technical report No 1/2013. Online:  
<http://www.eea.europa.eu/publications/road-user-charges-for-vehicles> (14.8.2013).

## Etzold et al. (2014)

Tree growth in Swiss forests between 1995 and 2010 in relation to climate and stand conditions: Recent disturbances matter. S. Etzold, P. Waldner, A. Thimonier, M. Schmitt, M. Dobbertin. Forest Ecology and Management, Volume 311, Januar 2014, pp. 41–55.

## EU (2000)

Workshop on the value of reducing the risk of ill health or a fatal illness. Brussels 13th November 2000. Online im Internet:  
[http://europa.eu.int/comm/environment/enveco/others/proceedings\\_of\\_the\\_workshop.pdf](http://europa.eu.int/comm/environment/enveco/others/proceedings_of_the_workshop.pdf) (20.4.2004).

## European Commission (2005)

ExternE – Externalities of Energy – Methodology 2005 Update. EUR 21951. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg. Online im Internet: [http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/kina\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/kina_en.pdf) (4.2.2013).

## European Environmental Agency EEA (2013)

Road user charges for heavy goods vehicles (HGV), Tables with external costs of air pollution, EEA Technical report No 1/2013

## EWS (1997)

Kommentar zum Entwurf "Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Strassen (EWS)". Aktualisierung der RAS-W'86. Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen. Köln.

## FPRE Fahrländer Partner AG (2013)

Berechnungsmodell für die LAN (Spezialgesetzliche Ausgleichsnorm für übermässige Lärmbelastung). Unveröffentlichte Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt. Zürich.

## Friedrich Rainer, Bickel Peter (2001)

Environmental External Costs of Transport. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.

## Fuhrer (2009)

Ozone risk for crops and pastures in present and future climates. J. Fuhrer. *Naturwissenschaften* (2009) 96, pp.173–194.

## Gan, W. Q.; Davies, H. W.; Koehoorn, M.; Brauer, M. (2012)

Association of long-term exposure to community noise and traffic-related air pollution with coronary heart disease mortality. *American journal of epidemiology* 2012, 175, (9), 898-906.

## Generali Gruppe Schweiz (2013)

Geschäftsbericht 2012. Generali Gruppe Schweiz. Online im Internet unter [https://www.generali.ch/dms/xpw/files\\_de/unternehmen/geschaeftsbericht/Geschaeftsbericht\\_2012\\_DE.pdf](https://www.generali.ch/dms/xpw/files_de/unternehmen/geschaeftsbericht/Geschaeftsbericht_2012_DE.pdf) (Stand: 20.12.2013)

## Graham D. J. (2007)

Agglomeration Economies and Transport Investment, Joint Transport Research Centre/OECD/ITF.

## Hansell, A. L.; Blangiardo, M.; Fortunato, L.; Floud, S.; de Hoogh, K.; Fecht, D.; Ghosh, R. E.; Laszlo, H. E.; Pearson, C.; Beale, L.; Beevers, S.; Gulliver, J.; Best, N.; Richardson, S.; Elliott, P. (2013)

Aircraft noise and cardiovascular disease near Heathrow airport in London: small area study. *BMJ* 2013, 347.

## Harmens, H. und Mills G. (2012)

Ozone Pollution: Impacts on Carbon Sequestration in Europe. Report prepared by the ICP Vegetation. Centre for Ecology and Hydrology. Gwynedd UK.



Hayes et. al. (2007)

Evidence of Widespread Ozone Damage to Vegetation in Europe (1990-2006). F. Hayes, G. Mills, H. Harmens, D. Norris. Programme Coordination Centre for the ICP Vegetation. Centre for Ecology & Hydrology. Bangor (UK).

HEIMTSA (2008)

Literature review of theoretical issues and empirical estimation of health end-points unit values: *indoor air case study*. HEIMTSA (Health and Environment Integrated Methodology and Toolbox for Scenario Assessment) Deliverable 4.1.1. Online: <http://www.heimtsa.eu/Results/Deliverables/tabid/2937/language/en-GB/Default.aspx> (14.8.2013).

HEIMTSA (2008)

Literature review of theoretical issues and empirical estimation of health end-points unit values: *outdoor air case study*. HEIMTSA (Health and Environment Integrated Methodology and Toolbox for Scenario Assessment) Deliverable 4.1.1. Online: <http://www.heimtsa.eu/Results/Deliverables/tabid/2937/language/en-GB/Default.aspx> (14.8.2013).

HEIMTSA (2008)

Literature review of theoretical issues and empirical estimation of health end-points unit values: *noise case study*. HEIMTSA (Health and Environment Integrated Methodology and Toolbox for Scenario Assessment) Deliverable 4.1.1. Online: <http://www.heimtsa.eu/Results/Deliverables/tabid/2937/language/en-GB/Default.aspx> (14.8.2013).

HEIMTSA (2011)

Monetary values for health end-points used in the HEIMTSA / INTARESE *Common Case Study*. HEIMTSA (Health and Environment Integrated Methodology and Toolbox for Scenario Assessment) Deliverable 4.1.2. Online: <http://www.heimtsa.eu/Results/Deliverables/tabid/2937/language/en-GB/Default.aspx> (14.8.2013).

HEIMTSA (2011)

Presentation of unit values for health end-points: country-specific and pooled. HEIMTSA (Health and Environment Integrated Methodology and Toolbox for Scenario Assessment) Deliverable 4.1.3. Online: <http://www.heimtsa.eu/Results/Deliverables/tabid/2937/language/en-GB/Default.aspx> (14.8.2013).

HEIMTSA (Health and Environment Integrated Methodology and Toolbox for Scenario Assessment). Online im Internet: <http://www.heimtsa.eu/>

Helvetia Gruppe (2013)

Unternehmensprofil. Präsentation zum Halbjahresabschluss. Online im Internet unter <https://www.helvetia.com/corporate/content/dam/helvetia/corporate/de/publications/infokit-halbjahresabschluss/2013/unternehmensprofil-hj2013-de.pdf> (Stand 20.12.2013)

Hoek G., Krishnan R.M., Beelen R., Peters A., Ostro B., Brunekreef B., Kaufman J. (2013) Long-term air pollution exposure and cardio- respiratory mortality: a review. *Environmental Health*. 12(1):43

Holland et al. (2002)

Economic Assessment of Crop Yield Losses from Ozone Exposure. M. Holland, G. Mills, F. Hayes, A. Buse, L. Emberson, H. Cambridge, S. Cinderby, A. Terry, M. Ashmore. The UNECE International Cooperative Programme on Vegetation. Contract EPG 1/3/170. University of Wales, Bangor (UK).

Hollaway et al. (2012)

Intercontinental trans-boundary contributions to ozone-induced crop yield losses in the Northern Hemisphere. M. J. Hollaway, S. R. Arnold, A. J. Challinor, L. D. Emberson. *Biogeosciences*, 9 (2012), pp. 271–292.

Hope (2011)

The Social Cost of CO<sub>2</sub> from the PAGE09 Model. Economics Discussion Papers, No 2011-39. Online im Internet:  
<http://www.economics-ejournal.org/economics/discussionpapers/2011-39>

Hürlimann (2011)

Auswirkungen von Strassenabwasser auf Oberflächengewässer – Gewässerökologische Beurteilung. J. Hürlimann. *GWA – Fachzeitschrift für Gas, Wasser und Abwasser*, 11/2011, pp. 793-801.

Huss A., Spoerri A., Egger M, Rösli M. (2010)

Aircraft noise, air pollution, and mortality from myocardial infarction. *Epidemiology* 21 (6): S. 829-36.

IAP (2004)

Wie geht es unserem Wald? Ergebnisse aus Dauerbeobachtungsflächen von 1984 bis 2004. Bericht 2, W. Flückiger, S. Braun. Institut für Angewandte Pflanzenbiologie (IAP). Schönenbuch.

IAP (2009)

Wie geht es unserem Wald? – 25 Jahre Walddauerbeobachtung. Institut für Angewandte Pflanzenbiologie. Schönenbuch.

IAP (2013)

Wie geht es unserem Wald? – 29 Jahre Walddauerbeobachtung. Institut für Angewandte Pflanzenbiologie. Schönenbuch.

IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans (2012).

Diesel and gasoline engine exhaust and some Nitroarenes, VOL 105, Lyon.

IER Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart (2012)

Sachstandspapier zu Lärm. Unveröffentlichte Studie für die UBA Methodenkonvention 2.0: Schätzung externer Umweltkosten und Vorschläge zur Kosteninternalisierung in ausgewählten Politikfeldern. Friedrich Rainer, Ohlau Katrin, Preiss Philipp, Müller Wolf Stuttgart.

- IER Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart (2012)  
Sachstandspapier zu klassische Luftschadstoffe. Unveröffentlichte Studie für die UBA Methodenkonvention 2.0: Schätzung externer Umweltkosten und Vorschläge zur Kosteninternalisierung in ausgewählten Politikfeldern. P. Preiss, W. Müller, S. Torras, A. Kuhn, R. Friedrich. Stuttgart.
- IER Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart (2012)  
Sachstandspapier zu: Treibhausgase & Klimawandel. Unveröffentlichte Studie für die UBA Methodenkonvention 2.0: Schätzung Externer Umweltkosten und Vorschläge zur Kosteninternalisierung in ausgewählten Politikfeldern. – V. Wille, P. Preiss, R. Friedrich. Stuttgart.
- IER Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart (2012)  
Sachstandspapier zu: Toxische Stoffe. Unveröffentlichte Studie für die UBA Methodenkonvention 2.0: Schätzung Externer Umweltkosten und Vorschläge zur Kosteninternalisierung in ausgewählten Politikfeldern. P. Fantke. Stuttgart.
- Informationsstelle AHV/IV, Bundesamt für Sozialversicherungen (2013)  
Altersrenten und Hilflosenentschädigungen der AHV. Merkblatt. Bern.
- Informationsstelle AHV/IV, Bundesamt für Sozialversicherungen (2013)  
Hinterlassenenrenten der AHV. Merkblatt. Bern.
- Informationsstelle AHV/IV, Bundesamt für Sozialversicherungen (2013)  
Leistungen der Invalidenversicherung (IV). Merkblatt. Bern.
- Informationsstelle AHV/IV, Bundesamt für Sozialversicherungen (2013)  
Tagelder der IV. Merkblatt. Bern.
- Informationsstelle AHV/IV, Bundesamt für Sozialversicherungen (2013)  
Invalidenrenten der IV. Merkblatt. Bern.
- Informationsstelle AHV/IV, Bundesamt für Sozialversicherungen (2013)  
Ergänzungsleistungen zur AHV und IV. Merkblatt. Bern.
- Informationsstelle AHV/IV, Bundesamt für Sozialversicherungen (2013)  
Obligatorische Unfallversicherung UVG. Merkblatt. Bern.
- Infras (2006)  
Externe Kosten des Strassen- und Schienenverkehrs 2000. Klima und bisher nicht erfasste Umweltbereiche, städtische Räume sowie vor- und nachgelagerte Prozesse. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung. Zürich/Bern.
- Infras (2008)  
Treibstoffverbrauch und Schadstoffemissionen des Offroad-Sektors. Studie für die Jahre 1980–2020. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt. Umwelt-Wissen Nr. 0828. Bern.  
<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01003/index.html?lang=de>  
[01.10.2013]

## Infras (2010)

Handbuch Emissionsfaktoren im Strassenverkehr (HBEFA), Version 3.1 (MS AccessXP runtime application and report). INFRAS in cooperation with further editors: BAFU/Switzerland; Umweltbundesamt Dessau/Germany; Umweltbundesamt Wien/Austria; Swedish Road Administration, ADEME/France; SFT/Norway. Bern. Online im Internet: <http://www.hbefa.net/e/index.html> (9.4.2013).

## Infras (2012)

Neuberechnung der Stauzeitkosten. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung. Bern.

## Infras (2012a)

Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs (HBEFA), Version 3.1. Im Auftrag des BAFU. Bern.

## Infras, CE Delft, Fraunhofer Gesellschaft ISI, University of Gdansk (2007)

IMPACT: Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport. Deliverable 1: Handbook on estimation of external costs in the transport sector. Online im Internet: [http://ec.europa.eu/transport/themes/sustainable/2008\\_external\\_costs\\_en.htm](http://ec.europa.eu/transport/themes/sustainable/2008_external_costs_en.htm)

## Infras, Ecologic, Rütter+Partner (2007)

Auswirkungen der Klimaänderung auf die Schweizer Volkswirtschaft (internationale Einflüsse). Infras, Ecologic und Rütter+Partner im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt. Zürich/Bern/Rüschlikon.

## Infras, Ecoplan (2005)

Transportkostenrechnung (TRAKOS): Konzept und Pilotrechnung. Schlussbericht. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Statistik und des Bundesamtes für Raumentwicklung. Zürich und Bern.

## Infras, Ecoplan (2011)

Zusatzstudien zur Transportrechnung – Methodik Strassenrechnung. Infras und Ecoplan (mit Unterstützung von SNZ und nibuXs) im Auftrag des Bundesamtes für Statistik. Zürich und Bern.

## Infras, Ecoplan (2012)

Integration des Luftverkehrs in die Transportrechnung. Schlussbericht. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Statistik und des Bundesamtes für Raumentwicklung. Zürich und Bern.

## Infras, ETHZ (2012)

Emission pathways to reach 2° target – Model results and analysis. Infras und ETH Zürich im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU. Zürich.

## Infras, ISI, IER (2007)

Externe Kosten des Verkehrs in Deutschland – Aufdaterung 2005. Infras, Fraunhofer ISI und IER Universität Stuttgart im Auftrag der Allianz pro Schiene. Zürich/ Karlsruhe/ Stuttgart.

Infras, IWW (2000)

External Costs of Transport: Accident, Environmental and Congestion Costs of Transport in Western Europe. Zürich / Karlsruhe.

Infras, SNZ, Ecoplan (2013)

Aktualisierte Schätzung zum schwerverkehrsbedingten Anteil an den Strassenkosten, Synthesebericht. SNZ, Infras und Ecoplan im Auftrag des Bundesamtes für Statistik und des Bundesamtes für Raumentwicklung. Zürich und Bern.

Infras, Wüest & Partner (2004)

Verkehrsbedingte Gebäudeschäden in der Schweiz. Aktualisierung der externen Kosten. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung, des Bundesamtes für Energie sowie des Bundesamtes für Statistik. Zürich.

INFRAS/Ecoplan (2001)

Neukonzeption der Transportechung, Bundesamt für Statistik

IPCC (2007)

Climate Change 2007 – The Physical Science Basis. Working Group I Report of the Fourth Assessment Report (AR4). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge and New York.

IPCC (2007b)

Climate Change 2007 – Impacts, Adaptation and Vulnerability, Working Group II Report of the Fourth Assessment Report (AR4). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge and New York.

IPCC (2013)

Climate Change 2013 – The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report (AR5) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge and New York.

IRENE (Institut de recherches économiques, Université de Neuchâtel), Ecosys (2013)

L'intégration de la navigation dans le compte des transports. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Statistik und des Bundesamtes für Raumentwicklung. Neuenburg, Chavannes-sur-Bois.

Ising H., Kruppa B. (2004)

Health Effects caused by Noise: Evidence in the Literature from the Past 25 Years. Noise & Health 22 (2004), 5-13.

ISPM (Institut für Sozial- und Präventivmedizin am Schweizerischen Tropeninstitut Basel), Ecoplan und Lungenliga Schweiz (2009)

Gesundheitskosten des Passivrauchens in der Schweiz. Studie im Auftrag des Tabakpräventionsfonds. Online:

[http://www.swisstph.ch/fileadmin/user\\_upload/Pdfs/EPH/Hauri\\_et\\_al.\\_GesundheitskostenPassivSchweiz\\_2009\\_.pdf](http://www.swisstph.ch/fileadmin/user_upload/Pdfs/EPH/Hauri_et_al._GesundheitskostenPassivSchweiz_2009_.pdf) (10.9.2013).

Janssen N.A., Hoek G., Simic-Lawson M., Fischer P., van Bree L., ten Brink H., Keuken M., Atkinson R.W., Anderson H.R., Brunekreef B., Cassee F.R. (2011)

Black carbon as an additional indicator of the adverse health effects of airborne particles compared with PM10 and PM<sub>2.5</sub>. Environ Health Perspect. 119 (12):1691-9.

- Johannesson M. and Johansson P-O. (1995), Quality of life and the WTP for an increased life expectancy at an advanced age, Working Papers in Economics and Finance, No.85, Stockholm School of Economics.
- Johannesson M. and Johansson P-O. (1996). To be or not to be, that is the question: An empirical study of the WTP for an increased life expectancy at an advanced age, in: Journal of Risk and Uncertainty, **13**, p. 163-174.
- Johnson F Reed., Manjunath Ranjani, Mansfield Carol A., Clayton Laurel J., Hoerger Thomas J., Zhang Ping (2006)  
High-Risk Individuals' Willingness to Pay for Diabetes Risk-Reduction Programs. In: Diabetes Care, Volume 29 (6),S. 1351-1356.
- Jones-Lee M., Loomes G., Rowlatte P., Spackman M., Jones S. (1998)  
Valuation of Deaths from Air Pollution. Report for the Department of Environment, Transport and the Regions and the Department of Trade and Industry. London.
- Karlsson et al. (2005)  
Economic Assessment of the Negative Impacts of Ozone on Crop Yields and Forest Production: A Case Study of the Estate Östads Säteri in Southwestern Sweden. P. E. Karlsson, H. Pleijel, M. Belhaj, H. Danielsson, B. Dahlin, M. Andersson, M. Hansson, J. Munthe, P. Grennfelt. Ambio, Vol. 34, No. 1, p. 32-40.
- Karlsson et al. (2007)  
Risk assessments for forest trees: The performance of the ozone flux versus the AOT concepts. P.E. Karlsson, S. Braun, M. Broadmeadow, S. Elvira, L. Emberson, B. S. Gimeno, D. Le Thiec, K. Novak, E. Oksanen, M. Schaub, J. Uddling, M. Wilkinson. Environmental Pollution, 146, pp. 608-616.
- KATARISK (2002)  
KATARISK - Katastrophen und Notlagen in der Schweiz. Eine Risikobeurteilung aus der Sicht des Bevölkerungsschutzes. Erläuterung der Methode. Online im Internet: <http://www.bevoelkerungsschutz.admin.ch/internet/bs/de/home/themen/gefaehrdungen-risiken/studien/katarisk.parsys.0004.downloadList.00041.DownloadFile.tmp/methodeprint.pdf> (4.2.2013).
- KATARISK (2002)  
KATARISK - Katastrophen und Notlagen in der Schweiz. Eine Risikobeurteilung aus der Sicht des Bevölkerungsschutzes. Ergebnisse der Risikobewertung. Online im Internet: <http://www.bevoelkerungsschutz.admin.ch/internet/bs/de/home/themen/gefaehrdungen-risiken/studien/katarisk.parsys.0013.downloadList.00131.DownloadFile.tmp/rbergeprint.pdf> (4.2.2013).
- Kenkel Donald (2000)  
Using Estimates of the Value of Statistical Life in Evaluating regulatory Effects. Online im Internet: <http://www.ers.usda.gov/publications/mp1570/mp1570d.pdf> (20.4.2004).
- König Markus, Zweifel Peter (2004)  
Willingness-to-pay Against Dementia: Effects of Altruism in Between Patients and Theirs Spouse Caregivers. Working Paper No. 0410. Zürich.

- Kuik et al. (2009)  
Marginal abatement cost of greenhouse gas emissions: A meta-analysis. O. Kuik, L. Brander, R.S.J. Tol. *Energy Policy*, vol. 37, Iss. 4 (2009), pp. 1395-1403.
- Künzli et al. (2008)  
An attributable risk model for exposures assumed to cause both chronic disease and its exacerbations. *Epidemiology*; 19 (2), pp. 179-185
- Lachat et al. (2010)  
Wandel der Biodiversität in der Schweiz seit 1900 – Ist die Talsohle erreicht? T. Lachat, D. Pauli, Y. Gonseth, G. Klaus, C. Scheidegger, P. Vittoz, T. Walter (Red.). *Bristol-Schriftenreihe Band 25*. Verlag Haupt. Bern.
- Lee et al. (2010)  
Transport impacts on atmosphere and climate: Aviation. D.S. Lee, G. Pitari, V. Grewe, K. Gierens, J.E. Penner, A. Petzold, M.J. Prather, U. Schumann, A. Bais, T. Berntsen, D. Iachetti, L.L. Lim, R. Sausen. *Atmospheric Environment* 44 (2010), pp. 4678–4734.
- Leksell et al. (2001)  
Air pollution and mortality: quantification and valuation of years of life lost *Risk Anal*; vol 21(5), pp. 843-857.
- Lidgren M., Wilking N., Jönsson B. (2007)  
Cost of breast cancer in Sweden in 2002. In: *Eur J Health Econ*, Vol. 8, S. 5-15.
- Mayer et al. (2005)  
Forest storm damage is more frequent on acidic soils. P. Mayer, P. Brang, M. Dobbertin, D. Hallenbarter, J.-P. Renaud, L. Walthert, S. Zimmermann. *Annals of Forest Science* 62 (2005), pp. 303-311.
- Meinshausen et al. (2009)  
Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2°C. M. Meinshausen, N. Meinshausen, W. Hare, S. C. B. Raper, K. Frieler, R. Knutti, D. J. Frame, M. R. Allen. *Nature*, Vol 458, 30 April 2009, pp. 1158-1163.
- Melo P.C., Graham D.J. (2009)  
Agglomeration Economies and Labour Productivity: Evidence from Longitudinal Worker Data for GB's Travel-to-Work Areas. SERC Discussion Papers, SERCDP0031. Spatial Economics Research Centre (SERC), London School of Economics and Political Science, London, UK.
- Metroeconomica Limited (2001)  
Monetary valuation of noise effects. Prepared for the EC UNITE Project.
- Mills et al. (2007):  
A synthesis of AOT40-based response functions and critical levels of ozone for agricultural and horticultural crops. G. Mills, A. Buse, B. Gimeno, V. Bermejo, M. Holland, L. Emberson, H. Pleijel. *Atmospheric Environment* 41 (2007), pp. 2630-2643.
- Millstein D.E., Harley R.A. (2010)  
Effects of retrofitting emission control systems on in-use heavy diesel vehicles. *Environ Sci Technol* 44: 5042–5048.

Müller-Wenk Ruedi, Hofstetter Patrick (2003)

Monetarisierung verkehrslärmbedingter Gesundheitsschäden. Umwelt-Materialien Nr. 166 Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Bern. Online im Internet: <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00254/index.html?lang=de> (17.6.2013)

Nateco (2001)

Externe Kosten des Verkehrs – Soll-Wert der Landschaft in den 50er- / 60er-Jahren; Zusatzmodul Habitatverlust. Nateco im Auftrag von ARE und BUWAL. Gelterkinden.

Navrud Stale (2002)

The State of the Art on Economic Valuation of Noise. Final Report to European Commission DG Environment 14<sup>th</sup> April 2002.

NEEDS (2006)

Final report on the monetary valuation of mortality and mobility risks from air pollution. Delivery n 6.7 – RS 1b. NEEDS New Energy Externalities Developments for Sustainability. Online: [http://www.needs-project.org/RS1b/NEEDS\\_RS1b\\_D6.7.pdf](http://www.needs-project.org/RS1b/NEEDS_RS1b_D6.7.pdf) (14.8.2013).

NEEDS (2007)

Description of updated and extended draft tools for the detailed site-dependent assessment of external costs. Technical Paper n 7.4 – RS 1b. NEEDS New Energy Externalities Developments for Sustainability. Online: [http://www.needs-project.org/RS1b/NEEDS\\_RS1b\\_TP7.4.pdf](http://www.needs-project.org/RS1b/NEEDS_RS1b_TP7.4.pdf) (14.8.2013).

NEEDS (2007)

Report on the economic evaluation of externalities due to extraction and transport of oil. Deliverable Task 1.8 – RS 1c WP 1. NEEDS New Energy Externalities Developments for Sustainability. Online: [http://www.needs-project.org/RS1c/RS1c\\_T1.8.pdf](http://www.needs-project.org/RS1c/RS1c_T1.8.pdf) (4.2.2013).

NEEDS (2008)

Report on the procedure and data to generate averaged/aggregated data. RS (Research Stream) 3a, Deliverable D1.1. Excel-Tool mit Kostensätzen zu Luftschadstoffemissionen (u.a. Biodiversitätsverlusten) je Land. Online: <http://www.needs-project.org/docs/RS3a%20D1.1.zip> (18.10.2013)

NEEDS (2009)

External costs from emerging electricity generation technologies. Deliverable 6.1 (RS1a). NEEDS New Energy Externalities Developments for Sustainability. Online: [http://www.needs-project.org/docs/RS1a%20D6\\_1%20External%20costs%20of%20reference%20technologies%2024032009.pdf](http://www.needs-project.org/docs/RS1a%20D6_1%20External%20costs%20of%20reference%20technologies%2024032009.pdf) (4.2.2013).

NEEDS (2009)

Publishable Final Activity Report. NEEDS New Energy Externalities Developments for Sustainability. Online: [http://ec.europa.eu/energy/nuclear/forum/transparency/doc/2010\\_06\\_28/needs\\_final-publishable-activity-report-revised.pdf](http://ec.europa.eu/energy/nuclear/forum/transparency/doc/2010_06_28/needs_final-publishable-activity-report-revised.pdf) (4.2.2013).



- Nellthorp John, Sansom Tom, Bickel Peter, Doll Claus, Lindberg Gunnar (2001)  
Valuation Convention for UNITE. UNITE (UNification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency) Working Funded by 5<sup>th</sup> Framework RTD Programme. ITS, University of Leeds, Leeds, April 2001.
- Nelson, J.P. (2008)  
Hedonic Property Value Studies of Transportation Noise – Aircraft and Road Traffic. In: Hedonic Methods in Housing Market Economics. New York.
- Obergericht des Kantons Zürich (2006)  
Kreisschreiben der Verwaltungskommission des Obergerichts an die Kammern des Obergerichts, das Handelsgericht, das Geschworenengericht, die Bezirksgerichte und die Friedensrichterämter über die Mehrwertsteuer vom 17. Mai 2006. Online:  
[http://www.google.ch/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&ved=0CCsQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.vgr.zh.ch%2Finternet%2Fverwaltungsgesicht%2Fde%2Fthemen%2Fparteientschaedigung\\_mehrwertsteuer%2F\\_jcr\\_content%2FcontentPar%2Fdownloadlist%2Fdownloaditems%2Fkreisschreiben.spooler.download.1358776136295.pdf%2FKreisschreiben.pdf&ei=Jma9Uo7yN4OwywPwIYCwCw&usg=AFQjCNHxqHxnDXVaS4ssiQ9nE58AG35gWw](http://www.google.ch/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&ved=0CCsQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.vgr.zh.ch%2Finternet%2Fverwaltungsgesicht%2Fde%2Fthemen%2Fparteientschaedigung_mehrwertsteuer%2F_jcr_content%2FcontentPar%2Fdownloadlist%2Fdownloaditems%2Fkreisschreiben.spooler.download.1358776136295.pdf%2FKreisschreiben.pdf&ei=Jma9Uo7yN4OwywPwIYCwCw&usg=AFQjCNHxqHxnDXVaS4ssiQ9nE58AG35gWw) (27.12.2013).
- OcCC (2012)  
Klimaziele und Emissionsreduktion – Eine Analyse und politische Vision für die Schweiz. Beratendes Organ für Fragen der Klimaänderung (OcCC). Bern.
- Oh D., Crawford B., Kim S., Chung H., McDonald J., Lee S., Ko S., Ro J. (2012)  
Evaluation of the willingness-to-pay for cancer treatment in Korean metastatic breast cancer patients: A multicenter, cross-sectional study. In: Asia-Pacific Journal of Clinical Oncology, Vol. 8, S. 282-291.
- Ökoskop (1998)  
Externe Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft. Vorstudie I, GVF-Auftrag Nr. 322. Gelterkinden/Bern.
- Ostro B. D. (1990)  
Associations between morbidity and alternative measures of particulate matter. Risk Analysis, Vol 10, pp. 421-7.
- Ostro BD, Rothschild S. (1989)  
Air Pollution and Acute Respiratory Morbidity: An Observational Study of Multiple Pollutants. Environmental Research Vol. 50, pp. 238-247.
- Ostro BD. (1987)  
Air Pollution and Morbidity Revisited: A Specification Test. Journal of Environmental Economics Management Vol. 14, pp. 87-98
- Ott et al. (2006)  
Assessment of biodiversity losses. Deliverable D4.2 of the NEEDS project (NEEDS: New energy externalities development for sustainability). W. Ott, M. Baur, Y. Kaufmann (ecocept AG); R. Frischknecht, R. Steiner (ESU-services). Zürich/Uster.

Ouimet et al. (2001)

Critical Loads and Exceedances of Acid Deposition and Associated Forest Growth in the Northern Hardwood and Boreal Coniferous Forests in Québec, Canada. R. Ouimet, L. Duchesne, D. Houle, P. A. Arp. *Water, Air and Soil Pollution (Focus)*, Vol. 1, pp. 119-134.

Pearce D. (2000)

Valuing risks to life and health – Towards consistent transfer estimates in the European Union and Accession States, Paper prepared for the European Commission (DGXI), Workshop on Valuing Mortality and Valuing Morbidity, November 13, 2000, Brussels.

Planco, BfG (Bundesanstalt für Gewässerkunde) (2007),

Verkehrswissenschaftlicher und ökologischer Vergleich der Verkehrsträger Strasse, Schiene und Wasserstrasse. Studie im Auftrag der Wasser- und schiffverwaltung des Bundes. Essen und Koblenz.

PSI Paul Scherrer Institut (2010)

Energie-Spiegel: Facts für die Energiepolitik von morgen. Nachhaltige Elektrizität: Wunschdenken oder bald Realität? *Energie-Spiegel* Nr. 20. Online: [http://gabe.web.psi.ch/pdfs/Energiespiegel\\_Nr20\\_072010\\_d.pdf](http://gabe.web.psi.ch/pdfs/Energiespiegel_Nr20_072010_d.pdf) (15.6.2012).

Rabl (2003)

Interpretation of air pollution mortality: number of deaths or years of life lost? *J Air Waste Manag Assoc*; vol 53(1), pp. 41-50.

Röösli M., Künzli N., Braun-Fahrländer C., Egger M. (2005)

Years of life lost attributable to air pollution in Switzerland: dynamic exposure-response model. *International Journal of Epidemiology* 34 (5): 1029-1035

Schaerer Caroline, Baranzini Andrea, Ramirez José V., Thalmann Philippe (2008)

Using the hedonic approach to value natural land uses in an urban area: an application to Geneva and Zurich. In: *Public Economics* 20 (2007/1), S. 147-167.

Schweizerischer Versicherungsverband SVV (2012)

Allgemeine Bedingungen (AVB) für die Motorfahrzeugversicherung. Ausgabe 2012 der unverbindlichen Musterbedingungen des SVV. Zürich.

Schweizerischer Versicherungsverband SVV (2012)

Haftpflicht-, Fahrzeug- und Transportversicherung – Zahlungen brutto. Online im Internet unter <http://www.svv.ch/de/zahlen-und-fakten/schadenversicherung/haftpflicht-fahrzeug-und-transport> (Stand: 20.12.2013)

Schweizerischer Versicherungsverband SVV (2012)

Unfallversicherung – Zahlungen für Versicherungsfälle brutto. Online im Internet unter <http://www.svv.ch/de/zahlen-und-fakten/schadenversicherung/unfallversicherung> (Stand: 20.12.2013)

Selander, J.; Nilsson, M. E.; Bluhm, G.; Rosenlund, M.; Lindqvist, M.; Nise, G.; Pershagen, G. (2009)

Long-term exposure to road traffic noise and myocardial infarction. *Epidemiology* 2009, 20, (2), 272-9.

## SIV infos (2006)

Wertverminderung – Zum Stand der Minderwertdiskussion bei immissionsbetroffenen Grundstücken. Schweiz. Immobilienschätzer-Verband. SIVinfos Nr. 21, März 2006.  
Online: <http://www.siv.ch/de/siv-infos.html> (4.3.13).

## SN 641 820 (2006)

Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr. Grundnorm. Schweizer Norm des VSS (Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute). Zürich.

## SN 641 821 (2006)

Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr. Diskontsatz. Schweizer Norm des VSS (Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute). Zürich.

## SN 641 822a (2009)

Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr. Zeitkosten im Personenverkehr. Schweizer Norm des VSS (Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute). Zürich.

## SN 641 828 (2009)

Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr. Externe Kosten. Schweizer Norm des VSS (Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute). Zürich.

## SNB Schweizerische Nationalbank (2012)

Vermögen der privaten Haushalte 2011. Online im Internet:  
[http://www.snb.ch/de/mmr/reference/pre\\_20121120/source/pre\\_20121120.de.pdf](http://www.snb.ch/de/mmr/reference/pre_20121120/source/pre_20121120.de.pdf)  
(7.1.2014).

## Soguel Nils (1996)

Contingent Valuation of Traffic Noise Reduction Benefits. In: Schweizerische Zeitschrift für Volkswirtschaft und Statistik, Nr. 132 (1), S. 109-123.

## Sommer Heini, Seethaler Rita, Chanel Olivier, Herry Max, Masson Serge, Veregnaud Jean-Christoph (1999)

Health Costs due to Road Traffic-related Air Pollution, Technical Report on Economy. Berne.

## Sorensen M, Andersen ZJ, Nordsborg RB, et al. (2012)

Long-Term Exposure to Road Traffic Noise and Incident Diabetes: A Cohort Study. Environ Health Perspect 121(2): 217-222.

## Sørensen, M.; Andersen, Z. J.; Nordsborg, R. B.; Jensen, S. S.; Lillelund, K. G.; Beelen, R.; Schmidt, E. B.; Tjønneland, A.; Overvad, K.; Raaschou-Nielsen, O. (2012)

Road Traffic Noise and Incident Myocardial Infarction: A Prospective Cohort Study. PLoS ONE 2012, 7, (6), e39283.

## Sørensen, M.; Hvidberg, M.; Andersen, Z. J.; Nordsborg, R. B.; Lillelund, K. G.; Jakobsen, J.; Tjønneland, A.; Overvad, K.; Raaschou-Nielsen, O. (2011)

Road traffic noise and stroke: a prospective cohort study. European Heart Journal 2011, 32, (6), 737-744.

- Stansfeld S., Hygge S., Clark C., Alfred T. (2010)  
Night time aircraft noise exposure and children's cognitive performance. *Noise and Health* 12, (49), 255-262.
- Stern (2006)  
The Stern Review on the Economics of Climate Change. N. Stern on behalf of the London HM Treasury. 2006. Online im Internet:  
[http://www.hm-treasury.gov.uk/independent\\_reviews/stern\\_review\\_economics\\_climate\\_change/sternreview\\_index.cfm](http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/sternreview_index.cfm)
- Stiftung Klimarappen (2011)  
Jahresbericht 2010 der Stiftung Klimarappen. Zürich.
- Sutton et al. (2011)  
The European Nitrogen Assessment (ENA) – Sources, Effects and Policy Perspectives. M. A. Sutton, C. M. Howard, J. W. Erisman, G. Billen, A. Bleeker, P. Grennfelt, H. van Grinsven, B. Grizzetti (editors). Cambridge University Press. Cambridge.
- SVV Schweizerischer Versicherungsverband (2013)  
Zahlen und Fakten 2013. Online im Internet: <http://www.svv.ch/de/publikationen/zahlen-und-fakten-2013> (11.4.2013).
- SWECO, University of Bath, Charles University Environment Center (Prag) (2008)  
Literature review of theoretical issues and empirical estimation of health end-point unit values: noise case study. D4.1.1 of HEIMTSA (Health and Environment Integrated Methodology and Toolbox for Scenario Development). Online:  
<http://www.heimtsa.eu/LinkClick.aspx?fileticket=81ixVT7Jcuk%3d&tabid=2937&mid=6403&language=en-GB> (2.4.2013).
- Thayer Mark A., Chestnut Lauraine G., Lazo Jeffrey K., van den Eeden Stephen (2003)  
The Economic Valuation of Respiratory and Cardiovascular Hospitalizations. Studie im Auftrag des California Air Resources Board und der California Environmental Protection Agency. Contract Nr. 99-329.
- TNO (2010)  
A high resolution European emission data base for the year 2005. A contribution to UBA-Projekt: "Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung" – PAREST: Partikelreduktionsstrategien – Particle Reduction Strategies, TNO-034-UT-2010-01895\_RPT-ML, June 2010.
- Tomonaga Y., Haettenschwiler J., Hatzinger M., Holsboer-Trachsler E., Rufer M., Hepp U., Szucs T. D. (2013)  
The Economic Burden of Depression in Switzerland. In: *PharmacoEconomics*, Vol. 31, S. 237-250.
- TU Dresden (2012)  
Externe Autokosten in der EU-27: Überblick über existierende Studien. U. J. Becker. T. Becker, J. Gerlach. TU Dresden, Lehrstuhl für Verkehrsökologie. Dresden.
- UBA (2007)  
Ökonomische Bewertung von Umweltschäden – Methodenkonvention zur Schätzung externer Umweltkosten. Umweltbundesamt Deutschland. Dessau.

## UBA (2013)

Ökonomische Bewertung von Umweltschäden – Methodenkonvention 2.0 zur Schätzung von Umweltkosten; Umweltbundesamt Deutschland in Zusammenarbeit mit dem Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) Universität Stuttgart, Dessau.

## UBA Fluglärm (2004)

Stellungnahme des Interdisziplinären Arbeitskreises für Lärmwirkungsfragen beim Umweltbundesamt, UBA; Berlin.

## Umweltbundesamt (2005)

Ökonomische Bewertung von Umweltschäden. Methodenkonvention zur Schätzung von externen Umweltkosten. Stand Juli 2005. Dessau.

## UNECE (2010)

Manual on methodologies and criteria for modelling and mapping critical loads & levels and air pollution effects, risks and trends. Chapter 3: Mapping critical levels for vegetation. Update 2010. United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). Geneva.

## UNECE (2011)

Hemispheric Transport of Air Pollution 2010. Part A: Ozone and Particulate Matter. United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). Air Pollution Studies No. 17. Geneva.

## UNEP (2012)

The Emissions Gap Report 2012, United Nations Environment Programme (UNEP). Nairobi.

## UNFCCC (2010)

The Cancun Agreements. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Agreement of the United Nations Climate Change Conference (COP 16) 2010. Cancun.

## Universitätsklinikum Freiburg (2010)

Macht Schienenlärm krank? Studie im Auftrag des Regionalverbandes Südlicher Oberrhein (2010).

## UVEK Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (2013)

Bundesbeschluss über die Freigabe der Mittel ab 2015 für das Programm Agglomerationsverkehr. Bericht für die Vernehmlassung. Juni 2013. Bern

## van Kempen E., Babisch W (2012)

The quantitative relationship between road traffic noise and hypertension: a meta-analysis. Journal of hypertension 30 (6):1075-86.

## van Kempen E., Fischer P., Janssen N., Houthuijs D., van Kamp I., Stansfeld S., Cassee F. (2012)

Neurobehavioral effects of exposure to traffic-related air pollution and transportation noise in primary schoolchildren. Environ Res 115, 18-25.

- van Kempen E., van Kamp I., Lebet E., Lammers J., Emmen H., Stansfeld S. (2010)  
Neurobehavioral effects of transportation noise in primary schoolchildren: a cross-sectional study. *Environmental health : a global access science source* 9, 25.
- Vaudoise Versicherungen (2013)  
Kennzahlen 2012. Online im Internet unter <http://www.vaudoise.ch/de/unsere-gruppe/vaudoise-versicherungen/kennzahlen.html> (Stand: 20.12.2013)
- Waldhoff et al. (2011)  
The Marginal Damage Costs of Different Greenhouse Gases: An Application of FUND. S. Waldhoff, D. Anthoff, S. Rosec, R. S. J. Tol. The Economic and Social Research Institute (ERSI). ERSI Working Paper No. 380, March 2011. Dublin.
- Watkiss et al. (2005)  
The Social Cost of Carbon (SCC) Review: Methodological Approaches for Using SCC Estimates in Policy Assessment. Final Report November. P. Watkiss. Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) UK. London.
- WGE (Working Group on Effects) (2004)  
Review and assessment of air pollution effects and their recorded trends. Working Group on Effects (WGE), UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. National Environmental Research Council. United Kingdom.
- WHO Regional Office for Europe (2012)  
Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP, Bonn.
- WHO Regional Office for Europe (2013)  
Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE. Summary of recommendations for questions D5 on identification of concentration-response functions for Cost-effectiveness analysis.
- WHO Regional Office for Europe (draft report October 25, 2013)  
Health risks of air pollution in Europe – (HRAPIE) Recommendations for concentration-response functions for cost-benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide
- WHO World Health Organization (2008)  
Economic valuation of transport-related health effects. Review of methods and development of practical approaches, with a special focus on children. Online: [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0008/53864/E92127.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/53864/E92127.pdf) (3.4.2013).
- WHO World Health Organization (2011)  
Burden of disease from environmental noise. Qualification of healthy life years lost in Europe. Copenhagen. Online im Internet: <http://www.euro.who.int/en/what-we-publish/abstracts/burden-of-disease-from-environmental-noise.-quantification-of-healthy-life-years-lost-in-europe> (17.8.2011).
- Wittig et al. (2009)  
Quantifying the impact of current and future tropospheric ozone on tree biomass, growth, physiology and biochemistry: a quantitative meta-analysis. V. E. Wittig, E. A. Ainsworth, S. L. Naidu, D. F. Karnosky, S. P. Long. *Global Change Biology*, Volume 15, Issue 2, pp. 396–424.

Work Loss Data Institute (2013)

Official Disability Guideline. Online: <http://www.worklossdatainstitute.verioiponly.com/>  
(11.10.2013).

Wüest & Partner (2013)

Mikrolage neu gesehen. In: Immo-Monitoring 2013 / 2, S. 63-75.

ZKB Zürcher Kantonalbank (2010)

Spezialgesetzliche Ausgleichsnorm für übermässige Lärmbelastung. Anwendbarkeit hedonischer Modelle zur Minderwertbestimmung.

ZKB Zürcher Kantonalbank (2011)

Ruhe bitte! Wie Lage und Umweltqualität die Schweizer Mieten bestimmen. Studie in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Umwelt. Zürich.

ZKB Zürcher Kantonalbank (2012)

Wie Lage und Umweltqualität die Eigenheimpreise bestimmen. Hedonisches Modell für Stockwerkeigentum. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt. Zürich.