

Bundesamt für Raumentwicklung ARE

# Externe Effekte des Verkehrs 2015

Aktualisierung der Berechnungen von Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekten  
des Strassen-, Schienen-, Luft- und Schiffsverkehrs 2010 bis 2015

Schlussbericht (überarbeitete Version)  
Zürich / Bern, 13. März 2019

Cuno Bieler, Daniel Sutter (INFRAS)  
Christoph Lieb, Heini Sommer, Matthias Amacher (Ecoplan)

# **Impressum**

## **Externe Effekte des Verkehrs 2015**

Aktualisierung der Berechnungen von Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekten  
des Strassen-, Schienen-, Luft- und Schiffsverkehrs 2010 bis 2015

Schlussbericht (überarbeitete Version)

Zürich / Bern, 13. März 2019

Überarbeitete Version: Die Zuweisung der Unfallkosten des Strassenverkehrs auf die verschiedenen Fahrzeugkategorien wurde überarbeitet. Diese Publikation ersetzt die bisherige vom Juli 2018.

## **Auftraggeber**

Bundesamt für Raumentwicklung ARE

## **Projektleitung**

Christina Hürzeler ARE

Franziska Borer Blindenbacher ARE (Stv.)

## **Autorinnen und Autoren**

Cuno Bieler, Daniel Sutter (Infras)

Christoph Lieb, Heini Sommer, Matthias Amacher (Ecoplan)

Thomas Götschi (Universität Zürich – Mitarbeit in Kapitel 15)

INFRAS, Binzstrasse 23, 8045 Zürich

Tel. +41 44 205 95 95

Ecoplan AG, Monbijoustrasse 14, 3011 Bern

Tel. +41 31 356 61 61

## **Begleitgruppe**

Sebastian Dickenmann, Bundesamt für Energie BFE

Alexandra Quandt, Bundesamt für Statistik BFS

Roger Ramer, Bundesamt für Umwelt BAFU

Theo Rindlisbacher, Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL

Alice Suri, Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL

Matthias Wagner, Bundesamt für Verkehr BAV

Manfred Zbinden, Bundesamt für Strassen ASTRA

## Inhalt

<b>Abstract (de)</b>	<b>6</b>
<b>Abstract (en)</b>	<b>6</b>
<b>Condensé (fr)</b>	<b>7</b>
<b>Riassunto (it)</b>	<b>7</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>9</b>
<b>Résumé</b>	<b>16</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>24</b>
1.1. Ausgangslage	24
1.2. Ziele	24
<b>2. Methodisches Vorgehen und übergeordnete Daten</b>	<b>26</b>
2.1. Methodisches Vorgehen	26
2.2. Anpassung übergeordnete Daten	30
<b>3. Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung</b>	<b>35</b>
3.1. Anpassung von Methodik und Datengrundlagen	35
3.2. Ergebnisse	36
<b>4. Gebäudeschäden durch Luftverschmutzung</b>	<b>41</b>
4.1. Anpassung von Methodik und Datengrundlagen	41
4.2. Ergebnisse	41
<b>5. Ernteaufälle durch Luftverschmutzung</b>	<b>45</b>
5.1. Anpassung von Methodik und Datengrundlagen	45
5.2. Ergebnisse	45
<b>6. Waldschäden durch Luftverschmutzung</b>	<b>50</b>

6.1.	Anpassung von Methodik und Datengrundlagen	50
6.2.	Ergebnisse	50
<b>7.</b>	<b>Biodiversitätsverluste durch Luftverschmutzung</b>	<b>54</b>
7.1.	Anpassung von Methodik und Datengrundlagen	54
7.2.	Ergebnisse	54
<b>8.</b>	<b>Lärm</b>	<b>58</b>
8.1.	Anpassung von Methodik und Datengrundlagen	58
8.2.	Ergebnisse	60
<b>9.</b>	<b>Klima</b>	<b>65</b>
9.1.	Anpassung von Methodik und Datengrundlagen	65
9.2.	Ergebnisse	68
<b>10.</b>	<b>Natur und Landschaft</b>	<b>73</b>
10.1.	Anpassung von Methodik und Datengrundlagen	73
10.2.	Ergebnisse	75
<b>11.</b>	<b>Bodenschäden durch toxische Stoffe</b>	<b>79</b>
11.1.	Anpassung von Methodik und Datengrundlagen	79
11.2.	Ergebnisse	80
<b>12.</b>	<b>Kosten für vor- und nachgelagerte Prozesse</b>	<b>84</b>
12.1.	Anpassung von Methodik und Datengrundlagen	84
12.2.	Ergebnisse	85
<b>13.</b>	<b>Unfälle</b>	<b>90</b>
13.1.	Anpassung von Methodik und Datengrundlagen	90
13.2.	Ergebnisse	94
<b>14.</b>	<b>Zusatzkosten in städtischen Räumen</b>	<b>103</b>
14.1.	Anpassung von Methodik und Datengrundlagen	103
14.2.	Ergebnisse	103

<b>15.</b>	<b>Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr</b>	<b>108</b>
15.1.	Anpassung von Methodik und Datengrundlagen	108
15.2.	Ergebnisse	111
<b>16.</b>	<b>Übersicht über die Ergebnisse</b>	<b>115</b>
16.1.	Externe Effekte aus Sicht Verkehrsträger	115
16.2.	Externe Effekte aus Sicht Verkehrsart Schwerverkehr	123
16.3.	Externe Effekte aus Sicht Verkehrsteilnehmende	125
16.4.	Soziale Effekte	127
16.5.	Externe und soziale Effekte pro Leistungseinheit	134
16.6.	Vergleich der Ergebnisse 2015 mit bisherigen und überarbeiteten Datengrundlagen	146
16.7.	Entwicklung der externen Kosten 2010 bis 2015	150
16.8.	Unsicherheiten	152
<b>17.</b>	<b>Empfehlungen</b>	<b>154</b>
<b>Annex 156</b>		
	Annex A: Vertiefungsthemen für künftige Aktualisierungen	156
	Annex B: Ergebnisse Sensitivitätsanalysen	165
	Annex C: Modalsplit im Personen- Güterverkehr	174
	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>176</b>
	<b>Literatur</b>	<b>179</b>

## Abstract (de)

In der Studie werden die externen und sozialen (volkswirtschaftlichen) Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekte des Verkehrs in der Schweiz für das Jahr 2015 ermittelt. Hierzu werden die bisherigen Berechnungen mit neuen Datengrundlagen auf das Jahr 2015 aktualisiert – und zwar für die folgenden Kostenbereiche: Luftverschmutzungsbedingte Gesundheitsschäden, Gebäudeschäden, Ernteauffälle, Waldschäden, Biodiversitätsverluste, Lärm, Klima, Natur und Landschaft, Bodenschäden, vor- und nachgelagerte Prozesse, Unfälle, Zusatzkosten in städtischen Räumen sowie Gesundheitsnutzen des Langsamverkehrs.

Die gesamten externen Kosten summieren sich über die vier Verkehrsträger auf 12'830 Mio. CHF im Jahr 2015. Hauptverursacher der externen Kosten ist der motorisierte private Personenverkehr auf der Strasse mit Kosten von 7'220 Mio. CHF, gefolgt vom Strassengüterverkehr mit 1'910 Mio. CHF (ein Teil der LSVA wurde als Internalisierung angerechnet). Der Luftverkehr hat externe Kosten von 1'230 Mio. CHF zur Folge und auf den Schienenverkehr entfallen 1'050 Mio. CHF. Der öffentliche Strassenverkehr verursacht externe Kosten von 260 Mio. CHF und der Schiffsverkehr 90 Mio. CHF. Im Langsamverkehr entstehen neben externen Kosten von 1'070 Mio. CHF auch externe Gesundheitsnutzen von 1'350 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.

## Abstract (en)

The study calculates the external and social (economic) environmental, accident and health-related effects of transport in Switzerland in 2015. To do this, the previous calculations have been updated using new data. They cover the following areas: air pollution-related damage to health, damage to buildings, crop shortfalls, forest degradation, loss of biodiversity, noise, the climate, nature and the landscape, soil degradation, upstream and downstream processes, accidents, additional costs in urban areas, and the benefits to health of non-motorised transport.

Aggregated across the four modes of transport, total external costs come to over CHF 12,830 million for 2015. At CHF 7,220 million, private motorised road transport is the main originator of these external costs, followed by road freight transport at CHF 1,910 million (a share of the Heavy Vehicle Fee has been factored in as an internalisation measure). Air transport resulted in external costs of CHF 1,230 million, while rail transport accounted for CHF 1,050 million. Public road transport produced external costs of CHF 260 million, and waterborne transport came in

at CHF 90 million. In addition to external costs of CHF 1,070 million, non-motorised transport generates external health benefits worth CHF 1,350 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.

## Condensé (fr)

Cette étude présente les effets externes et sociaux (économiques) des transports en Suisse sur l'environnement, les accidents et la santé, pour l'année 2015. Les calculs précédents ont été mis à jour pour l'année 2015 dans les domaines suivants : atteintes à la santé dues à la pollution de l'air, dégâts aux bâtiments, pertes sur les récoltes, dégâts aux forêts, pertes de biodiversité, bruit, climat, nature et paysage, dégâts aux sols, processus en amont et en aval, accidents, coûts supplémentaires dans les espaces urbains, bénéfices de la mobilité douce pour la santé.

Au total, les coûts externes pour l'année 2015 se montent, pour les quatre modes de transport, à 12'830 millions de francs. Le principal responsable des coûts externes est le trafic privé et motorisé voyageurs, avec un montant de 7'220 millions de francs. Vient ensuite le transport routier de marchandises, avec 1'910 millions de francs (une partie de la redevance poids lourds liée aux prestations a été comptabilisée comme internalisation). Le transport aérien occasionne des coûts externes de l'ordre de 1'230 millions de francs, le transport ferroviaire 1'050 millions de francs. Les transports publics routiers engendrent des coûts de 260 millions de francs, et le transport par bateau 90 millions. Dans la mobilité douce, les coûts externes de 1'070 millions de francs doivent être mis en regard des 1'350 millions de francs de bénéfices pour la santé. Dans la comparaison de ces chiffres absolus, il convient toutefois de préciser que les prestations des divers modes de transport sont très différentes de l'un à l'autre. Sur la route, le nombre de personne-kilomètres et tonnes-kilomètres est nettement plus élevé que pour les autres modes de transport, tandis que, pour le transport par bateau, les valeurs sont beaucoup moins importantes.

## Riassunto (it)

Lo studio rileva gli effetti esterni e sociali (dal punto di vista dell'economia pubblica) causati dal traffico in Svizzera nel corso del 2015, a livello di ambiente, salute e incidenti. I calcoli effettuati negli scorsi anni sono aggiornati sulla base di nuovi dati per il 2015 per i seguenti settori di costo: 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, costi supplementari negli spazi urbani e benefici per la salute del traffico lento.

I costi esterni complessivi registrati dai quattro vettori di trasporto ammontano a ben 12 830 milioni di franchi per l'anno 2015. La causa principale degli effetti esterni è da ricondurre al traffico stradale motorizzato: innanzitutto quello individuale, con costi pari a 7220 milioni di franchi, seguito dal traffico merci, con 1910 milioni di franchi (una parte della tassa sul traffico pesante commisurata alle prestazioni è stata internalizzata). Il traffico aereo causa costi esterni per 1230 milioni di franchi, contro i 1050 milioni di franchi di quello ferroviario. Il trasporto pubblico stradale comporta costi esterni per 260 milioni di franchi, mentre quello navale 90 milioni di franchi. I costi esterni del traffico lento ammontano a 1070 milioni di franchi, controbilanciati tuttavia da benefici esterni per la salute pari a 1350 milioni di franchi. Paragonando queste cifre assolute, non bisogna dimenticare che i singoli vettori di trasporto offrono prestazioni assai diverse. Su strada si percorre un numero nettamente maggiore di persone-chilometri (pkm) e tonnellate-chilometri (tkm), mentre nel traffico navale tali cifre risultano di molto inferiori.



## Zusammenfassung

### Ausgangslage und Ziel

Die externen Effekte des Verkehrs werden vom Bundesamt für Raumentwicklung seit über zehn Jahren regelmässig ermittelt und ausgewiesen. Die externen Kosten des Schwerverkehrs bilden eine wichtige Grundlage für die leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe (LSVA). Zudem fliessen die externen Effekte des Verkehrs in die BFS-Statistik der Kosten und Finanzierung des Verkehrs ein. Es ist das Ziel, dass die externen Effekte des Verkehrs transparent und gemäss dem aktuellen Stand der Wissenschaft berechnet werden.

In der vorliegenden Studie werden die umfassenden Berechnungen für das Jahr 2010 (Ecoplan, INFRAS 2014) **gezielt aktualisiert**. Dabei werden die wichtigsten Datengrundlagen überarbeitet und die externen Effekte für das Jahr 2015 berechnet. Für die detaillierte Beschreibung der Gesamtmethodik je Kostenbereich und aller Elemente, bei denen keine Änderungen vorgenommen wurden, ist weiterhin der Basisbericht von Ecoplan, INFRAS (2014) gültig, den der vorliegende Bericht ergänzt.

### Methodisches Vorgehen

Die zu Grunde liegende Methodik zur Berechnung der externen Effekte des Verkehrs bleibt gegenüber der Studie für 2010 (Ecoplan, INFRAS 2014) unverändert. Die Berechnungen umfassen die **Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekte** des Verkehrs in der Schweiz im Jahr 2015. Es werden sowohl die sozialen, wie auch die externen Kosten zu Faktorpreisen berechnet. Dabei werden drei Sichtweisen der externen Kosten berücksichtigt, die Sicht **Verkehrsträger**, die Sicht **Verkehrsart Schwerverkehr** und die Sicht **Verkehrsteilnehmende**. Im Strassen- und Schienenverkehr werden die Kosten nach dem **Territorialprinzip** berechnet, im Luft- und Schiffsverkehr nach dem **Halbstreckenprinzip**. **Internalisierungsbeiträge** werden von den externen Kosten abgezogen. Es werden die bisher betrachteten 12 Kostenbereiche und die Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr untersucht. Neue Kostenkategorien werden keine ermittelt.

Im Rahmen der vorliegenden Studie werden in einer ersten Phase wichtige Themen identifiziert, bei denen aufgrund neuer Daten oder veränderten methodischen Grundlagen eine Anpassung der Berechnungen angezeigt sein könnte. Schliesslich wurden in Rücksprache mit dem Auftraggeber sowie den Begleitgremien die wichtigsten Überarbeitungspunkte ausgewählt und die entsprechenden Datengrundlagen überarbeitet. Die Abbildung 1 zeigt eine Übersicht aller Überarbeitungspunkte.

Die Anpassung mit der grössten Auswirkung ist die Übernahme des neuen, gegenüber bisher deutlich höheren VOSL (value of statistical life), welcher bei der Bewertung von frühzeitigen Todesfällen aufgrund von Gesundheitsschäden und Unfällen verwendet wird. Ebenfalls

grössere Veränderungen der Ergebnisse gibt es aufgrund der aktualisierten Emissionsfaktoren im Strassenverkehr, der PM10-Immissionsdaten, dem neuen Mengengerüst (Verkehrsflächen) im Bereich Natur und Landschaft sowie den aktualisierten Lebenszyklus-Daten für vor- und nachgelagerte Prozesse.

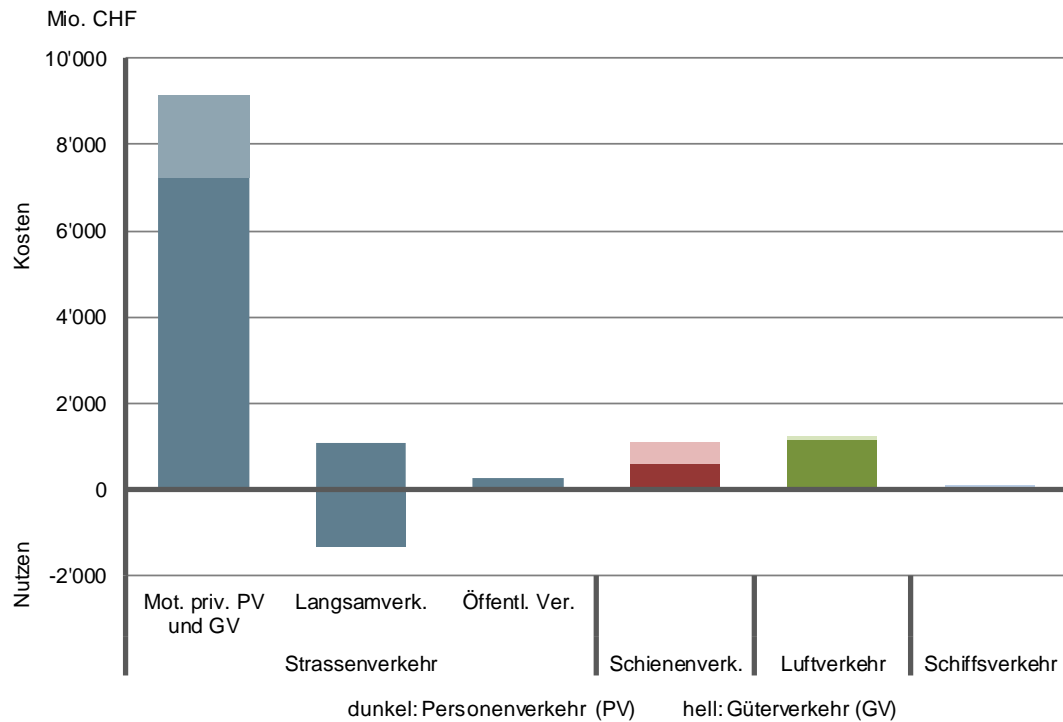
**Abbildung 1: Übersicht Überarbeitungspunkte**

Kapitel	Bereich	Thema
2.2	Betrifft div. Bereiche	VOSL
2.2	Betrifft div. Bereiche	Sterbewahrscheinlichkeiten etc.
2.2	Betrifft div. Bereiche	Aktualisierung Emissionsfaktoren Strassenverkehr HBEFA 3.3
2.2	Betrifft div. Bereiche	Diverse Anpassungen Datengrundlagen
2.2	Betrifft div. Bereiche	Emissionsfaktoren gesamter Schiffsverkehr, Verkehrsleistungen Schiffgüterverkehr
3	Gesundheitsschäden Luft	Immissionsdaten PM10
8	Lärm	Diverse Anpassungen Datengrundlagen Belästigung
9	Klima	Überprüfung CO <sub>2</sub> - Kostensatz
9	Klima	Internalisierungsbeiträge
10	Natur & Landschaft	Mengengerüst: Infrastrukturlängen TLM-basiert
11	Bodenschäden	Wertgerüst: Sanierungskosten belasteter Böden
12	Vor- / nachgelagerte Prozesse	Aktualisierung aller Lebenszyklus-Daten (Ecoinvent v3.3)
13	Unfälle	Anpassung Mengengerüst Strasse (Zuweisung der Unfälle auf die Fahrzeugkategorien)
13	Unfälle	Anpassung Mengengerüst Schiene
13	Unfälle	Kostensätze nach Verletzungsschweren
15	Gesundheitsnutzen LV	Vermiedene medizinische Kosten von Demenz und Depression
15	Gesundheitsnutzen LV	Neue Daten Mikrozensus
15	Gesundheitsnutzen LV	Auswertung Schweizer Gesundheitsbefragung
15	Gesundheitsnutzen LV	Anpassung Belastungs-Wirkungs-Beziehungen

### Ergebnisse externe Effekte Gesamtverkehr

Im Folgenden stellen wir die externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger dar. Die sozialen Kosten sowie die externen Kosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende und aus Sicht Verkehrsart werden in Kapitel 16.2 bis 16.4 dieses Berichtes ausgewiesen. Die Abbildung 2 und die Abbildung 3 zeigen, dass aus Sicht Verkehrsträger externe Kosten von insgesamt 12.8 Mrd. CHF im Jahr 2015 entstehen. Der Strassenverkehr verursacht mit 81% oder 10.5 Mrd. CHF den Grossteil dieser Kosten. An zweiter Stelle folgt der Luftverkehr mit 10% oder 1.23 Mrd. CHF. Der Schienenverkehr verursacht Kosten von 1.05 Mrd. CHF (8%). Dem Schiffsverkehr sind externe Kosten von 92 Mio. CHF (0.7%) anzulasten. Insgesamt werden 80% der externen Kosten vom Personenverkehr verursacht und

**Abbildung 2: Überblick über die externen Effekte aus Sicht Verkehrsträger 2015**  
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

**Abbildung 3: Überblick über die externen Effekte aus Sicht Verkehrsträger 2015**  
Strassen- / Schienenverkehr: Territorialprinzip, Luft- / Schiffsverkehr: Halbstreckenprinzip

in Mio. CHF	Strassenverkehr				Schienenverkehr	Luftverkehr	Schiffsverkehr	Total
	Mot. priv. PV und GV	Langsamverkehr	Öffentlicher Verkehr	Total				
Gesundheit Luft	2'761	-	104	2'866	366	33	56.8	3'321
Gebäude Luft	208	-	8	216	27	3	4.3	250
Ernteausfälle Luft	55	-	4	59	1	2	3.0	64
Waldschäden Luft	51	-	3	54	1	2	2.6	59
Biodiversitätsverluste Luft	112	-	6	118	1	3	4.7	127
Lärm	2'036	-	54	2'089	399	122	-	2'610
Klima	1'475	-	34	1'509	3	892	12.2	2'416
Natur und Landschaft	989	30	14	1'033	129	7	5.2	1'174
Bodenschäden	133	-	6	140	29	-	-	169
Vor- und nachgelagerte Prozesse	1'012	55	24	1'091	54	166	3.2	1'314
Unfälle	729	982	6	1'716	7	2	0.2	1'725
Städtische Räume	71	-	2	73	36	-	-	109
Abzug LSVA-Anteil	-506	-	-	-506	-	-	-	-506
<b>Total</b>	<b>9'126</b>	<b>1'067</b>	<b>264</b>	<b>10'457</b>	<b>1'053</b>	<b>1'231</b>	<b>92.0</b>	<b>12'833</b>
<b>Gesundheitsnutzen Langsamverkehr</b>	<b>-</b>	<b>-1'345</b>	<b>-</b>	<b>-1'345</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-1'345</b>

20% durch den Güterverkehr. Im Langsamverkehr entstehen ausserdem externe Gesundheitsnutzen von 1.35 Mrd. 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 drei Kostenbereiche massgeblich zum Total beitragen: Die Gesundheitskosten der Luftverschmutzung, der Lärm und die Klimakosten verursachen je externe Kosten von gut 2.4 bis 3.3 Mrd. CHF. Durch Unfälle, vor- und nachgelagerte Prozesse sowie im Bereich Natur und Landschaft entstehen weitere externe Kosten von je 1.2 bis 1.7 Mrd. CHF. Auf die Gebäudeschäden entfallen 250 Mio. CHF, alle übrigen Kostenbereiche liegen je unter 170 Mio. CHF. Von diesen externen Kosten abzuziehen ist ein Teil der LSVA-Einnahmen von 506 Mio. (der nicht auf die einzelnen Kostenbereiche aufgeteilt wird). Zudem fallen im Langsamverkehr, neben den externen Kosten von gut 1.07 Mrd. CHF, externe Gesundheitsnutzen von rund 1.35 Mrd. CHF an.

### **Ergebnisse der externen Effekte der einzelnen Verkehrsträger**

Im Folgenden sollen die vier Verkehrsträger noch etwas genauer analysiert werden: Im **Strassenverkehr** entfallen 62% der 10.5 Mrd. CHF auf die Personenwagen (6.5 Mrd. CHF). Die übrigen Fahrzeugkategorien erreichen maximal 7% (Lieferwagen und Lastwagen). Im Fussverkehr sind die externen Gesundheitsnutzen deutlich grösser als die externen Kosten (vor allem Unfallkosten), so dass ein Nettonutzen von 480 Mio. CHF resultiert. Im Veloverkehr sind die externen Kosten höher als die externen Gesundheitsnutzen (Nettokosten von 130 Mio. CHF). Trolleybusse und Trams haben sehr geringe externe Kosten (je unter 11 Mio. CHF). Im Strassenverkehr verursachen die Gesundheitskosten der Luftbelastung 27% der externen Kosten, der Lärm 20%, Unfälle 16%, Klimaschäden 14% sowie vor- und nachgelagerte Prozesse und Natur und Landschaft je 10%.

Im **Schiennenverkehr** entstehen externe Kosten von 1.05 Mrd. CHF. Der Personenverkehr verursacht 56% dieser Kosten, der Güterverkehr 44%. Im Schienenverkehr sind die Lärmkosten mit 37% am bedeutsamsten, gefolgt von den Gesundheitskosten der Luftbelastung mit 34% sowie Natur und Landschaft mit 12%.

Der **Luftverkehr** verursacht externe Kosten von 1.23 Mrd. CHF, wovon 93% auf den Personenverkehr entfallen und nur 7% auf den Güterverkehr. Im Luftverkehr sind die Klimakosten mit 72% dominant. Eine gewisse Bedeutung haben auch vor- und nachgelagerte Prozesse mit 14% der externen Kosten und der Lärm mit 10%.

Dem **Schiffsverkehr** sind externe Kosten von 92 Mio. CHF anzurechnen. Davon entfallen 39% auf den Personenverkehr und 61% auf den Güterverkehr (wovon 73% auf den Güterverkehr auf dem Rhein und 27% auf den Güterverkehr auf Schweizer Seen zurückzuführen sind).

Dominant sind im Schiffsverkehr die Gesundheitskosten der Luftbelastung mit 62% der externen Kosten – gefolgt von den Klimaschäden mit 13%.

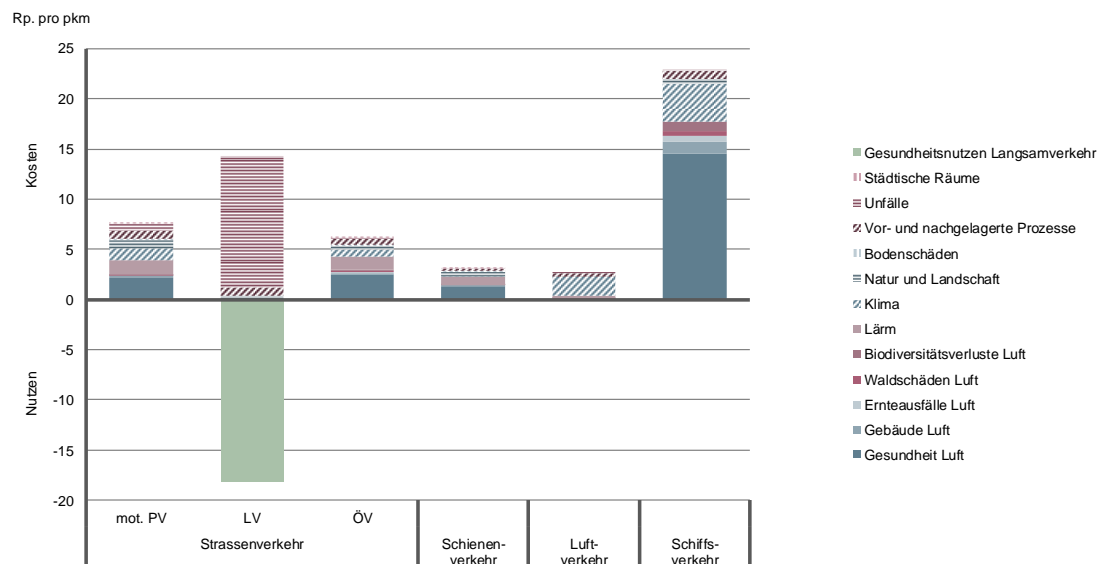
### **Vergleich der externen Effekte pro Personen- resp. Tonnenkilometer**

Bei den nachfolgenden Angaben ist darauf hinzuweisen, dass die einzelnen Verkehrsträger und Fahrzeugkategorien nur bedingt miteinander vergleichbar sind. Sinnvoll ist ein direkter Vergleich nur für ähnliche Streckenlängen, z. B. für eine Strecke innerhalb des städtischen Raums (MIV, LV, ÖV Strasse) oder eine längere Strecke wie bspw. Zürich – Paris (MIV, Schiene, Luft). Ferner ist zu beachten, dass die Substituierbarkeit zwischen den einzelnen Verkehrsträgern eingeschränkt ist und sich die verschiedenen Mobilitätsarten teilweise eher gegenseitig ergänzen, wie bspw. der Fussverkehr und der öffentliche Verkehr. Generell gilt, dass sich lange Strecken in wenig besiedeltem Gebiet resp. im Luftraum dämpfend auf den durchschnittlichen Kosten-satz des Verkehrsmittels auswirken. Ebenfalls dämpfend wirken grosse Gefässe (Fahrzeuge) sowie ein hoher Auslastungsgrad des Verkehrsmittels. Insbesondere beim öffentlichen Verkehr auf Strasse und Schiene ist zu beachten, dass hier aufgrund der Anforderungen an den Service Public auch weniger gut ausgelastete Strecken betrieben werden und der durchschnittliche Auslastungsgrad dadurch sinkt. Es ist somit wichtig zu betonen, dass es sich hier um Durchschnittskostensätze handelt, die in der Realität je nach betrachteter Strecke bedeutend variieren können.

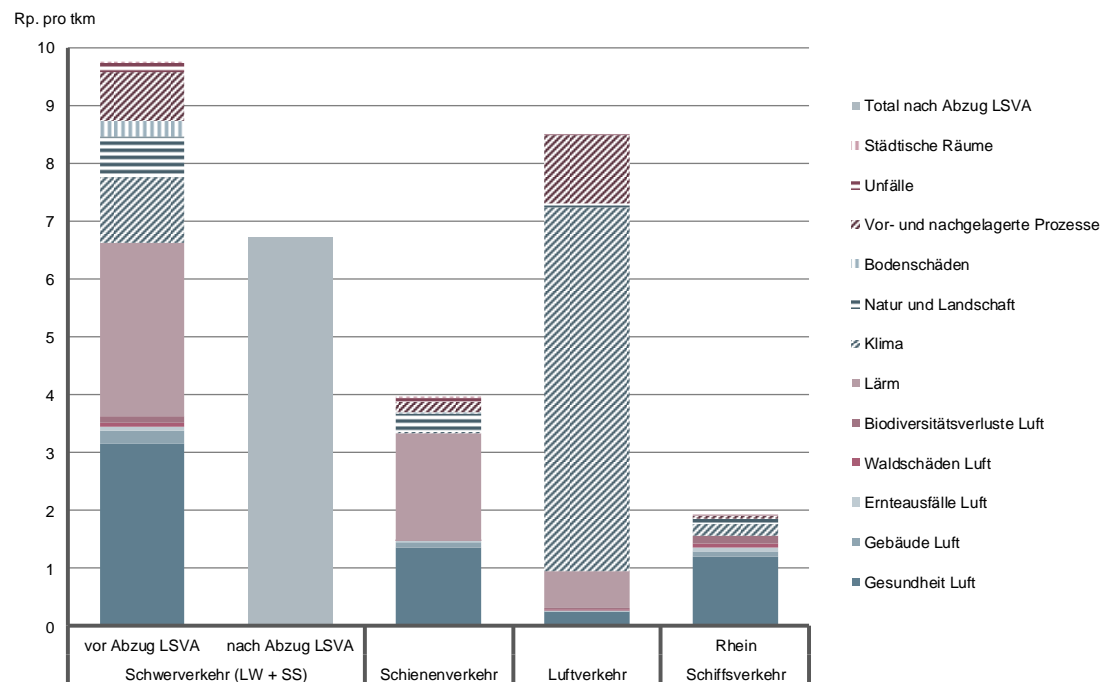
Im **Personenverkehr** (vgl. Abbildung 4) verursacht der motorisierte Privatverkehr auf der Strasse externe Kosten von 7.6 Rp. / pkm, der öffentliche Strassenverkehr 6.2 Rp. / pkm, der Schienenverkehr liegt bei 3.2 Rp. / pkm, der Luftverkehr bei 2.6 Rp. / pkm und der Schiffsverkehr bei 22.8 Rp. / pkm (relativ hoher Ausstoss an Luftschadstoffen und Klimagasen bei vergleichsweise geringer Anzahl Personenkilometer). Dem Langsamverkehr sind externe Kosten von 14.4 Rp. / pkm anzurechnen (vor allem selbst verursachte Unfallkosten), die mit externen Gesundheitsnutzen von 18.1 Rp. / pkm überkompensiert werden.

Im **Güterverkehr** verursacht der Strassenverkehr Kosten von 9.8 Rp. / tkm (Durchschnitt Lastwagen und Sattelschlepper, vgl. Abbildung 5). Davon werden aber 3.1 Rp. / tkm durch die LSVA internalisiert, so dass noch 6.7 Rp. / tkm extern sind. Die verbleibenden Nettokosten auf der Strasse sind höher als die Kosten im Schienenverkehr (4.0 Rp. / tkm). Im Luftverkehr resultieren externe Kosten von 8.5 Rp. / tkm und im Schiffsverkehr auf dem Rhein 1.9 Rp. / tkm (der Güterverkehr auf Seen mit 44 Rp. / tkm wird in der Abbildung 5 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 4: Vergleich der Verkehrsträger im Personenverkehr 2015: Externe Kosten pro pkm (Sicht Verkehrsträger)**



**Abbildung 5: Vergleich der Verkehrsträger im Güterverkehr 2015: Externe Kosten pro tkm (Sicht Verkehrsträger)**



### Vergleich der Ergebnisse 2015 mit bisherigen vs. überarbeiteten Datengrundlagen

Insgesamt sind die Kosten mit den überarbeiteten Datengrundlagen rund 2.75 Mrd. CHF höher als mit den bisherigen. Der grösste Teil der Zunahme fällt mit rund 2.4 Mrd. CHF auf den Strassenverkehr, gefolgt vom Schienenverkehr mit einer Zunahme von rund 260 Mio. CHF. Luft- und Schiffsverkehr sind um rund 33 Mio. resp. 45 Mio. CHF gestiegen. Der wesentlichste Grund für die Zunahme der Kosten ist der deutlich höhere Wert des value of statistical life (VOSL). Zwei weitere grosse Treiber sind die neuen Grundlagen im Kostenbereich Natur und Landschaft, sowie die vor- und nachgelagerten Prozesse. Weitere wichtige Faktoren für Veränderungen sind die neuen Emissionsfaktoren, die tieferen PM10-Immissionsdaten, die deutlich tieferen Grundlagen zum Abrieb des Luftverkehrs und die neuen Grundlagen zu den Todesfällen durch Lärm.

**Abbildung 6:** Vergleich der Ergebnisse 2015 der bisherigen mit den überarbeiteten Datengrundlagen

<b>Ergebnisse 2015 - bisher [Mio. CHF]</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	6'739	1'313	<b>8'052</b>
Schienenverkehr	445	344	<b>789</b>
Luftverkehr	1'111	88	<b>1'198</b>
Schiffsverkehr	27	21	<b>47</b>
<b>Total</b>	<b>8'321</b>	<b>1'766</b>	<b>10'087</b>
<b>Ergebnisse 2015 - überarbeitet [Mio. CHF]</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	8'546	1'911	<b>10'457</b>
Schienenverkehr	591	462	<b>1'053</b>
Luftverkehr	1'142	90	<b>1'231</b>
Schiffsverkehr	36	56	<b>92</b>
<b>Total</b>	<b>10'315</b>	<b>2'518</b>	<b>12'833</b>
<b>Veränderung in %</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	26.8%	45.5%	<b>29.9%</b>
Schienenverkehr	32.8%	34.4%	<b>33.5%</b>
Luftverkehr	2.8%	2.3%	<b>2.8%</b>
Schiffsverkehr	36.4%	171.6%	<b>95.3%</b>
<b>Total</b>	<b>24.0%</b>	<b>42.6%</b>	<b>27.2%</b>
<b>Veränderung in Mio. CHF</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	1'807	597	<b>2'404</b>
Schienenverkehr	146	118	<b>264</b>
Luftverkehr	31	2	<b>33</b>
Schiffsverkehr	10	35	<b>45</b>
<b>Total</b>	<b>1'994</b>	<b>753</b>	<b>2'747</b>

## Résumé

### Contexte et but

Depuis plus de dix ans, l'Office fédéral du développement territorial (ARE) calcule et établit régulièrement les effets externes des transports. Les coûts externes constituent une base importante de la redevance poids lourds liée aux prestations (RPLP). En outre, les effets externes des transports sont pris en compte dans la statistique des coûts et du financement des transports, établie par l'Office fédéral de la statistique (OFS). Le but est de calculer les effets externes des transports de manière limpide et selon les méthodes scientifiques les plus récentes.

Pour la présente étude, les calculs détaillés relatifs à l'année 2010 (Ecoplan, INFRAS 2014) ont fait l'objet d'une **mise à jour ciblée**. On a procédé pour cela à une actualisation des principales bases des données et calculé les effets externes pour l'année 2015. Le rapport de base d'Ecoplan, INFRAS (2014), que celui-ci complète, reste valable pour la description détaillée de la méthode générale par domaine et pour tous les éléments où l'on n'a pas procédé à des modifications.

### Méthode employée

La méthode de calcul des effets externes des transports est la même que celle utilisée dans l'étude de 2010 (Ecoplan, INFRAS 2014). Les calculs comprennent les effets des transports en Suisse sur **l'environnement, les accidents et la santé**, pour l'année 2015. On calcule autant les coûts sociaux que les coûts externes, exprimés sous la forme de coûts des facteurs. Trois points de vue sont pris en compte : l'approche « **mode de transport** », l'approche « **catégorie trafic poids lourds** » et l'approche « **usagers du mode de transport** ». Pour les transports routiers et ferroviaires, les coûts sont calculés en application du **principe de territorialité**, tandis que pour les transports par avion et par bateau est appliqué le **principe du calcul de la moitié du trajet**. La **part des coûts internalisés** est déduite des coûts externes. L'étude porte sur les douze domaines pris en considération jusqu'ici, ainsi que les bénéfices pour la santé dans la mobilité douce. On n'a pas établi de nouvelles catégories de coûts.

Une première phase a consisté à définir les thèmes importants pour lesquels il serait indiqué d'adapter les calculs en raison de nouvelles données ou de modifications dans les bases méthodologiques. Puis, de concert avec le mandant et les groupes d'accompagnements, on a choisi les principaux points à remanier et procédé aux actualisations nécessaires dans les bases des données. La fig. 1 résume les points ayant fait l'objet d'une mise à jour.

La modification qui a l'effet le plus important est l'adaptation de la valeur de la vie statistique (VVS, VOSSL, value of statistical life), qui est utilisée dans l'évaluation des décès prématurés dus à des atteintes à la santé et à des accidents. Il y a également des changements notables



dans les résultats en raison de la mise à jour des facteurs d'émission dans le trafic routier, des données sur les concentrations ambiantes de particules PM10, de la nouvelle grille quantitative (surfaces de transport) dans le domaine nature et paysage, et en raison enfin de la mise à jour des données sur le cycle de vie pour les processus en amont et en aval.

**Fig. 7 : Tableau synthétique des réajustements**

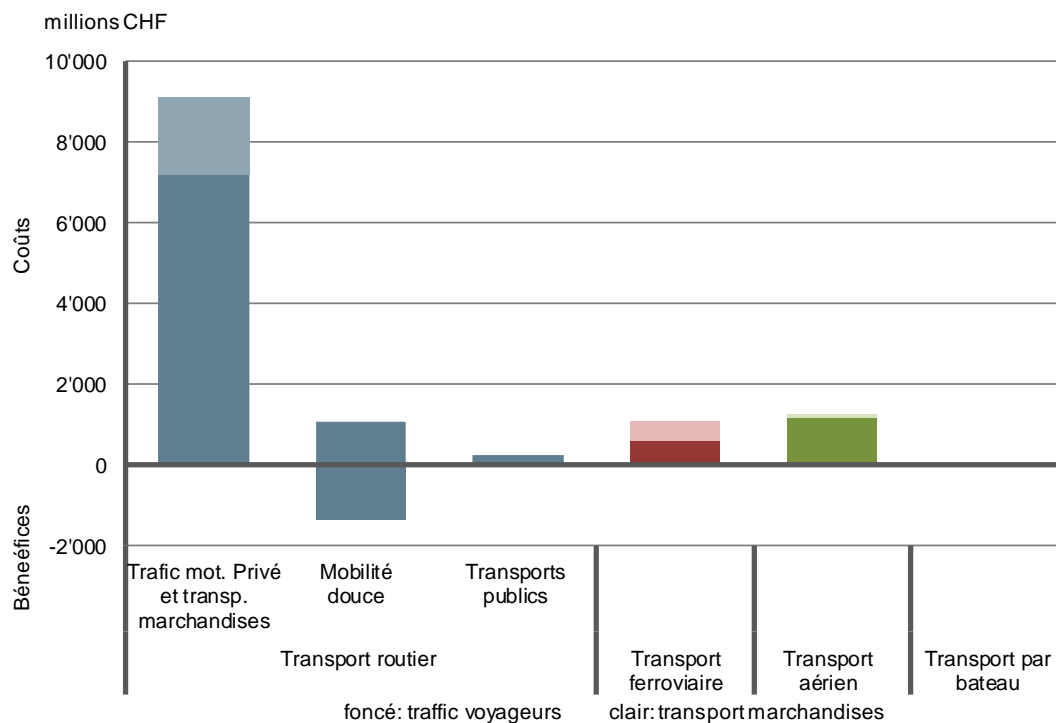
Chapitre	Domaine	Thème
2.2	Concerne div. domaines	VOSL
2.2	Concerne div. domaines	Probabilité de décès, etc.
2.2	Concerne div. domaines	Mise à jour des facteurs d'émission trafic routier HBEFA 3.3
2.2	Concerne div. domaines	Diverses adaptations des bases des données
2.2	Concerne div. domaines	Facteurs d'émission de l'ensemble des transports par bateau, prestations de transport de marchandises par bateau
3	Atteintes à la santé (air)	Données sur les concentrations de particules PM10
8	Bruit	Diverses adaptations des bases des données sur les nuisances
9	Climat	Vérification du taux du coût CO <sub>2</sub>
9	Climat	Part des coûts internalisés
10	Nature & paysage	Grille quantitative : longueurs des infrastructures fondées sur MTP
11	Dégâts aux sols	Grille de valeurs : coûts d'assainissement des sols pollués
12	Processus en amont et en aval	Mise à jour de toutes les données sur les cycles de vie (Ecoinvent v3.3)
13	Accidents	Adaptation de la grille quantitative route (répartition des accidents entre les catégories de véhicules)
13	Accidents	Adaptation de la grille quantitative chemin de fer
13	Accidents	Taux des coûts en fonction de la gravité des blessures
15	Bénéfices santé mobilité douce	Frais médicaux évités (démence et dépression)
15	Bénéfices santé mobilité douce	Nouvelles données du microrecensement
15	Bénéfices santé mobilité douce	Évaluation des résultats de l'enquête suisse sur la santé
15	Bénéfices santé mobilité douce	Adaptation des relations causes-effets

### Résultats : effets externes de l'ensemble des transports

On présente ci-dessous les coûts externes selon l'approche « mode de transport ». Les coûts sociaux et les coûts externes selon les approches « usagers du mode de transport » et « catégorie de transport » sont exposés dans les chapitres 16.2 à 16.4 du rapport. Les fig. 2 et 3 font apparaître, du point de vue du mode de transport, des coûts externes d'un montant total de 12,8 milliards de francs en 2015. La plus grande partie de ces coûts, soit 10,5 milliards de francs (81%) est imputable au trafic routier. Il est suivi par le trafic aérien, avec un montant de 1,23 milliard (10%).

**Fig. 8 : Effets externes du point de vue du mode de transport en 2015**

Transports routiers et ferroviaires : principe de territorialité\* ; transports par bateau et par avion : principe du calcul de la moitié du trajet\*\*



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

\*\* Principe du calcul de la moitié du trajet : transports à l'intérieur des frontières de la Suisse et moitié du trajet en avion ou en bateau depuis la Suisse vers la destination à l'étranger, et inversement

**Fig. 9 : Effets externes du point de vue du mode de transport en 2015**

Transports routiers et ferroviaires : principe de territorialité ; transports par bateau et par avion : principe du calcul de la moitié du trajet

en millions de francs		Transport routier			Transport ferroviaire	Transport aérien	Transport par bateau	Total
	Trafic mot. privé et transp. marchandises	Mobilité douce	Transports publics	Total				
Santé air	2'761	-	104	2'866	366	33	56.8	3'321
Bâtiments air	208	-	8	216	27	3	4.3	250
Pertes sur les récoltes air	55	-	4	59	1	2	3.0	64
Dégâts aux forêts air	51	-	3	54	1	2	2.6	59
Pertes de biodiversité air	112	-	6	118	1	3	4.7	127
Bruit	2'036	-	54	2'089	399	122	-	2'610
Climat	1'475	-	34	1'509	3	892	12.2	2'416
Nature et paysage	989	30	14	1'033	129	7	5.2	1'174
Dégâts aux sols	133	-	6	140	29	-	-	169
Processus amont et aval	1'012	55	24	1'091	54	166	3.2	1'314
Accidents	729	982	6	1'716	7	2	0.2	1'725
Espaces urbains	71	-	2	73	36	-	-	109
Déduction part RPLP	-506	-	-	-506	-	-	-	-506
Total	9'126	1'067	264	10'457	1'053	1'231	92.0	12'833
Bénéfices santé mobilité douce	-	-1'345	-	-1'345	-	-	-	-1'345

Les coûts du trafic ferroviaire se montent à 1,05 milliard (8%). Les transports par bateau occasionnent des coûts externes de 92 millions de francs (0,7%). Sur l'ensemble, 80% des coûts externes sont imputables au trafic voyageurs, et 20% au transport de marchandises. Dans la mobilité douce, on observe en outre des bénéfices externes pour la santé à hauteur de 1,35 milliard de francs. Il convient toutefois de préciser que les prestations des divers modes de transport sont très différentes de l'un à l'autre. Sur la route, il se parcourt nettement plus de tonnes-kilomètres que par les autres modes de transport, et il s'en effectue beaucoup moins dans le transport par bateau.

Les calculs montrent que trois domaines contribuent pour une part substantielle au total : les coûts de la santé dus à la pollution de l'air, le bruit et les coûts pour le climat, qui représentent chacun entre 2,4 et 3,3 milliards de francs en coûts externes. Les accidents, les processus en amont et en aval, et le domaine nature et paysage présentent des coûts externes compris entre 1,2 et 1,7 milliards de francs. Les dégâts aux bâtiments se montent à 250 millions de francs, tandis que les autres domaines représentent des coûts externes inférieurs à 170 millions. De ces coûts externes, il faut déduire une partie des recettes de la RPLP, soit 506 millions de francs (part qui n'est pas ventilée entre les différents domaines). On enregistre encore dans la mobilité douce, outre des coûts externes de 1,07 milliard de francs, des bénéfices externes pour la santé de l'ordre de 1,35 milliard.

### Résultats : effets externes des différents modes de transport

Les quatre modes de transport sont examinés ici un peu plus en détail. Dans le **transport routier**, 62% des 10,5 milliards de francs, soit 6,5 milliards, sont imputables aux voitures de tourisme. Les autres catégories de véhicules (camionnettes et camions) atteignent au maximum 7%. Dans la mobilité piétonne, les bénéfices externes pour la santé sont nettement plus importants que les coûts externes (surtout les coûts dus aux accidents), de sorte que le résultat donne un bénéfice net de 480 millions de francs. Dans le trafic cycliste, les coûts externes sont plus élevés que les bénéfices externes pour la santé (coûts nets de 130 millions de francs). Les trolleybus et les tramways ont des coûts externes très faibles (moins de 11 millions de francs chacun). Dans le trafic routier, les coûts de la santé dus à la pollution de l'air représentent 27% des coûts externes, le bruit 20%, les accidents 16%, les atteintes au climat 14%, les processus en amont et en aval ainsi que le domaine nature et paysage chacun 10%.

Le **transport ferroviaire** occasionne des coûts externes à hauteur de 1,05 milliard de francs. Ces coûts se répartissent à raison de 56% pour le trafic voyageurs et 44% pour le transport de marchandises. Dans le transport ferroviaire, les coûts dus au bruit sont les plus élevés (37%), suivis des coûts pour la santé en raison de la pollution de l'air (34%) et du domaine nature et paysage (12%).

Le **transport aérien** est la cause de coûts externes qui se montent à 1,23 milliards de francs et se répartissent à raison de 93% pour le trafic voyageurs et 7% pour le transport de marchandises. Dans le transport aérien, les coûts pour le climat sont les plus importants (72%). Une part non négligeable des coûts externes revient encore aux processus en amont et en aval (14%) et au bruit (10%).

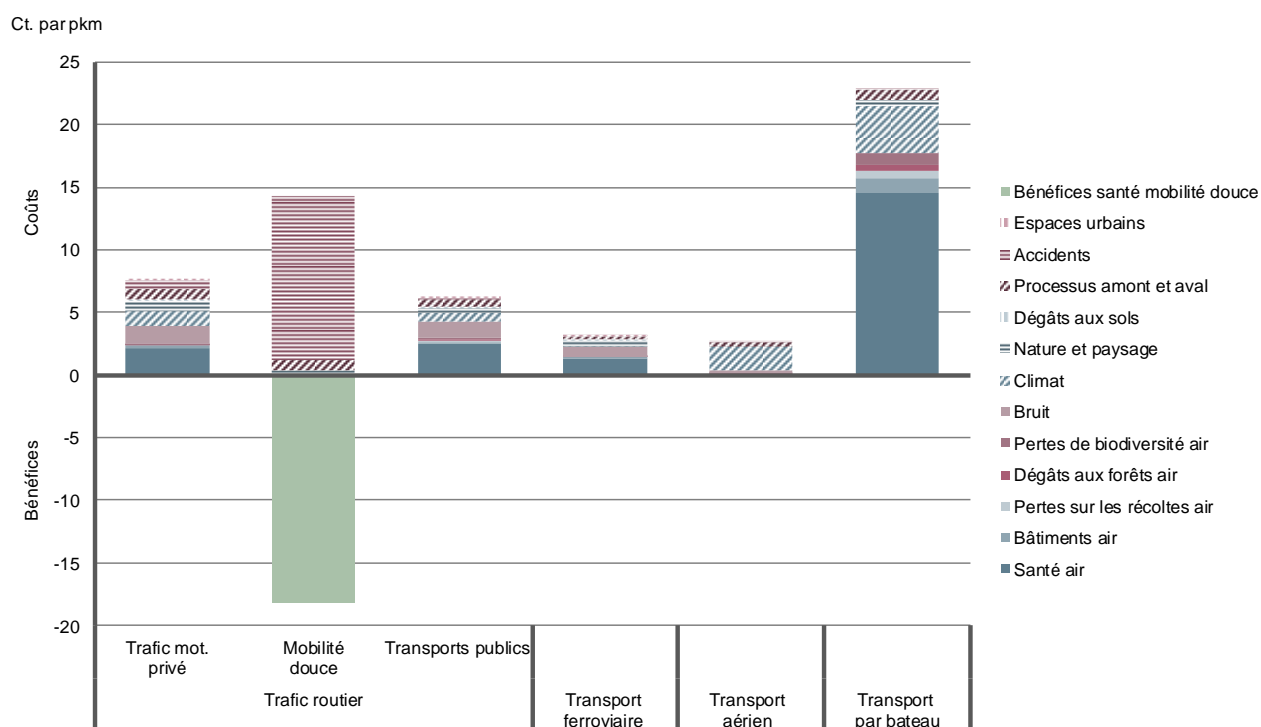
Au **transport par bateau** sont imputables des coûts externes de 92 millions de francs, qui se répartissent à raison de 39% pour le trafic voyageurs et 61% pour le transport de marchandises (dont 73% de transport de marchandises sur le Rhin et 27% sur les lacs suisses). Dans le transport par bateau, les coûts pour la santé en raison de la pollution de l'air sont la charge principale (62%), suivis des atteintes au climat (13%).

### **Comparaison des effets externes par personne-kilomètre et tonne-kilomètre**

À propos de ce qui suit, il faut faire observer que les différents modes de transport et les différentes catégories de véhicules ne se prêtent que dans certaines limites à des comparaisons entre eux. Il est judicieux de ne faire de comparaison directe que pour des trajets de longueur similaire, par ex. un trajet à l'intérieur d'un espace urbain (TIM, mobilité douce, TP routiers) ou un long trajet comme Zurich – Paris (TIM, train, avion). En outre, les différents modes de transport ne sont que partiellement substituables les uns aux autres, et les types de mobilité sont en partie plutôt complémentaires, comme par ex. la mobilité piétonne et les transports publics. D'une manière générale, on observe que les longs trajets en zone peu urbanisée, ou dans l'espace aérien, ont un effet modérateur sur la part moyenne de coût du moyen de transport. Les véhicules de grande capacité et un taux de remplissage élevé ont également un effet modérateur. Dans les transports publics en particulier, par la route et le rail, il faut considérer le fait qu'en raison des exigences de service public, les véhicules parcourent aussi des trajets moins fréquentés, ce qui fait baisser le taux d'occupation moyen. Il est donc important de souligner qu'il s'agit ici d'une moyenne de parts de coûts qui peuvent présenter de l'une à l'autre des variations considérables en fonction du trajet considéré.

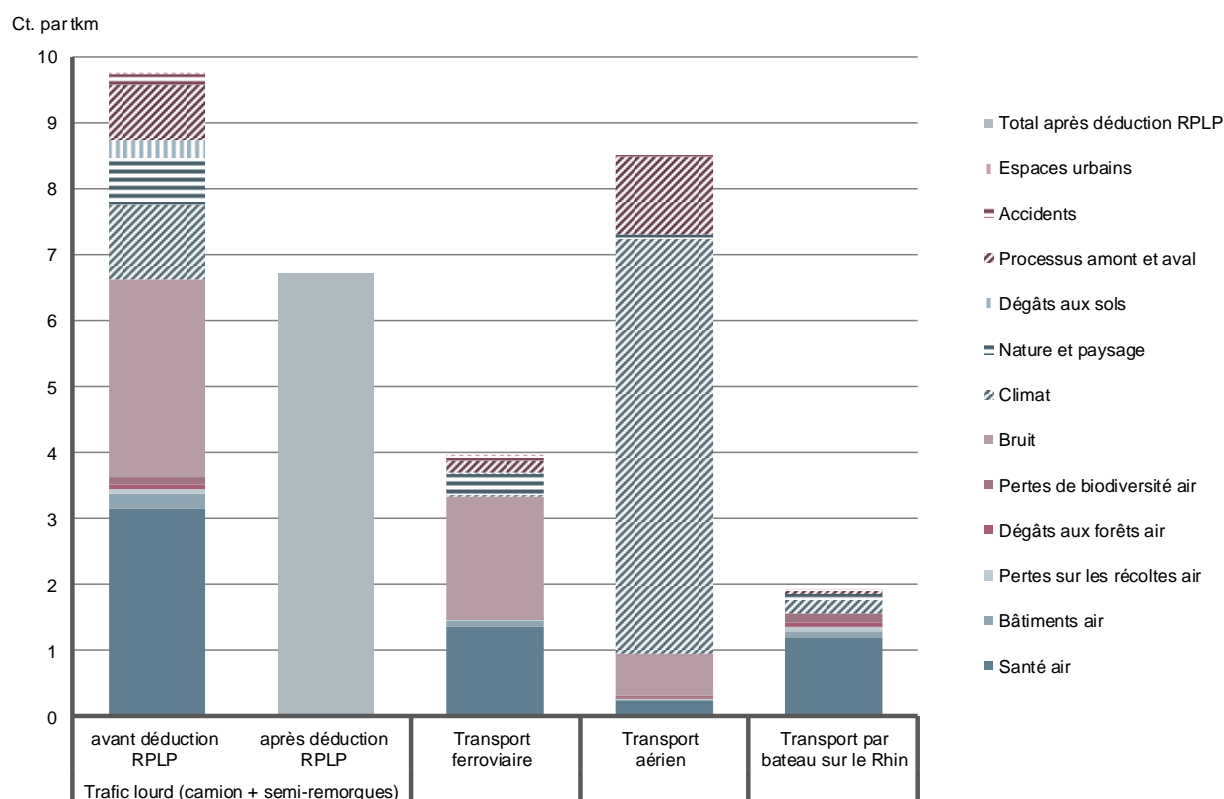
Dans le **trafic voyageurs** (cf. figure 10), le trafic privé motorisé sur route occasionne des coûts externes de 7,6 ct. / pkm, les transports publics routiers 6,2 ct. / pkm, le trafic ferroviaire 3,2 ct. / pkm, le trafic aérien 2,6 ct. / pkm et le transport par bateau 22,8 ct. / pkm (émissions élevées de polluants atmosphériques et de gaz à effet climatique par rapport au nombre de personnes-kilomètres). À la mobilité douce sont imputables des coûts externes de 14,4 ct. / pkm (dus principalement aux accidents causés par la personne elle-même) qui sont plus que compensés par des bénéfices externes pour la santé de 18,1 ct. / pkm.

**Fig. 10 : Comparaison des modes de transport voyageurs en 2015 : coûts externes par pkm (du point de vue du mode de transport)**



Dans le **transport de marchandises**, le trafic routier engendre des coûts de 9,8 ct. / tkm (moyenne des camions et semi-remorques, cf. fig. 11). Mais de ce montant, 3,1 ct. / tkm sont internalisés par la RPLP, de sorte que le coût externe restant est de 6,7 ct. / tkm. Les coûts externes restants du transport routier sont plus élevés que les coûts du transport ferroviaire (4, ct. / tkm). Dans le transport aérien, les coûts externes se montent à 8,5 ct. / tkm ; dans le transport par bateau sur le Rhin, ils sont de 1,9 ct. / tkm (le transport de marchandises sur les lacs, occasionnant des coûts externes de 44 ct. / tkm, n'est pas représenté sur la fig. 11 en raison de sa part trop faible – 2% – à l'ensemble du transport par bateau). Dans la comparaison des modes de transport, il faut prendre en considération le fait que les marchandises ont une valeur par tonne très inégale (par ex. marchandises de masse transportées par bateau, marchandises de haute valeur par avion).

**Fig. 11 : Comparaison des modes de transport marchandises en 2015 : coûts externes par tkm (du point de vue du mode de transport)**



### Comparaison des résultats pour 2015 avant et après mise à jour des bases des données

Les coûts après mise à jour des bases des données sont dans l'ensemble plus élevés que précédemment, avec une différence de 2,75 milliards de francs. La plus grande partie – 2,4 milliards – en est imputable au transport routier, suivi du transport ferroviaire, avec une augmentation de 260 millions. Dans le transport aérien, l'augmentation est de 33 millions, et dans le transport par bateau de 45 millions. La principale cause de l'augmentation des coûts est le chiffre nettement plus élevé de la valeur de la vie statistique (value of statistical life, VOSL). Les nouvelles bases dans le domaine nature et paysage jouent également un rôle important, de même que les processus en amont et en aval. L'augmentation s'explique encore par d'autres facteurs non négligeables : les nouveaux facteurs d'émission, les données moins élevées sur les concentrations de particules PM10, les bases nettement moins élevées sur l'effet d'abrasion dans le transport aérien, et les nouvelles bases pour les décès dus au bruit.

Fig. 12 : Comparaison des résultats pour 2015 avant et après mise à jour des bases des données

<b>Résultats 2015 – avant mise à jour [millions CHF]</b>	Trafic voyageurs	Transport de marchandises	<b>Total</b>
Transport routier	6'739	1'313	<b>8'052</b>
Transport ferroviaire	445	344	<b>789</b>
Transport aérien	1'111	88	<b>1'198</b>
Transport par bateau	27	21	<b>47</b>
<b>Total</b>	<b>8'321</b>	<b>1'766</b>	<b>10'087</b>
<b>Résultats 2015 – après mise à jour [millions CHF]</b>	Trafic voyageurs	Transport de marchandises	<b>Total</b>
Transport routier	8'546	1'911	<b>10'457</b>
Transport ferroviaire	591	462	<b>1'053</b>
Transport aérien	1'142	90	<b>1'231</b>
Transport par bateau	36	56	<b>92</b>
<b>Total</b>	<b>10'315</b>	<b>2'518</b>	<b>12'833</b>
<b>Différence en %</b>	Trafic voyageurs	Transport de marchandises	<b>Total</b>
Transport routier	26.8%	45.5%	<b>29.9%</b>
Transport ferroviaire	32.8%	34.4%	<b>33.5%</b>
Transport aérien	2.8%	2.3%	<b>2.8%</b>
Transport par bateau	36.4%	171.6%	<b>95.3%</b>
<b>Total</b>	<b>24.0%</b>	<b>42.6%</b>	<b>27.2%</b>
<b>Différence en millions CHF</b>	Trafic voyageurs	Transport de marchandises	<b>Total</b>
Transport routier	1'807	597	<b>2'404</b>
Transport ferroviaire	146	118	<b>264</b>
Transport aérien	31	2	<b>33</b>
Transport par bateau	10	35	<b>45</b>
<b>Total</b>	<b>1'994</b>	<b>753</b>	<b>2'747</b>

## 1. Einleitung

### 1.1. Ausgangslage

Die externen Effekte des Verkehrs werden vom Bundesamt für Raumentwicklung seit über zehn Jahren regelmässig ermittelt und ausgewiesen. Die externen Effekte des Strassenverkehrs bilden eine wichtige Grundlage für die leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe (LSVA). Zudem fliessen die externen Effekte des Verkehrs in die BFS-Statistik der Kosten und Finanzierung des Verkehrs ein.

Anfangs der Nullerjahre wurden umfassende Einzelstudien zu den wichtigsten Kostenkategorien (z. B. Lärm, Luftverschmutzung, Natur und Landschaft, Klima, Unfälle) erstellt, in denen die Berechnungsmethodik erarbeitet und Kosten für das Jahr 2000 berechnet wurden. Später fand eine Aufdatierung aller Kostenbereiche für das Jahr 2005 statt (Ecoplan, INFRAS 2008). Im Rahmen jener Arbeiten wurde auch erstmals ein umfassendes Excel-Tool für die jährliche Aktualisierung erstellt. Für das Referenzjahr 2010 liess das ARE eine umfassende Überprüfung der Methodik zur Berechnung der externen Effekte – Kosten und Nutzen – erstellen (Ecoplan, INFRAS 2014). Dabei wurden für jeden Bereich auf Basis einer Literaturanalyse sowie unter Beizug von Experten die Methodik kritisch überprüft, die Datengrundlagen vollständig aktualisiert und schliesslich die externen Effekte des Verkehrs für das Jahr 2010 neu berechnet sowie ein neues Aktualisierungstool erstellt. Erstmals deckten die Berechnungen nebst dem Schienen- und Strassenverkehr auch den Luft-, Schiffs- und Langsamverkehr ab. Seither hat das ARE die externen Kosten des Verkehrs jährlich neu berechnet und die Ergebnisse publiziert (zuletzt im Dezember 2016 mit Daten bis 2013). Für die Ermittlung der Daten für das Jahr 2015 wurde nun wieder eine Überprüfung und soweit nötig Aktualisierung der Datengrundlagen und Berechnungen vorgenommen. Die eingesetzten Methoden werden nicht grundsätzlich überarbeitet, sondern – wo nötig – punktuell angepasst.

### 1.2. Ziele

Mit dem vorliegenden Projekt werden folgende Hauptziele verfolgt:

- Datengrundlagen zur Berechnung der externen Effekte überprüfen und soweit möglich aufdatieren
- Methodik punktuell hinterfragen und falls nötig anpassen (keine umfassende Anpassung der Methodik)
- Aufdatierung des bestehenden Excel-Aktualisierungstools und Berechnung der externen Effekte für das Jahr 2015 (sowie auch für die Jahre 2010 – 2014)



Das vorliegende Projekt steht grundsätzlich in einer Reihe mit den früheren, alle fünf Jahre stattfindenden Aktualisierungen von Methodik und Berechnung der externen Kosten und Nutzen des Verkehrs (Ecoplan, INFRAS 2008 für das Referenzjahr 2005; Ecoplan, INFRAS 2014 für das Referenzjahr 2010). Im Vergleich zur umfassenden Aktualisierung der Methode im Jahr 2014 (Ecoplan, INFRAS 2014) ist das vorliegende Update deutlich weniger umfangreich. Der Fokus liegt primär auf der Aktualisierung wichtiger Datengrundlagen, insbesondere jener Daten, die im Rahmen der jährlichen Aktualisierung nicht aufdatiert werden. Zudem sollen wichtige methodische Neuerungen geprüft und – falls relevant und mit den vorgegebenen Ressourcen machbar – punktuell umgesetzt werden. Eine ausführliche Prüfung neuer Datengrundlagen und Methoden sowie eine Priorisierung der möglichen Aufdatierungen haben im Rahmen des ersten Arbeitsschrittes stattgefunden. Darauf basierend hat das ARE – zusammen mit den Begleitgremien und dem Projektteam – die mit dem vorhandenen Budget umsetzbaren Aktualisierungen ausgewählt. Diese werden im vorliegenden Bericht erläutert und dokumentiert.

Der Bericht ist wie folgt strukturiert:

- Im Kapitel 2 sind das methodische Vorgehen kurz skizziert und die Anpassungen der übergeordneten Daten (z. B. Emissionsfaktoren, value of statistical life VOSL) beschrieben.
- In den folgenden Kapiteln 3 bis 15 sind für alle 13 Kosten- bzw. Nutzenkategorien die Anpassungen an Methodik und Datengrundlagen beschrieben und die neuen Ergebnisse dargestellt. In jedem Teilkapitel werden die Ergebnisse zudem mit den Resultaten nach 'alter' Methodik bzw. Datengrundlage verglichen und eine Zeitreihe der Ergebnisse für 2010 bis 2015 (mit aktualisierter Methode) dargestellt.  
Für die detaillierte Beschreibung der Gesamtmethodik je Kostenbereich und aller Elemente, bei denen keine Änderungen vorgenommen wurden, ist weiterhin der Basisbericht von Ecoplan, INFRAS (2014) gültig, den der vorliegende Bericht ergänzt.
- Im Ergebniskapitel 16 sind schliesslich die Gesamtergebnisse dargestellt, jeweils die externen Effekte gemäss den verschiedenen Sichtweisen (Sicht Verkehrsträger, Sicht Verkehrsart Schwerverkehr und Sicht Verkehrsteilnehmende) sowie die sozialen Kosten resp. Nutzen des Langsamverkehrs. Nebst den Gesamtkosten sind auch die Durchschnittskosten pro Leistungseinheit dargestellt. Schliesslich werden die Ergebnisse der externen Effekte 2015 nach neuer Methodik mit den Ergebnissen nach bisherigem Vorgehen verglichen und die Zeitreihe der Entwicklung 2010 bis 2015 dargestellt. Überlegungen zu Sensitivitäten werden im letzten Teilkapitel kurz erläutert (die detaillierten Ergebnisse finden sich im Annex).
- Im letzten Kapitel 17 folgt eine Einschätzung auf die wichtigsten Überarbeitungspunkte für zukünftige Aktualisierungen der Berechnung der externen Effekte des Verkehrs in der Schweiz.

## 2. Methodisches Vorgehen und übergeordnete Daten

### 2.1. Methodisches Vorgehen

#### Generelle Methodik

Die grundsätzliche Methodik zur Berechnung der externen Effekte des Verkehrs bleibt gegenüber der letzten Arbeit (Ecoplan, INFRAS 2014) unverändert und orientiert sich weiterhin an den folgenden wichtigsten Eckpunkten:

- Es werden sowohl die sozialen als auch die externen Kosten berechnet, wobei die externen Kosten für drei Sichtweisen bestimmt werden: a. Sicht Verkehrsträger (steht für die BFS-Statistik der Kosten und Finanzierung des Verkehrs (KFV-Statistik) im Vordergrund), b. Sicht Verkehrsteilnehmende (relevant für Internalisierung der externen Kosten) und c. Sicht Verkehrsart Schwerverkehr (relevant für Berechnung der Leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe LSVA) – vgl. folgenden Exkurs.
- Bei der Bestimmung der externen Kosten werden Internalisierungsbeiträge berücksichtigt und abgezogen.
- Im Strassen- und Schienenverkehr wird das Territorialprinzip verwendet, im Luft- und Schiffsverkehr das Halbstreckenprinzip.
- Die Berechnung der Kosten erfolgt zu Faktorpreisen für das Jahr 2015.
- Mit Unsicherheiten bei den Berechnungen 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“).
- Es werden die bisher betrachteten 12 Kostenbereiche und die Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr untersucht. Neue Kostenkategorien werden keine ermittelt.

Details zu diesen methodischen Eckpunkten sowie weitere methodische Grundlagen (z. B. die Abgrenzung der Verkehrsträger) finden sich in Kapitel 2 des Berichts von Ecoplan, INFRAS (2014). Abbildung 147 gibt einen vereinfachten Überblick über die Überarbeitungspunkte.

Abbildung 13: Übersicht Überarbeitungspunkte

Kapitel	Bereich/Kostenkategorie	Thema
2.2	Betrifft div. Bereiche	VOSL
2.2	Betrifft div. Bereiche	Sterbewahrscheinlichkeiten etc.
2.2	Betrifft div. Bereiche	Aktualisierung Emissionsfaktoren Strassenverkehr HBEFA 3.3
2.2	Betrifft div. Bereiche	Diverse Anpassungen Datengrundlagen
2.2	Betrifft div. Bereiche	Emissionsfaktoren gesamter Schiffsverkehr, Verkehrsleistungen Schiffgüterverkehr
3	Gesundheitsschäden Luft	Immissionsdaten PM10
8	Lärm	Diverse Anpassungen Datengrundlagen Belästigung
9	Klima	Überprüfung CO2 - Kostensatz
9	Klima	Internalisierungsbeiträge
10	Natur & Landschaft	Mengengerüst: Infrastrukturlängen TLM?-basiert
11	Bodenschäden	Wertgerüst: Sanierungskosten belasteter Böden
12	Vor- / nachgelagerte Prozesse	Aktualisierung aller Lebenszyklus-Daten (Ecoinvent v3.3)
13	Unfälle	Anpassung Mengengerüst Strasse (Zuweisung der Unfälle auf die Fahrzeugkategorien)
13	Unfälle	Anpassung Mengengerüst Schiene
13	Unfälle	Kostensätze nach Verletzungsschweren
15	Gesundheitsnutzen LV	Vermiedene medizinische Kosten von Demenz und Depression
15	Gesundheitsnutzen LV	Neue Daten Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015
15	Gesundheitsnutzen LV	Auswertung Schweizer Gesundheitsbefragung
15	Gesundheitsnutzen LV	Anpassung Belastungs-Wirkungs-Beziehungen

**Exkurs: Soziale und externe Kosten<sup>1</sup>**

Soziale, externe und interne Kosten können wie folgt definiert werden:

- **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.
- **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

<sup>1</sup> Die folgenden Ausführungen basieren auf Ecoplan, INFRAS (2014, Kapitel 2.1).

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 Anwohnern (Gesundheitskosten) oder als gesamtgesellschaftlich zu tragende Klimakosten an.

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:

- **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). Bei der Sicht Verkehrsteilnehmende steht die volkswirtschaftlich **effiziente** Nutzung der Verkehrsinfrastruktur im Zentrum der Kostenermittlung.
- **Sicht Verkehrsträger:** Der gesamte Verkehrsträger (z. B. Strasse oder Schiene) wird als eine Einheit betrachtet. Innerhalb des Verkehrsträgers werden alle Kosten als intern angesehen. 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. 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**).
- **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 verursacht, als extern betrachtet. Im Unterschied zur Sicht Verkehrsteilnehmende werden aber Kosten, die ein Lastwagen einem Sattelschlepper verursacht, als intern betrachtet. Die Sicht Verkehrsart eignet sich für die Abschätzung der Kosten, die eine bestimmte Verkehrsart (z. B. der Schwerverkehr) auf alle anderen Verkehrsarten und Nicht-Verkehrsteilnehmende ausübt. Sie wurde vom Bundesgericht für die Berechnung der LSVA explizit vorgeschrieben.

Dabei gilt folgende Ungleichung:

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

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). 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.

**Im Folgenden** werden gemäss Vorgabe des Auftraggebers die externen Kosten jeweils aus **Sicht Verkehrsträger** ermittelt, da in der BFS-Statistik der Kosten und Finanzierung des Verkehrs die Frage des Kostendeckungsgrads interessiert und die einzelnen Verkehrsträger einander gegenübergestellt werden. Zudem wird auch die **Sicht Verkehrsteilnehmende** und für den **Strassen-Schwerverkehr zusätzlich die Sicht Verkehrsart** ermittelt. Ergänzend werden auch die gesamten sozialen Kosten ausgewiesen.

Für weitergehende Erläuterungen zu externen und sozialen Kosten siehe Ecoplan, INFRAS (2014, Kapitel 2.1).

### Vorgehen zur Ermittlung der Zeitreihe 2010 – 2015

Im Rahmen der Arbeiten sind basierend auf den neuen Ergebnissen 2015 auch die Ergebnisse 2010 bis 2014 zurückzurechnen. Dazu wird folgendes Vorgehen gewählt:

- Berechnung der externen Effekte 2015 mit dem bisherigen Excel-Tool (bzw. ohne Berücksichtigung der aktualisierten Datengrundlagen) -> '2015 bisher'
- Berechnung der externen Effekte 2015 mit den überarbeiteten Datengrundlagen (z. B. neuer VOSL, neuer Klimakostensatz, aktualisierte Datengrundlagen wie Emissionsfaktoren, Sterbewahrscheinlichkeiten etc.) -> '2015 überarbeitet'
- Bestimmung der prozentualen Differenz zwischen '2015 bisher' und '2015 überarbeitet' und zwar differenziert
  - nach Kosten- / Nutzenbereichen (Gesundheit Luft, Klima, Unfälle<sup>2</sup> etc.),
  - nach Verkehrsträgern (Strasse, Schiene, Luftverkehr, Schiff),
  - nach Fahrzeugkategorien (Personenwagen, Lieferwagen etc. bzw. im Schienen-, Luft- und Schiffsverkehr nach Personen- und Güterverkehr) und
  - teilweise nach Kostenarten (z. B. Unfälle nach medizinischen Heilungskosten, Produktionsausfall, Wiederbesetzungskosten, immaterielle Kosten, Sachschäden etc.) oder nach Kostenbestandteilen (z. B. Luft nach verschiedenen Krankheitsbildern oder Lärm nach Belästigung und Gesundheitsschäden).
- Die berechneten prozentualen Differenzen zwischen '2015 bisher' und '2015 überarbeitet' werden auf die (bereits zu einem früheren Zeitpunkt berechneten) externen Effekte der

<sup>2</sup> Mit der Erstellung der Zeitreihe wurde gleichzeitig für die Jahre 2011-2014 das Unfall-Mengengerüst im Strassenverkehr aktualisiert. Dadurch werden die einzelnen Fahrzeugkategorien realitätsnäher abgebildet.

Jahre 2010 bis 2014 angewendet. Damit werden die Ergebnisse 2010 bis 2014 gemäss den überarbeiteten Datengrundlagen abgeschätzt.

Mit diesem Vorgehen kann mit vernünftigem Aufwand eine bereinigte Zeitreihe 2010 – 2015 generiert werden. Die Zeitreihe, wie sie sich aufgrund der Veränderung der jährlich erhobenen Inputdaten ergibt (z. B. Verkehrswachstum, Abnahme Emissionsfaktoren, Abnahme Unfälle), kann so gut abgebildet werden.

## 2.2. Anpassung übergeordnete Daten

Die vorgenommenen Überarbeitungen zu den einzelnen Kosten- und Nutzenbereichen werden in den jeweiligen Kapiteln (Kap. 3 bis 15) festgehalten. Im vorliegenden Kapitel werden dagegen die Aktualisierungen aller übergeordneten Inputdaten behandelt, die für mehrere Kategorien relevant sind.

### 2.2.1. Emissionsdaten Strassenverkehr (HBEFA)

Bisher wurden differenzierte Emissions- und Verbrauchsfaktoren (Gramm Luftschadstoff pro Fzkm) nach Fahrzeug- und Treibstoffkategorien aus dem Handbuch für Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs (HBEFA) Version 3.1 (INFRAS 2010) verwendet. Diese Werte wurden mit den aktuellen Fahrleistungen des BFS multipliziert. Mit diesem Vorgehen resultierten die gesamten Emissionsmengen gemäss Territorialprinzip. Sämtliche Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs sind in einer aktualisierten Version des HBEFA (Version 3.3, April 2017<sup>3</sup>) enthalten, die nun im Rahmen der Aktualisierung in das Berechnungs-Tool eingearbeitet wurde. Die Flottenzusammensetzung im Schweizer Strassenverkehr verändert sich stetig. Aber auch durch die verschärften Abgasvorschriften und die CO<sub>2</sub>-Flottenziele gemäss CO<sub>2</sub>-Gesetz haben sich die Motortechnologien stark verbessert. Alle neuen Fahrzeuge entsprechen den Normen Euro 5 und 6. Aus diesem Grund war eine Aktualisierung der Emissionsfaktoren von hoher Bedeutung. Zusätzlich implementiert sind in der Version 3.3 HBEFA aktualisierte NO<sub>x</sub> Emissionsfaktoren (neue Messwerte) für Diesel-PW.

### 2.2.2. Emissionsdaten und Verkehrsleistungen Schiffsverkehr

Die Schiffskategorien und die Emissionsfaktoren der Luftschadstoffe und der Treibhausgasemissionen stammen aus dem Jahr 2005. Das BAFU hat im Jahr 2015 in einer Studie den Energieverbrauch und die Schadstoffemissionen des Non-Road Sektors aktualisieren lassen (BAFU 2015). Diese liegen in vergleichbaren Schiffskategorien vor, wie sie momentan für die externen

---

<sup>3</sup> Sämtliche Änderungen zwischen den HBEFA Versionen 3.1, 3.2 und 3.3 sind auf der Webseite <http://www.hbefa.net/d/index.html> dokumentiert.

Effekte benötigt werden. Da die jährlichen Aktualisierungen nur die Fahrzeugbestände betreffen, werden im Rahmen dieser Überarbeitung auch die Emissionsfaktoren aus dieser Datenbank auf den neusten Stand gebracht.

Für die Berechnungen der externen Effekte der Güterschifffahrt werden eine neue Methode sowie auch neue Grundlagendaten verwendet. Die neue Methode rechnet die Emissionen der Güterschifffahrt auf dem Rhein nicht mehr mittels Schiffbeständen, sondern mittels Verkehrsleistungen. Im Auftrag des BFS wurde 2017 eine Studie abgeschlossen, in der die Kosten des Schiffsverkehrs erarbeitet wurden, um den Schiffsverkehr die KfV-Statistik 2015 zu integrieren (Infras, Planco 2017). Innerhalb dieses Mandats wurden für den Güterverkehr neue Verkehrsleistungsdaten ermittelt. Basierend auf diesen neuen Daten gab es für die Güterschifffahrt auf dem Rhein erhebliche Veränderungen bei den externen Kosten verglichen mit den bisherigen Berechnungen. Zudem wurde bisher das Halbstreckenprinzip nicht konsequent umgesetzt, was in dieser Aktualisierung korrigiert wurde.

### 2.2.3. Value of Statistical Life (VOSL)

Als Vorarbeit für die vorliegende Studie wurde in Ecoplan (2016)<sup>4</sup> geprüft, welcher VOSL in Zukunft bei der Bewertung von Todesfällen zu verwenden ist. Ecoplan (2016) zeigt, dass im Vergleich zum bisher verwendeten Kostensatz in Zukunft von einem deutlich höheren VOSL auszugehen ist: Zu Faktorpreisen 2010 soll neu ein Wert von 6.2 Mio. CHF verwendet werden anstatt wie bisher ein Wert von 3.4 Mio. CHF. Der bisherige Wert basierte auf einer englischen Studie aus dem Jahr 1998, die gemäss einer aktuellen Studie<sup>5</sup> mehrere Validitätstests nicht besteht und deshalb tendenziell zu einer Unterschätzung führt. Der neue Wert basiert auf der weltweit grössten Metaanalyse von VOSL-Studien (OECD 2012<sup>6</sup>), in der nur qualitativ hochwertige Studien berücksichtigt wurden. Konkret wurden 261 VOSL-Resultate aus 28 Studien untersucht und daraus ein Basiswert von 3.0 Mio. US\$ (2005) für die OECD-Länder abgeleitet.

Der ermittelte Wert weist eine **Schwankungsbreite von ±50%** aus. Deshalb wird empfohlen, bei der Verwendung des VOSL künftig nicht nur eine Punktschätzung auszuweisen, sondern das Hauptergebnis zusammen mit dem Unsicherheitsintervall des VOSL von ±50% darzustellen.

Für die vorliegende Berechnung der externen Effekte wurde der **VOSL** auf die Schweiz angepasst und auf das Jahr 2015 fortgeschrieben (Methodik gemäss OECD 2012 bzw. Ecoplan 2016), was einen Wert **von 6.5 Mio. CHF (zwischen 3.3 und 9.8 Mio. CHF)** ergibt. Bei der Umrechnung musste gegenüber Ecoplan 2016 (Anhang C, S. 76) eine Anpassung vorgenommen

<sup>4</sup> Ecoplan (2016), Empfehlungen zur Festlegung der Zahlungsbereitschaft für die Verminderung des Unfall- und Gesundheitsrisikos (value of statistical life).

<sup>5</sup> Thomas und Vaughan (2015), Testing the validity of the "value of a prevented fatality" (VPF) used to assess UK safety measures.

<sup>6</sup> OECD (2012), Mortality Risk Valuation in Environment, Health and Transport Policies.

werden, da die Daten zur Kaufkraftparität von OECD und Weltbank rückwirkend auf 2005 angepasst wurden.<sup>7</sup> Die neue Berechnungsformel für das Jahr 2015 lautet:

$$\begin{aligned} \text{VOSL}_{\text{CH}, 2015 (\text{CHF})} &= \text{VOSL}_{\text{OECD}, 2005, \text{USD}} * (Y_{\text{CH}, 2005} / Y_{\text{OECD}, 2005})^{0.8} * \text{PPP}_{2005} \\ &\quad * (1 + \% \Delta P_{2005-2015}) * (1 + \% \Delta Y_{2005-2015})^{0.8} \\ &= 3.013 \text{ Mio. \$} * (40'213 \$ / 30'869 \$)^{0.8} * 1.69 \text{ CHF} / \$ * 1.026 * 1.086^{0.8} \\ &= 6'531'879 \text{ CHF} \end{aligned}$$

$\text{VOSL}_{\text{OECD}, 2005, \text{USD}}$  = Basiswert der OECD von 3.013 Mio. US\$

$Y_{\text{CH}, 2005}$  = Reales BIP pro Kopf in der Schweiz in Kaufkraftparität 2005

$Y_{\text{OECD}, 2005}$  = Durchschnittliches reales BIP pro Kopf in der OECD in Kaufkraftparität 2005

0.8 = Einkommenselastizität des VOSL, die sich aus den OECD-Schätzungen ergibt<sup>8</sup>

$\text{PPP}_{2005}$  = Mit der Kaufkraftparität angepasster Wechselkurs 2005

$(1 + \% \Delta P_{2005-2011})$  = Inflation in der Schweiz zwischen 2005 und 2015

$(1 + \% \Delta Y_{2005-2011})$  = Wachstum des realen BIP pro Kopf in der Schweiz von 2005 bis 2015

Für die konkreten Berechnungen wurde aus dem so ermittelten VOSL der VLYL (value of life year lost) abgeleitet. Damit werden die verlorenen Lebensjahre und nicht die frühzeitigen Todesfälle bewertet. Die Umrechnung des VOSL mit den aktuellsten Überlebenswahrscheinlichkeiten des BFS ergibt einen **VLYL von 235'000 CHF (zwischen 117'000 und 352'000 CHF – exakt 234'568 CHF)**. Die Bewertung der verlorenen Lebensjahre entspricht dem at least Ansatz. International erfolgt die Bewertung oft direkt über die Anzahl frühzeitiger Todesfälle und unter Verwendung des VOSL. Im Rahmen dieser Studie wird dieser Ansatz als neue Sensitivitätsbetrachtung aufgenommen, d.h. es wird ermittelt, wie hoch die externen Effekte ausfallen würden, wenn die immateriellen Kosten anhand der frühzeitigen Todesfälle bewertet werden. Dabei wird der VOSL bei Todesfällen von Kindern (bis 16 Jahre) um den Faktor 1.5 erhöht.<sup>9</sup>

Im Zusammenhang mit der Bewertung der immateriellen Kosten von Todesfällen stellt sich die Frage, ob in der VOSL-Zahlungsbereitschaft auch der Verlust an Eigenkonsum enthalten ist oder nicht. Konkret geht es um die Frage, ob die Befragten ihre Zahlungsbereitschaft erhöhen, weil sie berücksichtigen, dass sie z.B. nach einem Unfall keinen Lohn mehr erhalten oder ob die

<sup>7</sup> Dadurch verändern sich in der folgenden Formel  $Y_{\text{CH}, 2005}$ ,  $Y_{\text{OECD}, 2005}$  und  $\text{PPP}_{2005}$ .

<sup>8</sup> OECD (2012), Mortality Risk Valuation in Environment, Health and Transport Policies, S. 63-64.

<sup>9</sup> Ecoplan (2016), Empfehlungen zur Festlegung der Zahlungsbereitschaft für die Verminderung des Unfall- und Gesundheitsrisikos (value of statistical life), S. 39.



Zahlungsbereitschaft nur immaterielle Kosten umfasst. Weil keine verlässlichen Untersuchungen vorlagen, ist man bisher im Sinne des at least Ansatzes davon ausgegangen, dass der Verlust an Eigenkonsum im VOSL enthalten ist.

In einer Studie aus dem Jahr 2015 ist B,S,S.<sup>10</sup> unseres Wissens erstmals dieser Frage explizit nachgegangen. Die Studie kommt zum Schluss, dass in den Antworten zur Zahlungsbereitschaft der Verlust an Eigenkonsum klar nicht enthalten ist. Die Befragten berücksichtigen in der Regel in ihren Antworten somit ihren potentiellen Lohnausfall nicht. Als Folge dieser Ergebnisse ist eine Anpassung der Berechnungsmethode angezeigt: **Neu wird nicht nur der Nettoproduktionsausfall** (Bruttoproduktionsausfall nach Abzug des Eigenkonsums), **sondern der gesamte Brutto-produktionsausfall** berücksichtigt.<sup>11</sup> Der Bruttoproduktionsausfall beläuft sich im Jahr 2015 auf 97'631 CHF pro Jahr (während der Nettoproduktionsausfall lediglich 21'371 CHF pro Jahr beträgt).

Dies hat auch zur Folge, dass im Bereich Unfälle und Gesundheitsnutzen des Langsamverkehrs die Rentenleistungen (z. B. AHV- oder IV-Renten), die den entfallenden Eigenkonsum teilweise decken, bisher als externe immaterielle Kosten betrachtet wurden, neu aber als externe Produktionsausfälle zu betrachten sind.

Der VOSL wird in vier Bereichen verwendet, nämlich bei den Gesundheitskosten durch Luftbelastung und Lärm, bei den Unfällen und bei den Gesundheitsnutzen des Langsamverkehrs. Entsprechend werden die Anpassungen an den höheren VOSL in allen vier Bereichen vorgenommen. Im Bereich Unfälle sind aufgrund von Ecoplan (2016) noch weitere Anpassungen vorzunehmen. Diese werden in Kapitel 13 erläutert.

#### 2.2.4. Weitere Anpassungen

Zudem haben wir nebst den oben erwähnten Anpassungen die folgenden Datengrundlagen auf das Jahr 2015 aktualisiert, die in mehreren Kostenbereichen zur Anwendung kommen:

- Sterbewahrscheinlichkeiten nach 1-Jahres-Altersklassen und Geschlecht (Daten BFS): Berücksichtigung der veränderten Altersstruktur der Bevölkerung bei der Berechnung der verlorenen Lebensjahre.
- Verteilung der Todesfälle nach Todesursachen (Daten BFS): Grundhäufigkeit der Todesfälle durch gewisse Krankheiten bzw. durch Gewalt, Unfall und Suizid.
- Häufigkeit Krankheitsbilder pro 100'000 Einwohner (Daten BFS – Medizinische Statistik der Krankenhäuser, für Gesundheitsnutzen zusätzlich mit Aufteilung nach vier Altersklassen).

<sup>10</sup> B,S,S. (2015), Monetarisierung des statistischen Lebens im Strassenverkehr. Vgl. auch Ecoplan (2016).

<sup>11</sup> Ecoplan (2016), Empfehlungen zur Festlegung der Zahlungsbereitschaft für die Verminderung des Unfall- und Gesundheitsrisikos (value of statistical life), Kapitel 3.3.

Daraus abgeleitet wird auch die Zahl der Ausfalltage pro Hospitalisierung für verschiedene Krankheitsbilder aufdatiert.

- Für die PM<sub>10</sub>-Emissionen durch Abrieb (Pneu-, Brems- und Pistenabrieb) im Luftverkehr haben wir vom BAZL neue Datengrundlagen erhalten: Es zeigt sich, dass die bisher benutzte Grobschätzung den mechanischen Abrieb massiv überschätzte<sup>12</sup>: Neu sind die Abriebemissionen ca. um den Faktor 1'000 tiefer und die gesamten PM<sub>10</sub>-Emissionen sinken dadurch beinahe um die Hälfte. Die neuen Daten von 0.08 g / Landung für europäische Flüge bzw. 0.27 g / Landung für Interkontinentalflüge beruhen auf drei Studien.<sup>13</sup> Es zeigt sich, dass der Anteil von Reifen- und Bremsabrieb an PM in der Umgebungsluft wesentlich kleiner ist als die Triebwerksemissionen (unter 1%). Größere Partikel schaffen es nicht weit, sondern sedimentieren sofort im Pistenbereich. Zudem sind bei Regen oder feuchter Piste die PM-Emissionen bei der Landung praktisch nicht mehr vorhanden. Auch können die PM<sub>10</sub>-Emissionen beim Start (im Vergleich zur Landung) vernachlässigt werden.
- Erwerbstätige 2015 nach 1-Jahres-Altersklassen und Geschlecht aus Strukturerhebung BFS (neu bis Alter 91 statt wie bisher 85).
- Umrechnungsfaktor Marktpreise – Faktorpreise (aus der aktuellsten Input-Output-Tabelle IOT des BFS für 2011 beträgt der Umrechnungsfaktor neu 1.054 statt 1.085).
- Aufteilung Spitalkosten auf Kostenträger (Daten BFS).
- Aufteilung LSVA- und PSVA<sup>14</sup>-Einnahmen auf Fahrzeugkategorien: Der Anteil der PSVA, der den Gesellschaftswagen zugeschrieben wird, wird auf 2015 aktualisiert.
- Die von uns verwendeten Daten zu den pkm beruhen im Fussverkehr auf einer spezifischen Auswertung des Mikrozensus (Ausschluss von Wanderungen, Jogging etc.). Aufgrund der neuen Erhebung im Mikrozensus 2015 (BFS ARE, 2017) ergibt sich, dass für unsere Zwecke (nur Verkehr auf 1.- bis 3.-Klass-Strassen) nur 89.5% (2.0% für fäG<sup>15</sup>) der pkm im Fussverkehr zu berücksichtigen sind (bisher wurden 89.6% resp. 2.1% berücksichtigt).
- Zudem wurden die Basisdaten zu den pkm im Langsamverkehr mit dem Mikrozensus 2015 angepasst. Damit nehmen die berücksichtigten pkm gegenüber den bisherigen Datengrundlagen im Veloverkehr um insgesamt 16% zu, im Fussverkehr aber um 0.5% ab (fäG –2%).

<sup>12</sup> Die bisher verwendeten Emissionsfaktoren beruhen zum Teil auf Abschätzungen von Materialabtrag bei Pneus grosser Luftfahrzeuge. Es gab aber weder ein Instrumentarium noch Messungen, welche erlaubt hätten, effektiv festzustellen, was in welcher Konzentration in die Luft gelangt und immissionswirksam wird. Mit der heute verfügbaren Messtechnik zeigt sich, dass beim Abrieb kaum kleine Partikel entstehen, die immissionswirksam sind. So können in vernünftigem Abstand zur Piste keine Pistenabriebs-Emissionen detektiert werden und nur geringe Mengen aus Pneu- und Bremsabrieb.

<sup>13</sup> Curren (2006), Method for estimating particulate emissions from aircraft brakes and tyres, Bennet et al. (2011), Composition of Smoke Generated by Landing Aircraft und ACRP (2013), Measuring PM Emissions from Aircraft Auxiliary Power Units, Tires, and Brakes.

<sup>14</sup> LSVA bzw. PSVA = Leistungsabhängige bzw. pauschale Schwerverkehrsabgabe.

<sup>15</sup> fäG: Fahrzeugähnliche Geräte.

### 3. Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung

#### 3.1. Anpassung von Methodik und Datengrundlagen

Im Folgenden werden die Anpassungen gegenüber der Berechnung für das Jahr 2010 (Ecoplan, INFRAS 2014) kurz erläutert. Die grundsätzliche Methodik wird in Ecoplan / INFRAS (2014) beschrieben – hier werden nur die Anpassungen gegenüber dem Bericht 2014 kurz dargestellt. Für eine detaillierte Erläuterung der Methodik verweisen wir auf den Bericht aus dem Jahr 2014.

##### 3.1.1. Methodik

Es wurden keine Anpassungen an der grundlegenden Methodik vorgenommen, da diese immer noch valide ist.

##### 3.1.2. Datengrundlagen

Die wichtigste Anpassung ist die Übernahme des **neuen, höheren VOSL bzw. VLYL** (siehe Kapitel 2.2.3). Der VLYL beträgt neu 235'000 CHF (zwischen 117'000 und 352'000 CHF). Wie vorne erläutert bedingt dies auch, dass neu der **Brutto- statt Nettoproduktionsausfall** verwendet wird.

Zudem wurden die Luftschadstoffimmissionen überarbeitet. Die bevölkerungsgewichteten PM10-Immissionen wurden für die Berechnung 2010 (Ecoplan, INFRAS 2014) auf Basis von Modellrechnungen ermittelt. Dabei wurde das Schadstoffausbreitungsmodell PolluMap des BAFU verwendet, inkl. Berücksichtigung sekundärer Partikel und zusätzlicher Aufteilung der Immissionen nach Fahrzeugkategorien. Dieses PM10-Immissionskataster wurde schliesslich mit georeferenzierten Bevölkerungsdaten (Hektarraster der Bevölkerung) 'verschnitten'. Daraus resultierten die bevölkerungsgewichteten PM10-Immissionen nach Fahrzeugkategorie und Sektor (also auch Nicht-Verkehr). Die jährliche Aktualisierung 2011-2014 erfolgte mittels Fortschreibung der Immissionen auf Basis der Entwicklung der PM10-Emissionen je Fahrzeugkategorie. Eine Aufdatierung der gesuchten bevölkerungsgewichteten PM10-Konzentration 2015 mithilfe von PolluMap stand aus Kostengründen nicht zur Diskussion und war im Rahmen dieser Aktualisierung auch nicht notwendig. Aus diesem Grund wurde die nachstehend beschriebene, vereinfachte Aktualisierung der Immissionsdaten vorgenommen.

Die Fortschreibung auf Basis der PM10-Emissionen auf 2015 hat jedoch ergeben, dass die Summe der Anteile für 2015 um 17% grösser ist als der vom BAFU aus den Messwerten aller NABEL-Messstationen gewonnene und bevölkerungsgewichtete Mittelwert der PM10-Immissionskonzentration im Jahr 2015. Dieser Mittelwert ist aber nicht auf Sektoren/Fahrzeugklassen

aufgeteilt. Entsprechend werden die PM<sub>10</sub>-Immissionsanteile aller Sektoren/Fahrzeugklassen linear nach unten angepasst.

Spezialfall Flugverkehr: Im Jahr 2010 wurden die Immissionen des Flugverkehrs mit Hilfe des Ausbreitungsmodells PolluMap modelliert. Da sich die in PolluMap hinterlegten Emissionen seit 2010 stark verändert haben, mussten in einem ersten Schritt die Immissionen 2010 mit den neuen Emissionsfaktoren abgeschätzt werden. In der letzten Aktualisierung wurden die Immissionen des Flugverkehrs auf Basis von 106 Tonnen PM<sub>10</sub> Emissionen für 2010 berechnet (BAFU 2013). Mit den neuen Emissionsfaktoren liegt der Wert für 2010 bei nur 28 Tonnen PM<sub>10</sub> Emissionen. Der Grund dafür liegt in den Abriebemissionen, welche aufgrund neuer Emissionsfaktoren vernachlässigbar klein sind (vgl. Kapitel 2.2.4). Die Immissionen für 2015 wurden genau gleich berechnet wie im vorangehenden Abschnitt beschrieben. Dies führt zu einer deutlichen Reduktion der Immissionen durch den Luftverkehr.

Zudem haben diverse Anpassungen, die in Kapitel 2.2.4 beschrieben werden, Auswirkungen auf die Ergebnisse für die Gesundheitskosten der Luftverschmutzung (wie z. B. Sterbewahrscheinlichkeiten nach 1-Jahres-Altersklassen und Geschlecht, Verteilung der Todesfälle nach Todesursachen, Erwerbstätige 2015 nach 1-Jahres-Altersklassen und Geschlecht, Häufigkeit Krankheitsbilder pro 100'000 Einwohner, Aufteilung Spitalkosten auf Kostenträger).

Ausserdem wurden die emissionsbedingten Landegebühren auf den Regionalflugplätzen Bern und Lugano aktualisiert (neu 87'000 CHF pro Jahr gemäss Auskunft des BAZL statt 27'000 CHF wie bisher).

Weitere Anpassungen – wie z. B. die Untersuchung, ob neue Belastungs-Wirkungs-Beziehungen vorliegen (allenfalls auch für neue Krankheitsbilder) oder ob PM<sub>10</sub> immer noch der richtige Leitschadstoff ist – konnten im Rahmen dieser Überarbeitung nicht vorgenommen werden.

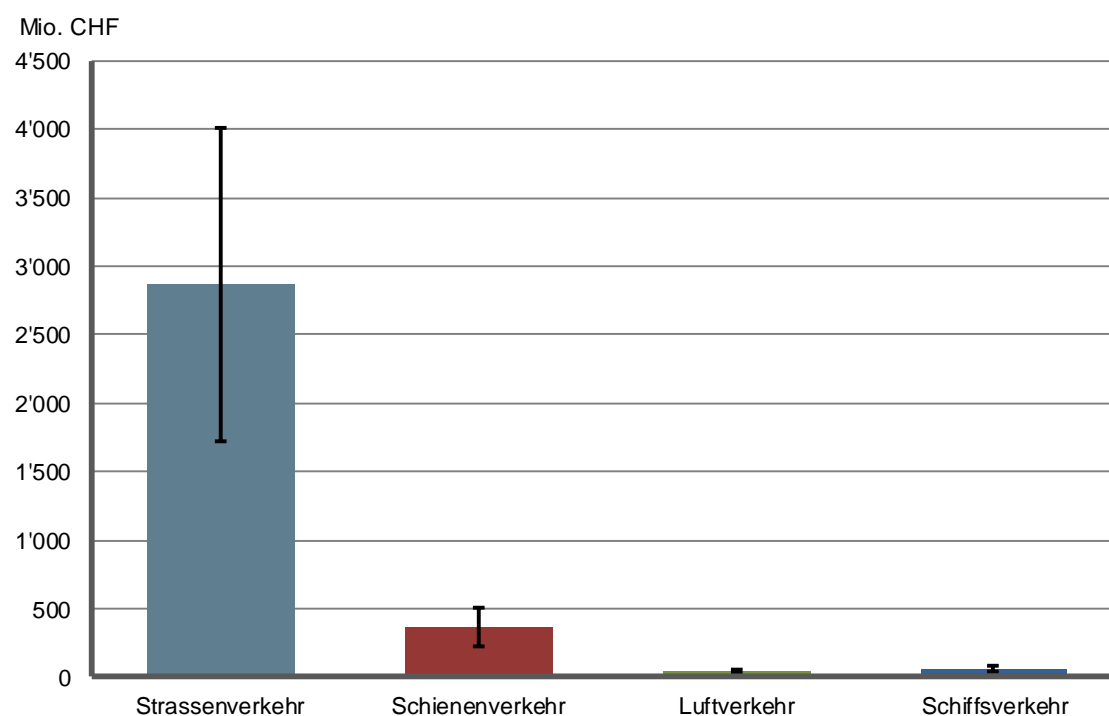
## 3.2. Ergebnisse

### 3.2.1. Externe Kosten 2015

Gesamthaft fallen durch die Luftbelastung des Verkehrs externe Gesundheitskosten von 3'321 Mio. CHF an (vgl. Abbildung 14 und Abbildung 15). Der Strassenverkehr verursacht 86% dieser Kosten (2'866 Mio. CHF), im Schienenverkehr fallen 11% (oder 366 Mio. CHF) der Kosten an, während im Luft- und Schiffsverkehr vergleichsweise geringe Kosten auftreten (1% bzw. 2% oder 33 bzw. 57 Mio. CHF). Etwa 73% der Kosten entstehen durch den Personenverkehr. Dieser Anteil stimmt im Strassenverkehr beinahe überein (75%), im Luftverkehr ist der Anteil des Personenverkehrs mit 92% deutlich höher, im Schienen- und Schiffsverkehr mit 63% bzw. 41% hingegen tiefer – im Schiffsverkehr aufgrund der Bedeutung des Güterverkehrs auf dem Rhein.

Die **sozialen Kosten** liegen aufgrund der Internalisierung im Luftverkehr (emissionsabhängigen Landegebühren im Umfang von 4.4 Mio. CHF) leicht höher. Durch die gesamte Luftbelastung (inkl. Haushalte, Industrie etc.) entstehen 2015 soziale Gesundheitskosten von 6'534 Mio. CHF.

**Abbildung 14:** Überblick über die externen Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung 2015 (inkl. Vertrauensintervall mit VOSL  $\pm 50\%$ )



**Abbildung 15:** Überblick über die externen Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung 2015

Ext. Gesundheitskosten Luftverschmutzung in Mio.	Personen- verkehr	Güter- verkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	2'143.0	722.6	<b>2'865.6</b>	86.3%
Schienenverkehr	229.8	136.0	<b>365.8</b>	11.0%
Luftverkehr	30.6	2.5	<b>33.1</b>	1.0%
Schiffsverkehr	23.2	33.6	<b>56.8</b>	1.7%
<b>Total</b>	<b>2'426.6</b>	<b>894.6</b>	<b>3'321.2</b>	100.0%
in % des Totals	73.1%	26.9%	100.0%	

Die Höhe der Kosten der Luftbelastung hängt sehr stark von der Höhe des VOSL ab, der jedoch nur mit einer Genauigkeit von  $\pm 50\%$  bestimmt werden kann. Die folgende Tabelle zeigt nochmals das bereits oben dargestellte Hauptergebnis sowie die Ergebnisse der Sensitivität mit 50% tieferem bzw. höherem VOSL. Wie sich zeigt, schwankt das Ergebnis dadurch um  $\pm 40\%$  und liegt in einer Bandbreite zwischen 2.0 und 4.6 Mrd. CHF.

**Abbildung 16:** Überblick über die externen Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung 2015 – Hauptergebnis und tiefe und hohe Sensitivität mit tiefem bzw. hohem VOSL

<b>Gesundheitskosten Luftverschmutzung in Mio. CHF</b>	<b>Hauptergebnis (Basis-VOSL)</b>	<b>Sensitivität tief (50% tieferer VOSL)</b>	<b>Sensitivität hoch (50% höherer VOSL)</b>
Strassenverkehr	<b>2'866</b>	1'721	4'010
Schienenverkehr	<b>366</b>	220	512
Luftverkehr	<b>33</b>	18	48
Schiffsverkehr	<b>57</b>	34	79
<b>Total</b>	<b>3'321</b>	1'993	4'649

Auf eine ausführlichere Darstellung der Sensitivitäten zum Ergebnis der Gesundheitskosten der Luftbelastung wird an dieser Stelle verzichtet – wie auch in allen folgenden Kapiteln. Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen werden jedoch (für alle Kostenbereiche) – analog zum Bericht für das Jahr 2010 (Ecoplan, INFRAS 2014) – im Annex tabellarisch aufgeführt.

Die Aufteilung der Kosten auf die Fahrzeugkategorien wird im zusammenfassenden Kapitel 16 dargestellt. Diese Bemerkung gilt auch für alle folgenden Kapitel zu den einzelnen Kostenbereichen (4 bis 15).

### 3.2.2. Vergleich der Ergebnisse 2015 mit bisherigen und überarbeiteten Datengrundlagen

Im Rahmen der vorliegenden Arbeiten wurden mehrere Anpassungen vorgenommen. Diese wurden in Kapitel 3.1 beschrieben. Im Folgenden soll kurz dargestellt werden, welche Auswirkungen sich durch diese Anpassungen auf das Ergebnis im Jahr 2015 ergeben. Wie die folgende Abbildung zeigt, steigen die Gesundheitskosten der Luftbelastung durch die Anpassungen um insgesamt 77%. Der Grund für diese deutliche Zunahme ist der neue, höhere VOSL (inkl. Verwendung des Brutto- statt Nettoproduktionsausfalls, der allerdings nur ca. 12% der Kostensteigerung durch den VOSL verursacht). Die Zunahme durch den höheren VOSL wäre sogar noch etwas ausgeprägter, wenn diese Erhöhung nicht durch andere Effekte wieder etwas gedämpft würde: Die tieferen Immissionen reduzieren das Ergebnis durchschnittlich um 16%. Im Luftverkehr sinken die Immissionen gar um 63%, weil die PM10-Emissionen durch Abrieb aufgrund

neuer Datengrundlagen sehr stark gesunken sind. Damit nehmen die Gesundheitskosten der Luftbelastung im Luftverkehr unter Berücksichtigung der neuen Datengrundlagen insgesamt um 25% ab, im Unterschied zum Gesamteffekt bei allen anderen Verkehrsträgern. Im Schiffsverkehr ist die prozentuale Zunahme aufgrund der neuen Grundlagendaten zu den Emissionen und Fahrleistungen im Schiffsverkehr – insbesondere im Güterschiffsverkehr auf dem Rhein – mit 155% deutlich höher.

**Abbildung 17: Vergleich der Ergebnisse 2015 mit bisherigen und überarbeiteten Datengrundlagen: Gesundheitskosten Luft**

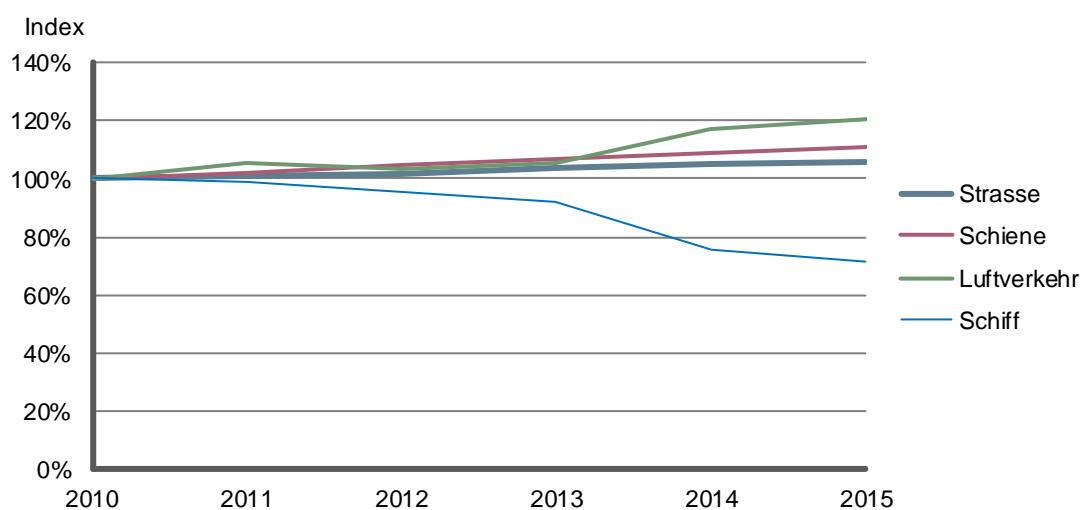
<b>Ergebnisse 2015 - bisher [Mio. CHF]</b>	<b>Personenverkehr</b>	<b>Güterverkehr</b>	<b>Total</b>
Strassenverkehr	1'229.5	373.5	<b>1'603.0</b>
Schienenverkehr	129.1	76.9	<b>206.0</b>
Luftverkehr	40.6	3.4	<b>44.0</b>
Schiffsverkehr	13.9	8.3	<b>22.2</b>
<b>Total</b>	<b>1'413.2</b>	<b>462.1</b>	<b>1'875.3</b>
<b>Ergebnisse 2015 - überarbeitet [Mio. CHF]</b>	<b>Personenverkehr</b>	<b>Güterverkehr</b>	<b>Total</b>
Strassenverkehr	2'143.0	722.6	<b>2'865.6</b>
Schienenverkehr	229.8	136.0	<b>365.8</b>
Luftverkehr	30.6	2.5	<b>33.1</b>
Schiffsverkehr	23.2	33.6	<b>56.8</b>
<b>Total</b>	<b>2'426.6</b>	<b>894.6</b>	<b>3'321.2</b>
<b>Veränderung in %</b>	<b>Personenverkehr</b>	<b>Güterverkehr</b>	<b>Total</b>
Strassenverkehr	74.3%	93.4%	<b>78.8%</b>
Schienenverkehr	78.0%	76.9%	<b>77.6%</b>
Luftverkehr	-24.8%	-25.6%	<b>-24.9%</b>
Schiffsverkehr	66.3%	304.1%	<b>155.2%</b>
<b>Total</b>	<b>71.7%</b>	<b>93.6%</b>	<b>77.1%</b>
<b>Veränderung in Mio. CHF</b>	<b>Personenverkehr</b>	<b>Güterverkehr</b>	<b>Total</b>
Strassenverkehr	913.5	349.0	<b>1'262.6</b>
Schienenverkehr	100.7	59.1	<b>159.8</b>
Luftverkehr	-10.1	-0.9	<b>-10.9</b>
Schiffsverkehr	9.2	25.3	<b>34.5</b>
<b>Total</b>	<b>1'013.4</b>	<b>432.5</b>	<b>1'445.9</b>

### 3.2.3. Zeitreihe 2010-2015

Gemäss dem in Kapitel 2.1 beschriebenen Vorgehen wurden die aktualisierten Ergebnisse auf die Jahre 2010 – 2014 zurückgerechnet. Damit entsteht eine Zeitreihe von 2010 bis 2015, die

unabhängig von den in diesem Bericht beschriebenen Anpassungen ist. Insgesamt nehmen die Gesundheitskosten der Luftbelastung zwischen 2010 und 2015 um 5% zu. Beim Strassenverkehr ist eine Zunahme um 6% zu verzeichnen, während sich im Schiffsverkehr eine Abnahme um 28% einstellte, im Flugverkehr die Kosten um 20% zunahmen und im Schienenverkehr die Kosten um 11% stiegen.

**Abbildung 18: Indexierte Entwicklung der externen Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung 2010 bis 2015 nach Verkehrsträgern**



**Abbildung 19: Entwicklung der externen Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung 2010 bis 2015 nach Verkehrsträgern**

Gesundheit Luft [in Mio. CHF]	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Strasse	1'946.6	1'979.9	2'023.0	2'070.8	2'115.8	2'143.0
Schiene	207.6	212.4	217.1	221.2	226.3	229.8
Luftverkehr	25.0	26.5	26.0	26.6	29.6	30.6
Schiff	28.4	27.5	26.7	25.9	25.2	23.2
<b>Total Personenverkehr</b>	<b>2'207.6</b>	<b>2'246.3</b>	<b>2'292.8</b>	<b>2'344.6</b>	<b>2'396.9</b>	<b>2'426.6</b>
Strasse	769.3	760.2	745.4	748.7	736.4	722.6
Schiene	122.8	125.7	128.4	130.8	133.8	136.0
Luftverkehr	2.4	2.5	2.4	2.4	2.6	2.5
Schiff	50.7	50.7	49.0	46.9	34.6	33.6
<b>Total Güterverkehr</b>	<b>945.3</b>	<b>939.1</b>	<b>925.2</b>	<b>928.8</b>	<b>907.4</b>	<b>894.6</b>
<b>Gesamttotal Gesundheit Luft</b>	<b>3'152.9</b>	<b>3'185.4</b>	<b>3'218.1</b>	<b>3'273.4</b>	<b>3'304.3</b>	<b>3'321.2</b>



## 4. Gebäudeschäden durch Luftverschmutzung

### 4.1. Anpassung von Methodik und Datengrundlagen

Im Folgenden werden die Anpassungen gegenüber der Berechnung für das Jahr 2010 (Ecoplan, INFRAS 2014) kurz erläutert. Die grundsätzliche Methodik wird in Ecoplan / INFRAS (2014) beschrieben – hier werden nur die Anpassungen gegenüber dem Bericht 2014 kurz dargestellt. Für eine detaillierte Erläuterung der Methodik verweisen wir auf den Bericht aus dem Jahr 2014.

#### 4.1.1. Methodik

Es wurden keine Anpassungen an der grundlegenden Methodik vorgenommen, da diese immer noch valide ist.

#### 4.1.2. Datengrundlagen

Das zugrundeliegende Mengengerüst besteht einerseits aus den PM10-Immissionen und andererseits den Fassadenflächen aus der Gebäudedatenbank von Wüest & Partner. Die PM10-Immissionen stammen aus denselben Grundlagen wie bei den Gesundheitskosten (aktualisierte Immissionsdaten, vgl. Kapitel 3.1.2) und wurden im Zuge dieser Aktualisierung erneuert. Die Fassadenflächen aus der Gebäudedatenbank wurden nicht aktualisiert.

## 4.2. Ergebnisse

### 4.2.1. Externe Kosten 2015

Im Bereich Gebäudekosten entsprechen die sozialen den externen Kosten.<sup>16</sup> Mit der erneuerten Datengrundlagen ergeben sich im Jahr 2015 externe Kosten in der Höhe von rund **250 Mio. CHF**. Rund 86% dieser Kosten entfallen auf den Strassenverkehr, 11% auf den Schienen-, 1.1% auf den Luft- und 1.7% auf den Schiffsverkehr.

---

<sup>16</sup> Zudem sind die externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger, aus Sicht Verkehrsart Schwerverkehr und aus Sicht Verkehrsteilnehmende genau gleich hoch.

Abbildung 20: Überblick über die externen Gebäudekosten durch Luftverschmutzung 2015

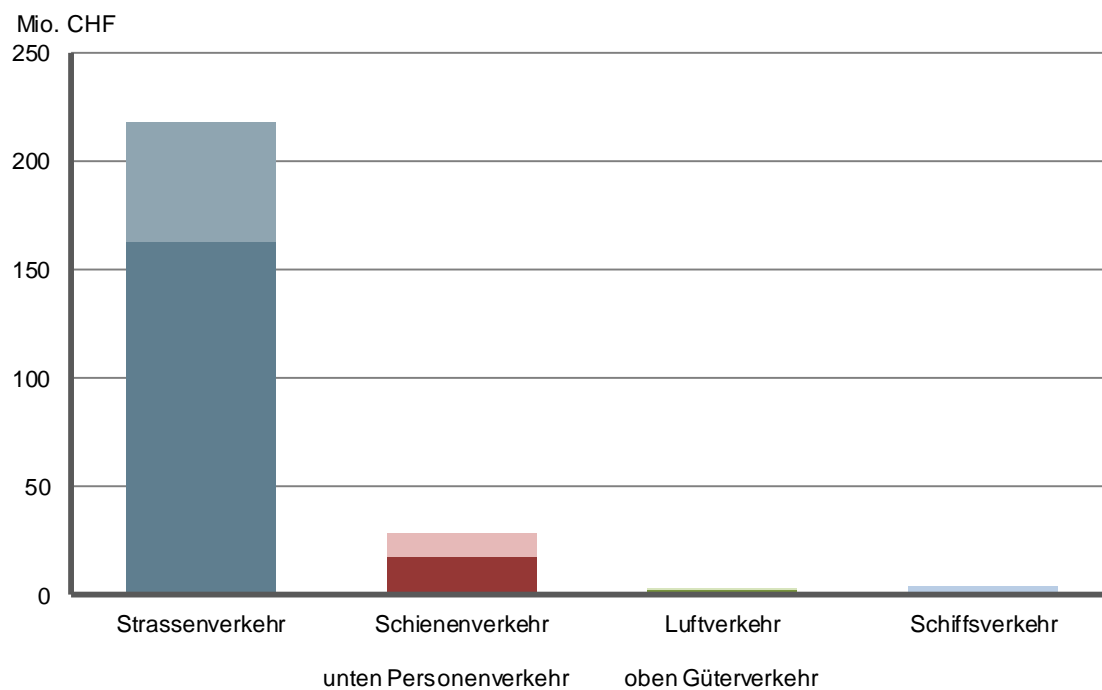


Abbildung 21: Überblick über die externen Gebäudekosten durch Luftverschmutzung 2015

Gebäudekosten in Mio. CHF	Personen- verkehr	Güter- verkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	161.3	54.4	215.7	86.2%
Schienenverkehr	17.3	10.2	27.5	11.0%
Luftverkehr	2.6	0.2	2.8	1.1%
Schiffsverkehr	1.7	2.5	4.3	1.7%
<b>Total</b>	<b>183.0</b>	<b>67.3</b>	<b>250.3</b>	100.0%
in % des Totals	73.1%	26.9%	100.0%	

#### 4.2.2. Vergleich der Ergebnisse 2015 mit bisherigen und überarbeiteten Datengrundlagen

Gesamthaft gesehen sind die externen Gebäudekosten durch Luftverschmutzung durch die Überarbeitung der Datengrundlagen um rund 75 Mio. CHF (-23%) gesunken. Innerhalb der einzelnen Verkehrsträger und zwischen Personen- und Güterverkehr hat es unterschiedlich grosse Verschiebungen gegeben. Die grösste Abnahme erfolgte im Strassenverkehr mit rund 61 Mio. CHF tieferen Kosten. Der Schienenverkehr ist um rund 8 Mio. CHF (-23%) und der Luftverkehr

um 6 Mio. CHF (-68%) gesunken und nur der Schiffsverkehr ist um 0.4 Mio. CHF (11%) gestiegen. Bei allen Verkehrsträgern sind die tieferen PM10-Immissionen der Grund für die Abnahme. Beim Luftverkehr kommen zusätzlich noch die PM10-Emissionen durch Abrieb hinzu, welche aufgrund neuer Datengrundlagen stark gesunken sind.

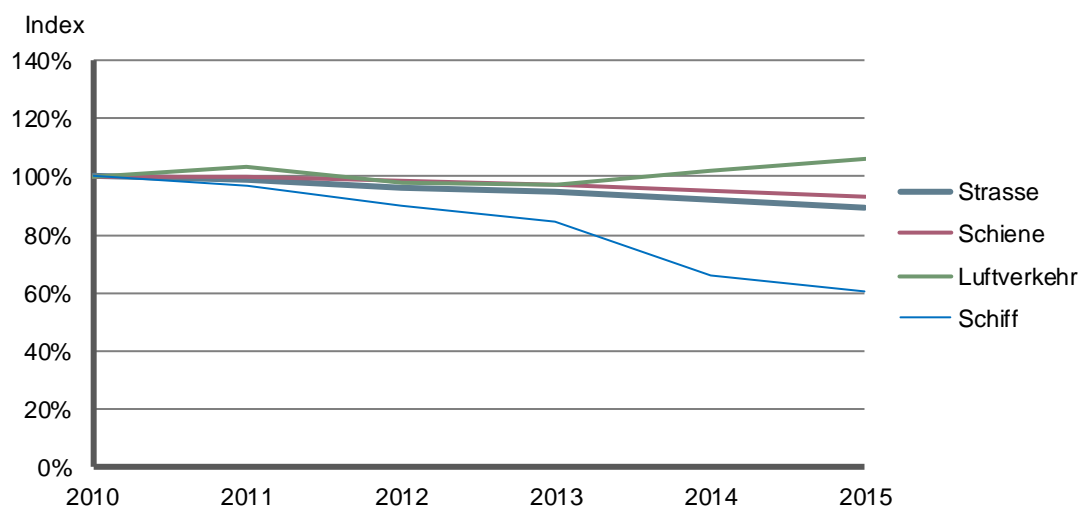
**Abbildung 22: Vergleich der Ergebnisse 2015 mit bisherigen und überarbeiteten Datengrundlagen**

<b>Bericht 2015 bisher [Mio. CHF]</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	212.3	64.5	<b>276.7</b>
Schienenverkehr	22.2	13.2	<b>35.5</b>
Luftverkehr	8.1	0.7	<b>8.8</b>
Schiffsverkehr	2.4	1.4	<b>3.8</b>
<b>Total</b>	<b>245.0</b>	<b>79.8</b>	<b>324.8</b>
<b>Ergebnisse 2015 überarbeitet [Mio. CHF]</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	161.3	54.4	<b>215.7</b>
Schienenverkehr	17.3	10.2	<b>27.5</b>
Luftverkehr	2.6	0.2	<b>2.8</b>
Schiffsverkehr	1.7	2.5	<b>4.3</b>
<b>Total</b>	<b>183.0</b>	<b>67.3</b>	<b>250.3</b>
<b>Veränderung in %</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	-24.0%	-15.6%	<b>-22.0%</b>
Schienenverkehr	-22.3%	-22.9%	<b>-22.5%</b>
Luftverkehr	-67.8%	-68.4%	<b>-67.9%</b>
Schiffsverkehr	-27.4%	76.3%	<b>11.4%</b>
<b>Total</b>	<b>-25.3%</b>	<b>-15.6%</b>	<b>-22.9%</b>
<b>Veränderung in Mio. CHF</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	-50.9	-10.1	<b>-61.0</b>
Schienenverkehr	-5.0	-3.0	<b>-8.0</b>
Luftverkehr	-5.5	-0.5	<b>-6.0</b>
Schiffsverkehr	-0.7	1.1	<b>0.4</b>
<b>Total</b>	<b>-62.1</b>	<b>-12.5</b>	<b>-74.5</b>

#### 4.2.3. Zeitreihe 2010-2015

Gemäss dem in Kapitel 2.1 beschriebenen Vorgehen wurden die aktualisierten Ergebnisse auf die Jahre 2010 – 2014 zurückgerechnet. Die Gebäudeschäden durch Luftverschmutzung sind zwischen 2010 und 2015 insgesamt um 11% von 282 Mio. CHF auf 250 Mio. CHF gesunken. Mit Ausnahme des Personen-Luftverkehrs sind die Kosten sämtlicher Verkehrsträger von 2010 bis 2015 gesunken. Der Anstieg des Personen-Luftverkehrs ist mit 0.2 Mio. CHF gering.

**Abbildung 23:** Indexierte Entwicklung der Gebäudeschäden durch Luftverschmutzung 2010 bis 2015 nach Verkehrsträgern



**Abbildung 24:** Entwicklung der Gebäudeschäden durch Luftverschmutzung 2010 bis 2015 nach Verkehrsträgern

Gebäude Luft [in Mio. CHF]	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Strasse	173.7	172.7	170.0	168.9	164.9	161.3
Schiene	18.5	18.5	18.2	18.0	17.6	17.3
Luftverkehr	2.4	2.5	2.4	2.4	2.5	2.6
Schiff	2.5	2.4	2.2	2.1	2.0	1.7
<b>Total Personenverkehr</b>	<b>197.1</b>	<b>196.2</b>	<b>192.8</b>	<b>191.4</b>	<b>187.0</b>	<b>183.0</b>
Strasse	68.6	66.3	62.6	61.1	57.4	54.4
Schiene	10.9	10.9	10.8	10.7	10.4	10.2
Luftverkehr	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Schiff	4.5	4.4	4.1	3.8	2.7	2.5
<b>Total Güterverkehr</b>	<b>84.3</b>	<b>81.9</b>	<b>77.7</b>	<b>75.8</b>	<b>70.7</b>	<b>67.3</b>
<b>Gesamttotal Gebäude Luft</b>	<b>281.5</b>	<b>278.1</b>	<b>270.6</b>	<b>267.2</b>	<b>257.7</b>	<b>250.3</b>

## 5. Ernteaufälle durch Luftverschmutzung

### 5.1. Anpassung von Methodik und Datengrundlagen

Im Folgenden werden die Anpassungen gegenüber der Berechnung für das Jahr 2010 (Ecoplan, INFRAS 2014) kurz erläutert. Die grundsätzliche Methodik wird in Ecoplan / INFRAS (2014) beschrieben – hier werden nur die Anpassungen gegenüber dem Bericht 2014 kurz dargestellt. Für eine detaillierte Erläuterung der Methodik verweisen wir auf den Bericht aus dem Jahr 2014

#### 5.1.1. Methodik

Es wurden keine Anpassungen an der grundlegenden Methodik vorgenommen, da diese immer noch valide ist.

#### 5.1.2. Datengrundlagen

Zur Berechnung der externen Kosten der Ernteaufälle durch Luftverschmutzung dient  $\text{NO}_x$  und die Ozonbelastung als Leitschadstoff. Die  $\text{NO}_x$ -Emissionen stammen aus den übergeordneten Emissionsdaten, welche im Zuge dieser Überarbeitung aktualisiert wurden. Die Ozonbelastung stammt aus Messwerten der NABEL-Messstationen und mussten nicht aktualisiert werden. Die Expositions-Wirkungszusammenhänge und das Wertgerüst zur Monetarisierung der Ernteaufälle durch Ozon wurden als immer noch valide beurteilt und in dieser Überarbeitung nicht aktualisiert.

## 5.2. Ergebnisse

### 5.2.1. Externe Kosten 2015

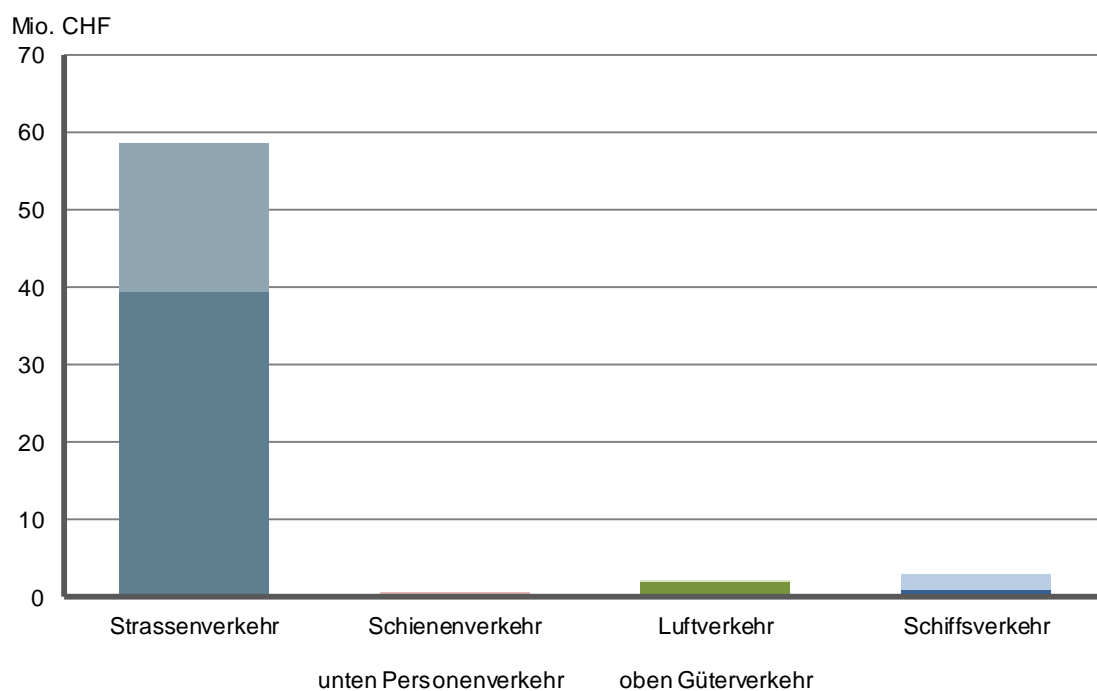
Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die gesamten externen Kosten infolge Ernteaufälle durch Ozonbelastung im Jahr 2015 nach Verkehrsträgern.<sup>17</sup>

Die gesamten durch den Verkehr verursachten Ernteaufälle betrugen 2015 rund **64 Mio. CHF**. Von diesen Kosten verursachte der Strassenverkehr 91%, der Schienenverkehr gut 1%, der Luftverkehr etwas mehr als 3% und der Schiffsverkehr rund 5%. In absoluten Zahlen verursachen die Verkehrsträger Schiene, Luft- und Schiffsverkehr zwischen 0.7 und 3 Mio. CHF pro Jahr an Ernteaufällen infolge Luftverschmutzung. Die Aufteilung der Gesamtkosten nach Personen- und Güterverkehr liegt bei ca. 66% zu 34%.

<sup>17</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.

Die Relevanz der Nutzpflanzen für die Gesamtkosten ist sehr unterschiedlich. Am relevantesten ist mit 33% Anteil der Weizen, gefolgt vom Frischgemüse mit 29% (Tomaten, Karotten und restl. Frischgemüse), den Trauben und den Kartoffeln (beide 9%). Die Ernteaufälle dieser fünf Kategorien von Nutzpflanzen machen in der Summe über 80% der gesamten externen Kosten durch Ernteaufälle aus.

**Abbildung 25: Überblick über die externen Kosten infolge Ernteaufälle 2015**



**Abbildung 26: Überblick über die externen Kosten infolge Ernteaufälle 2015**

Ernteaufälle in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	39.4	19.2	58.5	91.0%
Schienenverkehr	0.3	0.5	0.7	1.1%
Luftverkehr	2.0	0.2	2.1	3.3%
Schiffsverkehr	0.9	2.0	3.0	4.6%
<b>Total</b>	<b>42.5</b>	<b>21.8</b>	<b>64.3</b>	<b>100.0%</b>
in % des Totals	66.1%	33.9%	100.0%	

### 5.2.2. Vergleich der Ergebnisse 2015 mit bisherigen und überarbeiteten Datengrundlagen

Gesamthaft gesehen sind die externen Kosten infolge Ernteaufälle durch die neuen Datengrundlagen (Emissionsdaten) um 5% gestiegen. Innerhalb der einzelnen Verkehrsträger und zwischen Personen- und Güterverkehr hat es unterschiedlich grosse Verschiebungen gegeben. Aufgrund der neuen Emissionsfaktoren hat der Strassen-Personenverkehr die höchste absolute Zunahme zu verzeichnen (+4.8 Mio. CHF). Auffällig ist die relativ grosse Zunahme beim Schiffs-güterverkehr von über 300% aufgrund der neuen Grundlagendaten der KfV-Statistik.

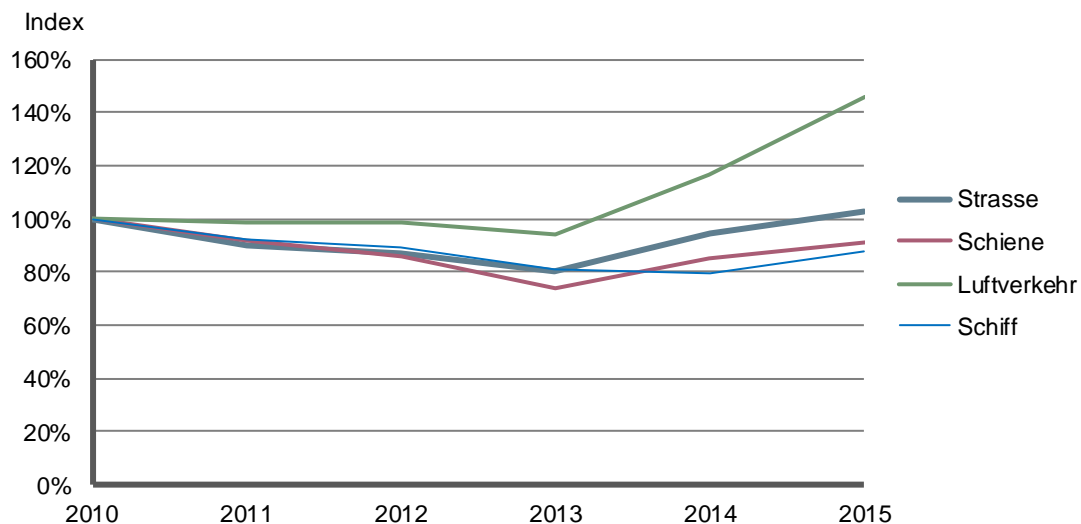
**Abbildung 27: Vergleich der Ergebnisse 2015 mit bisherigen und überarbeiteten Datengrundlagen**

<b>Bericht 2015 bisher [Mio. CHF]</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	34.5	22.2	<b>56.8</b>
Schienenverkehr	0.1	0.6	<b>0.8</b>
Luftverkehr	2.1	0.2	<b>2.3</b>
Schiffsverkehr	0.8	0.5	<b>1.3</b>
<b>Total</b>	<b>37.6</b>	<b>23.5</b>	<b>61.1</b>
<b>Ergebnisse 2015 überarbeitet [Mio. CHF]</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	39.4	19.2	<b>58.5</b>
Schienenverkehr	0.3	0.5	<b>0.7</b>
Luftverkehr	2.0	0.2	<b>2.1</b>
Schiffsverkehr	0.9	2.0	<b>3.0</b>
<b>Total</b>	<b>42.5</b>	<b>21.8</b>	<b>64.3</b>
<b>Veränderung in %</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	14.0%	-13.7%	<b>3.2%</b>
Schienenverkehr	123.3%	-29.3%	<b>-6.2%</b>
Luftverkehr	-6.2%	-6.2%	<b>-6.2%</b>
Schiffsverkehr	12.0%	302.9%	<b>120.1%</b>
<b>Total</b>	<b>13.2%</b>	<b>-7.3%</b>	<b>5.3%</b>
<b>Veränderung in Mio. CHF</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	4.8	-3.0	<b>1.8</b>
Schienenverkehr	0.1	-0.2	<b>-0.0</b>
Luftverkehr	-0.1	-0.0	<b>-0.1</b>
Schiffsverkehr	0.1	1.5	<b>1.6</b>
<b>Total</b>	<b>4.9</b>	<b>-1.7</b>	<b>3.2</b>

### 5.2.3. Zeitreihe 2010-2015

Gemäss dem in Kapitel 2.1 beschriebenen Vorgehen wurden die aktualisierten Ergebnisse auf die Jahre 2010 – 2014 zurückgerechnet so dass nun eine konsistente Zeitreihe vorliegt. Die Ernteaufschläge durch Luftverschmutzung sind zwischen 2010 und 2015 insgesamt um 3% von fast 63 Mio. CHF auf 64 Mio. CHF gestiegen. Zwischenzeitlich waren die Ernteaufschläge auf 50 Mio. CHF im Jahr 2013 gesunken, bevor sie wieder angestiegen sind. Der Grund dafür liegt bei Schwankungen der AOT40-Messwerte<sup>18</sup> des NABEL<sup>19</sup> und den tatsächlichen geernteten Mengen an Nutzpflanzen.

**Abbildung 28:** Indexierte Entwicklung der Ernteaufschläge durch Luftverschmutzung 2010 bis 2015 nach Verkehrsträgern



<sup>18</sup> Kumulierte Ozonbelastung oberhalb des Grenzwertes von 40 ppm. Es ist ein Dosismass zur Bewertung der ökotoxikologischen Wirkung von Ozon auf die Vegetation.

<sup>19</sup> Das Nationale Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe (NABEL) misst die Luftverschmutzung an 16 Standorten in der Schweiz.



**Abbildung 29: Entwicklung der Ernteauffälle durch Luftverschmutzung 2010 bis 2015 nach Verkehrsträgern**

Ernteauffälle Luft [in Mio. CHF]	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Strasse	37.1	33.6	32.8	30.3	35.8	39.4
Schiene	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3
Luftverkehr	1.3	1.3	1.3	1.2	1.6	2.0
Schiff	0.9	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9
<b>Total Personenverkehr</b>	<b>39.6</b>	<b>36.1</b>	<b>35.1</b>	<b>32.5</b>	<b>38.5</b>	<b>42.5</b>
Strasse	19.9	17.8	16.9	15.4	17.9	19.2
Schiene	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5
Luftverkehr	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2
Schiff	2.5	2.3	2.2	2.0	1.8	2.0
<b>Total Güterverkehr</b>	<b>23.0</b>	<b>20.7</b>	<b>19.6</b>	<b>17.9</b>	<b>20.3</b>	<b>21.8</b>
<b>Gesamttotal Ernteauffälle Luft</b>	<b>62.6</b>	<b>56.8</b>	<b>54.8</b>	<b>50.4</b>	<b>58.7</b>	<b>64.3</b>

## 6. Waldschäden durch Luftverschmutzung

### 6.1. Anpassung von Methodik und Datengrundlagen

Im Folgenden werden die Anpassungen gegenüber der Berechnung für das Jahr 2010 (Ecoplan, INFRAS 2014) kurz erläutert. Die grundsätzliche Methodik wird in Ecoplan / INFRAS (2014) beschrieben – hier werden nur die Anpassungen gegenüber dem Bericht 2014 kurz dargestellt. Für eine detaillierte Erläuterung der Methodik verweisen wir auf den Bericht aus dem Jahr 2014.

#### 6.1.1. Methodik

Es wurden keine Anpassungen an der grundlegenden Methodik vorgenommen, da diese immer noch valide ist.

#### 6.1.2. Datengrundlagen

Zur Berechnung der externen Kosten der Waldschäden durch Luftverschmutzung dienen  $\text{NO}_x$ , Ozon,  $\text{NH}_3$  und  $\text{SO}_2$  als Leitschadstoffe. Bis auf Ozon stammen alle Emissionen aus den übergeordneten Emissionsdaten, welche im Zuge dieser Überarbeitung aktualisiert wurden. Die Ozonbelastung stammt aus Messwerten der NABEL-Messstationen und musste nicht aktualisiert werden.

Die Expositions-Wirkungszusammenhänge und das Wertgerüst zur Monetarisierung der Waldschäden durch Ozon und Bodenversauerung wurden als immer noch valide beurteilt und in dieser Überarbeitung nicht aktualisiert.

## 6.2. Ergebnisse

### 6.2.1. Externe Kosten 2015

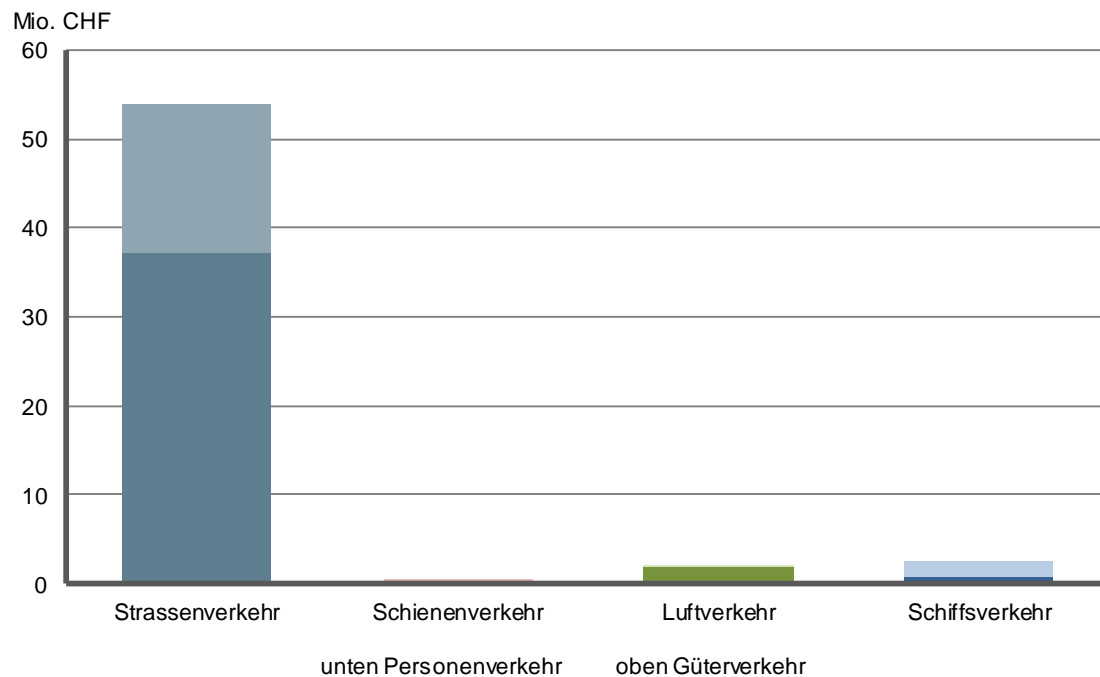
Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die gesamten externen Kosten<sup>20</sup> durch luftverschmutzungsbedingte Waldschäden im Jahr 2015 nach Verkehrsträgern.

Die gesamten durch den Verkehr verursachten Waldschäden betrugen 2015 rund **59 Mio. CHF**. Von diesen Kosten verursachte der Strassenverkehr fast 91%, der Schienenverkehr gut 1%, der Luftverkehr etwas mehr als 3% und der Schiffsverkehr etwas mehr als 4%. In absoluten Zahlen verursachen die Verkehrsträger Schiene, Luft- und Schiffsverkehr zwischen 0.6 und 2.6 Mio. CHF pro Jahr an Waldschäden infolge Luftverschmutzung, der Strassenverkehr ist für 54 Mio. CHF verantwortlich. 91% der Kosten sind eine Folge des verminderten Holzwachstums (52% oder 31 Mio.

<sup>20</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.

CHF infolge Ozonbelastung, 3 9% oder 23 Mio. CHF infolge Bodenversauerung), lediglich 9% (6 Mio. CHF) davon eine Folge des verstärkten Windwurfs.

**Abbildung 30: Überblick über die externen Kosten infolge Waldschäden 2015**



**Abbildung 31: Überblick über die externen Kosten infolge Waldschäden 2015**

Waldschäden in Mio. CHF	Personen- verkehr	Güter- verkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	37.3	16.7	<b>54.0</b>	91.3%
Schienenverkehr	0.2	0.4	<b>0.6</b>	1.0%
Luftverkehr	1.8	0.1	<b>1.9</b>	3.3%
Schiffsverkehr	0.8	1.8	<b>2.6</b>	4.4%
<b>Total</b>	<b>40.1</b>	<b>19.0</b>	<b>59.1</b>	100.0%
in % des Totals	67.9%	32.1%	100.0%	

### 6.2.2. Vergleich der Ergebnisse 2015 mit bisherigen und überarbeiteten Datengrundlagen

Gesamthaft gesehen sind die externen Kosten infolge Ernteaufschläge durch die neuen Datengrundlagen (Emissionsdaten) um fast 9% gestiegen. Innerhalb der einzelnen Verkehrsträger und zwischen Personen- und Güterverkehr hat es unterschiedlich grosse Verschiebungen gegeben. Aufgrund der neuen Emissionsfaktoren hat der Strassen-Personenverkehr die höchste absolute Zunahme zu verzeichnen (+4.9 Mio. CHF). Auffällig ist die relativ grosse Zunahme beim Schiffsgüterverkehr von fast 340% aufgrund der neuen Grundlagendaten der KfV-Statistik.

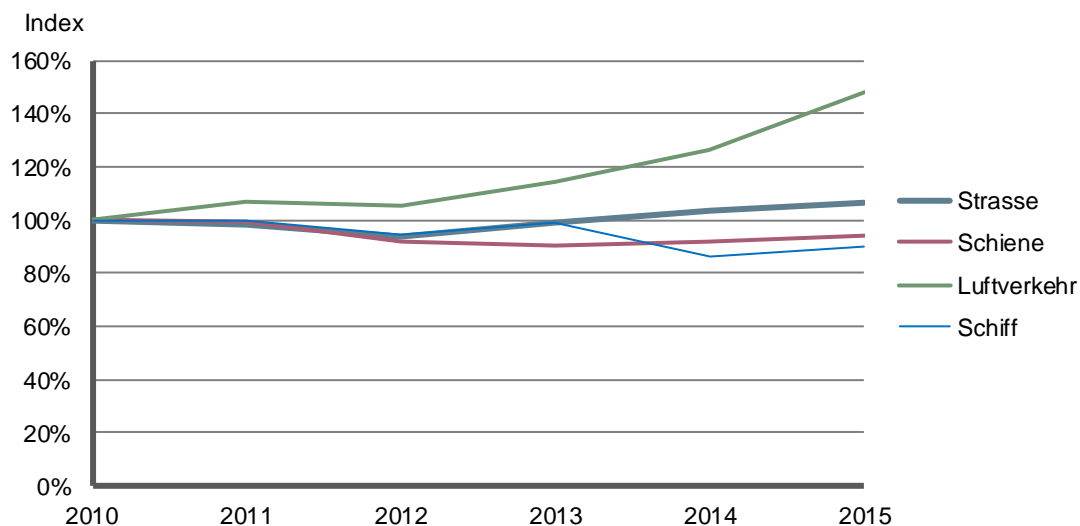
**Abbildung 32: Vergleich der Ergebnisse 2015 mit bisherigen und überarbeiteten Datengrundlagen**

Bericht 2015 bisher [Mio. CHF]	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
Strassenverkehr	32.4	18.4	50.8
Schienenverkehr	0.1	0.5	0.6
Luftverkehr	1.8	0.1	1.9
Schiffsverkehr	0.7	0.4	1.1
<b>Total</b>	<b>35.0</b>	<b>19.4</b>	<b>54.4</b>
Ergebnisse 2015 überarbeitet [Mio. CHF]	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
Strassenverkehr	37.3	16.7	54.0
Schienenverkehr	0.2	0.4	0.6
Luftverkehr	1.8	0.1	1.9
Schiffsverkehr	0.8	1.8	2.6
<b>Total</b>	<b>40.1</b>	<b>19.0</b>	<b>59.1</b>
Veränderung in %	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
Strassenverkehr	15.1%	-9.2%	6.3%
Schienenverkehr	121.3%	-21.5%	2.3%
Luftverkehr	-1.2%	45.8%	1.3%
Schiffsverkehr	17.7%	338.1%	134.2%
<b>Total</b>	<b>14.6%</b>	<b>-2.1%</b>	<b>8.6%</b>
Veränderung in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
Strassenverkehr	4.9	-1.7	3.2
Schienenverkehr	0.1	-0.1	0.0
Luftverkehr	-0.0	0.0	0.0
Schiffsverkehr	0.1	1.4	1.5
<b>Total</b>	<b>5.1</b>	<b>-0.4</b>	<b>4.7</b>

### 6.2.3. Zeitreihe 2010-2015

Die Waldschäden durch Luftverschmutzung sind zwischen 2010 und 2015 insgesamt um 6% von 56 Mio. CHF auf 59 Mio. CHF gestiegen. Zwischenzeitlich waren die Ernteaufschläge auf 52 Mio. CHF im Jahr 2012 gesunken, bevor sie wieder angestiegen sind. Wie bei den Ernteaufschlägen liegt der Grund auch hier bei Schwankungen der AOT40-Messwerte des NABEL.

**Abbildung 33:** Indexierte Entwicklung der Waldschäden durch Luftverschmutzung 2010 bis 2015 nach Verkehrsträgern



**Abbildung 34:** Entwicklung der Waldschäden durch Luftverschmutzung 2010 bis 2015 nach Verkehrsträgern

Waldschäden Luft [in Mio. CHF]	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Strasse	33.9	33.6	32.4	34.3	36.0	37.3
Schiene	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Luftverkehr	1.2	1.3	1.3	1.4	1.5	1.8
Schiff	0.8	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8
<b>Total Personenverkehr</b>	<b>36.1</b>	<b>35.8</b>	<b>34.6</b>	<b>36.6</b>	<b>38.5</b>	<b>40.1</b>
Strasse	16.8	16.4	15.3	16.0	16.5	16.7
Schiene	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Luftverkehr	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Schiff	2.1	2.1	2.0	2.1	1.6	1.8
<b>Total Güterverkehr</b>	<b>19.4</b>	<b>19.0</b>	<b>17.7</b>	<b>18.5</b>	<b>18.6</b>	<b>19.0</b>
<b>Gesamttotal Waldschäden Luft</b>	<b>55.6</b>	<b>54.8</b>	<b>52.3</b>	<b>55.2</b>	<b>57.2</b>	<b>59.1</b>

## 7. Biodiversitätsverluste durch Luftverschmutzung

### 7.1. Anpassung von Methodik und Datengrundlagen

Im Folgenden werden die Anpassungen gegenüber der Berechnung für das Jahr 2010 (Ecoplan, INFRAS 2014) kurz erläutert. Die grundsätzliche Methodik wird in Ecoplan / INFRAS (2014) beschrieben – hier werden nur die Anpassungen gegenüber dem Bericht 2014 kurz dargestellt. Für eine detaillierte Erläuterung der Methodik verweisen wir auf den Bericht aus dem Jahr 2014.

#### 7.1.1. Methodik

Es wurden keine Anpassungen an der grundlegenden Methodik vorgenommen, da diese immer noch valide ist.

#### 7.1.2. Datengrundlagen

Zur Berechnung der externen Kosten der Biodiversitätsverluste durch Luftverschmutzung dienen Stickoxid ( $\text{NO}_x$ ), Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) und Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) als Leitschadstoffe. Die Emissionen stammen alle aus den übergeordneten Emissionsdaten, welche im Zuge dieser Überarbeitung aktualisiert wurden. Die Kostensätze aus NEEDS gelten immer noch als valide und bilden auch weiterhin die Grundlage für die noch unveröffentlichte UBA-Methodenkonvention 3.0.

## 7.2. Ergebnisse

### 7.2.1. Externe Kosten 2015

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die gesamten externen Kosten<sup>21</sup> durch Biodiversitätsverluste infolge Luftverschmutzung im Jahr 2015 nach Verkehrsträgern. Die Gesamtkosten des Verkehrs betrugen 2015 insgesamt **127 Mio. CHF**. Davon verursachte der Strassenverkehr 93% bzw. 118 Mio. CHF, der Schienenverkehr 0.9%, der Luftverkehr 2.7% und der Schiffsverkehr 3.7%. In absoluten Zahlen verursachen die letztgenannten drei Verkehrsträger jeweils zwischen 1.1 und 4.7 Mio. CHF pro Jahr an Biodiversitätsverlusten durch Luftschadstoffemissionen. Gerundet entfallen 79% der Kosten auf die Stickoxid-Emissionen ( $\text{NO}_x$ ), 22% auf die Ammoniak-Emissionen ( $\text{NH}_3$ ), während der Anteil des Schwefeldioxids ( $\text{SO}_2$ ) lediglich bei 0.1% liegt und somit irrelevant ist.

<sup>21</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 35: Überblick über die Biodiversitätsverluste durch Luftverschmutzung 2015

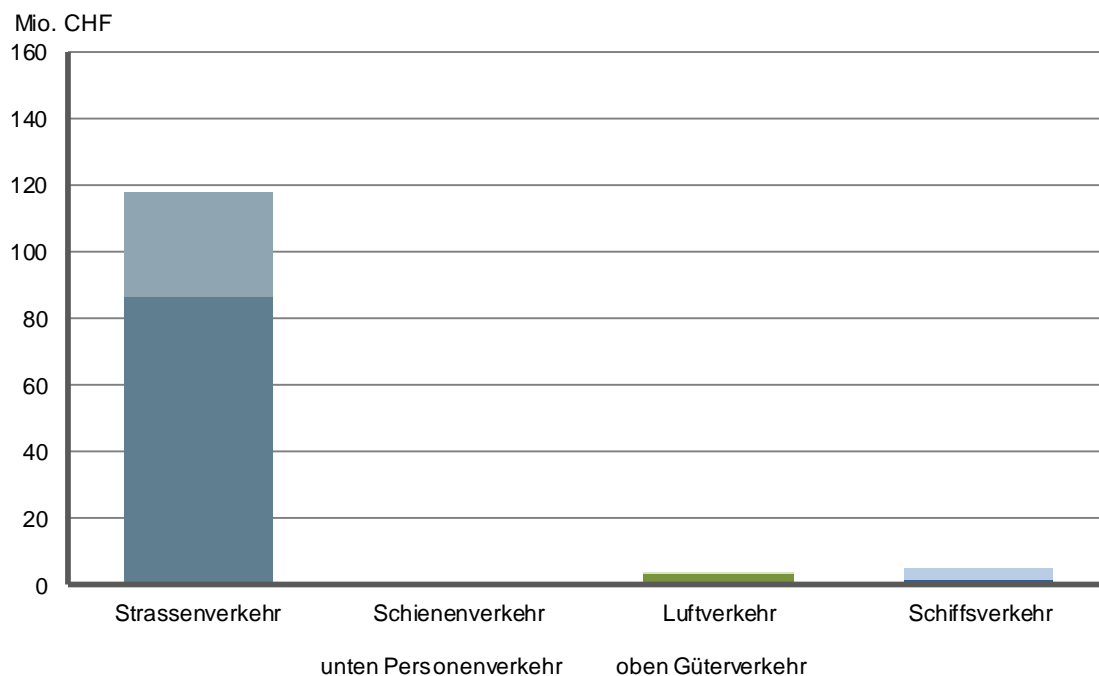


Abbildung 36: Überblick über die Biodiversitätsverluste durch Luftverschmutzung 2015

Biodiversitätsverluste in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	86.9	31.0	117.8	92.7%
Schienenverkehr	0.4	0.7	1.1	0.9%
Luftverkehr	3.2	0.3	3.4	2.7%
Schiffsverkehr	1.5	3.2	4.7	3.7%
<b>Total</b>	<b>91.9</b>	<b>35.2</b>	<b>127.1</b>	<b>100.0%</b>
in % des Totals	72.3%	27.7%	100.0%	

### 7.2.2. Vergleich der Ergebnisse 2015 mit bisherigen und überarbeiteten Datengrundlagen

Gesamthaft gesehen sind die Biodiversitätsverluste durch die neuen Datengrundlagen (Emissionsdaten) um 7% gestiegen. Während die Verluste verursacht durch den Güterverkehr um 1.5% abgenommen haben, sind diejenigen des Personenverkehrs um 11% gestiegen. Aufgrund der neuen Emissionsfaktoren hat der Strassen-Personenverkehr die höchste absolute Zunahme zu verzeichnen (+8.8 Mio. CHF). Verantwortlich für diesen Anstieg sind hauptsächlich die neuen NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren.

Abbildung 37: Vergleich der Ergebnisse 2015 mit bisherigen und überarbeiteten Datengrundlagen

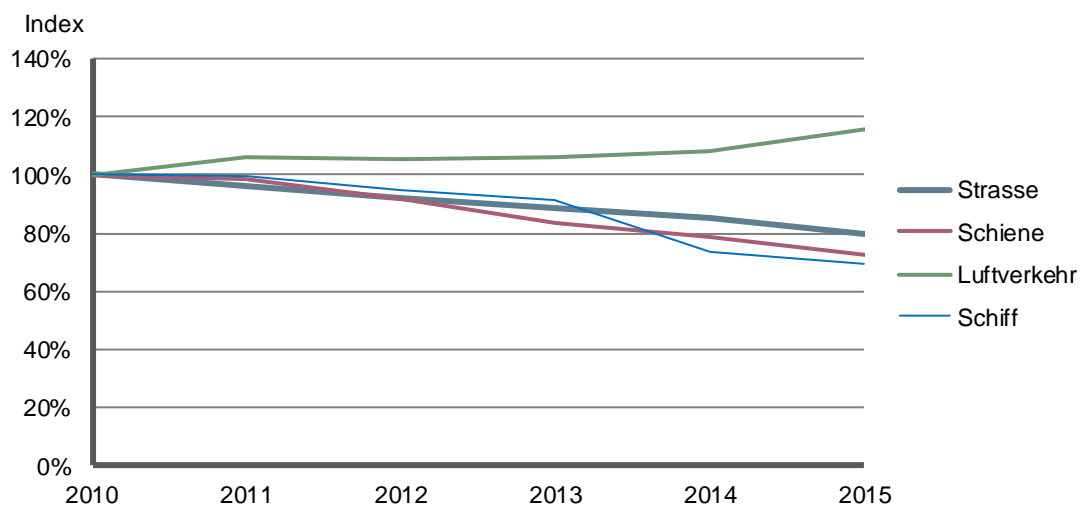
<b>Bericht 2015 bisher [Mio. CHF]</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	78.1	33.7	<b>111.8</b>
Schienenverkehr	0.2	1.0	<b>1.1</b>
Luftverkehr	3.2	0.3	<b>3.4</b>
Schiffsverkehr	1.3	0.7	<b>2.0</b>
<b>Total</b>	<b>82.7</b>	<b>35.7</b>	<b>118.3</b>
<b>Ergebnisse 2015 überarbeitet [Mio. CHF]</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	86.9	31.0	<b>117.8</b>
Schienenverkehr	0.4	0.7	<b>1.1</b>
Luftverkehr	3.2	0.3	<b>3.4</b>
Schiffsverkehr	1.5	3.2	<b>4.7</b>
<b>Total</b>	<b>91.9</b>	<b>35.2</b>	<b>127.1</b>
<b>Veränderung in %</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	11.3%	-8.2%	<b>5.4%</b>
Schienenverkehr	138.0%	-24.6%	<b>0.0%</b>
Luftverkehr	0.2%	0.2%	<b>0.2%</b>
Schiffsverkehr	19.3%	329.3%	<b>134.5%</b>
<b>Total</b>	<b>11.2%</b>	<b>-1.5%</b>	<b>7.4%</b>
<b>Veränderung in Mio. CHF</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	8.8	-2.8	<b>6.0</b>
Schienenverkehr	0.2	-0.2	<b>-</b>
Luftverkehr	0.0	0.0	<b>0.0</b>
Schiffsverkehr	0.2	2.5	<b>2.7</b>
<b>Total</b>	<b>9.3</b>	<b>-0.5</b>	<b>8.7</b>

### 7.2.3. Zeitreihe 2010-2015

Die Biodiversitätsverluste durch Luftverschmutzung sind zwischen 2010 und 2015 insgesamt um 20% von 159 Mio. CHF auf 127 Mio. CHF gesunken. Innerhalb der Verkehrsträger ist nur der Luftverkehr um rund 0.4 Mio. CHF angestiegen.



**Abbildung 38:** Indexierte Entwicklung der Biodiversitätsverluste durch Luftverschmutzung 2010 bis 2015 nach Verkehrsträgern



**Abbildung 39:** Entwicklung der Biodiversitätsverluste durch Luftverschmutzung 2010 bis 2015 nach Verkehrsträgern

Biodiversitätsverluste Luft [in Mio. CHF]	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Strasse	107.8	104.0	99.9	96.3	92.3	86.9
Schiene	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4
Luftverkehr	2.7	2.9	2.9	2.9	2.9	3.2
Schiff	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	1.5
<b>Total Personenverkehr</b>	<b>112.9</b>	<b>109.2</b>	<b>105.0</b>	<b>101.4</b>	<b>97.4</b>	<b>91.9</b>
Strasse	40.3	38.9	36.7	35.3	33.6	31.0
Schiene	1.0	1.0	0.9	0.8	0.8	0.7
Luftverkehr	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Schiff	4.9	4.9	4.7	4.5	3.3	3.2
<b>Total Güterverkehr</b>	<b>46.5</b>	<b>45.0</b>	<b>42.5</b>	<b>40.8</b>	<b>38.0</b>	<b>35.2</b>
<b>Gesamttotal Biodiversitätsverluste</b>	<b>159.4</b>	<b>154.3</b>	<b>147.6</b>	<b>142.2</b>	<b>135.3</b>	<b>127.1</b>

## 8. Lärm

### 8.1. Anpassung von Methodik und Datengrundlagen

Im Folgenden werden die Anpassungen gegenüber der Berechnung für das Jahr 2010 (Ecoplan, INFRAS 2014) kurz erläutert. Die grundsätzliche Methodik wird in Ecoplan / INFRAS (2014) beschrieben – hier werden nur die Anpassungen gegenüber dem Bericht 2014 kurz dargestellt. Für eine detaillierte Erläuterung der Methodik verweisen wir auf den Bericht aus dem Jahr 2014.

#### 8.1.1. Methodik

Die grundlegende Methodik zur Berechnung der Lärmkosten bleibt unverändert. Sie besteht weiterhin aus den Berechnungen der beiden Bestandteile Belästigung und Gesundheitskosten:

- **Belästigungen:** Ausgehend von der Lärmbelastung der Wohnungen wird bestimmt, wie stark die Wohnungspreise aufgrund des Lärms sinken. Damit werden Störungen bei der Kommunikation, beim Musikhören etc. sowie Schlafstörungen abgebildet.
- **Gesundheitskosten:** Ausgehend von der Lärmbelastung der Personen wird ermittelt, wie viele Lebensjahre aufgrund des Lärms verloren gehen und wie viele zusätzliche Spitalaufenthalte sich als Folge von lärmbedingten Krankheiten ergeben. Diese werden mit Hilfe von Kostensätzen in Geldeinheiten umgewandelt. Der Lärm führt insbesondere zu ischämischen Herzkrankheiten, zu Bluthochdruck und zu Schlaganfällen.

Bisher wurde zur Berechnung der Lärmkosten nur der Lärm am Wohnort berücksichtigt. Im Rahmen der vorliegenden Arbeiten wurde nun untersucht, ob diese allenfalls auf weitere Liegenschaften auszudehnen wäre. So gibt es eine neue Studie, die sich mit den Auswirkungen des Lärms auf Renditeliegenschaften beschäftigt.<sup>22</sup> Unter Renditeliegenschaften versteht man Immobilien, die zum Wohnen, für Büros, Verkaufsflächen und Gastronomie benutzt werden. Betreffend Büro-, Verkaufs- und Gastronomieflächen (die je einzeln untersucht wurden) findet die Studie keine statistisch signifikanten Zusammenhänge zwischen dem Lärm und den Mieten sowie zwischen Lärm und dem Marktwert von Geschäftsimmobilien. Die Mieten von Geschäftsliegenschaften reagieren offenbar nicht oder viel weniger auf eine Lärmbelastung. Dies hängt wohl damit zusammen, dass man sich am Arbeitsplatz nicht erholen will und man sich während des Aufenthalts in den Räumlichkeiten durch geschlossene Fenster, Schallisolationen an Gebäudehülle und Fenstern in Kombination mit einer Lüftung oder Klimatisierung vor dem Lärm schützen kann. Diese Vorkehrungen haben tendenziell höhere eigentümerseitige Kosten zur

<sup>22</sup> FPRE (2014), Lärm und Renditeliegenschaften. Untersuchung des Lärmeinflusses auf Renditeliegenschaften und Fahrländer et al. (2015), The influence of noise on net revenue and values of investment properties: Evidence from Switzerland.

Folge. Ein Zusammenhang zwischen den eigentümerseitigen Kosten und der Lärmbelastung konnte jedoch statistisch ebenfalls nicht nachgewiesen werden (ausser im Luftverkehr).

Demgegenüber wurde der Einfluss des Lärms auf die Wohnungspreise erneut bestätigt. Damit wird das bisherige Vorgehen im Wesentlichen erhärtet, so dass kein Anpassungsbedarf besteht.

### 8.1.2. Datengrundlagen

Die Lärmimmissionen des Strassen- und Schienenverkehrs beruhen auf umfangreichen Auswertungen der Lärmdatenbank SonBase für das Jahr 2010. Eine Aktualisierung dieser Lärmdaten ist beim BAFU erst im Verlauf des Jahres 2018 geplant, so dass für die vorliegende Studie keine neuen Daten verwendet werden können.

Im Flugverkehr werden die Lärmbelastungen der Flughäfen Zürich und Genf jährlich aktualisiert. Hingegen liegen für die Lärmbelastungen durch den Flughafen Basel und die Regionalflugplätze keine neuen Daten vor.

Die (teilweise) aktualisierten Grundlagen für die Lärmbelastungen werden sowohl in den Berechnungen für die Belästigungen als auch für die Gesundheitskosten verwendet.

### Belästigungen

Die Berechnungen wurden mit den folgenden Datengrundlagen aktualisiert:

- Wohnungen nach Kantonen (Daten BFS)
- Eigentumsquote nach Kantonen (Daten BFS)
- Mietpreise nach Kantonen (Daten BFS)
- Lärmabhängige Landegebühren der Regionalflughäfen (Daten von BAZL)

### Lärmbedingte Gesundheitskosten

Die wichtigste Anpassung ist die Übernahme des **neuen, höheren VOSL bzw. VLYL** (siehe Kapitel 2.2.3). Der VLYL beträgt neu 235'000 CHF (zwischen 117'000 und 352'000 CHF). Wie vorne erläutert bedingt dies auch, dass neu der **Brutto- statt Nettoproduktionsausfall** verwendet wird.

Zudem haben diverse Anpassungen, die in Kapitel 2.2.4 beschrieben werden, Auswirkungen auf die Ergebnisse für die Gesundheitskosten der Lärmbelastung (wie z. B. Sterbewahrscheinlichkeiten nach 1-Jahres-Altersklassen und Geschlecht, Verteilung der Todesfälle nach Todesursachen, Erwerbstätige 2015 nach 1-Jahres-Altersklassen und Geschlecht, Häufigkeit Krankheitsbilder pro 100'000 Einwohner, Aufteilung Spitalkosten auf Kostenträger).

Bei der Übernahme der Daten zu den Todesfällen (Bluthochdruck, ischämischer Herzkrankheiten bzw. Schlaganfall) nach 1-Jahres-Altersklassen und Geschlecht wurde zudem eine kleine

Anpassung vorgenommen: Bisher wurde der Durchschnitt der letzten 10 Jahre verwendet. Es zeigt sich nun aber, dass bei allen drei Krankheitsbildern hochsignifikante Trends auftreten, d.h. der Anteil der Todesfälle durch ischämische Herzkrankheiten an allen Todesfällen nimmt ab, d.h. es stirbt generell ein immer geringerer Anteil der Menschen an ischämischen Herzkrankheiten (beim Bluthochdruck steigt dieser Anteil, bei Schlaganfällen sinkt er ebenfalls). Deshalb wird zwar für die Verteilung der Todesfälle auf 1-Jahres-Altersklassen und Geschlecht der Durchschnitt der letzten verfügbaren 10 Jahre verwendet, die Daten werden dann aber so korrigiert, dass sie gesamthaft dem Anteil des letzten Jahres entsprechen. Damit wird der fallende bzw. steigende Trend berücksichtigt. Gesamthaft über alle drei Krankheitsbilder führt dies zu einer Reduktion der verlorenen Lebensjahre und dementsprechend der lärmbedingten Kosten um etwa 10%.

Weitere Anpassungen – wie z. B. die Untersuchung, ob neue Belastungs-Wirkungs-Beziehungen vorliegen (allenfalls auch für neue Krankheitsbilder) – konnten im Rahmen dieser Überarbeitung aufgrund der Budgetrestriktionen nicht vorgenommen werden.

## 8.2. Ergebnisse

### 8.2.1. Externe Kosten 2015

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die Ergebnisse für die externen Lärmkosten. Insgesamt fallen im Verkehr Lärmkosten von 2'610 Mio. CHF an. Der Grossteil davon (80% oder 2'090 Mio. CHF) wird vom Strassenverkehr verursacht, 15% oder 399 Mio. CHF vom Schienenverkehr und die verbleibenden 5% oder 122 Mio. CHF vom Luftverkehr. 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, bei welchem der Personenverkehr mit einem Anteil von 64% dominiert. Im Schienenverkehr hingegen ist der Personenverkehr nur für 38% der Kosten verantwortlich, da der Lärm des Schienengüterverkehrs vor allem in der Nacht hohe Kosten verursacht. Im Luftverkehr schliesslich ist der Personenverkehr mit 95% klar dominant. Insgesamt werden 55% der Lärmkosten durch Gesundheitskosten verursacht und 45% durch Belästigungen.

Die **sozialen Lärmkosten** sind im Strassen- und Schienenverkehr identisch mit den externen Lärmkosten. Im Luftverkehr liegen die sozialen Kosten aufgrund der lärmabhängigen Landegebühren um 15 Mio. CHF höher und betragen somit 137 Mio. CHF.

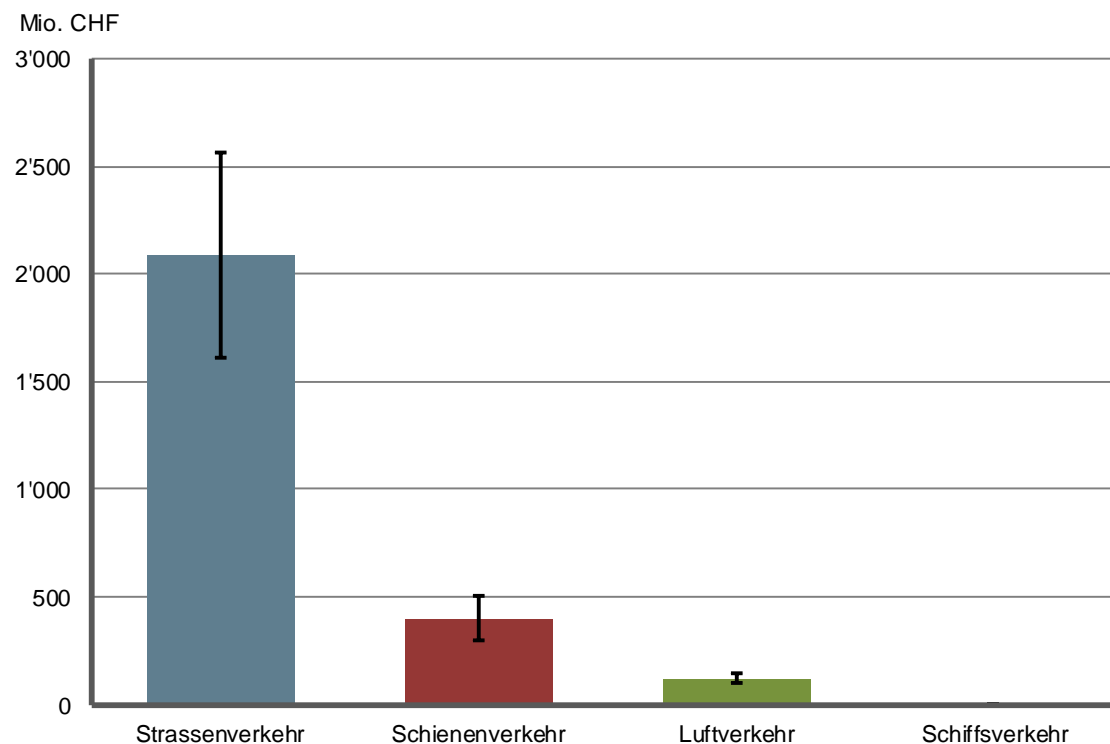
Abbildung 40: Überblick über die externen Lärmkosten 2015 (inkl. Vertrauensintervall mit VOSL  $\pm 50\%$ )

Abbildung 41: Überblick über die externen Lärmkosten 2015

Lärmkosten total in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	1'342.2	747.2	2'089.5	80.0%
Schienenverkehr	153.4	245.8	399.2	15.3%
Luftverkehr	114.9	6.7	121.6	4.7%
Schiffsverkehr	-	-	-	0.0%
<b>Total</b>	<b>1'610.5</b>	<b>999.8</b>	<b>2'610.3</b>	<b>100.0%</b>
in % des Totals	61.7%	38.3%	100.0%	

Die Höhe der Lärmkosten hängt stark vom angesetzten Wert für den VOSL ab, dessen Schätzung wie erwähnt eine Bandbreite von  $\pm 50\%$  aufweist. Die folgende Abbildung zeigt nochmals das bereits oben dargestellte Hauptergebnis sowie die Ergebnisse der Sensitivität mit 50% tieferem bzw. höherem VOSL. Wie sich zeigt, schwankt das Ergebnis dadurch um  $\pm 23\%$ . Gesamthaft könnten die Kosten in einer Bandbreite zwischen 2.0 bis 3.2 Mrd. CHF liegen, der zentrale Wert beläuft sich auf 2.6 Mrd. CHF.

**Abbildung 42: Überblick über die externen Lärmkosten 2015 – Hauptergebnis und tiefe und hohe Sensitivität mit tiefem bzw. hohem VOSL**

<b>Lärmkosten total in Mio. CHF</b>	<b>Hauptergebnis (Basis-VOSL)</b>	<b>Sensitivität tief (50% tieferer VOSL)</b>	<b>Sensitivität hoch (50% höherer VOSL)</b>
Strassenverkehr	<b>2'089.5</b>	1'610.6	2'568.3
Schienenverkehr	<b>399.2</b>	295.7	502.7
Luftverkehr	<b>121.6</b>	100.3	142.9
Schiffsverkehr	-	-	-
<b>Total</b>	<b>2'610.3</b>	2'006.7	3'213.8

### 8.2.2. Vergleich der Ergebnisse 2015 mit bisherigen und überarbeiteten Datengrundlagen

Im Vergleich zu den bisherigen Ergebnissen für 2015 steigen die Lärmkosten mit den angepassten Datengrundlagen um 29%. Dies ist vor allem auf den neuen VOSL zurückzuführen, der zu einer Erhöhung der Gesundheitskosten durch den Lärm um 72% führt. Eigentlich steigen die Gesundheitskosten durch den höheren VOSL noch stärker an, nehmen aber, wie erläutert, aufgrund der neuen Datengrundlagen zu den Todesfällen wieder um ca. 10% ab. Die Belästigungen bleiben demgegenüber in etwa konstant (-1%). Gesamthaft erhöhen sich die Lärmkosten damit um 29%. Waren bisher die Belästigungen mit 59% für den grösseren Teil der Kosten verantwortlich, sind es mit dem neuen VOSL nun die Gesundheitskosten mit einem Anteil von 55%.

**Abbildung 43: Vergleich der Ergebnisse 2015 mit bisherigen und überarbeiteten Datengrundlagen: Lärmkosten**

<b>Ergebnisse 2015 bisher [Mio. CHF]</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	1'047.8	576.5	<b>1'624.3</b>
Schienenverkehr	112.2	186.8	<b>299.0</b>
Luftverkehr	92.4	5.5	<b>98.0</b>
Schiffsverkehr	-	-	-
<b>Total</b>	<b>1'252.5</b>	<b>768.9</b>	<b>2'021.3</b>
<b>Ergebnisse 2015 überarbeitet [Mio. CHF]</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	1'342.2	747.2	<b>2'089.5</b>
Schienenverkehr	153.4	245.8	<b>399.2</b>
Luftverkehr	114.9	6.7	<b>121.6</b>
Schiffsverkehr	-	-	-
<b>Total</b>	<b>1'610.5</b>	<b>999.8</b>	<b>2'610.3</b>
<b>Veränderung in %</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	28.1%	29.6%	<b>28.6%</b>
Schienenverkehr	36.7%	31.6%	<b>33.5%</b>
Luftverkehr	24.3%	21.3%	<b>24.1%</b>
Schiffsverkehr	-	-	-
<b>Total</b>	<b>28.6%</b>	<b>30.0%</b>	<b>29.1%</b>
<b>Veränderung in Mio. CHF</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	294.4	170.8	<b>465.1</b>
Schienenverkehr	41.2	59.0	<b>100.2</b>
Luftverkehr	22.5	1.2	<b>23.6</b>
Schiffsverkehr	-	-	-
<b>Total</b>	<b>358.0</b>	<b>230.9</b>	<b>588.9</b>

### 8.2.3. Zeitreihe 2010-2015

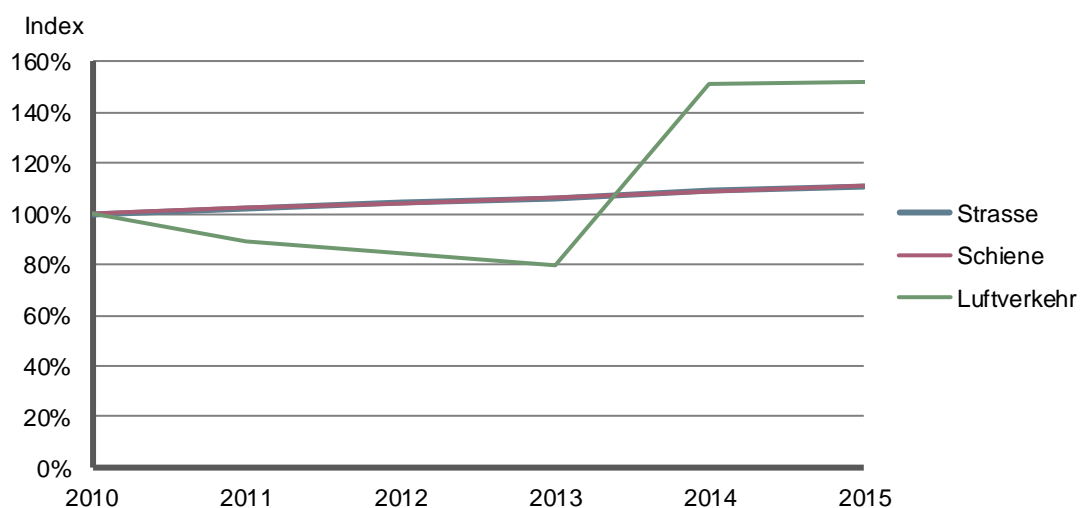
Im Strassen- und Schienenverkehr steigen die Lärmkosten zwischen 2010 und 2015 um je 11% an, was vor allem auf das allgemeine Wachstum zurückzuführen ist (Zunahme von Bevölkerung, Wohnungen, Mietpreisen etc.). Es ist zu betonen, dass die Lärmbelastung in dieser Berechnung konstant auf dem Niveau 2010 gehalten werden musste, da keine neuen Daten dazu vorliegen. Die senkenden Effekte von Lärmschutzmassnahmen sind damit in der Zeitreihe nicht berücksichtigt.

Im Luftverkehr wurde am Flughafen Zürich 2014 der Lärmfünfliber abgeschafft, weil im damit geäußerten Lärmfonds gemäss BAZL inzwischen ausreichend Mittel für die Behebung von Lärmkosten vorhanden waren (Lärmsanierung und Entschädigungszahlungen). Die Mittel aus

dem Lärmfonds sind jedoch grösstenteils noch nicht ausbezahlt und die Sanierungsmassnahmen nicht vollständig umgesetzt. Die jährlichen Einnahmen aus dem Lärmfünlüber wurden jeweils als Internalisierungsbeitrag angerechnet, d.h. die ausgewiesenen externen Lärmkosten wurden um diesen Betrag verringert. Dieser Effekt fällt mit der Abschaffung des Lärmfünlübers seit 2014 weg, was den sprunghaften Anstieg der externen Lärmkosten erklärt.

Im Luftverkehr wurden die Lärmdaten aber jährlich erhoben, so dass der Erfolg der Lärmschutzmassnahmen zwischen 2010 und 2013 sichtbar wird.

**Abbildung 44: Indexierte Entwicklung der externen Lärmkosten 2010 bis 2015 nach Verkehrsträgern**



**Abbildung 45: Entwicklung der externen Lärmkosten 2010 bis 2015 nach Verkehrsträgern**

Lärm [in Mio. CHF]	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Strasse	1'224.41	1'250.21	1'271.16	1'293.91	1'320.94	1'342.24
Schiene	138.4	141.7	144.5	147.4	150.7	153.4
Luftverkehr	75.5	68.1	64.5	61.2	114.0	114.9
Schiff	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Total Personenverkehr</b>	<b>1'438.3</b>	<b>1'459.9</b>	<b>1'480.1</b>	<b>1'502.5</b>	<b>1'585.7</b>	<b>1'610.5</b>
Strasse	661.3	680.4	696.6	711.7	730.8	747.2
Schiene	221.6	226.9	231.4	235.9	241.4	245.8
Luftverkehr	4.6	3.4	3.0	2.9	7.1	6.7
Schiff	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Total Güterverkehr</b>	<b>887.5</b>	<b>910.8</b>	<b>931.1</b>	<b>950.5</b>	<b>979.2</b>	<b>999.8</b>
<b>Gesamttotal Lärm</b>	<b>2'325.7</b>	<b>2'370.7</b>	<b>2'411.2</b>	<b>2'453.0</b>	<b>2'564.9</b>	<b>2'610.3</b>



## 9. Klima

### 9.1. Anpassung von Methodik und Datengrundlagen

Im Folgenden werden die Abklärungen und die Anpassungen gegenüber der Berechnung für das Jahr 2010 (Ecoplan, INFRAS 2014) kurz erläutert. Die grundsätzliche Methodik wird in Ecoplan / INFRAS (2014) beschrieben. Für eine detaillierte Erläuterung der Methodik verweisen wir auf den Bericht aus dem Jahr 2014.

#### 9.1.1. Methodik

##### **CO<sub>2</sub>-Kostensatz**

Im Rahmen der Überarbeitung wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

- Im Rahmen einer kleinen Literaturanalyse wurde geprüft, ob es neue wissenschaftliche Grundlagen oder Empfehlungen (z.B. Handbücher, Leitlinien) gibt, die für die Verwendung eines neuen CO<sub>2</sub>-Kostensatzes sprechen. Zentrales Ergebnis dieser kurzen Analyse ist es, dass weiterhin die gleiche Grundlage für den CO<sub>2</sub>-Kostensatz verwendet wird. Eine Erläuterung dazu ist unten dargestellt.
- Die Umrechnung des bestehenden Kostensatzes in CHF<sub>2015</sub> wurde angepasst in Bezug auf die Umrechnung in CHF sowie das Preisniveau 2015 (siehe unten).

##### *a. Prüfung Grundlagen CO<sub>2</sub>-Kostensatz*

Die Herleitung von CO<sub>2</sub>-Kostensätzen kann im Wesentlichen über den Vermeidungskosten-Ansatz<sup>23</sup> oder den Schadenskosten-Ansatz erfolgen. Für die Bewertung der klimabedingten Emissionen wird seit der letzten Aktualisierungsstudie (Ecoplan, INFRAS 2014) ein CO<sub>2</sub>-Kostensatz basierend auf globalen Vermeidungskosten zur Erreichung des 2-Grad-Ziels verwendet. Grundlage dafür bildet die Metastudie von Kuik et al. (2009). Für 2010 resultierte auf diese Weise ein CO<sub>2</sub>-Kostensatz von 107 CHF pro t CO<sub>2</sub>, für 2015 beträgt der Wert 124 CHF/t (gemäss der Fortschreibung nach Kuik et al. 2009). Die analoge Grundlage wird auch in der aktuell gültigen Methodenkonvention 2.0 zur Schätzung von Umweltkosten des Umweltbundesamtes Deutschland sowie anderen internationalen Studien als Basis für den CO<sub>2</sub>-Kostensatz verwendet.

Seit der letzten Aktualisierungsstudie (Ecoplan, INFRAS 2014) gab es zwar diverse neue Studien zu den Kosten des Klimawandels, sowohl für Schadenskosten als auch Vermeidungskosten. Allerdings haben die Arbeiten zur Methodenkonvention 3.0 des deutschen Umweltbundesamtes

<sup>23</sup> Beim Schadenskosten-Ansatz wird versucht, den entstehenden Schaden einer Umweltbelastung über den Wirkungspfad von der Ursache zu den Wirkungen abzuschätzen. Die Monetarisierung beruht beim Schadenskosten-Ansatz entweder auf (direkt oder indirekt beobachtbaren) Marktpreisen oder aber auf hypothetischen Fragestellungen (Zahlungsbereitschaft). Beim Vermeidungskosten-Ansatz werden die Kosten von Massnahmen verwendet, welche die Entstehung von Schäden verhindern. Es werden also nicht direkt die Kosten des Schadens ermittelt, sondern es wird untersucht, wie teuer es ist, den Schaden zu vermeiden. Eine ausführlichere Erklärung zu den beiden Bewertungsansätzen findet sich in Ecoplan, INFRAS (2014), S. 101ff.

gezeigt (EIFER 2018, unveröffentlicht), dass die methodischen Unsicherheiten bei den Schadenskostenberechnungen weiterhin erheblich sind und es nur wenige neue umfassende Studien zur Schadenskostenmodellierung. Zudem gibt es bei den Vermeidungskosten zwar eine Reihe von Einzelstudien, insb. für massnahmenorientierte Vermeidungskosten sowie zu nationalen Vermeidungskosten zur Erreichung nationaler Ziele, jedoch keine neue umfassende Metaanalyse zu Vermeidungskosten hinsichtlich der Erreichung des 2-Grad-Ziels. Im Bereich der Vermeidungskosten stellt somit gemäss EIFER (2018) die Studie von Kuik et al. (2009) weiterhin die beste Grundlage zur Herleitung eines Kostensatzes mit Bezug auf das 2-Grad-Ziel (bzw. 450 ppm CO<sub>2</sub>-eq) dar. Die Empfehlung des Umweltbundesamtes für einen aktualisierten CO<sub>2</sub>-Kostensatz ist bisher noch ausstehend. Die überarbeitete Methodenkonvention 3.0 dürfte in der zweiten Hälfte 2018 publiziert werden.

Eine weitere Grundlage, die zurzeit noch in Arbeit ist, ist auf EU-Ebene die dritte Aktualisierung des 'Handbook on external cost of transport'. Auch wenn die Arbeiten noch im Gang sind (Publikation voraussichtlich Ende 2018 bzw. Anfang 2019), dürften dort voraussichtlich ebenfalls die Kostensätze von Kuik et al. (2009) als Grundlage verwendet werden.

Weil sich die Ausgangslage und die verfügbaren Grundlagen gegenüber der letzten Aktualisierung wenig geändert haben, wird für die vorliegende Studie weiterhin am auf globalen Vermeidungskosten basierenden Kostensatz auf der Grundlage von Kuik et al. (2009) festgehalten.

#### *b. Anpassung bestehender CO<sub>2</sub>-Kostensatz in CHF und aktuelles Preisniveau*

Gegenüber dem bisherigen Aktualisierungstool ist die Umrechnung des Originalkostensatzes von Kuik et al. (2009) auf das Schweizer Preisniveau von 2015 (CHF<sub>2015</sub>) überarbeitet und angepasst worden. Aufgrund der leicht negativen Teuerung zwischen 2010 und 2015 ergibt sich deshalb ein ganz leicht geringerer CO<sub>2</sub>-Kostensatz für 2015, als jener, der im bisherigen ('alten') Aktualisierungstool hinterlegt war. Im bisherigen Tool wurde für 2015 ein Kostensatz von 123.8 CHF/t CO<sub>2</sub>-eq angewandt. Neu wird für 2015 ein Kostensatz von **121.5 CHF/t CO<sub>2</sub>-eq** als mittlerer Wert verwendet (-2%). Für die Sensitivitätsrechnung wird ein unterer Wert (Minimalwert) von 69 CHF/t und ein oberer Wert (Maximalwert) von 214 CHF/t verwendet, wie bisher ebenfalls abgeleitet aus Kuik et al. (2009).

#### **Internalisierungsbeiträge durch bestehende Abgaben und Instrumente**

Der Klimarappen wurde per Anfang 2013 durch eine *Kompensationspflicht für Importeure fossiler Treibstoffe* abgelöst, die von der Mineralölindustrie über die Stiftung KliK abgewickelt wird. Ebenfalls bestehen seit Juli 2012 *CO<sub>2</sub>-Emissionsvorschriften für die Personenwagen (Neuwagen) mit einer Sanktion* für die Autoimporteure bei Nichteinhaltung der Zielvorgaben.

Das ARE hat für die Berechnung der externen Kosten 2013 bereits umfassende Abklärungen zur Kompensationspflicht und den Sanktionen wegen Überschreitung der CO<sub>2</sub>-Emissionsvorschriften für Personenwagen vorgenommen und diese beiden Elemente schliesslich als Internalisierungsbeiträge in die Berechnung der externen Klimakosten integriert, weil durch beide Instrumente Kosten zu den Verursachern verschoben werden.

Im Rahmen der vorliegenden Überarbeitung wurden diese beiden Internalisierungsbeiträge nochmals geprüft. Dabei hat sich bestätigt, dass sowohl die Kompensationspflicht für Importeure fossiler Treibstoffe, als auch die Sanktionen bei Nichteinhaltung der CO<sub>2</sub>-Zielvorgaben für Neuwagen als Internalisierungsbeiträge im Bereich Klimakosten anzurechnen sind. Letzteres wurde so entschieden, da die Sanktionen spezifisch den Mehrausstoss an CO<sub>2</sub> bepreisen, und damit einen Internalisierungsbeitrag darstellen. Ebenfalls wurden im Rahmen der Überarbeitung die Datengrundlagen für die Bestimmung der Internalisierungsbeiträge überprüft und aktualisiert (z. B. Höhe Kompensationssatz bei Treibstoffen: Benzin, Diesel, Flugtreibstoff im Inlandverkehr). Schliesslich wurde die Berechnung der Internalisierungsbeiträge im Excel-Aktualisierungstool angepasst, damit die Berechnung der Folgejahre erleichtert wird.

Geprüft wurde zudem die Frage, ob beim Luftverkehr zusätzlich jene Teile der Verbrauchssteuer bzw. Mineralölsteuer auf Flugtreibstoffe, die für Umweltschutzmassnahmen eingesetzt werden, als Internalisierungsbeiträge angerechnet werden müssten. Wie bereits im Rahmen der letzten Studie (Ecoplan, INFRAS 2014) ergibt die Prüfung den gleichen Schluss: Diese Beiträge sind nicht als zusätzliche Internalisierungsbeiträge anzurechnen, weil die mit diesen Einnahmen umgesetzten Massnahmen jeweils schon direkt bei den einzelnen Kostenkategorien zu einer Minderung der Kosten führen. Beispielsweise führen Lärmschutzmassnahmen direkt zu weniger Lärmimmissionen, was z. B. im Lärmmodell abgebildet ist und somit die Lärmkosten direkt bei der Berechnung (über die Immissionsseite) vermindert. Es konnten keine spezifischen Massnahmen identifiziert werden, die auf diese Weise nicht bereits in die Berechnung der Kosten einfliessen.

### 9.1.2. Datengrundlagen

Die Datengrundlagen im Bereich Klima wurden nicht separat angepasst. Allerdings wurden die Emissionsfaktoren im Strassen- und Schiffsverkehr umfassend aktualisiert (vgl. Kap. 2.2.1 und 2.2.2), was zu einer Veränderung der Treibhausgasemissionen und somit der Ergebnisse führt. Der für den Flugverkehr relevante RFI-Faktor (Radiative Forcing Index) von 1.35 wurde beibehalten.

## 9.2. Ergebnisse

### 9.2.1. Externe Kosten 2015

Die folgende Abbildung zeigt die externen Klimakosten des Verkehrs 2015 nach Verkehrsträgern.<sup>24</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 von 121.5 CHF/t CO<sub>2</sub>-eq** ergeben sich für das Jahr 2015 externe Klimakosten des Verkehrs von **2'416 Mio. CHF**. 63% dieser Kosten entfallen auf den Strassenverkehr, rund 37% auf den Luftverkehr. Schienen- und Schiffsverkehr verursachen nur sehr geringe (direkte) Klimakosten, nämlich 0.1% bzw. 0.5% des Gesamttotals. Wird im Rahmen der **Sensitivitätsrechnung** mit einem tiefen CO<sub>2</sub>-Kostensatz gerechnet, betragen die gesamten Klimakosten **knapp 1.3 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 4.3 Mrd. CHF** im Jahr 2015 (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. Abbildung 48 zeigt grafisch die Bandbreiten der gesamten externen Klimakosten des Verkehrs im Jahr 2015.

**Abbildung 46: Überblick über die externen Klimakosten des Verkehrs 2015 (Hauptergebnis basierend auf zentralem CO<sub>2</sub>-Kostensatz)**

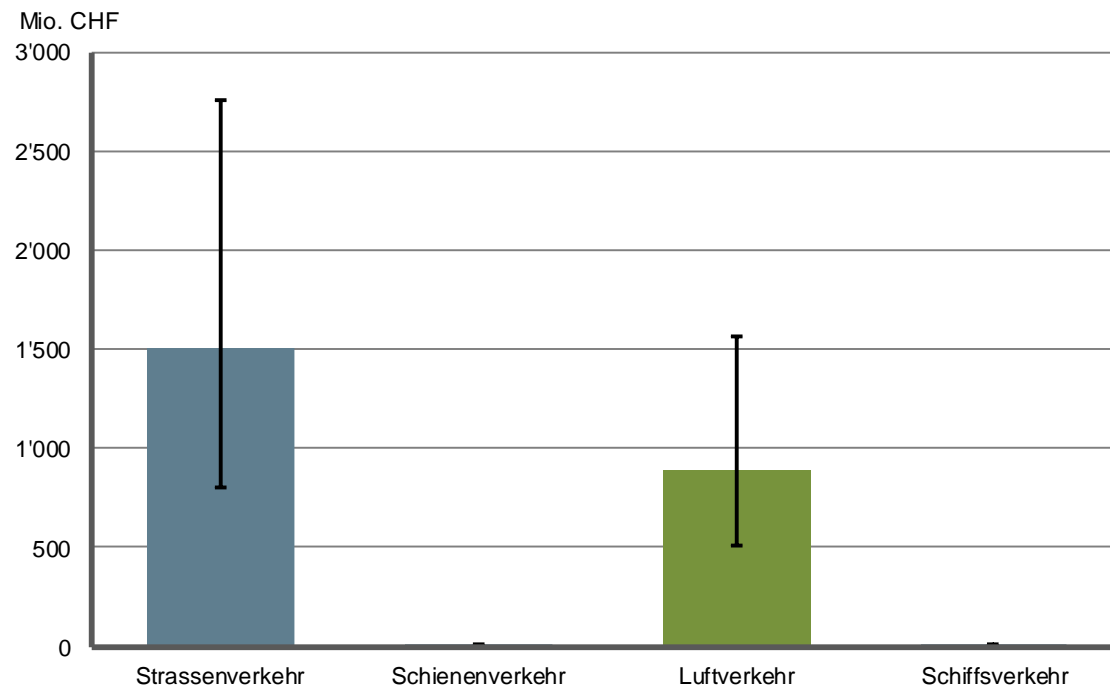
Klimakosten in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	1'217	292	<b>1'509</b>	62.5%
Schienenverkehr	1	2	<b>3</b>	0.1%
Luftverkehr	825	66	<b>892</b>	36.9%
Schiffsverkehr	6	6	<b>12</b>	0.5%
<b>Total</b>	<b>2'049</b>	<b>367</b>	<b>2'416</b>	100.0%
in % des Totals	84.8%	15.2%	100.0%	

<sup>24</sup> Bei den Klimakosten sind die externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger, aus Sicht Verkehrsart Schwerverkehr und aus Sicht Verkehrsteilnehmende genau gleich hoch.

**Abbildung 47:** Überblick über die externen Klimakosten des Verkehrs 2015 (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	1'509	801	2'758
Schienenverkehr	3	2	6
Luftverkehr	892	507	1'570
Schiffsverkehr	12	6	22
<b>Total</b>	<b>2'416</b>	<b>1'316</b>	<b>4'357</b>

**Abbildung 48:** Externe Klimakosten des Verkehrs 2010. Dargestellt sind Hauptergebnis (Säulen) und Bandbreiten (Fehlerbalken).



Wie oben im Kap. 9.1.1 erwähnt, werden zwei Elemente als Internalisierungsbeitrag an die sozialen Klimakosten des Verkehrs angerechnet: Einerseits die Beiträge aus der CO<sub>2</sub>-Kompensationspflicht für die Importeure fossiler Treibstoffe und andererseits die Erträge aus den Sanktionen wegen Überschreitung der CO<sub>2</sub>-Emissionsvorschriften für Personenwagen. Letztere werden als Internalisierungsbeiträge direkt den PW angerechnet, erstere allen Verkehrsträgern gemäss ihren Anteilen an den Emissionen aus dem Verbrauch an Benzin, Diesel und Flugtreibstoff.

Die gesamten Internalisierungsbeiträge betrugen im Jahr 2015 knapp 136 Mio. CHF (125 Mio. aus der CO<sub>2</sub>-Kompensationspflicht, 11 Mio. aus den Einnahmen der Sanktionen). Entsprechend sind die sozialen Klimakosten des Verkehrs 136 Mio. CHF höher als die oben ausgewiesenen externen Kosten. Die gesamten **sozialen Klimakosten** des Verkehrs in der Schweiz im Jahr 2015 betragen **2'553 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 Mrd. 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 49: Überblick über die sozialen Klimakosten des Verkehrs 2015 (Hauptergebnis basierend auf zentralem CO<sub>2</sub>-Kostensatz)**

Klimakosten in Mio. CHF	Personen- verkehr	Güter- verkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	1'326	318	<b>1'644</b>	64.4%
Schienenverkehr	1	2	<b>4</b>	0.1%
Luftverkehr	826	66	<b>893</b>	35.0%
Schiffsverkehr	6	7	<b>13</b>	0.5%
<b>Total</b>	<b>2'160</b>	<b>393</b>	<b>2'553</b>	100.0%
in % des Totals	84.6%	15.4%	100.0%	

### 9.2.2. Vergleich der Ergebnisse 2015 mit bisherigen und überarbeiteten Datengrundlagen

Gesamthaft gesehen sind die Klimakosten durch die neuen Datengrundlagen um knapp 4% gestiegen. Während die durch den Güterverkehr verursachten Kosten um 0.1% zugenommen haben, sind diejenigen des Personenverkehrs um 4.7% gestiegen. Obwohl die CO<sub>2</sub>-Kostensätze in gemäss überarbeiteten Datengrundlagen leicht tiefer sind (-1.9%), sind die Kosten aufgrund der neuen Emissionsfaktoren gestiegen. Die grösste absolute Zunahme hat beim Personen-Strassenverkehr stattgefunden (+106 Mio. CHF), was auf aktuellere, etwas höhere CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren zurückzuführen ist.

Abbildung 50: Vergleich der Ergebnisse 2015 mit bisherigen und überarbeiteten Datengrundlagen

<b>Bericht 2015 bisher [Mio. CHF]</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	1'111.2	293.3	<b>1'404.5</b>
Schienenverkehr	0.5	2.8	<b>3.3</b>
Luftverkehr	841.0	67.7	<b>908.7</b>
Schiffsverkehr	5.1	3.1	<b>8.2</b>
<b>Total</b>	<b>1'957.8</b>	<b>366.9</b>	<b>2'324.7</b>
<b>Ergebnisse 2015 überarbeitet [Mio. CHF]</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	1'216.7	292.4	<b>1'509.1</b>
Schienenverkehr	1.2	2.1	<b>3.3</b>
Luftverkehr	825.3	66.4	<b>891.7</b>
Schiffsverkehr	5.9	6.3	<b>12.2</b>
<b>Total</b>	<b>2'049.1</b>	<b>367.2</b>	<b>2'416.3</b>
<b>Veränderung in %</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	9.5%	-0.3%	<b>7.4%</b>
Schienenverkehr	135.1%	-25.6%	<b>-1.2%</b>
Luftverkehr	-1.9%	-1.9%	<b>-1.9%</b>
Schiffsverkehr	15.2%	103.5%	<b>48.6%</b>
<b>Total</b>	<b>4.7%</b>	<b>0.1%</b>	<b>3.9%</b>
<b>Veränderung in Mio. CHF</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	105.5	-0.9	<b>104.6</b>
Schienenverkehr	0.7	-0.7	<b>-0.0</b>
Luftverkehr	-15.7	-1.3	<b>-17.0</b>
Schiffsverkehr	0.8	3.2	<b>4.0</b>
<b>Total</b>	<b>91.3</b>	<b>0.3</b>	<b>91.6</b>

### 9.2.3. Zeitreihe 2010-2015

Die externen Klimakosten sind zwischen 2010 und 2015 insgesamt um 18% von 2'042 Mio. CHF auf 2'416 Mio. CHF gestiegen. Für diesen Anstieg verantwortlich sind Strassen- und Luftverkehr, während der Schienen- und Schiffsverkehr eine Abnahme auf sehr tiefem Niveau zu verzeichnen hat.

Abbildung 51: Indexierte Entwicklung der Klimakosten 2010 bis 2015 nach Verkehrsträgern

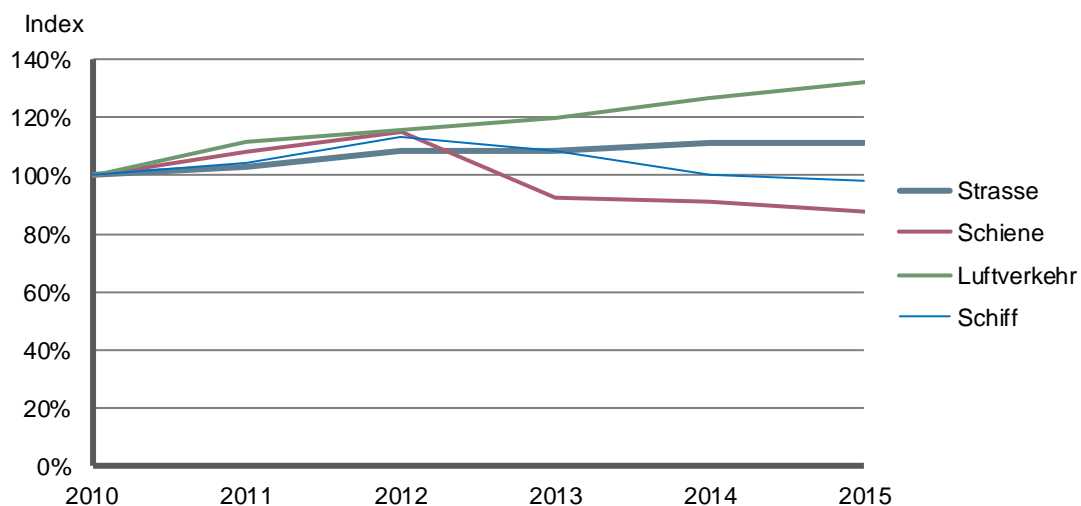


Abbildung 52: Entwicklung der Klimakosten 2010 bis 2015 nach Verkehrsträgern

Klima [in Mio. CHF]	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Strasse	1'106.7	1'133.0	1'193.7	1'188.5	1'218.5	1'216.7
Schiene	1.3	1.5	1.5	1.2	1.2	1.2
Luftverkehr	615.6	690.5	717.7	743.2	787.0	825.3
Schiff	5.5	5.7	6.2	5.9	6.2	5.9
<b>Total Personenverkehr</b>	<b>1'729.1</b>	<b>1'830.7</b>	<b>1'919.0</b>	<b>1'938.8</b>	<b>2'013.0</b>	<b>2'049.1</b>
Strasse	246.1	259.1	273.6	277.0	287.9	292.4
Schiene	2.4	2.6	2.7	2.2	2.2	2.1
Luftverkehr	58.0	61.9	63.4	65.2	66.8	66.4
Schiff	6.9	7.3	7.9	7.5	6.2	6.3
<b>Total Güterverkehr</b>	<b>313.3</b>	<b>330.9</b>	<b>347.6</b>	<b>351.8</b>	<b>363.1</b>	<b>367.2</b>
<b>Gesamttotal Klima</b>	<b>2'042.4</b>	<b>2'161.6</b>	<b>2'266.6</b>	<b>2'290.6</b>	<b>2'376.0</b>	<b>2'416.3</b>



## 10. Natur und Landschaft

### 10.1. Anpassung von Methodik und Datengrundlagen

Im Folgenden werden die Anpassungen gegenüber der Berechnung für das Jahr 2010 (Ecoplan, INFRAS 2014) kurz erläutert. Die grundsätzliche Methodik wird in Ecoplan / INFRAS (2014) beschrieben – hier werden nur die Anpassungen gegenüber dem Bericht 2014 kurz dargestellt. Für eine detaillierte Erläuterung der Methodik verweisen wir auf den Bericht aus dem Jahr 2014.

#### 10.1.1. Methodik

Es wurden keine Anpassungen an der grundlegenden Methodik vorgenommen.

#### 10.1.2. Datengrundlagen

##### **Länge der Verkehrsinfrastrukturen (Strasse und Schiene)**

Die Länge der Verkehrsinfrastrukturen ist der zentrale Inputparameter für die Berechnung der Kosten infolge der Habitatverluste und -fragmentierungen. Bei der letzten Aktualisierung (Ecoplan, INFRAS 2014) wurden die Infrastrukturlängen des Strassen- und Schienenverkehrs auf Basis von GIS-Auswertungen vorgenommen (Vector25 Daten). Diese Daten werden für die jährliche Aktualisierung im Excel-Tool auf Basis der BFS-Statistik zu den Verkehrsweglängen fortgeschrieben. Diese ist aber v. a. bei den Gemeinde- und auch Kantonsstrassen relativ grob (primär Berücksichtigung von Umklassierungen). Aus diesem Grund ist es wünschenswert, die Infrastrukturlängen von Strasse und Schiene wie bei der letzten Aktualisierung mittels GIS-Daten neu zu erheben, damit diese Daten zumindest alle fünf Jahre wieder ganz aktuell sind.

Die Infrastrukturlängen und -flächen für Strasse und Schiene wurden, analog dem Vorgehen von Nateco (Beratungsbüro, welches bei den ersten Berechnungen im Bereich Natur und Landschaft involviert war) für die Aktualisierung 2010, differenziert nach Infrastrukturtyp (Verkehrsträger, Netzhierarchiestufe), biogeografischer Region (Mittelland, Jura, Voralpen, Alpen) und der Lage inner- bzw. ausserhalb des Siedlungsgebietes aus dem aktuellen Geobasisdatensatz «SwissTLM» der Swisstopo hergeleitet (TLM: Topografisches Landschaftsmodell). Dafür werden die Datenebenen der Infrastrukturnetze mittels Geoprocessing-Software mit denjenigen der Grossräume und des Siedlungsgebietes verschnitten und die resultierenden Längen nach den genannten Kriterien summiert.

Da für die Aktualisierung 2010 noch der mittlerweile durch «SwissTLM» abgelöste Geobasisdatensatz «Vector25» (letzte verfügbare Vector25-Daten: 2008) verwendet wurde, ergeben sich beim Vergleich der aktuellen Resultate mit denjenigen der Aktualisierung 2010 Unschärfen. Beispielsweise hat sich die Klassierung der Netzhierarchiestufen verändert. Auf der Strasse

erfolgt die Klassifizierung in Vector25 bei Nicht-Autobahnen beispielsweise nach 1. bis 6. Klasse. In SwissTLM werden diese Nicht-Autobahnen dagegen nach Strassenbreite klassifiziert (10m, 8m, 6m, 4m, 3m). Weil die Wertgerüste in der 'alten' Klassifizierung nach Strassenkategorien vorliegen, mussten die neuen GIS-Auswertungen in die Kategorien 1.- bis 3.-Klass-Strassen überführt werden, was aufgrund der exakten Definition dieser Strassen relativ leicht möglich war (1.-Klass-Strassen: mind. 6 Meter, 2.-Klass-Strassen: mind. 4 Meter, 3.-Klass-Strassen: mind. 3 Meter).

Grundsätzlich unterscheidet sich der neue GIS-Datensatz SwissTLM deutlich vom alten Vector25-Datensatz, wobei die TLM-Geodaten eine verbesserte Lagegenauigkeit und somit höhere Qualität aufweisen. Generell ist auch darauf hinzuweisen, dass die jeweils aktuellsten verfügbaren Geodaten nicht einen schweizweit einheitlichen Zeitstand darstellen. Sie bilden je nach Gebiet zeitlich unterschiedliche Zustände dar, weil die Datensätze in ca. 6-jährigen Zyklen nachgeführt werden. Dies war allerdings bereits bei der letzten Aktualisierung für das Jahr 2010 der Fall, als die Vector25-Daten das Jahr 2007/2008 abdeckten.

Durch die neue Datengrundlage, die durch die fehlende Fortschreibung der Vector25-Daten notwendig wurde, ergibt sich ein Bruch in den Daten zu den Verkehrslängen. Allerdings erhöht sich die Qualität der Daten zu den Verkehrslängen mit den neuen TLM-Geodaten deutlich.

Die Veränderungen der Streckenlängen sind insbesondere bei den Strassen innerorts sehr gross. Allerdings sind diese nur für die Berechnung der Habitatverluste relevant, und dort auch nur die grösseren Strassen (Autobahnen, Autostrassen, 1.-Klass- und 2.-Klass-Strassen ohne Quartierstrassen). Die folgende Tabelle zeigt die Infrastrukturlängen nach 'alter' GIS-Auswertung (Vector25) und basierend auf den neuen Daten des TLM.

**Abbildung 53:      Infrastrukturlängen Strasse und Schiene gemäss GIS-Auswertungen 2010 (Vector25: V25) bzw. 2015 (TLM)**

Längen in km	ausserorts			innerorts		
	2010 V25	2015 TLM	Diff. in %	2010 V25	2015 TLM	Diff. in %
<b>Strasse</b>						
AB & AS	1'781	2'180	22%	224	312	40%
1.-3. Klass	38'806	44'435	15%	9'863	15'393	56%
<b>Total</b>	<b>40'587</b>	<b>46'615</b>	<b>15%</b>	<b>10'087</b>	<b>15'705</b>	<b>56%</b>
<b>Schiene</b>						
Bahn eingleisig	2'386	2'302	-4%	746	678	-9%
Bahn mehrgleisig & Gleisfelder	1'087	1'366	26%	1'142	935	-18%
<b>Total</b>	<b>3'473</b>	<b>3'667</b>	<b>6%</b>	<b>1'888</b>	<b>1'613</b>	<b>-15%</b>

Die gesamte Infrastrukturlänge der Strasse (innerorts und ausserorts) ist gemäss den neusten TLM-Daten 23% höher als auf Basis der alten Vector25-Daten. Bei der Schiene ist die Differenz kleiner: Die Schienenlängen (innerorts und ausserorts) sind gemäss TLM-Daten sogar rund 15% kürzer als gemäss Vector25.

Eine umfassende Aktualisierung der Infrastrukturlängen und -flächen beim Schiffs- bzw. Luftverkehr – über das hinaus, was bereits in der jährlichen Aktualisierung erfolgt – wird nicht vorgenommen.

## 10.2. Ergebnisse

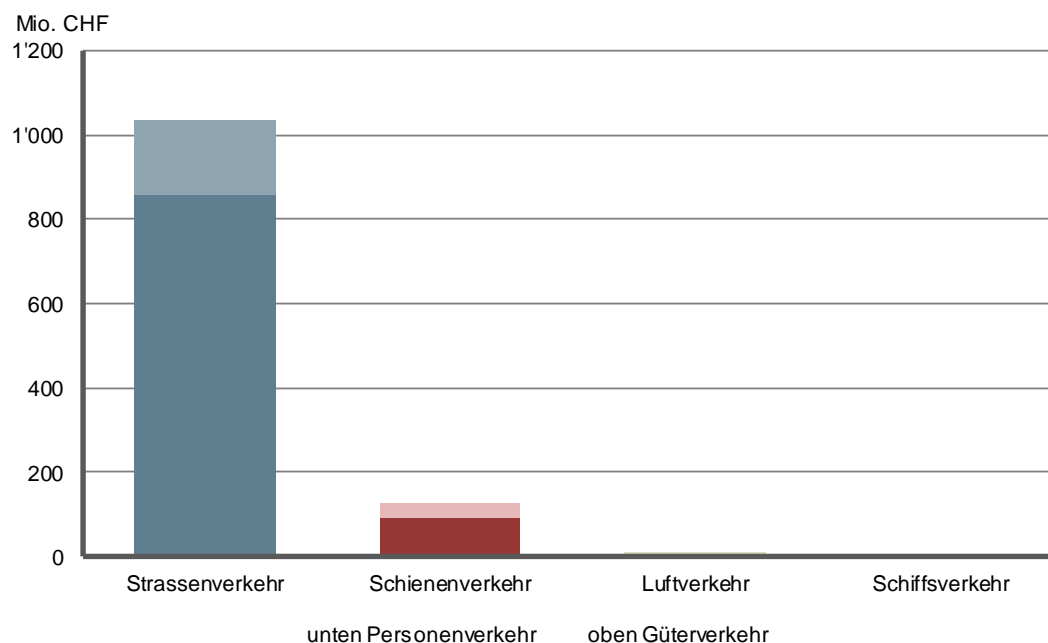
### 10.2.1. Externe Kosten 2015

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die gesamten externen Kosten<sup>25</sup> im Bereich Natur und Landschaft im Jahr 2015 nach Verkehrsträgern. Die Gesamtkosten des Verkehrs betrugen 2015 **1'174 Mio. CHF**. Davon verursachte der Strassenverkehr 88% bzw. 1'035 Mio. CHF, der Schienenverkehr 11% (126 Mio. CHF) und der Luft- und Schiffsverkehr je ca. 0.5%. Der grösste Teil der Kosten (58%) wird durch die Habitatfragmentierungen verursacht. Die Habitatverluste tragen 42% zu den Gesamtkosten bei.

---

<sup>25</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 54: Überblick über die externen Kosten im Bereich Natur und Landschaft (Habitatfragmentierungen und Habitatverluste) 2015**



**Abbildung 55: Überblick über die externen Kosten im Bereich Natur und Landschaft (Habitatfragmentierungen und Habitatverluste) 2015**

Kosten Natur & Landschaft in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	856.1	177.1	<b>1'033.2</b>	88.0%
Schienenverkehr	95.4	33.2	<b>128.5</b>	10.9%
Luftverkehr	6.3	0.5	<b>6.8</b>	0.6%
Schiffsverkehr	0.8	4.4	<b>5.2</b>	0.4%
<b>Total</b>	<b>958.6</b>	<b>215.2</b>	<b>1'173.8</b>	100.0%
in % des Totals	81.7%	18.3%	100.0%	

### 10.2.2. Vergleich der Ergebnisse 2015 mit bisherigen und überarbeiteten Datengrundlagen

Gesamthaft gesehen sind die externen Kosten im Bereich Natur- und Landschaft durch die neuen Datengrundlagen um 23% gestiegen. Der Hauptgrund für diese grosse Zunahme ist die neue Datengrundlage für die Ermittlung der Verkehrslängen. Wie oben geschildert sind vor allem die Strassenlängen gemäss den neueren GIS-Daten deutlich grösser als noch in den alten

Daten: Insgesamt liegt die Strassenlänge gemäss den neusten GIS-Daten 23% höher (vgl. Abbildung 53), wobei die Unterschiede je nach Region (Mittelland, Alpen, etc.) unterschiedlich sind. Beim Schienenverkehr bleibt die Veränderung relativ gering: Die Kosten nehmen um rund 1.4% zu. Die marginalen Veränderungen der anderen Verkehrsträger (Luft-, Schiffsverkehr) sind ein Ergebnis leicht angepasster Preisindizes (Preisindex Tiefbau) zur Fortschreibung der Kostenätze.

Zwischen den einzelnen Verkehrsträgern und zwischen Personen- und Güterverkehr hat es unterschiedlich grosse Verschiebungen gegeben. Sowohl Personen- (+24%) als auch Güterverkehr (+21%) haben zur Zunahme beigetragen, allerdings nur im Strassenverkehr, der praktisch alleine verantwortlich ist für die Zunahme der Kosten.

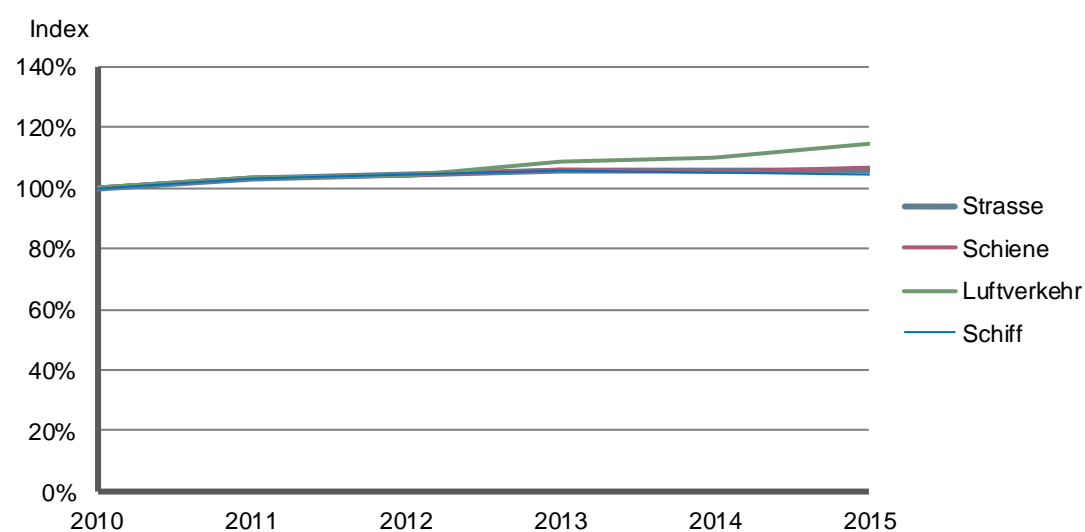
**Abbildung 56: Vergleich der Ergebnisse 2015 mit bisherigen und überarbeiteten Datengrundlagen**

<b>Bericht 2015 bisher [Mio. CHF]</b>	<b>Personenverkehr</b>	<b>Güterverkehr</b>	<b>Total</b>
Strassenverkehr	672.0	140.4	<b>812.4</b>
Schienenverkehr	94.1	32.7	<b>126.8</b>
Luftverkehr	6.3	0.5	<b>6.8</b>
Schiffsverkehr	0.8	4.4	<b>5.2</b>
<b>Total</b>	<b>773.2</b>	<b>178.0</b>	<b>951.2</b>
<b>Ergebnisse 2015 überarbeitet [Mio. CHF]</b>	<b>Personenverkehr</b>	<b>Güterverkehr</b>	<b>Total</b>
Strassenverkehr	856.1	177.1	<b>1'033.2</b>
Schienenverkehr	95.4	33.2	<b>128.5</b>
Luftverkehr	6.3	0.5	<b>6.8</b>
Schiffsverkehr	0.8	4.4	<b>5.2</b>
<b>Total</b>	<b>958.6</b>	<b>215.2</b>	<b>1'173.8</b>
<b>Veränderung in %</b>	<b>Personenverkehr</b>	<b>Güterverkehr</b>	<b>Total</b>
Strassenverkehr	27.4%	26.1%	<b>27.2%</b>
Schienenverkehr	1.3%	1.4%	<b>1.4%</b>
Luftverkehr	0.0%	7.5%	<b>0.5%</b>
Schiffsverkehr	4.0%	0.2%	<b>0.8%</b>
<b>Total</b>	<b>24.0%</b>	<b>20.9%</b>	<b>23.4%</b>
<b>Veränderung in Mio. CHF</b>	<b>Personenverkehr</b>	<b>Güterverkehr</b>	<b>Total</b>
Strassenverkehr	184.1	36.7	<b>220.8</b>
Schienenverkehr	1.3	0.5	<b>1.7</b>
Luftverkehr	-0.0	0.0	<b>0.0</b>
Schiffsverkehr	0.0	0.0	<b>0.0</b>
<b>Total</b>	<b>185.4</b>	<b>37.2</b>	<b>222.6</b>

### 10.2.3. Zeitreihe 2010-2015

Die Natur- und Landschaftskosten sind zwischen 2010 und 2015 insgesamt um 6% von 1'111 Mio. CHF auf 1'174 Mio. CHF gestiegen. Sämtliche Verkehrsträger verzeichnen in dieser Zeit einen Anstieg.

**Abbildung 57:** Indexierte Entwicklung der Natur- und Landschaftskosten 2010 bis 2015 nach Verkehrsträgern



**Abbildung 58:** Entwicklung der Natur- und Landschaftskosten 2010 bis 2015 nach Verkehrsträgern

Natur und Landschaft [in Mio. CHF]	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Strasse	810.1	835.9	848.5	859.6	859.1	856.1
Schiene	89.1	92.0	94.2	94.6	94.0	95.4
Luftverkehr	5.4	5.6	5.7	6.0	6.0	6.3
Schiff	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.8
<b>Total Personenverkehr</b>	<b>905.4</b>	<b>934.4</b>	<b>949.3</b>	<b>961.0</b>	<b>960.0</b>	<b>958.6</b>
Strasse	169.1	176.2	176.9	178.7	178.0	177.1
Schiene	31.5	32.4	31.6	33.0	33.1	33.2
Luftverkehr	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Schiff	4.2	4.3	4.4	4.4	4.4	4.4
<b>Total Güterverkehr</b>	<b>205.4</b>	<b>213.5</b>	<b>213.5</b>	<b>216.7</b>	<b>216.1</b>	<b>215.2</b>
<b>Gesamttotal Natur und Landschaft</b>	<b>1'110.8</b>	<b>1'147.9</b>	<b>1'162.8</b>	<b>1'177.7</b>	<b>1'176.0</b>	<b>1'173.8</b>

## 11. Bodenschäden durch toxische Stoffe

### 11.1. Anpassung von Methodik und Datengrundlagen

Im Folgenden werden die Anpassungen gegenüber der Berechnung für das Jahr 2010 (Ecoplan, INFRAS 2014) kurz erläutert. Die grundsätzliche Methodik wird in Ecoplan / INFRAS (2014) beschrieben – hier werden nur die Anpassungen gegenüber dem Bericht 2014 kurz dargestellt. Für eine detaillierte Erläuterung der Methodik verweisen wir auf den Bericht aus dem Jahr 2014.

#### 11.1.1. Methodik

Es wurden keine Anpassungen an der grundlegenden Methodik vorgenommen, da diese immer noch valide ist.

#### 11.1.2. Datengrundlagen

Einerseits wurden durch die Aktualisierung der grundlegenden Emissionsdaten das Mengengerüst der verunreinigten Böden aktualisiert. Andererseits wurde das Wertgerüst (Deponierungskostensatz) durch Experteneinschätzungen aktualisiert. In der Basis-Studie für die Berechnung der externen Kosten durch Schäden an Böden für das Jahr 2000 wurde mit einem spezifischen Sanierungskostensatz von 100 CHF/m<sup>3</sup> gerechnet (INFRAS 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 Aus-hub sowie den Transport (15 CHF/m<sup>3</sup>). Dieser Kostensatz stammt aus dem Jahr 2000 und wurde für die Aktualisierung 2010 anhand des Baupreisindex fortgeschrieben. Für die jetzige Aktualisierung wurde die Tatsache miteinbezogen, dass je nach Verschmutzung<sup>26</sup> des Bodens, unterschiedliche Deponietypen zur Lagerung des Materials vorgesehen sind. Dies sind Inertstoffdeponien (Typ B), Reaktordeponien (Typ D) und Sondermülldeponien. Der Grund dafür liegt in den unterschiedlichen Kosten, die je nach Deponietyp anfallen. Der aktualisierte über alle Deponietypen gewichtete Kostensatz liegt bei 129.30 CHF/m<sup>3</sup> Boden. In der bisherigen Methodik lag der fortgeschriebene Kostensatz, der nicht über unterschiedliche Deponietypen hergeleitet wurde, für 2015 bei 121.10 CHF/m<sup>3</sup> Boden. Der aktualisierte Kostensatz setzt sich folgendermassen zusammen:

<sup>26</sup> Die Grenzwerte für die jeweiligen Deponietypen sind in der Technischen Verordnung über Abfälle im Anhang 1 in mg/kg Trockengewicht aufgelistet (TVA 2011)

Abbildung 59: Herleitung Deponierungskostensatz nach Deponietypen

Deponietyp	CHF/m <sup>3</sup>	Anteil
Inertstoff Deponie (B)	93	75%
Reaktorstoff Deponie (D)	204	20%
Sondermüll	375	5%
<b>Gewichteter Kostensatz</b>	<b>129.3</b>	

Für die jährliche Aktualisierung wird dieser Kostensatz anhand des Baupreisindex fortgeschrieben.

## 11.2. Ergebnisse

### 11.2.1. Externe Kosten 2015

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die gesamten externen und sozialen Kosten infolge Bodenschäden durch toxische Stoffe im Jahr 2015 nach Verkehrsträgern.<sup>27</sup> Im Jahr 2015 betragen die Kosten durch Bodenschäden des Strassen- und Schienenverkehrs **170 Mio. CHF**. Davon war der Strassenverkehr für rund 83% der Kosten (140 Mio. CHF) verantwortlich, der Schienenverkehr für rund 17% (29 Mio. CHF). Der Personenverkehr ist für rund 62% der Kosten verantwortlich, der Güterverkehr für rund 38%.

<sup>27</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 60: Externe Kosten durch Bodenschäden 2015

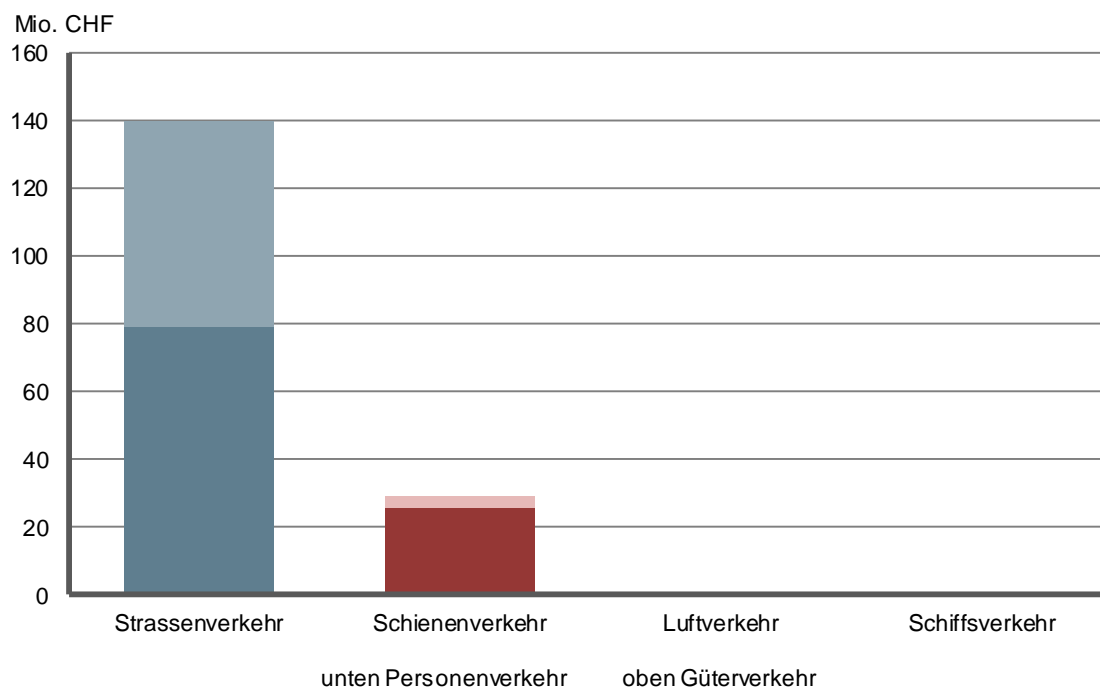


Abbildung 61: Externe Kosten durch Bodenschäden 2015

Bodenschäden in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	79.3	60.6	139.9	82.8%
Schienenverkehr	25.4	3.7	29.1	17.2%
Luftverkehr	-	-	-	0.0%
Schiffsverkehr	-	-	-	0.0%
<b>Total</b>	<b>104.6</b>	<b>64.3</b>	<b>168.9</b>	100.0%
in % des Totals	61.9%	38.1%	100.0%	

### 11.2.2. Vergleich der Ergebnisse 2015 mit bisherigen und überarbeiteten Datengrundlagen

Gesamthaft gesehen sind die externen Kosten durch Bodenschäden durch die neuen Datengrundlagen (Emissionsfaktoren sowie Kostensatz) um fast 7% gestiegen. Der Personen- und der Güterverkehr sind, relativ gesehen, in ähnlichem Masse gestiegen. Insgesamt sind die Kosten mit den bisherigen Datengrundlagen rund 11 Mio. CHF höher als mit den neuen Datengrundlagen. Rund 9 Mio. CHF davon stammen aus dem Strassenverkehr, die übrigen 2 Mio. CHF aus dem Schienenverkehr. Verantwortlich für die Veränderung ist vor allem der neue Kostensatz.

Die aktualisierten Emissionsfaktoren für Schwermetalle und Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) in den übergeordneten Daten haben sich nur sehr leicht verändert.

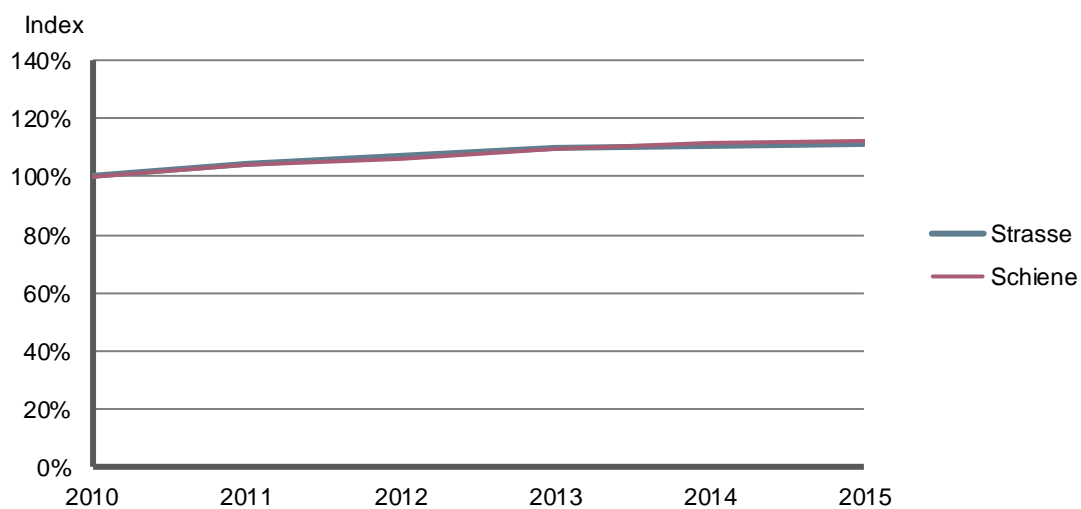
**Abbildung 62: Vergleich der Ergebnisse 2015 mit bisherigen und überarbeiteten Datengrundlagen**

<b>Bericht 2015 bisher [Mio. CHF]</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	74.1	56.9	<b>131.0</b>
Schienenverkehr	23.8	3.5	<b>27.2</b>
Luftverkehr	-	-	-
Schiffsverkehr	-	-	-
<b>Total</b>	<b>97.9</b>	<b>60.3</b>	<b>158.2</b>
<b>Ergebnisse 2015 überarbeitet [Mio. CHF]</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	79.3	60.6	<b>139.9</b>
Schienenverkehr	25.4	3.7	<b>29.1</b>
Luftverkehr	-	-	-
Schiffsverkehr	-	-	-
<b>Total</b>	<b>104.6</b>	<b>64.3</b>	<b>168.9</b>
<b>Veränderung in %</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	7.0%	6.6%	<b>6.8%</b>
Schienenverkehr	6.8%	6.8%	<b>6.8%</b>
Luftverkehr	-	-	-
Schiffsverkehr	-	-	-
<b>Total</b>	<b>6.9%</b>	<b>6.6%</b>	<b>6.8%</b>
<b>Veränderung in Mio. CHF</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	5.2	3.8	<b>8.9</b>
Schienenverkehr	1.6	0.2	<b>1.8</b>
Luftverkehr	-	-	-
Schiffsverkehr	-	-	-
<b>Total</b>	<b>6.8</b>	<b>4.0</b>	<b>10.8</b>

### 11.2.3. Zeitreihe 2010-2015

Die Kosten der Bodenschäden aufgrund toxischer Stoffe sind zwischen 2010 und 2015 insgesamt um 12% von 151 Mio. CHF auf 169 Mio. CHF gestiegen. Sowohl der Strassenverkehr als auch der Schienenverkehr verzeichnen in diesem Zeitraum einen Anstieg.

**Abbildung 63:** Indexierte Entwicklung der Kosten der Bodenschäden 2010 bis 2015 nach Verkehrsträgern



**Abbildung 64:** Entwicklung der Kosten der Bodenschäden 2010 bis 2015 nach Verkehrsträgern

Bodenschäden [in Mio. CHF]	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Strasse	69.9	73.1	75.3	77.6	78.4	79.3
Schiene	22.6	23.5	24.1	24.8	25.2	25.4
Luftverkehr	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Schiff	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Total Personenverkehr</b>	<b>92.5</b>	<b>96.6</b>	<b>99.4</b>	<b>102.4</b>	<b>103.5</b>	<b>104.6</b>
Strasse	55.6	58.4	58.9	60.3	60.4	60.6
Schiene	3.3	3.5	3.4	3.6	3.7	3.7
Luftverkehr	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Schiff	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Total Güterverkehr</b>	<b>58.9</b>	<b>61.9</b>	<b>62.3</b>	<b>63.9</b>	<b>64.1</b>	<b>64.3</b>
<b>Gesamttotal Bodenschäden</b>	<b>151.4</b>	<b>158.5</b>	<b>161.7</b>	<b>166.3</b>	<b>167.6</b>	<b>168.9</b>

## 12. Kosten für vor- und nachgelagerte Prozesse

### 12.1. Anpassung von Methodik und Datengrundlagen

Im Folgenden werden die vorgenommenen Abklärungen sowie die Anpassungen gegenüber der Berechnung für das Jahr 2010 (Ecoplan, INFRAS 2014) kurz erläutert. Die grundsätzliche Methodik wird in Ecoplan / INFRAS (2014) beschrieben. Für eine detaillierte Erläuterung der Methodik verweisen wir auf den Bericht aus dem Jahr 2014.

#### 12.1.1. Methodik

In der Kostenkategorie vor- und nachgelagerte Prozesse wurden gegenüber der Studie aus dem Jahr 2014 (Ecoplan, INFRAS 2014) keine grundlegenden Anpassungen in der Methodik vorgenommen. Wie bei der letzten Aktualisierung werden sowohl die vor- und nachgelagerten Treibhausgasemissionen als auch andere Luftschadstoffemissionen (NO<sub>x</sub>, PM10, SO<sub>2</sub> und NMVOC) quantifiziert. Dabei wird nicht berücksichtigt, ob diese Emissionen in der Schweiz selbst oder im Ausland emittiert werden. Diese Emissionen werden schliesslich mit den gleichen Kostensätzen wie in der letzten Studie (Ecoplan, INFRAS 2014) monetarisiert. Die Bewertungsmethodik ist detailliert in der Studie 2014 (Ecoplan, INFRAS 2014) beschrieben.

#### 12.1.2. Datengrundlagen

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, INFRAS 2014) liegt heute eine überarbeitete und aktualisierte Version der Ecoinvent Datenbank vor (Version 3.3, Ecoinvent 2016). Eine Hauptänderung war, dass für gewisse Emissionen heute eine Unterteilung in Produktion, Unterhalt und Entsorgung wegfällt und einfach ein einheitlicher Emissionsfaktor pro Einheit (Fahrzeug) publiziert wird. Zur Qualitätssicherung der neuen Lebenszyklusdaten wurden verschiedene Datensätze mit Mobitool 2.0 verglichen.

In den einzelnen Kategorien gab es folgende Änderungen (von Ecoinvent 2.2 zu 3.3):

#### **Verkehrsmittel: Produktion, Unterhalt und Entsorgung**

Über 95% 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.

### **Infrastruktur: Produktion, Unterhalt und Entsorgung**

Die Produktion und Entsorgung von Schieneninfrastruktur werden neu mit einem einzigen Emissionsfaktor berechnet. Deswegen ist der Vergleich der drei Unterkategorien Produktion, Unterhalt und Entsorgung nicht mehr zulässig. Trotz Fehlen genauer Zahlen gesagt werden, dass, wie bei den Verkehrsmitteln auch, bei der Infrastruktur die Produktion die grössten Mengen an Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen emittiert. 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.

### **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.

## **12.2. Ergebnisse**

### **12.2.1. Externe Kosten 2015**

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die externen Kosten der vor- und nachgelagerten Prozesse des Verkehrs für das Jahr 2015.<sup>28</sup> Insgesamt betragen die Kosten für die vor- und nachgelagerten Prozesse **1'314 Mio. CHF**. Mit 83% fällt der grösste Teil beim Strassenverkehr an, rund 13% beim Luftverkehr, 4% beim Schienenverkehr und 0.2% beim Schiffsverkehr. Der Personenverkehr ist für rund 82% der Gesamtkosten verantwortlich, die restlichen 18% entfallen auf den Güterverkehr.

<sup>28</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 65: Externe Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse 2015

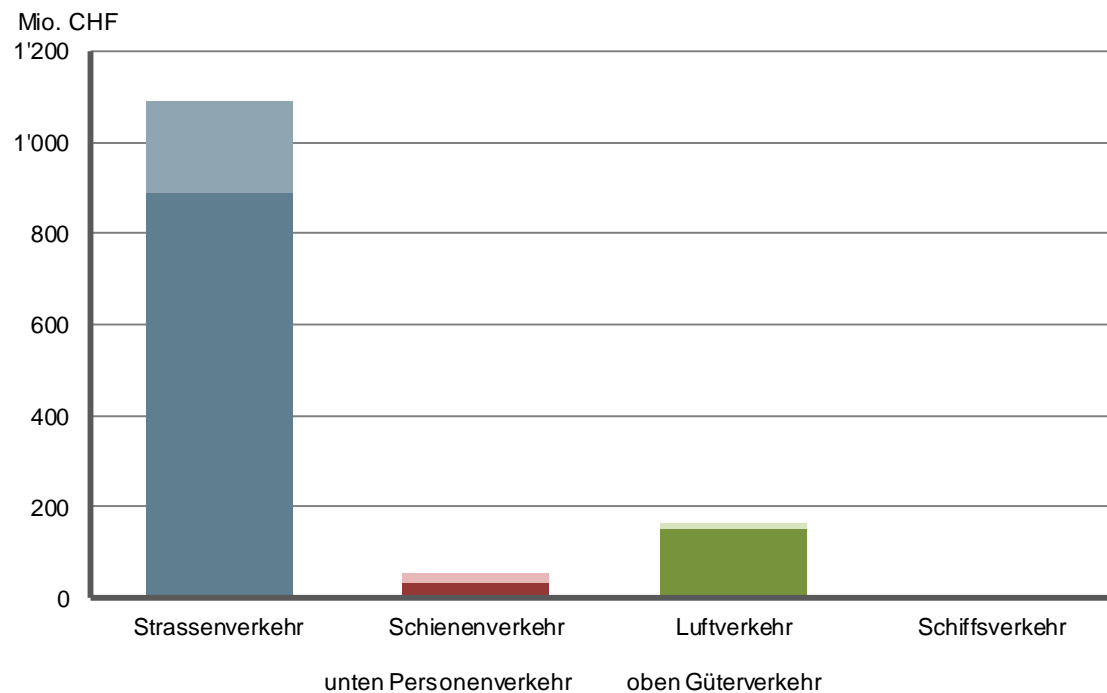


Abbildung 66: Externe Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse 2015

Kosten vor- und nachgelagerter Prozesse in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	891	200	<b>1'091</b>	83.0%
Schienenverkehr	34	20	<b>54</b>	4.1%
Luftverkehr	154	13	<b>166</b>	12.6%
Schiffsverkehr	1	2	<b>3</b>	0.2%
<b>Total</b>	<b>1'080</b>	<b>234</b>	<b>1'314</b>	100.0%
in % des Totals	82.2%	17.8%	100.0%	

Die indirekten Treibhausgasemissionen (CO<sub>2</sub>-eq) sind für 95% der Gesamtkosten verantwortlich. Die restlichen Kosten werden zu rund 2.4% durch das Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) und 1.8% durch flüchtige organische Verbindungen (NMVOC) sowie zu knapp 1% durch die Stickoxide (NO<sub>x</sub>) verursacht. Die durch Feinstaub (PM10) verursachten Kosten machen 0.3% aus.

### 12.2.2. Vergleich der Ergebnisse 2015 mit bisherigen und überarbeiteten Datengrundlagen

Gesamthaft gesehen sind die externen Kosten der vor- und nachgelagerten Prozesse durch die neuen Datengrundlagen um 38% gestiegen. Der Personen- und Güterverkehr sind relativ gesehen um 41% resp. 26% gestiegen. Insgesamt sind die Kosten mit den neuen Datengrundlagen 364 Mio. CHF höher als mit den bisherigen. 86% oder 313 Mio. CHF dieser 364 Mio. CHF stammen aus dem Strassenverkehr. Innerhalb des Strassenverkehrs entfallen 271 Mio. CHF (86% der Zunahme des Strassenverkehrs) auf den Strassenpersonenverkehr, weitere 42 Mio. CHF (14% der Zunahme des Strassenverkehrs) auf den Strassengüterverkehr. Verantwortlich für den grössten Teil der Veränderung sind die aktualisierten Lebenszyklus-Daten, wobei die unterschiedlichen Fahrzeugkategorien unterschiedliche Veränderungen erfahren haben. Die grösste absolute Veränderung betrifft mit 236 Mio. CHF die Personenwagen. Deren Produktions-, Unterhalt- und Entsorgungsemissionen sind in der aktualisierten Datenbank (Ecoinvent 3.3) um 70% höher als in der alten Version (Ecoinvent 2.2). Somit stammen 63% der gesamten Zunahme der externen Kosten der vor- und nachgelagerten Prozesse aus den Lebenszyklus-Daten der Personenwagen. Da diese Veränderung einer einzelnen Fahrzeugkategorie so stark ins Gewicht fällt, wurden zur Validierung die Emissionsfaktoren für Produktion und Unterhalt mit denjenigen von Mobitool<sup>29</sup> verglichen, was zum Schluss führte, dass diese kompatibel sind.

Die Kosten im Luftverkehr sind um insgesamt 43 Mio. CHF gestiegen. Der Personen- und Güterverkehr verzeichnen eine relativ gleich grosse Zunahme. Der Grund der Zunahme liegt fast ausschliesslich in aktualisierten Lebenszyklus-Daten der Infrastruktur, d.h. höhere Emissionen für den Bau, Unterhalt und Entsorgung der Flughäfen. Auch hier wurden die Emissionsfaktoren mit denjenigen von Mobitool verglichen. Der Vergleich ist etwas schwieriger als bei den Personenwagen, weil nicht alle in Mobitool hinterlegten Daten gefunden wurden (Bsp. Lebensdauer eines Flughafens). Trotzdem kann man durch realistische Annahmen die Emissionsfaktoren berechnen und vergleichen und kommt zum Schluss, dass die in der vorliegenden Aktualisierung verwendeten Emissionsfaktoren in einer ähnlichen Höhe liegen wie diejenigen von Mobitool (insgesamt sind die vorliegenden eher etwas tiefer als diejenigen von Mobitool). Bei beiden Grundlagen sind die Emissionsfaktoren der Infrastrukturprozesse (Bau, Unterhalt etc.) um ein Vielfaches höher als in der bisherigen Berechnung der externen Kosten.

Die Kosten des Schienenverkehrs sind um rund 7 Mio. CHF (15%) gestiegen, diejenigen des Schiffsverkehrs um 0.2 Mio. CHF (6%) gesunken. Auch diese Veränderungen beruhen auf den aktualisierten Lebenszyklus-Daten.

<sup>29</sup> Mobitool ist die Schweizer Plattform für Mobilitätsmanagementtools und aufbereitete Umweltdaten. Mobitool ist ein gemeinschaftliches Engagement der Trägerschaft aus SBB, Swisscom, EnergieSchweiz, Bundesamt für Umwelt BAFU und öbu. Betrieb und Ausbau der Plattform wird über den Verein Mobitool gesteuert

Die Kosten des Schiffverkehrs sind um 0.1 Mio. CHF (+2.9%) gestiegen. Der Hauptgrund sind die neuen Grundlagendaten der KfV-Statistik, die den Treibstoffverbrauch der Güterschiffe auf dem Rhein (nach Halbstreckenprinzip) ausweisen.

**Abbildung 67: Vergleich der Ergebnisse 2015 mit bisherigen und überarbeiteten Datengrundlagen**

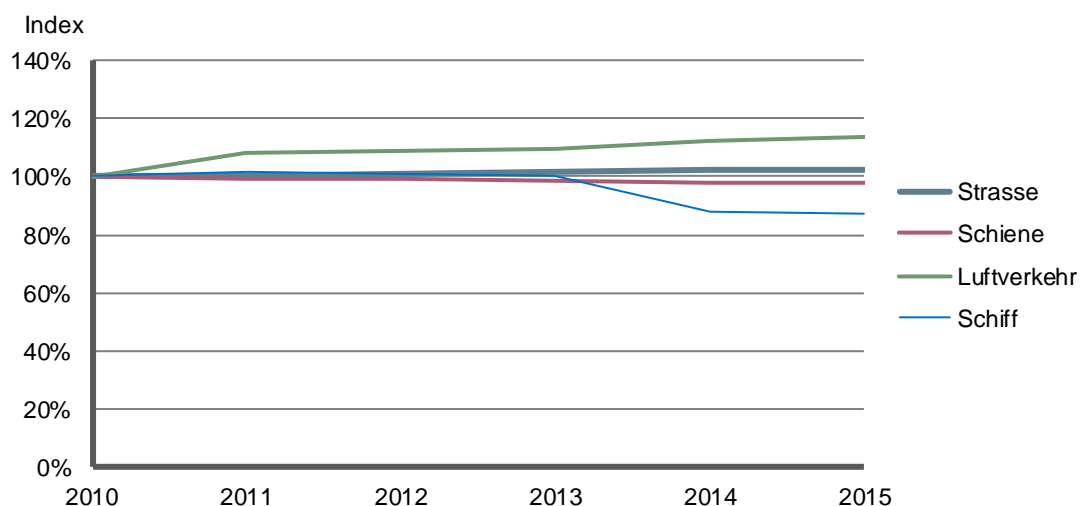
<b>Bericht 2015 bisher [Mio. CHF]</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	620.1	157.7	<b>777.8</b>
Schienenverkehr	29.6	17.4	<b>47.0</b>
Luftverkehr	113.6	9.2	<b>122.8</b>
Schiffsverkehr	1.5	1.6	<b>3.1</b>
<b>Total</b>	<b>764.8</b>	<b>185.9</b>	<b>950.7</b>
<b>Ergebnisse 2015 überarbeitet [Mio. CHF]</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	891.1	200.0	<b>1'091.1</b>
Schienenverkehr	34.2	19.9	<b>54.1</b>
Luftverkehr	153.5	12.6	<b>166.1</b>
Schiffsverkehr	1.4	1.8	<b>3.2</b>
<b>Total</b>	<b>1'080.2</b>	<b>234.3</b>	<b>1'314.5</b>
<b>Veränderung in %</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	43.7%	26.8%	<b>40.3%</b>
Schienenverkehr	15.6%	14.4%	<b>15.2%</b>
Luftverkehr	35.1%	36.6%	<b>35.2%</b>
Schiffsverkehr	-9.1%	14.3%	<b>2.9%</b>
<b>Total</b>	<b>41.2%</b>	<b>26.0%</b>	<b>38.3%</b>
<b>Veränderung in Mio. CHF</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	271.0	42.3	<b>313.3</b>
Schienenverkehr	4.6	2.5	<b>7.1</b>
Luftverkehr	39.9	3.4	<b>43.3</b>
Schiffsverkehr	-0.1	0.2	<b>0.1</b>
<b>Total</b>	<b>315.4</b>	<b>48.4</b>	<b>363.8</b>

### 12.2.3. Zeitreihe 2010-2015

Die externen Kosten für vor- und nachgelagerte Prozesse sind zwischen 2010 und 2015 insgesamt um 4% von 1'266 Mio. CHF auf 1'314 Mio. CHF gestiegen. Während die Kosten für den Schienen- und Schiffsverkehr leicht gesunken sind, sind diejenigen des Strassen- und Luftverkehrs im gleichen Zeitraum angestiegen.



**Abbildung 68:** Indexierte Entwicklung der Kosten für vor- und nachgelagerte Prozesse 2010 bis 2015 nach Verkehrsträgern



**Abbildung 69:** Entwicklung der Kosten für vor- und nachgelagerte Prozesse 2010 bis 2015 nach Verkehrsträgern

Vor- und nachgelagerte Prozesse [in Mio. CHF]	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Strasse	870.1	872.5	879.2	884.9	888.2	891.1
Schiene	33.7	33.8	33.8	33.8	33.8	34.2
Luftverkehr	132.8	144.6	145.8	146.9	150.9	153.5
Schiff	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
<b>Total Personenverkehr</b>	<b>1'038.0</b>	<b>1'052.3</b>	<b>1'060.2</b>	<b>1'067.0</b>	<b>1'074.3</b>	<b>1'080.2</b>
Strasse	192.0	195.2	195.8	197.1	198.7	200.0
Schiene	21.5	21.2	21.0	20.5	20.1	19.9
Luftverkehr	12.7	13.2	13.1	13.0	13.1	12.6
Schiff	2.3	2.3	2.3	2.3	1.8	1.8
<b>Total Güterverkehr</b>	<b>228.4</b>	<b>232.0</b>	<b>232.2</b>	<b>232.9</b>	<b>233.8</b>	<b>234.3</b>
<b>Gesamttotal Vor- und nachgelagerte Prozesse</b>	<b>1'266.5</b>	<b>1'284.3</b>	<b>1'292.4</b>	<b>1'299.8</b>	<b>1'308.1</b>	<b>1'314.5</b>

## 13. Unfälle

### 13.1. Anpassung von Methodik und Datengrundlagen

Im Folgenden werden die Anpassungen gegenüber der Berechnung für das Jahr 2010 (Ecoplan, INFRAS 2014) kurz erläutert. Die grundsätzliche Methodik wird in Ecoplan / INFRAS (2014) beschrieben – hier werden nur die Anpassungen gegenüber dem Bericht 2014 kurz dargestellt. Für eine detaillierte Erläuterung der Methodik verweisen wir auf den Bericht aus dem Jahr 2014.

#### 13.1.1. Methodik

Aufgrund der neuen Erkenntnisse, dass im VOSL der entgangene Konsum nicht mitberücksichtigt ist, musste die Berechnung der immateriellen Kosten sowie als Folge davon die Berechnung der Produktionsausfälle für alle Verkehrsträger neu aufgebaut werden. Der methodische Hintergrund der Anpassung des VOSL ist bereits in Kapitel 2.2.1 beschrieben.

Aufgrund der neuen Methodik zur Bestimmung des VOSL sind aus Sicht Verkehrsträger alle immateriellen Kosten intern (siehe folgende Abbildung). Sie werden vom Opfer selbst getragen. Aus Sicht Verkehrsteilnehmende sind die Kosten der nicht-unfallverursachenden Opfer (NUV) extern, da sie durch den Lenker des verursachenden Fahrzeugs dem nicht-verursachenden Opfer auferlegt werden.

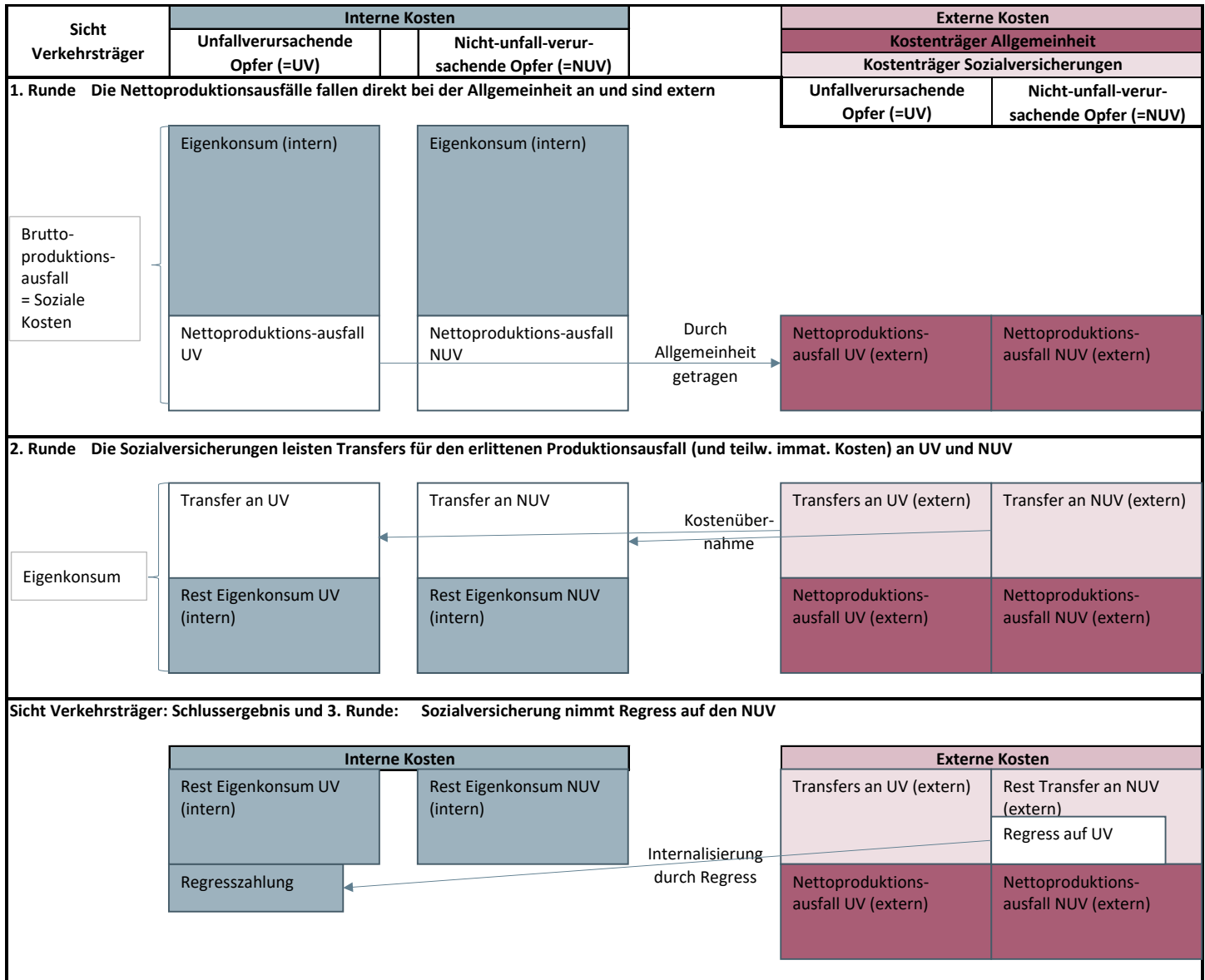
**Abbildung 70:** Externe immaterielle Kosten nach Sichtweise und Verursacher / Nicht-Verursacher

Sicht Verkehrsträger			Sicht Verkehrsteilnehmende	
	Unfallverursachende	Nicht-Unfallverursachende	Unfallverursachende	Nicht-Unfallverursachende
Externe Kosten				X
Interne Kosten	X	X	X	

Für den **Produktionsausfall** muss neu zwischen Bruttoproduktionsausfall, Nettoproduktionsausfall und Eigenkonsum unterschieden werden (Bruttoproduktionsausfall = Nettoproduktionsausfall + Eigenkonsum). Dabei handelt es sich beim Nettoproduktionsausfall um externe Kosten, da sie von der Allgemeinheit getragen werden.

Zusätzlich sind aus Sicht Verkehrsträger die Transferleistungen (Zahlungen der Unfall- und Sozialversicherungen zur Linderung der finanziellen Folgen eines Verkehrsunfalls) extern, die nicht auf den Verursacher oder dessen Haftpflichtversicherung regressiert werden können. Vergleiche dazu die folgende Abbildung.

Abbildung 71: Externer Produktionsausfall aus Sicht Verkehrsträger

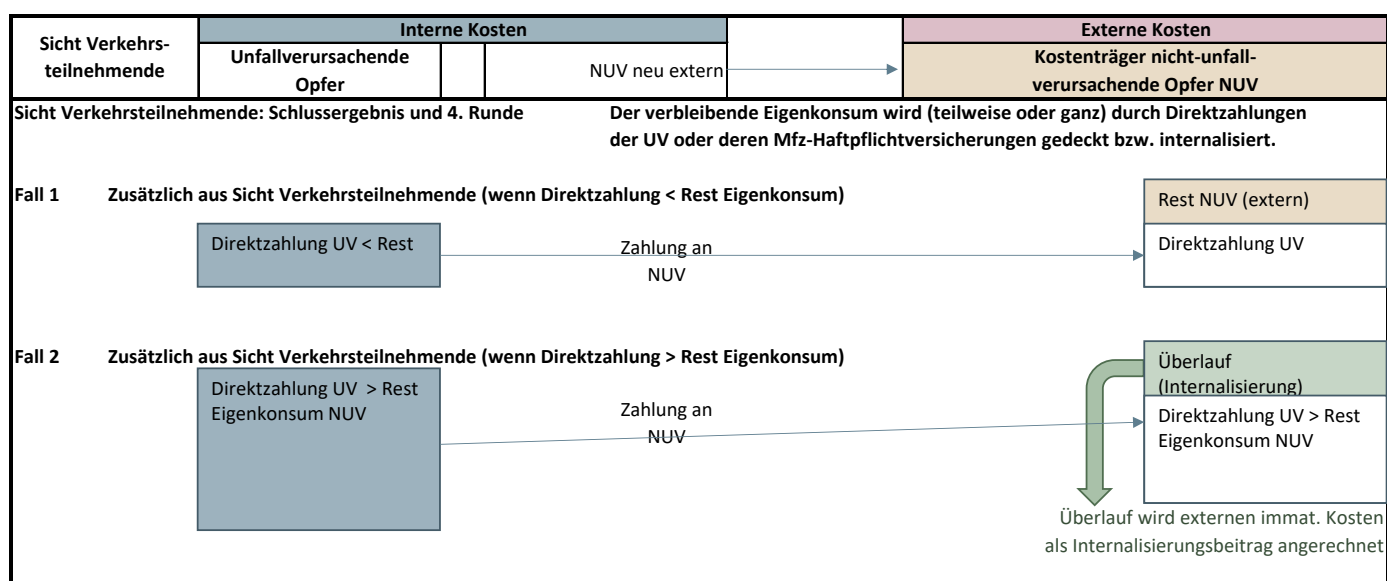


Aus Sicht Verkehrsteilnehmende trägt die Allgemeinheit zunächst die gleichen Kosten wie aus Sicht Verkehrsträger. Hinzu kommt jener Teil des Eigenkonsums der nicht-unfallverursachenden Opfer, der nicht mit Transfers oder Direktzahlungen gedeckt ist.<sup>30</sup> Vergleiche dazu die nachfolgende Abbildung.

<sup>30</sup> Es werden hier nur Direktzahlungen und Transfers berücksichtigt, die sich auf den Eigenkonsum beziehen. Transfers für medizinische Heilungskosten sowie die Regressforderungen der Sozial- und Unfallversicherungen aufgrund solcher Transfers werden bei den medizinischen Heilungskosten berücksichtigt.

Weil aus Sicht Verkehrsteilnehmende für den Grossteil der Fahrzeugkategorien die Summe aus Transferleistungen und Direktzahlungen an die NUV grösser ist als ihr (entgangener) Eigenkonsum, gibt es einen «Überlauf». Grund dafür ist, dass bei den Direktzahlungen und Transferleistungen auch Leistungen zur Entschädigung von immateriellen Kosten enthalten sind. Als pragmatische und transparente Lösung wird diese Überdeckung bei den Produktionsausfällen an die immateriellen Kosten als Internalisierungsbeitrag angerechnet.

**Abbildung 72:      Zusätzlicher externer Produktionsausfall aus Sicht Verkehrsteilnehmende**



Die administrativen Kosten der Haftpflichtversicherungen für Personenschäden werden neu nicht mehr über einen arithmetischen Mittelwert auf die Verletzungsschweren umgelegt, sondern über das mit der Anzahl Opfer pro Verletzungsschwere gewichtete Mittel. Die administrativen Kosten der Motorfahrzeug-Haftpflichtversicherungen sind intern, weshalb sich diese Änderung nebst den sozialen Kosten nur auf die externen Kosten des Langsamverkehrs auswirkt. Grund dafür ist, dass im Langsamverkehr einzig eine allgemeine Haftpflicht existiert, deren Leistungen nur zu 5% als intern betrachtet werden.

### 13.1.2. Datengrundlagen

- Eine wichtige Anpassung ist die Übernahme des **neuen, höheren VOSL bzw. VLYL** (siehe Kapitel 31). Der VLYL beträgt neu 230'000 CHF (zwischen 115'000 und 344'900 CHF). Wie vorne erläutert bedingt dies auch, dass neu der **Brutto- statt Nettoproduktionsausfall** verwendet wird (vgl. dazu auch die methodischen Anpassungen oben).

- Bei der Herleitung des **Mengengerüsts im Strassenverkehr** für das Jahr 2015 wurden verschiedene Anpassungen vorgenommen:
  - Die Verteilung der verursachten Unfallopfer und Unfälle auf die Fahrzeugkategorien wurde in zweierlei Hinsicht verfeinert: 1) Die Verteilung der polizeilich registrierten Unfallopfer auf die verursachenden Fahrzeugkategorien wird neu auf Basis einer detaillierten jährlichen Auswertung der Unfalldaten des BFS vorgenommen. 2) Die Hochrechnung auf das gesamte Unfallgeschehen (inkl. Dunkelziffer) stützt sich neu nicht mehr nur auf die jährlich aktualisierte Gesamtzahl der Opfer, sondern auch auf eine jährlich aktualisierte Verteilung der Unfallopfer auf die Fahrzeugkategorien und Verletzungsschweren. Mit diesen Änderungen fliesst insbesondere auch die Entwicklung der Unfälle mit Elektrovelos stärker in die Unfallkostenberechnung ein, deren Verbreitung seit 2010 kontinuierlich zunimmt.<sup>31</sup>
  - Die Aufteilung der Unfälle im öffentlichen Linienbusverkehr auf die Kategorien «Bus» und «Trolley» wird über einen neu definierten Schlüssel vorgenommen (Basis bildet die Verteilung der verursachten Unfälle und Unfallopfer in den Jahren 2007 bis 2010).<sup>32</sup>
  - Die gleichen Anpassungen wurden rückwirkend auch für die Berechnung der Zeitreihe 2010-2014 übernommen, so dass dort das Unfallgeschehen in Fahrzeugkategorien ebenfalls besser abgebildet werden kann. Bisher wurde die Verteilung der Unfälle auf die Fahrzeugkategorien aus dem detailliert erhobenen «Basisjahr» 2010 übernommen.
- Bei der Ermittlung des **Mengengerüsts im Schienenverkehr** werden bei der Auswertung der Ereignisdatenbank des BAV zwei Anpassungen vorgenommen: Mitberücksichtigt werden neu «Gefährdung» und «offensichtliche Gefährdung», falls dabei Personen verletzt werden oder Sachschäden entstehen.<sup>33</sup> Andererseits werden Personenunfälle ausgeschlossen, die auf «medizinische Ursachen», «Alkohol» oder «Drogen» zurückzuführen sind. Dabei handelt es sich um Personen, die z. B. zufällig im Zug ihren Herzinfarkt erleiden. Dieser Todesfall ist nicht durch den Schienenverkehr verursacht und ist daher nicht zu berücksichtigen. Für 2015 erfolgte die Auswertung nach der alten und neuen Methodik, dabei zeigt sich, dass mit der vorgenommenen Anpassung 4 Leichtverletzte wegfallen.
- Die Daten 2015 enthalten im Schienenverkehr auch weniger Schwerverletzte als früher, da die Ereignisdatenbank überarbeitet wurde, was zur Folge hatte, dass ca. 15% der Schwerverletzten nach bisheriger Betrachtung nur noch als leichtverletzt gelten.<sup>34</sup>

<sup>31</sup> Die Elektrovelo-Unfälle werden nicht separat ausgewiesen, sondern anteilmässig auf die Kategorien «Velo» und «Mofa» verteilt. Die Aufteilung erfolgt auf Basis von Angaben der bfu zum Anteil der Elektrovelo-Unfälle mit Kontrollschild (= Mofa).

<sup>32</sup> Das seit 2011 von der Polizei eingesetzte Unfallprotokoll unterscheidet nicht mehr zwischen «Autobus» und «Trolleybus».

<sup>33</sup> Es stellt sich die Frage, ob «Gefährdung» der richtige Begriff für solche Ereignisse ist.

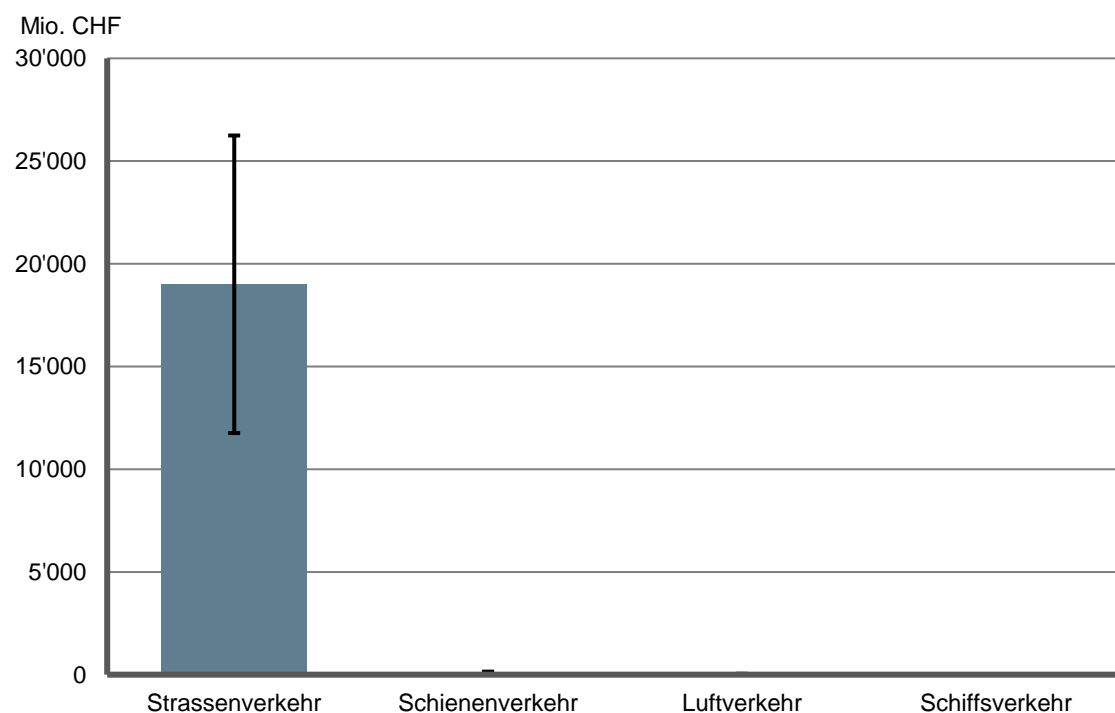
<sup>34</sup> Im Aktualisierungstool mussten zudem einige Anpassungen vorgenommen werden, die aber nicht auf einer Veränderung der Datengrundlagen beruhen: Denn neu erfolgt die jährliche Aktualisierung des Wert- und Mengengerüsts im Vergleich zum neuen

## 13.2. Ergebnisse

### 13.2.1. Soziale Kosten 2015

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die sozialen Unfallkosten des Jahres 2015 im Überblick. Im Strassenverkehr entstehen mit grossem Abstand die meisten sozialen Unfallkosten (19.00 Mrd. CHF oder 99.2%). Durch den Schienenverkehr werden rund 120 Mio. CHF an sozialen Unfallkosten verursacht. Zusätzlich fallen im Schienenverkehr rund 94 Mio. CHF Unfallkosten an, die durch Dritte verursacht wurden. Diese werden jedoch nicht dem Schienenverkehr angelastet. Durch den Luftverkehr werden 34 Mio. CHF an Unfallkosten verursacht. Der Schiffsverkehr schliesslich ist in Bezug auf die Unfallkosten (2.5 Mio. CHF) zu vernachlässigen. 93% der Kosten werden durch den Personenverkehr verursacht.

**Abbildung 73: Überblick über die sozialen Unfallkosten 2015 (inkl. Vertrauensintervall mit VOSL  $\pm 50\%$ )**



Basisjahr 2015 (statt wie bisher 2010). Da viele Datengrundlagen (Art und Höhe der Transferleistungen, Direktzahlungen, Polizeikosten, Kosten der Rechtsschutzversicherungen, Verursacherprinzip etc.) aber nach wie vor aus dem Jahr 2010 stammen, müssen bei der Aktualisierung die Veränderungsraten seit 2010 für die Berechnung übernommen werden (z.B. Nominallohnentwicklung seit 2010) und nicht die Veränderung seit 2015. Dies erforderte einige Anpassungen im Aktualisierungstool.

**Abbildung 74: Überblick über die sozialen Unfallkosten 2015**

Soziale Unfallkosten in Mio. CHF	Personen- verkehr	Güter- verkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	17'778.9	1'224.1	<b>19'003.0</b>	99.2%
Schienenverkehr	32.4	87.3	<b>119.8</b>	0.6%
Luftverkehr	33.1	0.5	<b>33.6</b>	0.2%
Schiffsverkehr	0.2	2.3	<b>2.5</b>	0.0%
<b>Total</b>	<b>17'844.7</b>	<b>1'314.2</b>	<b>19'158.9</b>	100.0%
in % des Totals	93.1%	6.9%	100.0%	

Die Höhe der sozialen Unfallkosten hängt massgeblich von der Höhe des VOSL ab. Wie die folgende Abbildung zeigt, schwanken die sozialen Unfallkosten um  $\pm 38\%$ , wenn der VOSL 50% höher oder tiefer ausfallen würde. Da die immateriellen Kosten im Schienen-, Luft- und Schiffsverkehr einen geringeren Anteil der Kosten ausmachen als im Strassenverkehr, ist die Schwankung bei den drei anderen Verkehrsträgern geringer ( $\pm 23\%$ ,  $\pm 33\%$  bzw.  $\pm 19\%$ ).

**Abbildung 75: Überblick über die sozialen Unfallkosten 2015 – Hauptergebnis und tiefe und hohe Sensitivität mit tiefem bzw. hohem VOSL**

Soziale Unfallkosten in Mio. CHF	Hauptergebnis (Basis-VOSL)	Sensitivität tief (50% tieferer VOSL)	Sensitivität hoch (50% höherer VOSL)
Strassenverkehr	<b>19'003.0</b>	11'761.8	26'244.2
Schienenverkehr	<b>119.8</b>	91.7	147.8
Luftverkehr	<b>33.6</b>	22.6	44.6
Schiffsverkehr	<b>2.5</b>	2.0	3.0
<b>Total</b>	<b>19'158.9</b>	11'878.1	26'439.6

### 13.2.2. Externe Kosten aus Sicht Verkehrsträger 2015

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 (1.72 Mrd. CHF). Auf den Strassengüterverkehr entfällt lediglich ein kleiner Bruchteil von 75 Mio. CHF oder gut 4% dieser Kosten.
- Im Schienenverkehr teilen sich die externen Unfallkosten von 7.2 Mio. CHF zu 5.5 Mio. CHF auf den Güterverkehr und zu 1.7 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 (zu 99.9% durch den Personenverkehr).
- Im Schiffsverkehr sind die externen Unfallkosten mit 0.15 Mio. CHF vernachlässigbar klein.

Abbildung 76: Überblick über die externen Unfallkosten aus Sicht Verkehrsträger 2015

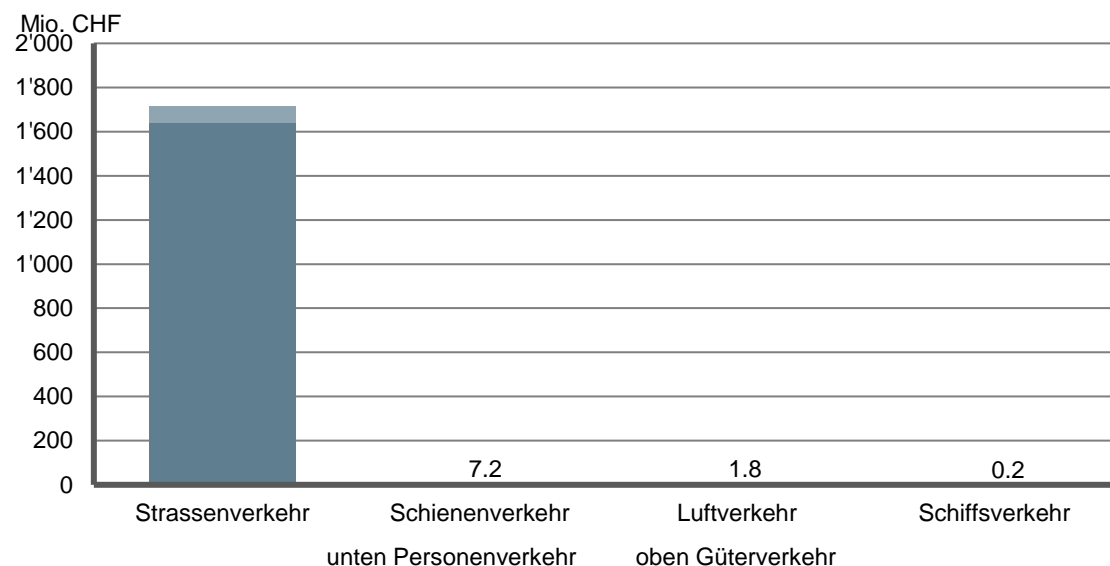


Abbildung 77: Überblick über die externen Unfallkosten aus Sicht Verkehrsträger 2015

Externe Unfallkosten in Mio. CHF Sicht Verkehrsträger	Personen- verkehr	Güter- verkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	1'640.7	75.3	1'716.0	99.5%
Schienenverkehr	1.7	5.5	7.2	0.4%
Luftverkehr	1.8	0.0	1.8	0.1%
Schiffsverkehr	0.0	0.1	0.2	0.0%
<b>Total</b>	<b>1'644.2</b>	<b>80.9</b>	<b>1'725.1</b>	<b>100.0%</b>
in % des Totals	95.3%	4.7%	100.0%	

Da die immateriellen Kosten von den Unfallopfern selbst getragen werden (und allenfalls auf den Unfallverursacher verschoben werden können), hat der VOSL keinen Einfluss auf die Höhe der externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger.

### 13.2.3. Externe Kosten aus Sicht Verkehrsart Schwerverkehr 2015

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. Die Ergebnisse aus Sicht Verkehrsart Schwerverkehr lassen sich wie folgt zusammenfassen (vgl. folgende Abbildung):

- Bei den Gesellschaftswagen sind externe Kosten von 10.1 Mio. CHF festzustellen (Verkehrsträger: 2.9 Mio. CHF / Verkehrsteilnehmende: 36.9 Mio. CHF).



- Durch Lastwagen werden 102.6 Mio. CHF (19.3 / 114.3 Mio. CHF) an externen Kosten verursacht.
- Durch Sattelschlepper werden 23.8 Mio. CHF (6.9 / 28.2 Mio. CHF) an externen Kosten verursacht.

Die relativ kleine Differenz zwischen den externen immateriellen Kosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende und Sicht Verkehrsart in den Kategorien Lastwagen und Sattelschlepper rührt daher, dass durch diese Kategorien ein sehr kleiner Teil der nicht-unfallverursachenden Opfer innerhalb des Schwerverkehrs zu finden ist. Bei den Gesellschaftswagen ist der Anteil der innerhalb des Schwerverkehrs zu findenden nicht-unfallverursachenden Opfer wesentlich grösser (z. B. alle Passagiere).

**Abbildung 78: Überblick über die externen Unfallkosten aus Sicht Verkehrsart Schwerverkehr 2015**

<b>Vergleich der Sichtweisen in Mio. CHF</b>	<b>Gesellschafts- wagen</b>	<b>Lastwagen</b>	<b>Sattelschlepper</b>	<b>Total</b>
Sicht Verkehrsträger	2.9	19.3	6.9	29.1
Sicht Verkehrsteilnehmende	36.9	114.3	28.2	179.4
<b>Sicht Verkehrsart Schwerve</b>	<b>10.1</b>	<b>102.6</b>	<b>23.8</b>	<b>136.5</b>

#### 13.2.4. Externe Kosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende 2015

Aus Sicht Verkehrsteilnehmende sind die sozialen immateriellen Kosten der nicht-unfallverursachenden Opfer als extern zu betrachten. Die übrigen Kostenbestandteile bleiben gegenüber der Sicht Verkehrsträger unverändert – nur die Produktionsausfälle steigen leicht an, weil der nicht mittels Direktzahlungen und Transferleistungen gedeckte Eigenkonsum der Nicht-Unfallverursacher nun ebenfalls extern ist. Dieser ist jedoch im Vergleich zu den immateriellen Kosten klein (0.1% im Strassenverkehr bis 10% im Schienenverkehr).

Die folgende Abbildung gibt eine Übersicht über die Resultate, wobei 98% oder 4.03 Mrd. CHF der externen Kosten auf den Strassenverkehr entfallen. Eine ähnliche deutliche Verteilung findet sich bei Betrachtung des Personen- und Güterverkehrs. Rund 89% oder 3.66 Mrd. CHF der externen Kosten entfallen auf den Personenverkehr, die restlichen 448 Mio. CHF auf den Güterverkehr.

Abbildung 79: Überblick über die externen Unfallkosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende 2015

Externe Unfallkosten in Mio. CHF Sicht Verkehrsteilnehmende	Personen- verkehr	Güter- verkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	3'635.7	396.1	<b>4'031.9</b>	98.0%
Schienenverkehr	13.2	51.2	<b>64.4</b>	1.6%
Luftverkehr	15.3	0.0	<b>15.3</b>	0.4%
Schiffsverkehr	0.2	0.9	<b>1.1</b>	0.0%
<b>Total</b>	<b>3'664.4</b>	<b>448.3</b>	<b>4'112.7</b>	100.0%
in % des Totals	89.1%	10.9%	100.0%	

Der VOSL hat einen grossen Einfluss auf die externen Kosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende, da die immateriellen Kosten der Nicht-Unfallverursachenden über den VOSL bestimmt werden. Wäre der VOSL um 50% tiefer oder höher, so schwanken die Kosten im Strassenverkehr um  $\pm 37\%$ . Im Schienen-, Luft- und Schiffsverkehr ist die Schwankungsbreite mit  $\pm 44\%$  bis  $\pm 47\%$  etwas grösser, da der Anteil der immateriellen Kosten an den gesamten externen Kosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende etwas höher ist als im Strassenverkehr (aufgrund vieler nicht-unfallverursachender Opfer).

Abbildung 80: Überblick über die externen Unfallkosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende 2015 – Hauptergebnis und tiefe und hohe Sensitivität mit tiefem bzw. hohem VOSL

Externe Unfallkosten in Mio. CHF	Hauptergebnis (Basis-VOSL)	Sensitivität tief (50% tieferer VOSL)	Sensitivität hoch (50% höherer VOSL)
Strassenverkehr	<b>4'031.9</b>	2'539.2	5'524.5
Schienenverkehr	<b>64.4</b>	36.3	92.5
Luftverkehr	<b>15.3</b>	8.1	22.5
Schiffsverkehr	<b>1.1</b>	0.6	1.5
<b>Total</b>	<b>4'112.7</b>	2'584.2	5'641.1

### 13.2.5. Vergleich der Ergebnisse 2015 mit bisherigen und überarbeiteten Datengrundlagen

#### a) Soziale Kosten

Die sozialen Unfallkosten steigen aufgrund der neuen Datengrundlagen deutlich an, um rund 8.6 Mrd. CHF oder rund 82%. Der deutlich höhere VOSL führt vor allem im Strassenverkehr zu wesentlich höheren sozialen Kosten.<sup>35</sup> Im Schienen- und Schiffsverkehr sowie weniger ausgeprägt

<sup>35</sup> Die neue Datengrundlage zur Verteilung der Unfallopfer auf die Fahrzeugkategorien führt für das Jahr 2015 vor allem zu einer Verschiebung der Unfallkosten von den Personenwagen und vom Fussverkehr hin zu den Velos, FäG, Lieferwagen und Lastwagen, was auf der Ebene der hier vorgenommenen Gesamtkostenbetrachtung pro Verkehrsträger aber nicht sichtbar wird.

auch im Luftverkehr ist die prozentuale Zunahme geringer, weil bei diesen Verkehrsträgern die unveränderten Sachschäden bedeutender sind und damit die Zunahme des VOSL einen geringeren Einfluss hat. Im Luft-Güterverkehr ist die Zunahme noch kleiner, weil hier fast alle Kosten Sachschäden und damit unabhängig vom höheren VOSL sind.

**Abbildung 81: Vergleich der Ergebnisse 2015 mit bisherigen und überarbeiteten Datengrundlagen: Soziale Unfallkosten**

<b>Ergebnisse 2015 - bisher [Mio. CHF]</b>	<b>Personenverkehr</b>	<b>Güterverkehr</b>	<b>Total</b>
Strassenverkehr	9'847.3	600.3	<b>10'447.6</b>
Schienenverkehr	25.8	53.4	<b>79.1</b>
Luftverkehr	18.5	0.5	<b>19.0</b>
Schiffsverkehr	0.1	1.6	<b>1.7</b>
<b>Total</b>	<b>9'891.8</b>	<b>655.7</b>	<b>10'547.5</b>
<b>Ergebnisse 2015 - überarbeitet [Mio. CHF]</b>	<b>Personenverkehr</b>	<b>Güterverkehr</b>	<b>Total</b>
Strassenverkehr	17'778.9	1'224.1	<b>19'003.0</b>
Schienenverkehr	32.4	87.3	<b>119.8</b>
Luftverkehr	33.1	0.5	<b>33.6</b>
Schiffsverkehr	0.2	2.3	<b>2.5</b>
<b>Total</b>	<b>17'844.7</b>	<b>1'314.2</b>	<b>19'158.9</b>
<b>Veränderung in %</b>	<b>Personenverkehr</b>	<b>Güterverkehr</b>	<b>Total</b>
Strassenverkehr	80.5%	103.9%	<b>81.9%</b>
Schienenverkehr	25.8%	63.7%	<b>51.3%</b>
Luftverkehr	78.6%	2.6%	<b>76.7%</b>
Schiffsverkehr	69.0%	44.4%	<b>46.4%</b>
<b>Total</b>	<b>80.4%</b>	<b>100.4%</b>	<b>81.6%</b>
<b>Veränderung in Mio. CHF</b>	<b>Personenverkehr</b>	<b>Güterverkehr</b>	<b>Total</b>
Strassenverkehr	7'931.6	623.8	<b>8'555.4</b>
Schienenverkehr	6.6	34.0	<b>40.6</b>
Luftverkehr	14.6	0.0	<b>14.6</b>
Schiffsverkehr	0.1	0.7	<b>0.8</b>
<b>Total</b>	<b>7'952.9</b>	<b>658.5</b>	<b>8'611.4</b>

### b) Externe Kosten Sicht Verkehrsträger

Die externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger verändern sich insbesondere im Strassenverkehr nur wenig (+4.8%).

Durch verschiedene Änderungen werden tendenziell nicht-unfallverursachende Opfer stärker gewichtet. Dies führt dazu, dass Fahrzeugkategorien und Verkehrsarten mit vielen nicht-unfallverursachenden Opfern deutlich stärker von den Änderungen betroffen sind. Der Anteil nicht-unfallverursachender Opfer ist im Schienen-, Luft- und Schiffsverkehr wesentlich höher als im Strassenverkehr (insbesondere unter Einbezug der Sport- und Freizeitunfälle auf den 1. bis 3.-Klass-Strassen im Langsamverkehr, die allesamt unfallverursachende Opfer sind). Entsprechend ist die prozentuale Zunahme bei diesen drei Verkehrsträgern höher – wenn auch auf sehr tiefem absoluten Niveau.

**Abbildung 82:** Vergleich der Ergebnisse 2015 mit bisherigen und überarbeiteten Datengrundlagen:  
Externe Unfallkosten Sicht Verkehrsträger

<b>Ergebnisse 2015 - bisher [Mio. CHF]</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	1'573.1	63.8	<b>1'636.9</b>
Schienenverkehr	1.3	4.1	<b>5.4</b>
Luftverkehr	1.6	0.0	<b>1.6</b>
Schiffsverkehr	0.0	0.1	<b>0.1</b>
<b>Total</b>	<b>1'576.0</b>	<b>68.0</b>	<b>1'644.0</b>
<b>Ergebnisse 2015 - überarbeitet [Mio. CHF]</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	1'640.7	75.3	<b>1'716.0</b>
Schienenverkehr	1.7	5.5	<b>7.2</b>
Luftverkehr	1.8	0.0	<b>1.8</b>
Schiffsverkehr	0.0	0.1	<b>0.2</b>
<b>Total</b>	<b>1'644.2</b>	<b>80.9</b>	<b>1'725.1</b>
<b>Veränderung in %</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	4.3%	18.0%	<b>4.8%</b>
Schienenverkehr	22.7%	34.9%	<b>31.9%</b>
Luftverkehr	16.3%	14.3%	<b>16.3%</b>
Schiffsverkehr	60.0%	25.3%	<b>28.1%</b>
<b>Total</b>	<b>4.3%</b>	<b>19.1%</b>	<b>4.9%</b>
<b>Veränderung in Mio. CHF</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	67.6	11.5	<b>79.1</b>
Schienenverkehr	0.3	1.4	<b>1.7</b>
Luftverkehr	0.3	0.0	<b>0.3</b>
Schiffsverkehr	0.0	0.0	<b>0.0</b>
<b>Total</b>	<b>68.2</b>	<b>13.0</b>	<b>81.1</b>

### c) Externe Kosten Sicht Verkehrsteilnehmende

Erst aus Sicht Verkehrsteilnehmende hat der höhere VOSL auch auf die externen Kosten einen Einfluss: Sie nehmen um 80% oder 1.8 Mrd. CHF auf 4.1 Mrd. CHF zu. Auch hier gilt als Haupttreiber für Unterschiede zwischen den Verkehrsträgern der Anteil der nicht-unfallverursachenden Opfer. Dieser ist im Schienen-, Luft- und Schiffsverkehr wie erwähnt deutlich höher als im Strassenverkehr.

**Abbildung 83:** Vergleich der Ergebnisse 2015 mit bisherigen und überarbeiteten Datengrundlagen:  
Externe Unfallkosten Sicht Verkehrsteilnehmende

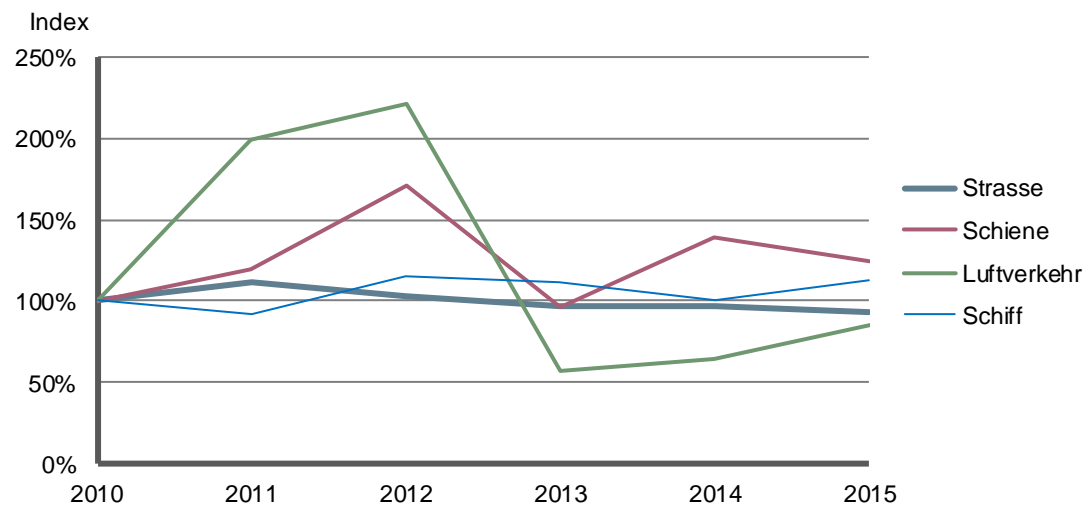
<b>Ergebnisse 2015 - bisher [Mio. CHF]</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	2'119.1	130.9	<b>2'250.0</b>
Schienenverkehr	5.8	18.7	<b>24.5</b>
Luftverkehr	6.5	0.0	<b>6.5</b>
Schiffsverkehr	0.1	0.4	<b>0.4</b>
<b>Total</b>	<b>2'131.5</b>	<b>149.9</b>	<b>2'281.4</b>
<b>Ergebnisse 2015 - überarbeitet [Mio. CHF]</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	3'635.7	396.1	<b>4'031.9</b>
Schienenverkehr	13.2	51.2	<b>64.4</b>
Luftverkehr	15.3	0.0	<b>15.3</b>
Schiffsverkehr	0.2	0.9	<b>1.1</b>
<b>Total</b>	<b>3'664.4</b>	<b>448.3</b>	<b>4'112.7</b>
<b>Veränderung in %</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	71.6%	202.6%	<b>79.2%</b>
Schienenverkehr	127.4%	174.5%	<b>163.3%</b>
Luftverkehr	134.9%	145.2%	<b>134.9%</b>
Schiffsverkehr	147.7%	147.1%	<b>147.2%</b>
<b>Total</b>	<b>71.9%</b>	<b>199.0%</b>	<b>80.3%</b>
<b>Veränderung in Mio. CHF</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	1'516.7	265.2	<b>1'781.9</b>
Schienenverkehr	7.4	32.6	<b>40.0</b>
Luftverkehr	8.8	0.0	<b>8.8</b>
Schiffsverkehr	0.1	0.5	<b>0.6</b>
<b>Total</b>	<b>1'533.0</b>	<b>298.3</b>	<b>1'831.3</b>

#### 13.2.6. Zeitreihe 2010-2015

Die Unfallkosten schwanken mit Abstand am deutlichsten von allen Kostenbereichen, dies insbesondere bei den zwei Verkehrsträgern Schiene und Luft. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei diesen beiden Verkehrsträgern Unfälle selten sind und ein grösseres Ereignis oder mehrere

gravierende Unfälle zu starken Ausschlägen gegen oben führen können. Ereignisarme Jahre hingegen führen zu deutlich reduzierten Kosten. Im klar dominierenden Strassenverkehr ist ab 2011 ein fallender Trend zu beobachten (von 2'074 auf 1'725 Mio. CHF). Dies liegt an der generellen Abnahme der Zahl der verursachten Unfallopfer. Die festgestellten Verschiebungen zwischen den Fahrzeugkategorien (weniger verursachte Unfälle im motorisierten und öffentlichen Personenverkehr und im Güterverkehr, mehr im Langsamverkehr) fallen dabei für die Gesamtkosten nicht ins Gewicht.

**Abbildung 84:** Indexierte Entwicklung der externen Unfallkosten aus Sicht Verkehrsträger 2010 bis 2015 nach Verkehrsträgern



**Abbildung 85:** Entwicklung der externen Unfallkosten aus Sicht Verkehrsträger 2010 bis 2015 nach Verkehrsträgern

Unfälle [in Mio. CHF]	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Strasse	1'780.4	1'973.3	1'821.0	1'729.5	1'726.5	1'640.7
Schiene	2.47	3.00	1.99	2.91	4.46	1.65
Luftverkehr	2.10	4.26	4.17	1.22	1.37	1.84
Schiff	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01
<b>Total Personenverkehr</b>	<b>1'785.0</b>	<b>1'980.6</b>	<b>1'827.1</b>	<b>1'733.6</b>	<b>1'732.3</b>	<b>1'644.2</b>
Strasse	70.5	89.6	87.2	73.3	72.1	75.3
Schiene	3.28	3.84	7.83	2.63	3.51	5.52
Luftverkehr	0.05	0.03	0.59	0.00	0.01	0.00
Schiff	0.12	0.11	0.14	0.13	0.12	0.14
<b>Total Güterverkehr</b>	<b>74.0</b>	<b>93.6</b>	<b>95.7</b>	<b>76.1</b>	<b>75.7</b>	<b>80.9</b>
<b>Gesamttotal Unfälle</b>	<b>1'858.9</b>	<b>2'074.2</b>	<b>1'922.9</b>	<b>1'809.7</b>	<b>1'808.1</b>	<b>1'725.1</b>

## 14. Zusatzkosten in städtischen Räumen

### 14.1. Anpassung von Methodik und Datengrundlagen

Im Folgenden werden die Anpassungen gegenüber der Berechnung für das Jahr 2010 (Ecoplan, INFRAS 2014) kurz erläutert. Die grundsätzliche Methodik wird in Ecoplan / INFRAS (2014) beschrieben – hier werden nur die Anpassungen gegenüber dem Bericht 2014 kurz dargestellt. Für eine detaillierte Erläuterung der Methodik verweisen wir auf den Bericht aus dem Jahr 2014.

#### 14.1.1. Methodik

Es wurden keine Anpassungen an der grundlegenden Methodik vorgenommen, da diese immer noch valide ist.

#### 14.1.2. Datengrundlagen

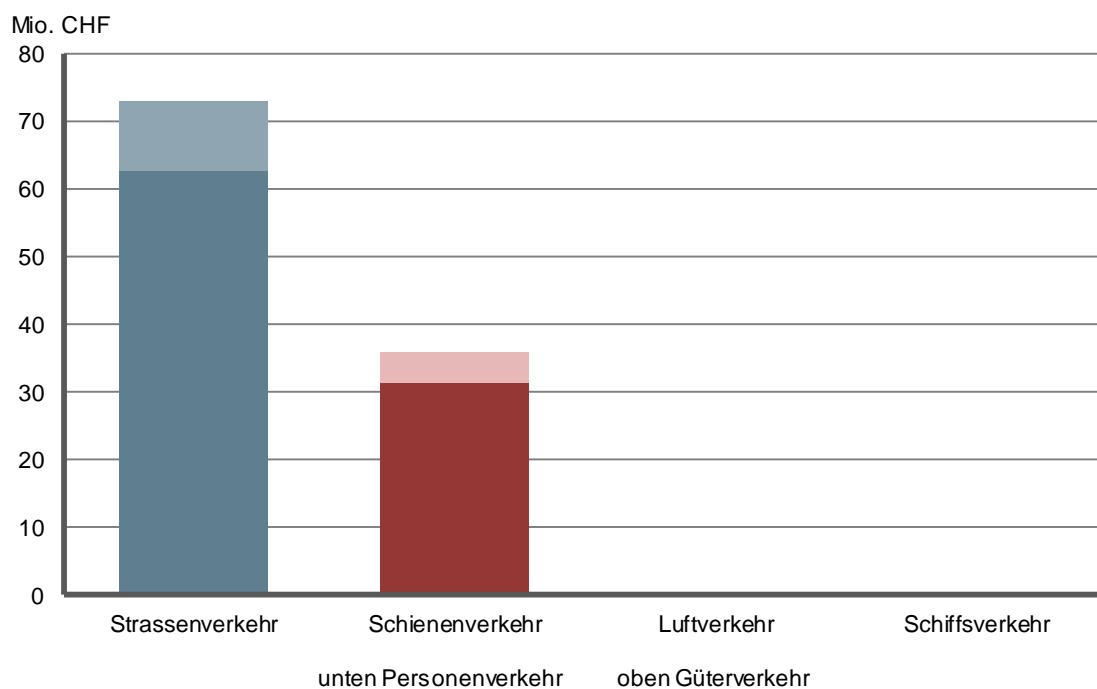
Es wurden keine Anpassungen an den Datengrundlagen vorgenommen, da diese immer noch valide sind. Die jährlichen Fortschreibungen wurden natürlich für das Jahr 2015 getätigt.

## 14.2. Ergebnisse

### 14.2.1. Externe Kosten 2015 aus Sicht Verkehrsträger

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die gesamten externen Zusatzkosten in städtischen Räumen im Jahr 2015 nach Verkehrsträgern. Aus Sicht Verkehrsträger betrugen die externen Zusatzkosten in städtischen Räumen 2015 **109 Mio. CHF**. Davon verursachte der Strassenverkehr gut zwei Drittel bzw. 73 Mio. CHF, der Schienenverkehr ein Drittel (36 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 86:** Überblick über die externen Kosten in städtischen Räumen 2015 (Trenneffekte, Beeinträchtigung Ortsbild), Sicht Verkehrsträger



**Abbildung 87:** Überblick über die externen Kosten in städtischen Räumen 2015 (Trenneffekte, Beeinträchtigung Ortsbild), Sicht Verkehrsträger

Zusatzkosten in städtischen Räumen in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	62.7	10.3	<b>73.0</b>	67.0%
Schienenverkehr	31.4	4.6	<b>36.0</b>	33.0%
Luftverkehr	-	-	-	0.0%
Schiffsverkehr	-	-	-	0.0%
<b>Total</b>	<b>94.1</b>	<b>14.9</b>	<b>109.0</b>	100.0%
in % des Totals	86.4%	13.6%	100.0%	



### 14.2.2. Externe Kosten 2015 aus Sicht Verkehrsteilnehmende und Verkehrsart

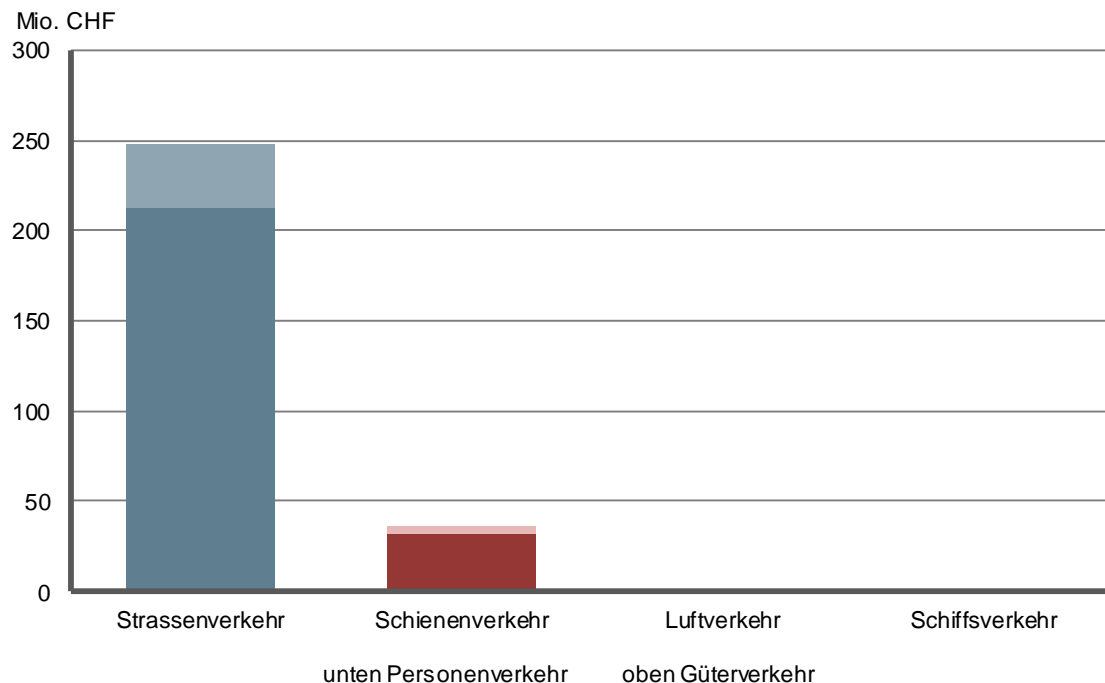
#### Schwerverkehr sowie soziale Kosten

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 Wirkungen 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>36</sup>. Sie betragen insgesamt 284 Mio. CHF, wobei 248 Mio. CHF oder rund 87% auf den Strassenverkehr entfallen.

Der Hauptgrund dafür ist, dass beim Strassenverkehr die Kosten durch Trenneffekte im Umfang von 175 Mio. CHF dazu kommen. Sie sind damit höher als die Kosten durch die Beeinträchtigung des Ortsbildes und der Aufenthaltsqualität.

**Abbildung 88: Überblick über die externen Kosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende und die sozialen Kosten in städtischen Räumen 2015**



<sup>36</sup> Die externen Kosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende entsprechen gleichzeitig den sozialen Kosten.

**Abbildung 89: Überblick über die externen Kosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende und die sozialen Kosten in städtischen Räumen 2015**

<b>Zusatzkosten in städtischen Räumen in Mio. CHF</b>	<b>Personen- verkehr</b>	<b>Güter- verkehr</b>	<b>Total</b>	<b>in % des Totals</b>
Strassenverkehr	212.8	35.0	<b>247.8</b>	87.3%
Schienenverkehr	31.4	4.6	<b>36.0</b>	12.7%
Luftverkehr	-	-	-	0.0%
Schiffsverkehr	-	-	-	0.0%
<b>Total</b>	<b>244.3</b>	<b>39.6</b>	<b>283.8</b>	100.0%
in % des Totals	86.1%	13.9%	100.0%	

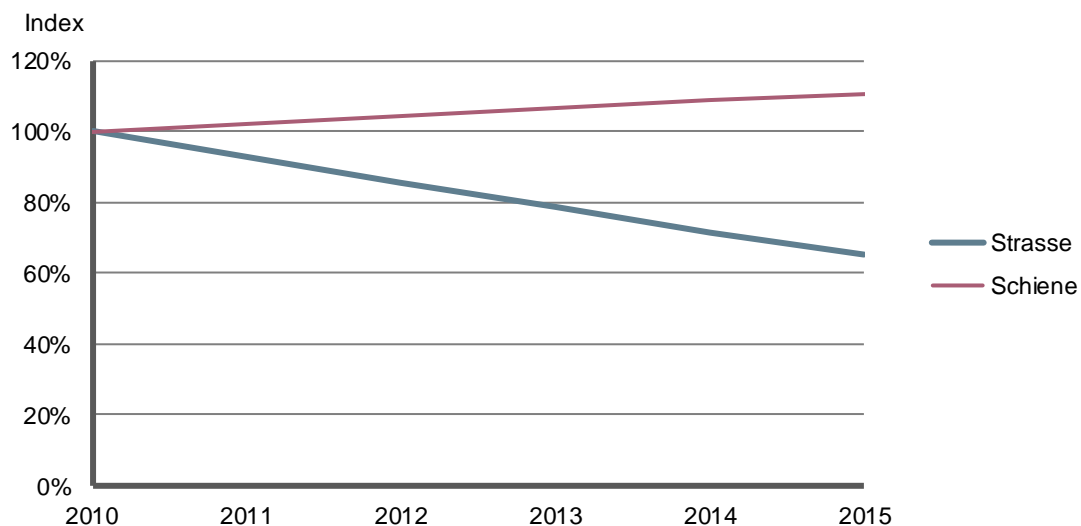
#### 14.2.3. Vergleich der Ergebnisse 2015 mit bisherigen und überarbeiteten Datengrundlagen

Es sind keine neuen Datengrundlagen in die Berechnungen eingeflossen, daher gibt es keinen Vergleich zwischen der bisherigen und der überarbeiteten Version, resp. es gibt keine Unterschiede bei den Ergebnissen.

#### 14.2.4. Zeitreihe 2010-2015

Die Zusatzkosten in städtischen Räumen sind zwischen 2010 und 2015 insgesamt um 24% von 144 Mio. CHF auf 109 Mio. CHF gesunken. Der Hauptgrund für diese Reduktion liegt darin, dass die Kosten infolge Beeinträchtigung von Ortsbild und Aufenthaltsqualität aufgrund zusätzlicher Aufwertungsmassnahmen (im Rahmen von Projekten der Agglomerationsprogramme) zurückgegangen sind. Während die Kosten des Schienenverkehrs um 11% gestiegen sind (gestiegene Kosten der Trenneffekte), sind diejenigen des Strassenverkehrs um 35% gesunken.

**Abbildung 90: Indexierte Entwicklung der externen Zusatzkosten in städtischen Räumen 2010 bis 2015 nach Verkehrsträgern**



**Abbildung 91: Entwicklung der externen Zusatzkosten in städtischen Räumen 2010 bis 2015 nach Verkehrsträgern**

Städtische Räume [in Mio. CHF]	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Strasse	96.4	89.3	82.5	75.7	68.8	62.7
Schiene	28.3	29.0	29.8	30.2	30.9	31.4
Luftverkehr	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Schiff	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Total Personenverkehr</b>	<b>124.7</b>	<b>118.3</b>	<b>112.3</b>	<b>105.9</b>	<b>99.7</b>	<b>94.1</b>
Strasse	15.5	14.6	13.4	12.3	11.3	10.3
Schiene	4.2	4.3	4.2	4.4	4.5	4.6
Luftverkehr	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Schiff	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Total Güterverkehr</b>	<b>19.6</b>	<b>18.8</b>	<b>17.6</b>	<b>16.7</b>	<b>15.8</b>	<b>14.9</b>
<b>Gesamttotal Städtische Räume</b>	<b>144.3</b>	<b>137.1</b>	<b>129.9</b>	<b>122.7</b>	<b>115.5</b>	<b>109.0</b>

## 15. Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr

### 15.1. Anpassung von Methodik und Datengrundlagen

Im Folgenden werden die Anpassungen gegenüber der Berechnung für das Jahr 2010 (Ecoplan, INFRAS 2014) kurz erläutert. Die grundsätzliche Methodik wird in Ecoplan / INFRAS (2014) beschrieben – hier werden nur die Anpassungen gegenüber dem Bericht 2014 kurz dargestellt. Für eine detaillierte Erläuterung der Methodik verweisen wir auf den Bericht aus dem Jahr 2014 und den Bericht «Integration des Langsamverkehrs in die Transportrechnung» (Ecoplan, ISPMZ Uni ZH, 2013).

#### 15.1.1. Methodik

Es wurden keine Anpassungen an der grundlegenden Methodik vorgenommen, da diese immer noch valide ist. Die Anpassungen betreffen die Datengrundlagen zum VOSL, zu den Dosis-Wirkungs-Beziehungen und zum Mobilitätsverhalten (neu Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015) sowie die Aktualisierung einiger Berechnungsparameter auf den neusten Stand des Wissens. Diese Anpassungen werden im Folgenden erläutert.

#### 15.1.2. Datengrundlagen

Die wichtigste Anpassung ist die Übernahme des **neuen, höheren VOSL bzw. VLYL** (siehe Kapitel 31). Der VLYL beträgt neu 235'000 CHF (zwischen 117'000 und 352'000 CHF). Wie vorne erläutert bedingt dies auch, dass neu der **Brutto- statt Nettoproduktionsausfall** verwendet wird.

Zudem werden – wie in Kapitel 2.2.4 beschrieben – die pkm im Langsamverkehr mit den Daten des neuen Mikrozensus 2015 angepasst (Zunahme im Veloverkehr um 16%, Abnahme im Fussverkehr um 0.5%).

#### **Dosis-Wirkungs-Beziehungen zwischen Langsamverkehr und Gesundheitsgrössen**

Die aus dem Langsamverkehrs-Mobilitätsverhalten resultierenden Gesundheitswirkungen werden mittels etablierter Effektschätzer aus der epidemiologischen Literatur berechnet. Dabei wird neu auf die von Götschi et al. (2017) verwendeten Werte zurückgegriffen, welche aber weitgehend auf früheren Arbeiten von Woodcock et al. (2009) basieren, die den Berechnungen für das Jahr 2010 (Ecoplan, INFRAS 2014) zugrunde lagen.

Die Anpassungen führen zu leicht veränderten Dosis-Wirkungs-Beziehungen, einzig der Effekt auf Depressionen wird in der neuen Berechnung deutlich schwächer eingestuft (d.h. geringere Nutzen durch LV – siehe folgende Tabelle).

**Abbildung 92:** Effektschätzer für die Wirkung der körperlichen Aktivität auf ausgewählte Krankheitsbilder (relatives Risiko (RR) pro 20 METh / Woche<sup>1</sup> im Vergleich zu 0 METh / Woche)

Gesundheitsgrösse	2010	2015
Sterberisiko	-21,9%	-22,9%
Herz-Kreislauf	-20,0%	-21,5%
Kolonkrebs	-15,4%	-16,4%
Brustkrebs	-9,9%	-9,1%
Demenz	-25,2%	-26,8%
Depression	-21,8%	-8,7%
Diabetes	-18,7%	-22,6%

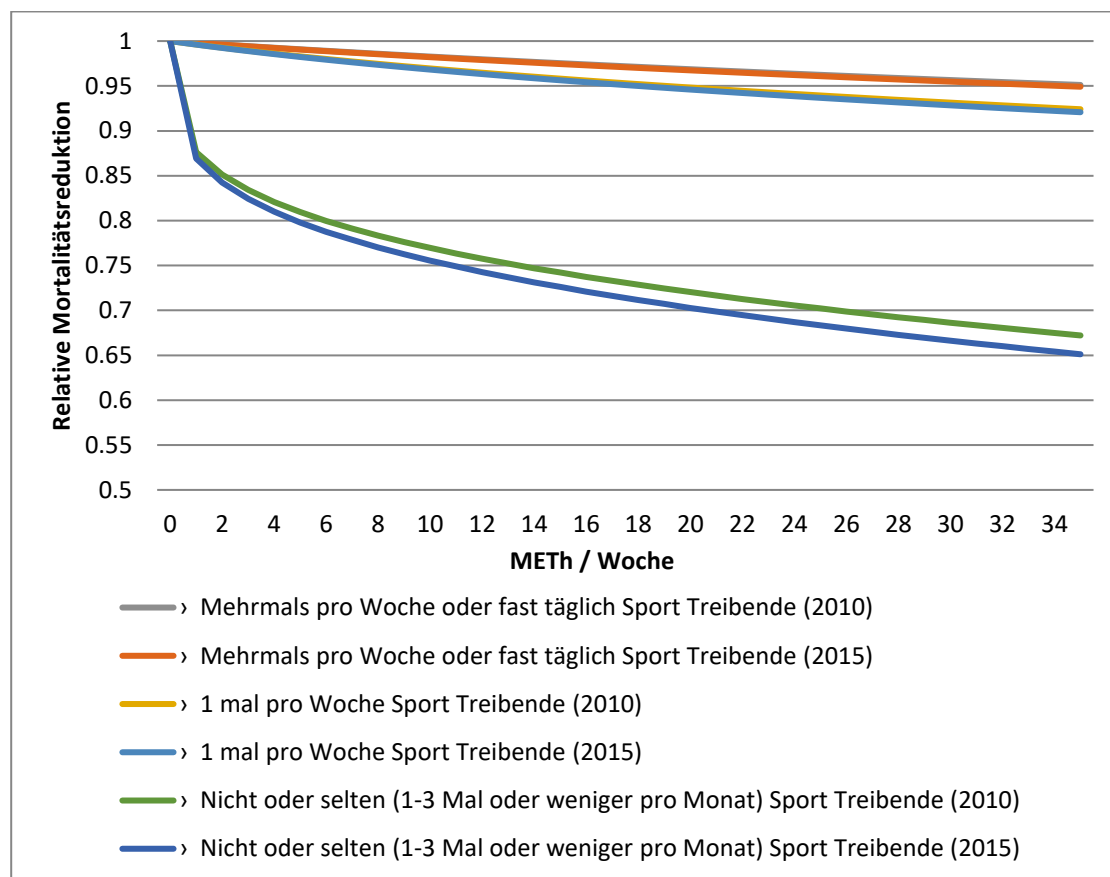
<sup>1</sup> 20 METh / Woche entspricht in etwa der durchschnittlichen Langsamverkehrsdosis der 25-29-jährigen Männer, bzw. täglich 30 Minuten zügigem Gehen (6,5km/h). Das metabolische Äquivalent (engl. metabolic equivalent of task; MET) wird verwendet, um den Energieverbrauch verschiedener Aktivitäten zu vergleichen. Es ist die Beschreibung des Stoffwechselumsatzes eines Menschen bezogen auf den Ruheumsatz im Verhältnis zu seinem Körpergewicht. Beispielsweise wird für Velofahren unter 16km/h eine Intensität von 4 MET angenommen, während für Mountainbiking bergauf der Standardwert bei 16 MET liegt. Der Ruheumsatz entspricht 1 MET.

### Berücksichtigung der Aktivität aus nicht Langsamverkehrs-Aktivitäten (Sport)

Die Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr hängen massgeblich davon ab, wie viel körperliche Aktivität die Langsamverkehrs-Teilnehmenden in anderen Bereichen absolvieren: Der Gesundheitsnutzen der Bewegung im Langsamverkehr ist für Personen, die sonst kaum aktiv sind, ca. 10-mal grösser als für Personen, die mehrmals pro Woche Sport treiben (vgl. Abbildung 93). In der Gesundheitsnutzenberechnung wird deshalb Sport als Indikator für nicht-transportbezogene Bewegung verwendet und die Bevölkerung in drei Gruppen aufgeteilt: Personen, die nie oder weniger als 3-mal pro Monat Sport treiben, Personen, die sich einmal pro Woche sportlich betätigen und Personen, die mehrmals pro Woche Sport treiben.

Diese Berechnungen wurden mit Daten der Schweizerischen Gesundheitsbefragung 2007 durchgeführt, wobei die Kategorisierung mit eigens entwickelten Kriterien vorgenommen wurde. Mittlerweile liegen Daten und standardisierte Auswertungstabellen (BFS) für die Gesundheitsbefragung 2012 vor (die Gesundheitsbefragung 2017 wird erst 2018 publiziert).

**Abbildung 93:** Effekt der Aktivität im Langsamverkehr auf die Sterblichkeit gemäss bisheriger (2010) bzw. neuer (2015) Belastungs-Wirkungs-Beziehung abhängig vom Aktivitätsniveau im Sport



METH = MET-Stunden, wobei MET = metabolic equivalent of task) – vgl. Legende zu Abbildung 92.

Es werden neu die aktuellen Daten des BFS verwendet:<sup>37</sup>

	bisher (2010)	neu (2015)
▪ Sportlich aktiv: Mehrmals pro Woche	34.3%	26.1%
▪ Sportlich teilaktiv: mindestens 1-mal pro Woche	17.9%	27.4%
▪ Sportlich inaktiv: nie oder nur selten	47.8%	45.5%

Aufgrund der viel geringeren Auswirkungen des Langsamverkehrs bei der aktiven Bevölkerung (siehe Abbildung 93) wirkt sich in erster Linie der leichte Rückgang bei den Inaktiven vermin-  
dernd auf die Gesundheitsnutzen in der Berechnung 2015 aus. Gesamthaft nimmt der Nutzen  
durch diese neuen Datengrundlagen um einige Prozentpunkte ab.

#### Weitere neue Datengrundlagen

<sup>37</sup> BFS (2012), Ausmass der wöchentlich ausgeübten sportlichen Aktivität.

Auch die medizinischen Heilungskosten von Demenz und Depression werden mit neuen Daten des BFS aktualisiert (neu 44'700 bzw. 41'700 CHF pro Hospitalisation – bisher 50'200 bzw. 40'000 CHF im Jahr 2015).

Zudem haben diverse Anpassungen, die in Kapitel 2.2.4 beschrieben werden, Auswirkungen auf die Ergebnisse für die Gesundheitsnutzen (wie z. B. Sterbewahrscheinlichkeiten nach 1-Jahres-Altersklassen und Geschlecht, Verteilung der Todesfälle nach Todesursachen, Erwerbstätige 2015 nach 1-Jahres-Altersklassen und Geschlecht, Häufigkeit Krankheitsbilder pro 100'000 Einwohner, Aufteilung Spitalkosten auf Kostenträger).

## 15.2. Ergebnisse

### 15.2.1. Soziale Nutzen 2015

Wie in den nachstehenden Abbildungen dargestellt, ergeben sich im Langsamverkehr soziale Gesundheitsnutzen von 30.0 Mrd. CHF. Davon entfällt ein Drittel (33.2%) auf den Veloverkehr und zwei Drittel auf den Fussverkehr (für fäG liegen keine Datengrundlagen vor).

**Abbildung 94:** Überblick über die sozialen Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr 2015 (inkl. Vertrauensintervall mit VOSL  $\pm 50\%$ )

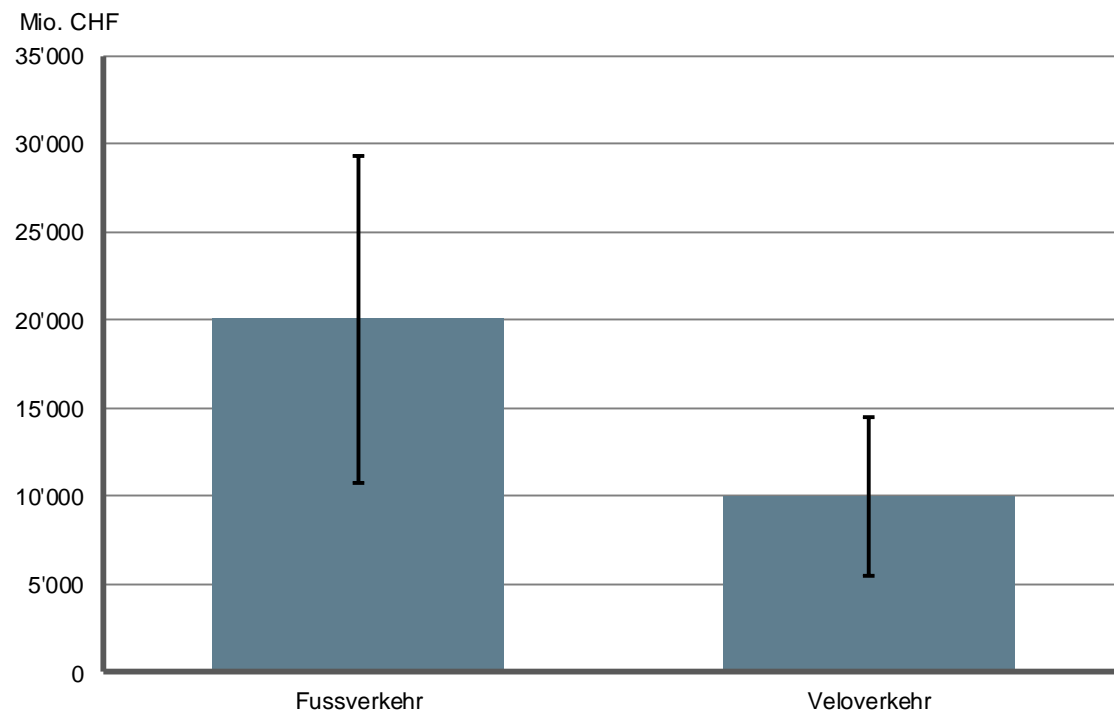


Abbildung 95: Überblick über die sozialen Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr 2015

Gesundheitsnutzen Langsamverkehr in Mio. CHF	Personen- verkehr	Güter- verkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	30'012.9	-	30'012.9	100.0%
Schienenverkehr	-	-	-	0.0%
Luftverkehr	-	-	-	0.0%
Schiffsverkehr	-	-	-	0.0%
<b>Total</b>	30'012.9	-	30'012.9	100.0%
in % des Totals	100.0%	0.0%	100.0%	

Auch bei den Gesundheitsnutzen des Langsamverkehrs spielt der VOSL eine bedeutende Rolle. Würde der VOSL 50% höher oder tiefer liegen, so würden die vermiedenen Gesundheitskosten um 46% zu- oder abnehmen. Dies hängt damit zusammen, dass insgesamt 97% der Nutzen auf die gewonnenen Lebensjahre entfallen und nur 3% auf die Krankheitsfälle.

Abbildung 96: Überblick über die sozialen Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr 2015 – Hauptergebnis und tiefe und hohe Sensitivität mit tiefem bzw. hohem VOSL

Gesundheitsnutzen Langsamverkehr in Mio. CHF	Hauptergebnis (Basis-VOSL)	Sensitivität tief (50% tieferer VOSL)	Sensitivität hoch (50% höherer VOSL)
Strassenverkehr	30'012.9	16'184.9	43'841.0
Schienenverkehr	-	-	-
Luftverkehr	-	-	-
Schiffsverkehr	-	-	-
<b>Total</b>	30'012.9	16'184.9	43'841.0

### 15.2.2. Externe Nutzen 2015

Die externen Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr sind für alle Sichtweisen genau gleich hoch (Sicht Verkehrsträger und Sicht Verkehrsteilnehmende). Sie betragen 1.35 Mrd. CHF (vgl. folgende Abbildung). Wie bei den sozialen Nutzen entfällt ein Drittel (33.6% oder 452 Mio. CHF) davon auf die Velos und zwei Drittel (893 Mio. CHF) auf die Fussgänger. Damit sind insgesamt 4.5% der sozialen Nutzen extern (100% bei medizinischen Heilungskosten und Wiederbesetzungskosten, 56% bei den Produktionsausfällen und 0% bei den immateriellen Kosten – da die immateriellen Kosten jedoch 93% der sozialen Kosten ausmachen, ist der Anteil der externen an den sozialen Kosten entsprechend tief). Da die immateriellen Kosten vollständig intern sind, hat der VOSL keine Auswirkungen auf die Höhe der externen Nutzen im Langsamverkehr.



Abbildung 97: Überblick über die externen Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr 2015

<b>Gesundheitsnutzen Langsamverkehr in Mio. CHF</b>	Personen- verkehr	Güter- verkehr	<b>Total</b>	in % des Totals
Strassenverkehr	1'345.1	-	1'345.1	100.0%
Schienenverkehr	-	-	-	0.0%
Luftverkehr	-	-	-	0.0%
Schiffsverkehr	-	-	-	0.0%
<b>Total</b>	1'345.1	-	1'345.1	100.0%
in % des Totals	100.0%	0.0%	100.0%	

### 15.2.3. Vergleich der Ergebnisse 2015 mit bisherigen und überarbeiteten Daten- grundlagen

Im Vergleich mit den bisherigen Resultaten nehmen die sozialen Nutzen aufgrund des höheren VOSL deutlich zu, so dass sich der Nutzen gesamthaft mehr als verdoppelt (+115%), da der VLYL (value of life year lost) um 126% zunimmt.

Abbildung 98: Vergleich der Ergebnisse 2015 mit bisherigen und überarbeiteten Datengrundlagen:  
Gesundheitsnutzen Langsamverkehr in Mio. CHF

<b>Ergebnisse 2015 - bisher [Mio. CHF]</b>	<b>Soziale Nutzen</b>			<b>Externe Nutzen</b>		
	Velo	Fuss	Total	Velo	Fuss	Total
Gewonnene Lebensjahre	4'009.6	9'071.9	<b>13'081.5</b>	292.4	666.2	<b>958.6</b>
Verhinderte Krankheitsfälle	276.1	605.4	<b>881.5</b>	169.2	363.0	<b>532.2</b>
<b>Total</b>	<b>4'285.7</b>	<b>9'677.3</b>	<b>13'963.0</b>	<b>461.6</b>	<b>1'029.2</b>	<b>1'490.8</b>
<b>Ergebnisse 2015 - überarbeitet [Mio. CHF]</b>	Velo	Fuss	Total	Velo	Fuss	Total
Gewonnene Lebensjahre	9'687.4	19'529.5	<b>29'216.9</b>	314.5	635.1	<b>949.6</b>
Verhinderte Krankheitsfälle	276.0	520.0	<b>796.0</b>	137.3	258.2	<b>395.5</b>
<b>Total</b>	<b>9'963.5</b>	<b>20'049.5</b>	<b>30'012.9</b>	<b>451.8</b>	<b>893.3</b>	<b>1'345.1</b>
<b>Veränderung in %</b>	Velo	Fuss	Total	Velo	Fuss	Total
Gewonnene Lebensjahre	141.6%	115.3%	<b>123.3%</b>	7.5%	-4.7%	<b>-0.9%</b>
Verhinderte Krankheitsfälle	0.0%	-14.1%	<b>-9.7%</b>	-18.8%	-28.9%	<b>-25.7%</b>
<b>Total</b>	<b>132.5%</b>	<b>107.2%</b>	<b>114.9%</b>	<b>-2.1%</b>	<b>-13.2%</b>	<b>-9.8%</b>
<b>Veränderung in Mio. CHF</b>	Velo	Fuss	Total	Velo	Fuss	Total
Gewonnene Lebensjahre	5'677.8	10'457.6	<b>16'135.5</b>	22.1	-31.0	<b>-9.0</b>
Verhinderte Krankheitsfälle	-0.1	-85.4	<b>-85.5</b>	-31.9	-104.9	<b>-136.7</b>
<b>Total</b>	<b>5'677.7</b>	<b>10'372.2</b>	<b>16'050.0</b>	<b>-9.8</b>	<b>-135.9</b>	<b>-145.7</b>

Aufgrund der neuen Grundlagedaten aus dem Mikrozensus zu den pkm im Langsamverkehr gibt es zudem eine Zunahme der Gesundheitsnutzen im Veloverkehr um 16%. Demgegenüber

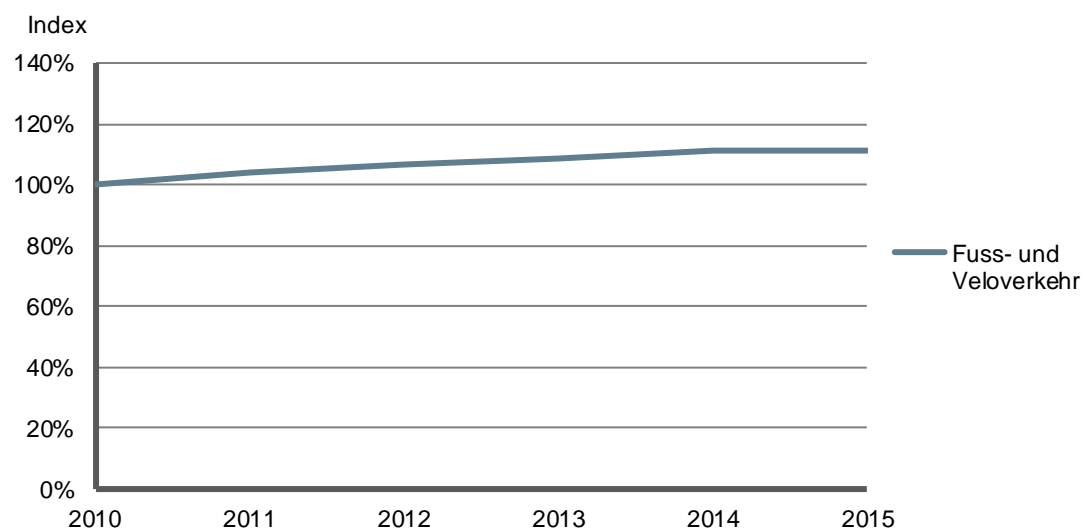
ergibt sich aus den neuen Daten zum Sport eine Reduktion der Ergebnisse um einige Prozentpunkte. Ebenfalls eine Reduktion ist bei den Krankheitskosten zu verzeichnen – als Folge der neuen Belastungs-Wirkungs-Beziehungen.

Bei den externen Kosten fallen die Veränderungen aufgrund des neuen VOSL weg. Somit nehmen die externen Nutzen um 10% ab, was vor allem auf die verhinderten Krankheitsfälle zurückzuführen ist, die sich um 26% vermindern.

#### 15.2.4. Zeitreihe 2010-2015

Die externen Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr nehmen zwischen 2010 und 2015 um insgesamt 11% oder 134 Mio. CHF zu. Dies ist auf den wachsenden Fuss- und Veloverkehr sowie die wachsende Bevölkerung zurückzuführen.

**Abbildung 99: Indexierte Entwicklung der Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr 2010 bis 2015**



**Abbildung 100: Entwicklung der Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr 2010 bis 2015**

Gesundheitsnutzen LV [in Mio. CHF]	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Fuss- und Veloverkehr	1'211.4	1'263.1	1'288.4	1'314.9	1'347.0	1'345.1

## 16. Übersicht über die Ergebnisse

In diesem Schlusskapitel werden die Ergebnisse der 13 untersuchten Kosten- und Nutzenbereiche 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. Die Ergebnisse für das Jahr 2015 mit den alten und neuen Datengrundlagen werden einander in Kapitel 16.6 gegenübergestellt. In Kapitel 16.7 werden die Ergebnisse für die Jahre 2010 bis 2015 dargestellt. Schliesslich werden in Kapitel 16.8 noch die Unsicherheiten der Berechnungen thematisiert.

### 16.1. Externe Effekte aus Sicht Verkehrsträger

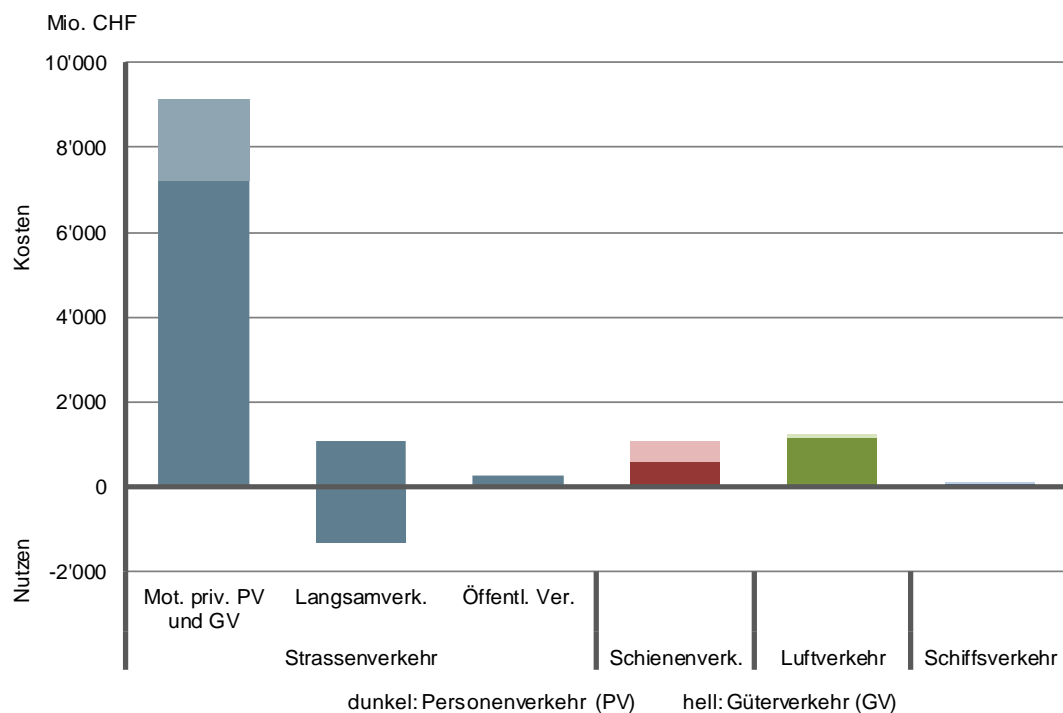
#### 16.1.1. Überblick Gesamtverkehr

Die Abbildung 101 und Abbildung 102 zeigen, dass der Verkehr aus Sicht Verkehrsträger insgesamt externe Kosten von 12'830 Mio. CHF verursacht (wobei alle Internalisierungsbeiträge inkl. eines Teiles der LSVA bereits abgezogen wurden, vgl. hierzu den nachfolgenden Exkurs). Der Strassenverkehr verursacht den Grossteil dieser Kosten (81% oder 10'460 Mio. CHF – davon motorisierter privater Personenverkehr 7'220 Mio. CHF, Güterverkehr 1'910 Mio. CHF (ein Teil der LSVA wurde als Internalisierung angerechnet), Langsamverkehr 1'070 Mio. CHF und öffentlicher Strassenverkehr 260 Mio. CHF). An zweiter Stelle folgt der Luftverkehr mit 10% oder 1'230 Mio. CHF. Der Schienenverkehr verursacht Kosten von 1'050 Mio. CHF (oder 8%). Der Schiffsverkehr weist mit einem Betrag von 92 Mio. CHF (0.7%) vergleichsweise geringe externe Kosten aus. Im Langsamverkehr fallen ausserdem Gesundheits**nutzen** von 1'350 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 80% der externen Kosten durch den Personenverkehr verursacht und 20% durch den Güterverkehr. Dies entspricht beinahe dem Ergebnis im Strassenverkehr (82% Personenverkehr). Im Luftverkehr ist der Anteil des Personenverkehrs mit 93% höher, im Schienen- und Schiffsverkehr hingegen mit 56% bzw. 39% tiefer. Die Gesundheitsnutzen fallen alle im Personenverkehr an.

**Abbildung 101: Überblick über die externen Effekte aus Sicht Verkehrsträger 2015**

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 Aus-  
landdestination und umgekehrt.**Abbildung 102: Überblick über die externen Effekte aus Sicht Verkehrsträger 2015**

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

Externe Kosten in Mio. CHF	Personen- verkehr	Güter- verkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	8'546.4	1'910.5	<b>10'456.9</b>	81.5%
Schienenverkehr	590.6	462.5	<b>1'053.1</b>	8.2%
Luftverkehr	1'141.9	89.5	<b>1'231.5</b>	9.6%
Schiffsverkehr	36.3	55.8	<b>92.0</b>	0.7%
<b>Total externe Kosten</b>	<b>10'315.2</b>	<b>2'518.3</b>	<b>12'833.5</b>	100.0%
in % des Totals	80.4%	19.6%	100.0%	
<b>Gesundheitsnutzen Langsamverkehr</b>	<b>-1'345.1</b>		<b>-1'345.1</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>38</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>39</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 2015 von 1'457 Mio. CHF. Davon werden einerseits 507 Mio. CHF abgezogen,<sup>40</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 abziehen (gemäss Bundesgerichtsurteil): Diese betragen 444 Mio. CHF.<sup>41</sup> Damit verbleiben 506 Mio. CHF, die als Internalisierungsbeitrag zu berücksichtigen sind.<sup>42</sup>
  - Dieser Betrag wird nach folgendem Verfahren auf die drei Fahrzeugkategorien aufgeteilt: Den Gesellschaftswagen wird ein Anteil von 2.03% zugerechnet (10 Mio. CHF).<sup>43</sup> Die übrigen Einnahmen werden basierend auf einer Spezialauswertung der LSVA-Datenbank<sup>44</sup> zu 53% den Lastwagen zugeordnet und zu 47% den Sattelschleppern (264 bzw. 232 Mio. CHF).

<sup>38</sup> In den Kapiteln 3 bis 14 wurde beim Ausweis der Kosten des Schwerverkehrs die LSVA noch nicht in Abzug gebracht, da eine Zurechnung der LSVA-Einnahmen auf die einzelnen Kostenbereiche nicht direkt möglich ist (vgl. Ecoplan, INFRAS 2014, 2.6.2). 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>39</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 Statistik der Kosten und Finanzierung des Verkehrs für das Jahr 2015, deren Publikation folgen wird.

<sup>40</sup> Angaben des BFS.

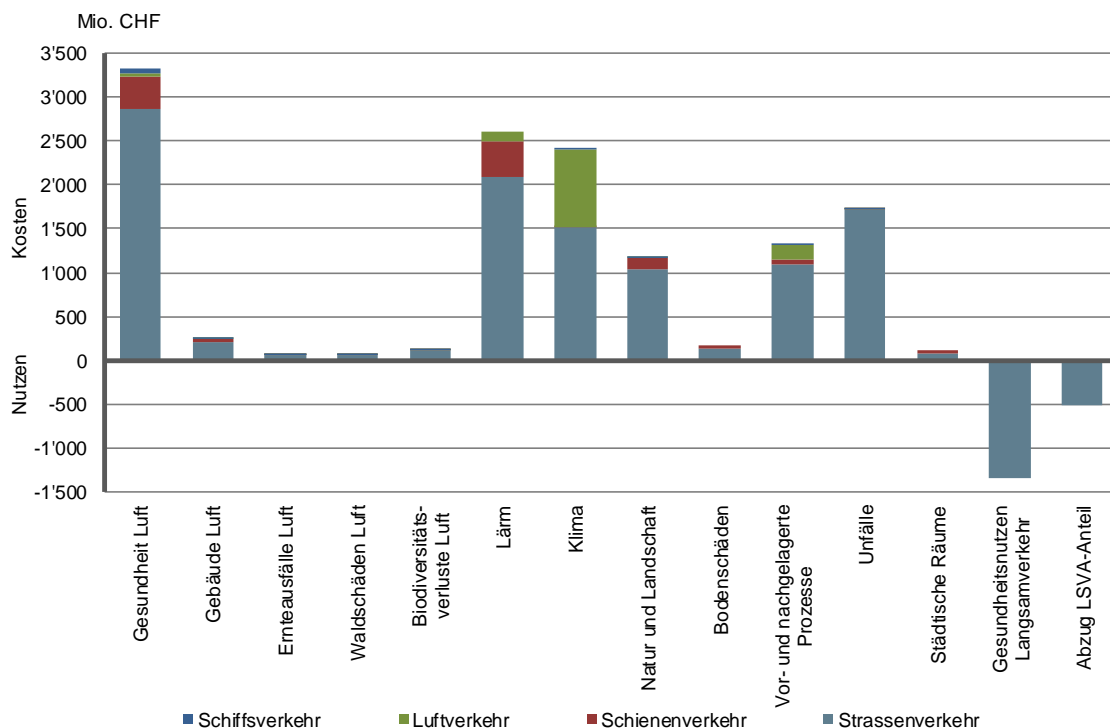
<sup>41</sup> MK Consulting (2018), Staukosten Schweiz 2015-2017

<sup>42</sup> Die so ermittelte Höhe des Internalisierungsbeitrags von 506 Mio. CHF korrespondiert mit der Sicht Verkehrsart Schwerverkehr, die vom Bundesgericht für die Berechnung der externen Kosten des Schwerverkehrs bzw. der LSVA vorgeschrieben wurde.

Die Abbildung 103 weist die Verteilung der gesamten externen Kosten und Nutzen auf die 13 Kostenbereiche aus. Die Gesundheitskosten durch Luftbelastung verursachen mit 3.3 Mrd. CHF die meisten Kosten – gefolgt von den Bereichen Lärm und Klima mit 2.6 bzw. 2.4 Mrd. CHF. Dahinter folgen mit deutlichem Abstand die Unfallkosten mit 1.7 Mrd. CHF sowie die vor- und nachgelagerten Prozesse mit 1.3 Mrd. CHF und Natur und Landschaft mit 1.2 Mrd. CHF. Auf die Gebäudeschäden entfallen noch 250 Mio. CHF, alle übrigen Kostenbereiche liegen unter 170 Mio. CHF. Von diesen Kosten abzuziehen ist die Internalisierung durch einen Teil der LSVA (530 Mio. CHF, die nicht direkt auf die einzelnen Kostenbereiche aufgeteilt werden kann). Neben diesen Kosten entstehen im Langsamverkehr auch Gesundheitsnutzen von 1'350 Mio. CHF.

**Abbildung 103: Externe Effekte aus Sicht Verkehrsträger 2015 nach Kostenbestandteilen**

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



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 gleichbleibender 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) gleichbleiben würde. Der Ausweis der verbleibenden externen Kosten des Schwerverkehrs nach Abzug der LSVA in den drei Sichtweisen Verkehrsträger, Verkehrsart Schwerverkehr und Verkehrsteilnehmende geht implizit von diesem „Anpassungsszenario“ aus.

<sup>43</sup> Die Gesellschaftswagen bezahlen die pauschale Schwerverkehrsabgabe (PSVA). Der Anteil an den Gesamteinnahmen betrug im Jahr 2015 2.03% (gemäss Angaben des Bfs).

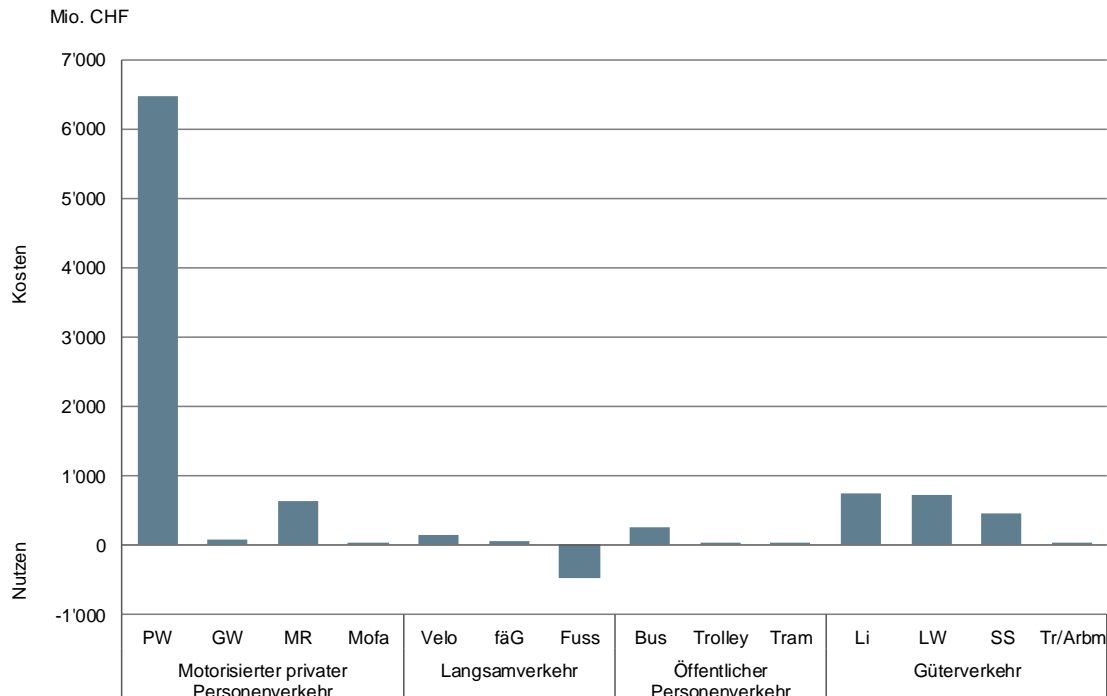
<sup>44</sup> Die Aufteilung erfolgt dabei gemäss den geschätzten LSVA-Einnahmen (Fahrleistungen nach Gewichtsklassen und EURO-Kategorien \* Tonnen zulässiges Gesamtgewicht nach Gewichtsklasse \* LSVA-Abgabesatz nach EURO-Klassen).

Innerhalb aller Kostenbereiche ist der Strassenverkehr aufgrund der hohen Verkehrsleistungen dominant und verursacht 62% bis 99% der Kosten. Dies erklärt sich auch durch den Modalsplit (siehe Annex C). Die anderen Verkehrsträger sind vor allem bei folgenden Kostenbereichen relevant (und damit in Abbildung 103 erkennbar): Der Schienenverkehr beim Lärm, bei den Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung und bei Natur und Landschaft, der Luftverkehr bei den Klimakosten, bei den vor- und nachgelagerten Prozessen sowie beim Lärm, und der Schiffsverkehr nur knapp bei den Gesundheitskosten der Luftverschmutzung.

### 16.1.2. Strassenverkehr

Wie Abbildung 104 und Abbildung 105<sup>45</sup> zeigen, sind die Personenwagen für den Grossteil (62%) der externen Kosten im Strassenverkehr verantwortlich. Lieferwagen sind mit 7.1% die zweitwichtigste Fahrzeugkategorie – dicht gefolgt von den Lastwagen mit 6.8% (ein Teil der LSVA wurde als Internalisierung angerechnet, siehe Exkurs oben) und den Motorrädern mit 6%.

**Abbildung 104: Externe Effekte aus Sicht Verkehrsträger im Strassenverkehr 2015 nach Fahrzeugkategorien**



<sup>45</sup> In der Abbildung 105 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 105: Externe Effekte aus Sicht Verkehrsträger im Strassenverkehr 2015 nach Kostenbestandteilen und Fahrzeugkategorien**

Externe Kosten	Personenverkehr									Güterverkehr				Gesamt- total	
Strassenverkehr	Motorisierter privater Personenverkehr				Langsamverkehr			Öffentlicher Personenverkehr							
in Mio. CHF	PW	GW	MR	Mofa	Velo	fäG	Fuss	Bus	Trolley	Tram	Li	LW	SS	Tr/Arbm	
Gesundheit Luft	1'985.3	35.5	18.0	0.1	-	-	-	104.1	n.a.	n.a.	198.8	322.7	201.1	n.a.	2'865.6
Gebäude Luft	149.5	2.7	1.4	0.0	-	-	-	7.8	n.a.	n.a.	15.0	24.3	15.1	n.a.	215.7
Ernteaussfälle Luft	34.0	1.4	0.4	0.0	-	-	-	3.5	-	-	7.0	7.7	4.6	n.a.	58.5
Waldschäden Luft	32.7	1.2	0.4	0.0	-	-	-	3.1	-	-	6.1	6.7	4.0	n.a.	54.0
Biodiversitätsverluste Luft	78.4	2.2	0.7	0.0	-	-	-	5.6	-	-	11.6	12.2	7.3	n.a.	117.8
Lärm	907.0	24.8	354.4	2.5	-	-	-	51.5	0.4	1.7	210.4	320.1	216.8	n.a.	2'089.5
Klima	1'147.5	12.9	21.8	0.1	-	-	-	34.3	-	-	106.7	100.8	84.9	n.a.	1'509.1
Natur und Landschaft	793.8	5.6	12.0	0.7	12.2	0.4	17.7	13.1	0.2	0.3	63.4	64.1	49.5	n.a.	1'033.2
Bodenschäden	68.8	2.8	1.3	0.0	-	-	-	5.8	0.6	0.0	13.8	27.8	19.0	n.a.	139.9
Vor- und nachgelagerte Prozesse	785.1	6.2	19.0	1.6	18.6	0.8	36.0	14.3	2.0	7.6	64.4	68.0	67.6	n.a.	1'091.1
Unfälle	425.9	2.9	196.8	27.7	555.4	62.2	363.9	3.2	1.5	1.0	42.3	19.3	6.9	6.8	1'716.0
Städtische Räume	59.1	0.2	1.2	0.1	-	-	-	1.5	0.2	0.4	6.4	2.0	1.9	n.a.	73.0
Zwischentotal aller Kostenbereiche	6'467.0	98.3	627.3	32.9	586.3	63.5	417.6	247.8	5.0	11.0	745.8	975.7	678.6	6.8	10'963.4
Abzug LSVA-Anteil	-	10.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	263.8	232.4	-	506.5
Total aller Kostenbereiche (mit LSVA Abzug)	6'467.0	88.0	627.3	32.9	586.3	63.5	417.6	247.8	5.0	11.0	745.8	711.9	446.1	6.8	10'456.9
in % des Gesamttotals	61.8%	0.8%	6.0%	0.3%	5.6%	0.6%	4.0%	2.4%	0.0%	0.1%	7.1%	6.8%	4.3%	0.1%	100.0%
Total Teilbereiche (mit LSVA Abzug)	7'215.2				1'067.3			263.8			1'910.5				10'456.9
in % des Gesamttotals	69.0%				10.2%			2.5%			18.3%				100.0%
Gesamttotal Sicht Verkehrsträger	6'467.0	88.0	627.3	32.9	586.3	63.5	417.6	247.8	5.0	11.0	745.8	711.9	446.1	6.8	10'456.9
Gesamttotal Sicht Verkehrsart	95.7										800.1 467.6				
Gesamttotal Sicht Verkehrsteilnehmende	8'140.5	123.5	791.9	43.8	704.5	105.9	441.7	289.3	24.1	26.5	941.0	821.1	474.2	19.8	12'947.6
Gesamttotal soziale Kosten	12'577.2	163.8	2'727.6	314.9	4'630.2	566.8	3'548.4	333.0	49.6	42.7	1'477.2	1'266.7	770.1	91.5	28'559.7
Gesundheitsnutzen Langsamverkehr															
Externer Nutzen (alle Sichtweisen)	-	-	-	-	-451.8	n.a.	-893.3	-	-	-	-	-	-	-	-1'345.1
Sozialer Nutzen	-	-	-	-	-9'963.5	n.a.	-20'049.5	-	-	-	-	-	-	-	-30'012.9

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)

Danach folgen die Sattelschlepper mit 4.3%. Im Langsamverkehr entstehen externe Kosten von 1'067 Mio. CHF (vor allem vom Langsamverkehr verursachte Unfallkosten). Dem stehen jedoch externe Gesundheitsnutzen von 1'345 Mio. CHF gegenüber. Aufgrund des hohen Gesundheitsnutzens kann im Fussverkehr ein externer Nettonutzen von 476 Mio. CHF erreicht werden.<sup>46</sup> Bei den Velos sind die externen Gesundheitsnutzen geringer als die verursachten externen Kosten, so dass netto Kosten von 134 Mio. CHF resultieren. Trolleybusse<sup>47</sup> und Trams weisen nur sehr geringe externe Kosten aus (je unter 11 Mio. CHF).

<sup>46</sup> Ein Nettonutzen wäre auch bei den fäG denkbar, wenn es möglich wäre, die Gesundheitsnutzen der fäG zu quantifizieren.

<sup>47</sup> Bei den Trolleybussen entstehen rund 30% der Kosten durch Unfälle. Dieser Wert basiert auf einer Aufteilung der durch Linienebusse verursachten Unfälle auf Busse und Trolleybusse in den Jahren 2007 - 2010 (aktuellere Daten sind nicht verfügbar).



Bei der Aufteilung nach Kostenbereichen zeigt sich, dass 2'866 Mio. CHF der Kosten auf Gesundheitsschäden durch Luftverschmutzung zurückzuführen sind (27%). Die Lärmkosten belaufen sich auf 2'090 Mio. CHF (20%), die Folgekosten der Unfälle auf 1'716 Mio. CHF (16%) und diejenigen im Klimabereich auf 1'509 Mio. CHF (14%). Je ca. 1'050 Mio. CHF (10%) verursachen vor- und nachgelagerte Prozesse sowie Natur und Landschaft. Die übrigen Kostenbereiche tragen nur je 216 Mio. CHF oder weniger zum Total bei. Davon abzuziehen ist ein Teil der LSVA von 506 Mio. CHF. Im Langsamverkehr stehen diesen Kosten zudem externen Gesundheitsnutzen von 1'345 Mio. CHF gegenüber.

### 16.1.3. Schienenverkehr

Im Schienenverkehr entstehen insgesamt externe Kosten von 1'067 Mio. CHF (siehe Abbildung 106). Davon entfallen 14 Mio. CHF auf von Dritten verursachte Unfallkosten, die nicht dem Schienenverkehr anzulasten sind (und deshalb in Abbildung 102 ausgeschlossen werden). Der Personenverkehr ist für 591 Mio. CHF verantwortlich, auf den Güterverkehr entfallen 462 Mio. CHF.

Im Schienenverkehr sind die Lärmkosten mit 37% des Totals und die Gesundheitskosten der Luftbelastung mit 34% am bedeutsamsten, gefolgt von Natur und Landschaft mit 12%. Die übrigen Kostenbereiche tragen nur je 5% oder weniger zum Total bei.

**Abbildung 106: Externe Effekte aus Sicht Verkehrsträger im Schienenverkehr 2015 nach Kostenbestandteilen**

Externe Kosten in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Dritte	Total
<b>Schienenverkehr</b>				
Gesundheit Luft	229.8	136.0		365.8
Gebäude Luft	17.3	10.2		27.5
Ernteaussfälle Luft	0.3	0.5		0.7
Waldschäden Luft	0.2	0.4		0.6
Biodiversitätsverluste Luft	0.4	0.7		1.1
Lärm	153.4	245.8		399.2
Klima	1.2	2.1		3.3
Natur und Landschaft	95.4	33.2		128.5
Bodenschäden	25.4	3.7		29.1
Vor- und nachgelagerte Prozesse	34.2	19.9		54.1
Unfälle	1.7	5.5	14.1	21.3
Städtische Räume	31.4	4.6		36.0
<b>Total</b>	<b>590.6</b>	<b>462.5</b>	<b>14.1</b>	<b>1'067.2</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	<b>55.3%</b>	<b>43.3%</b>	<b>1.3%</b>	<b>100.0%</b>
<b>Gesamttotal Sicht Verkehrsteilnehmende</b>	<b>602.2</b>	<b>508.2</b>	<b>18.6</b>	<b>1'128.9</b>
<b>Gesamttotal soziale Kosten</b>	<b>621.5</b>	<b>544.5</b>	<b>94.1</b>	<b>1'260.1</b>

#### 16.1.4. Luftverkehr

Im Luftverkehr betragen die Kosten insgesamt 1'231 Mio. CHF, wobei 93% oder 1'142 Mio. CHF vom Personenverkehr verursacht werden und 90 Mio. CHF vom Güterverkehr (siehe Abbildung 107). Im Luftverkehr sind die Klimakosten mit 72% des Totals der klar dominierende Kostenbereich. Daneben resultieren 13% von vor- und nachgelagerten Prozessen, 10% vom Lärm und 3% von den Gesundheitskosten der Luftverschmutzung. Die übrigen Kostenbereiche tragen je weniger als 1% zum Total bei (bzw. zusammen weniger als 1.5%).

Aus der Abbildung 107 nicht ablesbar ist, dass 96% dieser Kosten oder 1'179 Mio. CHF durch Flüge ab / nach Landesflughäfen verursacht werden und nur 4% oder 53 Mio. CHF durch Flüge ab / nach Regionalflugplätzen (Flugfelder und Heliports wurden hier nicht betrachtet). Der Linien- und Charterverkehr ist für 92% der Kosten verantwortlich (je ca. hälftig verteilt auf den interkontinentalen bzw. europäischen Linien- und Charterverkehr mit 605 bzw. 532 Mio. CHF). Helikopter verursachen nur Kosten von 0.9 Mio. CHF (0.1%), die übrige General Aviation trägt die verbleibenden 8% der Kosten (95 Mio. CHF) – beides ohne Flüge ab Flugfelder und Heliports.

**Abbildung 107: Externe Effekte aus Sicht Verkehrsträger im Luftverkehr 2015 nach Kostenbestandteilen**

Externe Kosten in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
<b>Luftverkehr</b>			
Gesundheit Luft	30.6	2.5	<b>33.1</b>
Gebäude Luft	2.6	0.2	<b>2.8</b>
Ernteauffälle Luft	2.0	0.2	<b>2.1</b>
Waldschäden Luft	1.8	0.1	<b>1.9</b>
Biodiversitätsverluste Luft	3.2	0.3	<b>3.4</b>
Lärm	114.9	6.7	<b>121.6</b>
Klima	825.3	66.4	<b>891.7</b>
Natur und Landschaft	6.3	0.5	<b>6.8</b>
Bodenschäden	-	-	-
Vor- und nachgelagerte Prozesse	153.5	12.6	<b>166.1</b>
Unfälle	1.8	0.0	<b>1.8</b>
Städtische Räume	-	-	-
<b>Total</b>	<b>1'141.9</b>	<b>89.5</b>	<b>1'231.5</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	92.7%	7.3%	100.0%
<b>Gesamttotal Sicht Verkehrsteilnehmende</b>	<b>1'155.4</b>	<b>89.6</b>	<b>1'244.9</b>
<b>Gesamttotal soziale Kosten</b>	<b>1'192.2</b>	<b>91.5</b>	<b>1'283.7</b>

### 16.1.5. Schiffsverkehr

Im Schiffsverkehr entstehen insgesamt externe Kosten (aus Sicht Verkehrsträger) von 92 Mio. CHF (siehe Abbildung 108). Dabei entfallen 39% oder 36 Mio. CHF auf den Personenverkehr auf den Schweizer Seen und 61% oder 56 Mio. CHF auf den Güterverkehr. Innerhalb des Güterverkehrs verursacht die Rheinschifffahrt unterhalb Basel 41 Mio. CHF Kosten (nach dem Halbstreckenprinzip), der Güterverkehr auf den Schweizer Seen hingegen rund 15 Mio. CHF.

Im Schiffsverkehr führen die hohen PM10-Emissionen zu den höchsten Kosten, nämlich zu 62% durch Gesundheitskosten und 5% durch Gebäudeschäden. Die übrigen drei Bereiche der Luftbelastung führen zu weiteren 11% der Kosten. Das Klima trägt 13% zum Total bei, Natur und Landschaft 6% und die vor- und nachgelagerten Prozesse verursachen die verbleibenden 3.5%.

**Abbildung 108: Externe Effekte aus Sicht Verkehrsträger im Schiffsverkehr 2010 nach Kostenbestandteilen**

Externe Kosten in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
<b>Schiffsverkehr</b>			
Gesundheit Luft	23.2	33.6	<b>56.8</b>
Gebäude Luft	1.7	2.5	<b>4.3</b>
Ernteauffälle Luft	0.9	2.0	<b>3.0</b>
Waldschäden Luft	0.8	1.8	<b>2.6</b>
Biodiversitätsverluste Luft	1.5	3.2	<b>4.7</b>
Lärm	-	-	-
Klima	5.9	6.3	<b>12.2</b>
Natur und Landschaft	0.8	4.4	<b>5.2</b>
Bodenschäden	-	-	-
Vor- und nachgelagerte Prozesse	1.4	1.8	<b>3.2</b>
Unfälle	0.0	0.1	<b>0.2</b>
Städtische Räume	-	-	-
<b>Total</b>	<b>36.3</b>	<b>55.8</b>	<b>92.0</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	39.4%	60.6%	100.0%
<b>Gesamttotal Sicht Verkehrsteilnehmende</b>	<b>36.4</b>	<b>56.5</b>	<b>93.0</b>
<b>Gesamttotal soziale Kosten</b>	<b>37.0</b>	<b>58.4</b>	<b>95.4</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>48</sup> Mit dieser Sichtweise werden die Kosten bestimmt,

<sup>48</sup> Bundesgericht, Urteil vom 17. Dezember 2011, LSVA, Abklassierung EURO-3.

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 1'870 Mio. CHF (siehe Abbildung 109).<sup>49</sup> Sie sind damit um 117 Mio. CHF höher als aus Sicht Verkehrsträger. Unterschiede zwischen den beiden Sichtweisen gibt es lediglich bei den Unfallkosten (+107 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 506 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 1'363 Mio. CHF.<sup>50</sup> Von den 1'363 Mio. CHF werden 59% von Lastwagen verursacht, 34% von Sattelschleppern und 7% von Gesellschaftswagen.

**Abbildung 109: Externe Effekte aus Sicht Verkehrsart Schwerverkehr im Strassenverkehr 2015 nach Kostenbestandteilen und Fahrzeugkategorien**

Externe Kosten Sicht Verkehrsart Strassenverkehr	Gesellschafts- wagen	Lastwagen	Sattelschlepper	Total
Gesundheit Luft	35.5	322.7	201.1	559.3
Gebäude Luft	2.7	24.3	15.1	42.1
Ernteaussfälle Luft	1.4	7.7	4.6	13.6
Waldschäden Luft	1.2	6.7	4.0	11.8
Biodiversitätsverluste Luft	2.2	12.2	7.3	21.6
Lärm	24.8	320.1	216.8	561.6
Klima	12.9	100.8	84.9	198.6
Natur und Landschaft	5.6	64.1	49.5	119.2
Bodenschäden	2.8	27.8	19.0	49.6
Vor- und nachgelagerte Prozesse	6.2	68.0	67.6	141.8
Unfälle	10.1	102.6	23.8	136.5
Städtische Räume	0.7	6.9	6.5	14.1
<b>Zwischentotal aller Kostenbereiche</b>	<b>106.0</b>	<b>1'063.9</b>	<b>700.0</b>	<b>1'869.9</b>
<b>Abzug LSVA-Anteil</b>	10.3	263.8	232.4	506.5
<b>Total aller Kostenbereiche (mit LSVA Abzug)</b>	<b>95.7</b>	<b>800.1</b>	<b>467.6</b>	<b>1'363.4</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	7%	59%	34%	100%

<sup>49</sup> Vgl. hierzu den Exkurs „Umgang mit der LSVA“ (in Kapitel 16.1.1).

<sup>50</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 39).

## 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 +2'316 Mio. CHF, Schiene +62 Mio. CHF, Luftverkehr +13 Mio. CHF, Schiffsverkehr +0.9 Mio. CHF). Im Strassenverkehr kommen zudem die Trenneffekte in städtischen Räumen hinzu, die der motorisierte Verkehr dem Langsamverkehr verursacht (+175 Mio. CHF). Gesamthaft fallen damit die externen Kosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende um 2'562 Mio. CHF höher aus als aus Sicht Verkehrsträger und betragen somit insgesamt knapp 15'400 Mio. CHF (siehe Abbildung 110). Die Unfälle sind mit 4'113 Mio. CHF klar der bedeutendste Kostenbereich (aus Sicht Verkehrsträger sind die Gesundheitskosten durch Luftbelastung etwa doppelt so hoch wie die Unfallkosten), während die Zusatzkosten in städtischen Räumen relativ unbedeutend bleiben (neu 1.8% statt 0.8%). Die externen Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr bleiben unverändert bei 1'345 Mio. CHF.

Der Strassenverkehr ist in der Sicht Verkehrsteilnehmende etwas dominanter (84% statt 81%), während die Bedeutung der anderen Verkehrsträger etwas tiefer ausfällt. Die Verteilung auf Personen- und Güterverkehr bleibt ähnlich (Personenverkehr +0.7%).

**Abbildung 110: Überblick über die externen Effekte aus Sicht Verkehrsteilnehmende 2015**  
Strassen- / Schienenverkehr: Territorialprinzip, Luft- / Schiffsverkehr: Halbstreckenprinzip

Externe Kosten in Mio. CHF	Personen- verkehr	Güter- verkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	10'691.5	2'256.1	<b>12'947.6</b>	84.1%
Schienenverkehr	602.2	508.2	<b>1'110.3</b>	7.2%
Luftverkehr	1'155.4	89.6	<b>1'244.9</b>	8.1%
Schiffsverkehr	36.4	56.5	<b>93.0</b>	0.6%
<b>Total externe Kosten</b>	<b>12'485.5</b>	<b>2'910.3</b>	<b>15'395.8</b>	100.0%
in % des Totals	81.1%	18.9%	100.0%	
<b>Gesundheitsnutzen Langsamverkehr</b>	<b>-1'345.1</b>		<b>-1'345.1</b>	

### 16.3.2. Strassenverkehr

In Abbildung 111 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 12'950 Mio. CHF (daneben 1'350 Mio. CHF Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr). Die

Verteilung auf die Fahrzeugkategorien ist ähnlich wie aus Sicht Verkehrsträger (vgl. Abbildung 104). Wiederum ist darauf hinzuweisen, dass bei den Fussgängern die Nutzen um 452 Mio. CHF höher sind als die Kosten (24 Mio. CHF weniger als aus Sicht Verkehrsträger). Aus Sicht Verkehrsteilnehmende sind die Unfälle der wichtigste Kostenbereich mit 4'030 Mio. CHF (statt 1'720 Mio. CHF wie aus Sicht Verkehrsträger). Die Zusatzkosten aus städtischen Räumen bleiben relativ unbedeutend (248 statt 73 Mio. CHF). Die übrigen Kostenbereiche sind unverändert.

**Abbildung 111: Externe Effekte aus Sicht Verkehrsteilnehmende im Strassenverkehr 2015 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	1'985.3	35.5	18.0	0.1	-	-	-	104.1	n.a.	n.a.	198.8	322.7	201.1	n.a.	2'865.6
Gebäude Luft	149.5	2.7	1.4	0.0	-	-	-	7.8	n.a.	n.a.	15.0	24.3	15.1	n.a.	215.7
Ernteaussfälle Luft	34.0	1.4	0.4	0.0	-	-	-	3.5	-	-	7.0	7.7	4.6	n.a.	58.5
Waldschäden Luft	32.7	1.2	0.4	0.0	-	-	-	3.1	-	-	6.1	6.7	4.0	n.a.	54.0
Biodiversitätsverluste Luft	78.4	2.2	0.7	0.0	-	-	-	5.6	-	-	11.6	12.2	7.3	n.a.	117.8
Lärm	907.0	24.8	354.4	2.5	-	-	-	51.5	0.4	1.7	210.4	320.1	216.8	n.a.	2'089.5
Klima	1'147.5	12.9	21.8	0.1	-	-	-	34.3	-	-	106.7	100.8	84.9	n.a.	1'509.1
Natur und Landschaft	793.8	5.6	12.0	0.7	12.2	0.4	17.7	13.1	0.2	0.3	63.4	64.1	49.5	n.a.	1'033.2
Bodenschäden	68.8	2.8	1.3	0.0	-	-	-	5.8	0.6	0.0	13.8	27.8	19.0	n.a.	139.9
Vor- und nachgelagerte Prozesse	785.1	6.2	19.0	1.6	18.6	0.8	36.0	14.3	2.0	7.6	64.4	68.0	67.6	n.a.	1'091.1
Unfälle	1'958.1	37.8	358.5	38.4	673.7	104.6	388.0	41.2	20.1	15.5	222.3	123.6	30.4	19.8	4'031.9
Städtische Räume	200.4	0.7	4.1	0.3	-	-	-	4.9	0.8	1.5	21.6	6.9	6.5	n.a.	247.8
Zwischentotal aller Kostenbereiche	8'140.5	133.7	791.9	43.8	704.5	105.9	441.7	289.3	24.1	26.5	941.0	1'084.9	706.6	19.8	13'454.1
Abzug LSVA-Anteil	-	10.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	263.8	232.4	-	506.5
Total aller Kostenbereiche (mit LSVA Abzug)	8'140.5	123.5	791.9	43.8	704.5	105.9	441.7	289.3	24.1	26.5	941.0	821.1	474.2	19.8	12'947.6
in % des Gesamttotals	62.9%	1.0%	6.1%	0.3%	5.4%	0.8%	3.4%	2.2%	0.2%	0.2%	7.3%	6.3%	3.7%	0.2%	100.0%
Total Teilbereiche (mit LSVA Abzug)	9'099.7				1'252.0			339.9			2'256.1				12'947.6
in % des Gesamttotals	70.3%				9.7%			2.6%			17.4%				100.0%
Gesundheitsnutzen Langsamverkehr	-	-	-	-	-451.8	n.a.	-893.3	-	-	-	-	-	-	-	-1'345.1

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 62 Mio. CHF (12 Mio. CHF im Personen- und 46 Mio. CHF im Güterverkehr, 4 Mio. CHF durch Dritte) höher und betragen somit insgesamt 1'129 Mio. CHF bzw. ohne von Dritten verursachte Unfälle 1'110 Mio. CHF. Davon entfallen 602 Mio. CHF (53%) auf den Personen- und 508 Mio. CHF (45%) auf den Güterverkehr. Die Bedeutung des Kostenbereichs Unfälle steigt von 2.0% (Sicht Verkehrsträger) auf 7.4% (Sicht Verkehrsteilnehmende). Die Ergebnisse finden sich in Abbildung 106 in Kapitel 16.1.3.

#### 16.3.4. Luftverkehr

Aus Sicht Verkehrsteilnehmende fallen im Luftverkehr die Unfallkosten höher aus: 15.3 statt 1.8 Mio. CHF. Damit ergeben sich auch leicht höhere Gesamtkosten (1'245 Mio. CHF). Durch diese Anpassung ändert sich beinahe nichts an der Verteilung auf Personen- und Güterverkehr, auf die Kostenbereiche, auf Flugplatztypen und auf Flugfahrzeugkategorien (vgl. Abbildung 107 und Kapitel 16.1.4).

#### 16.3.5. Schiffsverkehr

Auch im Schiffsverkehr sind die Veränderungen sehr gering, da nur die Unfallkosten um 0.9 Mio. CHF höher ausfallen (nun 1.1 Mio. CHF). Aus Sicht Verkehrsteilnehmende betragen die Gesamtkosten des Schiffsverkehrs somit 93 Mio. CHF. Die Verteilung innerhalb des Schiffsverkehrs verändert sich dadurch praktisch nicht (vgl. Abbildung 108 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 neben den externen Effekten auch die internen Kosten und Nutzen in den betrachteten Kostenbereichen 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 1'345 Mio. CHF externe Nutzen betragen die internen Nutzen (insbesondere immaterielle Nutzen wie Vermeidung von Leid, Schmerz, Schock und Gewinn an Lebensfreude) ca. 28'700 Mio. CHF.
- Die internen **Unfallkosten** sind zu berücksichtigen: Diese betragen 17'400 Mio. CHF (davon 17'300 Mio. CHF im Strassenverkehr) und bestehen zu 84% 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 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 aufzurechen.

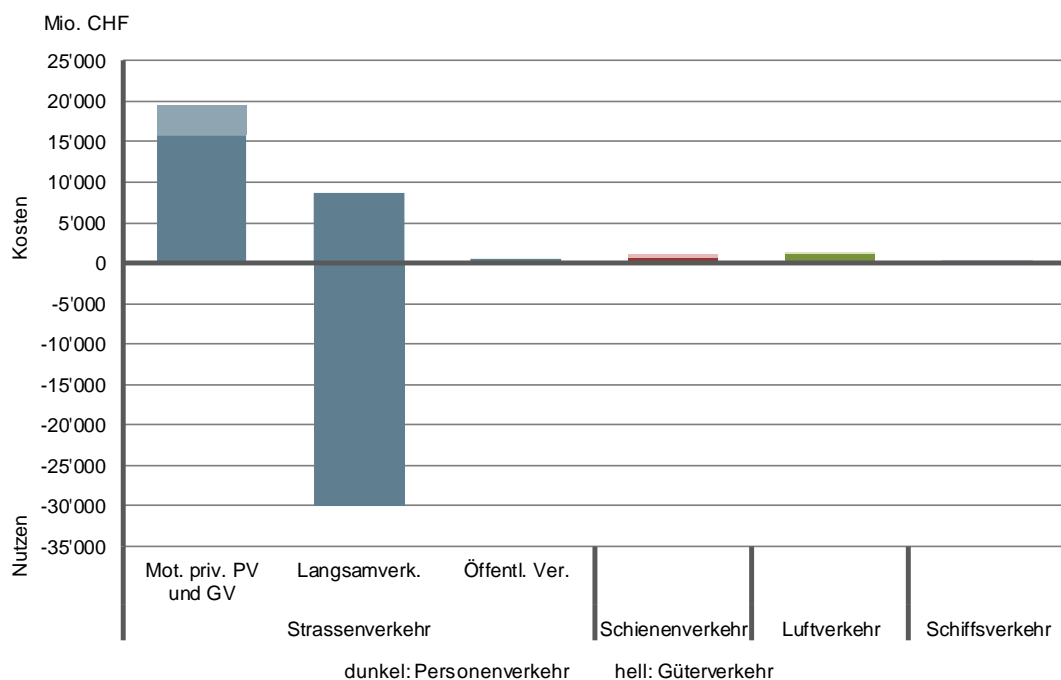
nen. Sie bestehen aus einem Teil der LSVA (506 Mio. CHF), der Internalisierung der Klimakosten (137 Mio. CHF, davon 134 Mio. CHF im Strassenverkehr), den lärmabhängigen Landegebühren (15 Mio. CHF) und den emissionsabhängigen Landegebühren (4 Mio. CHF).

- Trenneffekte: Höhere Kosten für den motorisierten Strassenverkehr auf Grund der Trenneffekte, d.h. Wartezeiten für den Langsamverkehr verursacht durch den motorisierten Strassenverkehr (175 Mio. CHF).

Das Total der in diesem Bericht berechneten sozialen Kosten liegt somit bei 31'100 Mio. CHF (vgl. Abbildung 112 und Abbildung 113). Der Strassenverkehr ist unter anderem aufgrund der hohen Verkehrsleistungen und der hohen Unfallkosten für 92% dieser Kosten verantwortlich (28'600 Mio. CHF). Allerdings muss der Strassenverkehr differenziert betrachtet werden: Der motorisierte Privatverkehr verursacht soziale Kosten von 15'800 Mio. CHF, der Güterverkehr 3'600 Mio. CHF und der öffentliche Strassenverkehr 430 Mio. CHF. Im Langsamverkehr entstehen einerseits Kosten von 8'700 Mio. CHF und andererseits Nutzen von 30'000 Mio. CHF (zu 93% immaterielle Nutzen), so dass ein sozialer Nutzenüberschuss von 21'300 Mio. CHF resultiert. Der Luftverkehr verursacht soziale Kosten von 1'300 Mio. CHF (4%), der Schienenverkehr solche von 1'200 Mio. CHF (4%) und der Schiffsverkehr lediglich 95 Mio. CHF (0.3%).

**Abbildung 112: Überblick über die sozialen Effekte 2015**

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





**Abbildung 113: Überblick über die sozialen Effekte 2015**

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

<b>Soziale Kosten in Mio. CHF</b>	<b>Personen- verkehr</b>	<b>Güter- verkehr</b>	<b>Total</b>	<b>in % des Totals</b>
Strassenverkehr	24'954.2	3'605.5	<b>28'559.7</b>	91.8%
Schienenverkehr	621.5	544.5	<b>1'166.0</b>	3.7%
Luftverkehr	1'192.2	91.5	<b>1'283.7</b>	4.1%
Schiffsverkehr	37.0	58.4	<b>95.4</b>	0.3%
<b>Total soziale Kosten</b>	<b>26'804.9</b>	<b>4'299.9</b>	<b>31'104.7</b>	100.0%
in % des Totals	86.2%	13.8%	100.0%	
<b>Gesundheitsnutzen Langsamverkehr</b>	<b>-30'012.9</b>		<b>-30'012.9</b>	

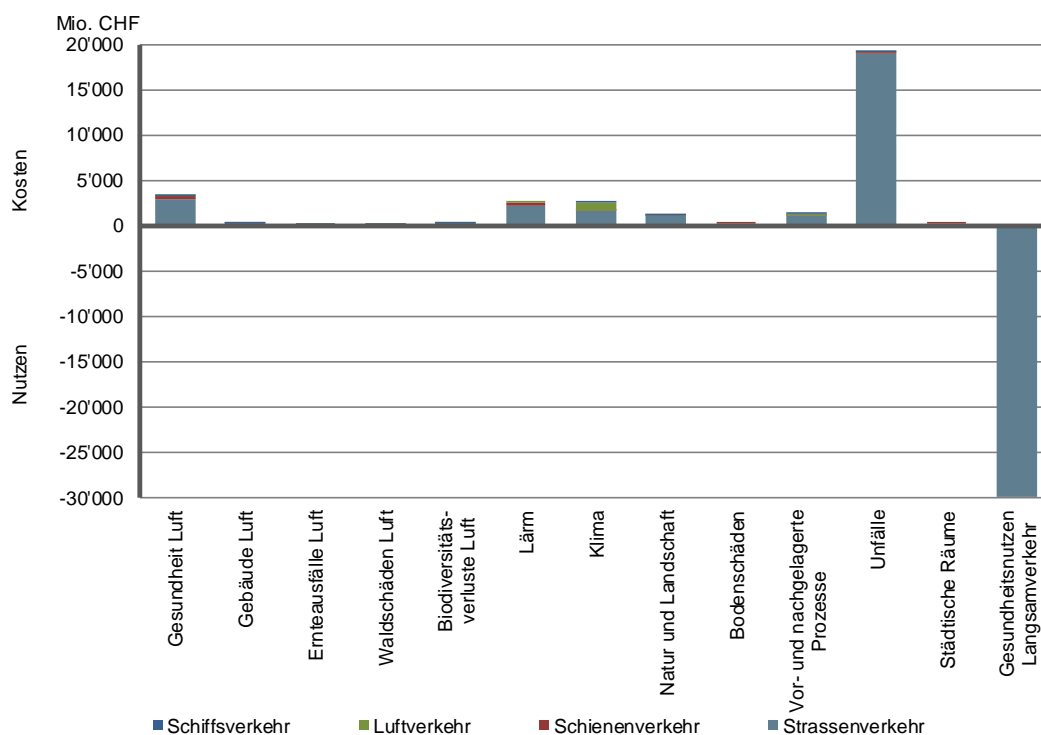
Insgesamt werden 86% der sozialen Kosten durch den Personenverkehr verursacht und 14% durch den Güterverkehr. Der Anteil des Personenverkehrs liegt damit etwas höher als bei den externen Kosten, weil im Strassenverkehr die Unfallkosten vor allem durch den Personenverkehr verursacht werden (Anteil Personenverkehr Strasse steigt um 6% auf 87%). Im Schienen- und Schiffsverkehr ist der Anteil des Personenverkehrs leicht tiefer als bei den externen Kosten (Schienenverkehr 53% oder 3% weniger, Schiffsverkehr 39% oder 0.6% weniger als bei externen Kosten). Im Luftverkehr ist der Anteil des Personenverkehrs unverändert bei 93%. Die hohen Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr sind dem Personenverkehr zuzurechnen.

Die Abbildung 114 zeigt die Beiträge der 13 Kosten- und Nutzenbereiche an die Gesamtkosten des Verkehrs auf. Bei den sozialen Kosten stechen die beiden Haupteffekte Unfälle und Gesundheitsnutzen Langsamverkehr mit gut +19 bzw. –30 Mrd. CHF sofort ins Auge. Die Gesundheitsschäden der Luftverschmutzung, der Lärm und das Klima verursachen soziale Kosten von 3.3 und je 2.6 Mrd. CHF. Durch vor- und nachgelagerte Prozesse sowie Natur und Landschaft entstehen weitere Kosten von 1.3 bzw. 1.2 Mrd. 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, bei den Gesundheitskosten der Luftverschmutzung und beim Lärm noch knapp erkennbar.

**Abbildung 114: Soziale Effekte nach Kostenbestandteilen**

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



### 16.4.2. Strassenverkehr

Abbildung 115 und Abbildung 116 zeigen die grossen Unterschiede zwischen den Fahrzeugkategorien des Strassenverkehrs: Einerseits fallen die Personenwagen auf, die 12.6 Mrd. CHF soziale Kosten verursachen. Andererseits fällt der Langsamverkehr auf, bei dem soziale Nutzen anfallen: Die sozialen Gesundheitsnutzen sind mit 30.0 Mrd. CHF deutlich höher als die durch den Langsamverkehr verursachten Kosten von 8.7 Mrd. CHF (99% davon sind Unfallkosten). Die Gegenüberstellung der untersuchten Kostenbereiche führt für den Fussverkehr somit zu einem Nutzenüberschuss von 16.5 Mrd. CHF, und auch im Veloverkehr ergibt sich ein Nutzenüberschuss von 5.3 Mrd. CHF.<sup>51</sup>

Bei den übrigen Fahrzeugkategorien weisen die Motorräder mit 2.7 Mrd. CHF die grössten sozialen Kosten auf, gefolgt von den Lieferwagen, Lastwagen und Sattelschleppern mit 1.5, 1.3 bzw. 0.8 Mrd. CHF.

<sup>51</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 115: Soziale Effekte im Strassenverkehr 2015 nach Fahrzeugkategorien

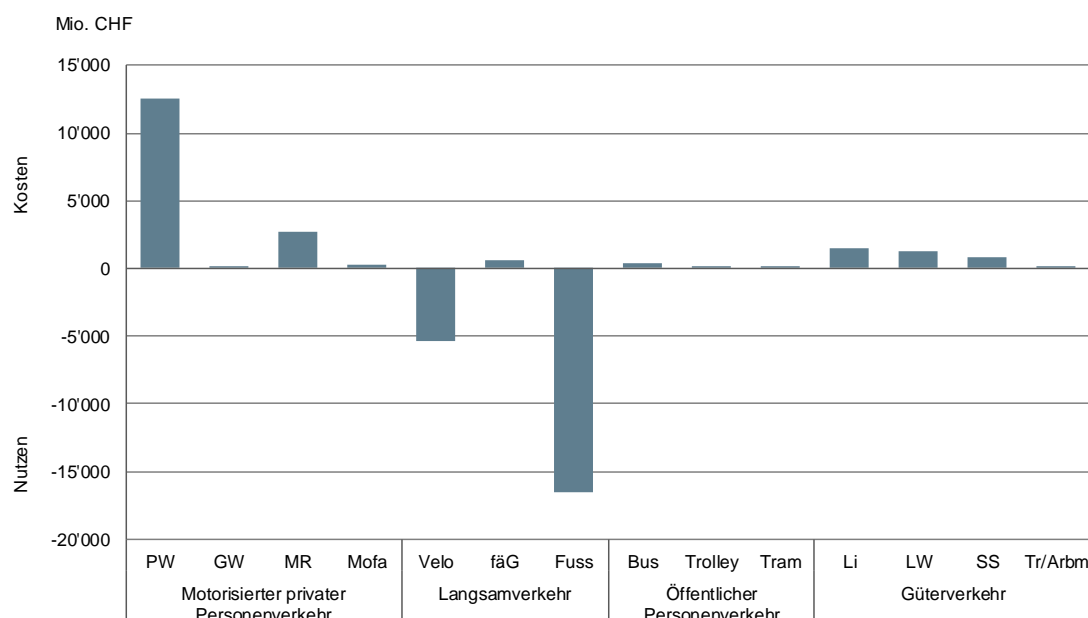


Abbildung 116: Soziale Effekte im Strassenverkehr 2015 nach Kostenbestandteilen und Fahrzeugkategorien

Soziale Kosten Strassenverkehr 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	Tr/Arbm	
Gesundheit Luft	1'985.3	35.5	18.0	0.1	-	-	-	104.1	n.a.	n.a.	198.8	322.7	201.1	n.a.	2'865.6
Gebäude Luft	149.5	2.7	1.4	0.0	-	-	-	7.8	n.a.	n.a.	15.0	24.3	15.1	n.a.	215.7
Ernteaussfälle Luft	34.0	1.4	0.4	0.0	-	-	-	3.5	-	-	7.0	7.7	4.6	n.a.	58.5
Waldschäden Luft	32.7	1.2	0.4	0.0	-	-	-	3.1	-	-	6.1	6.7	4.0	n.a.	54.0
Biodiversitätsverluste Luft	78.4	2.2	0.7	0.0	-	-	-	5.6	-	-	11.6	12.2	7.3	n.a.	117.8
Lärm	907.0	24.8	354.4	2.5	-	-	-	51.5	0.4	1.7	210.4	320.1	216.8	n.a.	2'089.5
Klima	1'251.1	14.0	23.5	0.1	-	-	-	37.2	-	-	115.8	109.6	92.2	n.a.	1'643.6
Natur und Landschaft	793.8	5.6	12.0	0.7	12.2	0.4	17.7	13.1	0.2	0.3	63.4	64.1	49.5	n.a.	1'033.2
Bodenschäden	68.8	2.8	1.3	0.0	-	-	-	5.8	0.6	0.0	13.8	27.8	19.0	n.a.	139.9
Vor- und nachgelagerte Prozesse	785.1	6.2	19.0	1.6	18.6	0.8	36.0	14.3	2.0	7.6	64.4	68.0	67.6	n.a.	1'091.1
Unfälle	6'291.2	66.8	2'292.5	309.5	4'599.4	565.6	3'494.7	82.0	45.6	31.6	749.4	296.7	86.6	91.5	19'003.0
Städtische Räume	200.4	0.7	4.1	0.3	-	-	-	4.9	0.8	1.5	21.6	6.9	6.5	n.a.	247.8
Total aller Kostenbereiche	12'577.2	163.8	2'727.6	314.9	4'630.2	566.8	3'548.4	333.0	49.6	42.7	1'477.2	1'266.7	770.1	91.5	28'559.7
in % des Gesamttotals	44.0%	0.6%	9.6%	1.1%	16.2%	2.0%	12.4%	1.2%	0.2%	0.1%	5.2%	4.4%	2.7%	0.3%	100.0%
Total Teilbereiche	15'783.5				8'745.4			425.3			3'605.5				28'559.7
in % des Gesamttotals	55.3%				30.6%			1.5%			12.6%				100.0%
Gesundheitsnutzen Langsamverkehr	-	-	-	-	-9'963.5	n.a.	-20'049.5	-	-	-	-	-	-	-	-30'012.9

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)

### 16.4.3. Schienenverkehr

Im Schienenverkehr fallen im Vergleich zu den externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger die Unfallkosten um 193 Mio. CHF höher aus und betragen somit 214 Mio. CHF, wovon 94 Mio. CHF von Dritten verursacht werden und damit nicht dem Schienenverkehr anzulasten sind (und deshalb in Abbildung 113 ausgeschlossen werden). Auf den Personenverkehr entfallen 621 Mio. CHF, auf den Güterverkehr 544 Mio. CHF (siehe Abbildung 117).

Im Schienenverkehr sind die Lärmkosten mit 32% des Totals und die Gesundheitskosten der Luftbelastung mit 29% am bedeutsamsten – gefolgt von den Unfällen mit 17% sowie Natur und Landschaft mit 10%. Die übrigen Kostenbereiche tragen jeweils nur 4% oder weniger zum Total bei.

**Abbildung 117: Soziale Effekte im Schienenverkehr 2015 nach Kostenbestandteilen**

Soziale Kosten in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Dritte	Total
<b>Schienenverkehr</b>				
Gesundheit Luft	229.8	136.0		<b>365.8</b>
Gebäude Luft	17.3	10.2		<b>27.5</b>
Ernteauffälle Luft	0.3	0.5		<b>0.7</b>
Waldschäden Luft	0.2	0.4		<b>0.6</b>
Biodiversitätsverluste Luft	0.4	0.7		<b>1.1</b>
Lärm	153.4	245.8		<b>399.2</b>
Klima	1.3	2.3		<b>3.5</b>
Natur und Landschaft	95.4	33.2		<b>128.5</b>
Bodenschäden	25.4	3.7		<b>29.1</b>
Vor- und nachgelagerte Prozesse	34.2	19.9		<b>54.1</b>
Unfälle	32.4	87.3	94.1	<b>213.9</b>
Städtische Räume	31.4	4.6		<b>36.0</b>
<b>Total</b>	<b>621.5</b>	<b>544.5</b>	<b>94.1</b>	<b>1'260.1</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	<b>49.3%</b>	<b>43.2%</b>	<b>7.5%</b>	<b>100.0%</b>

### 16.4.4. Luftverkehr

Durch den Wechsel von den externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger zu den sozialen Kosten entstehen im Luftverkehr 32 Mio. CHF höhere Unfallkosten. Zudem müssen die Internalisierungen der Lärm-, Luftverschmutzungs- und Klimakosten von 15, 4 bzw. 1 Mio. CHF dazu addiert werden. Damit betragen die sozialen Kosten im Luftverkehr 1'284 Mio. CHF, wobei 93% oder 1'192 Mio. CHF vom Personenverkehr und 91 Mio. CHF vom Güterverkehr verursacht werden (siehe Abbildung 118). Weiterhin dominieren die Klimakosten das Ergebnis (70%), gefolgt von den vor- und nachgelagerten Prozessen und dem Lärm mit 13% bzw. 11%. Die übrigen Kostenbereiche machen nur je 3% oder weniger aus.

Weitere Berechnungen zeigen, dass 1'226 Mio. CHF (96%) bei Flügen ab / nach Landesflughäfen verursacht werden und 58 Mio. CHF (4%) bei Flügen ab / nach Regionalflugplätzen. Der Linien- und Charterverkehr ist für 92% der Kosten verantwortlich, wobei 47% oder 610 Mio. CHF auf interkontinentale Flüge entfallen und 44% oder 566 Mio. CHF auf europäische. Helikopter verursachen Kosten von 1 Mio. CHF (0.1%), auf die General Aviation entfallen 107 Mio. CHF (8%).

**Abbildung 118: Soziale Effekte im Luftverkehr 2015 nach Kostenbestandteilen**

<b>Soziale Kosten in Mio. CHF</b>	<b>Personenverkehr</b>	<b>Güterverkehr</b>	<b>Total</b>
<b>Luftverkehr</b>			
Gesundheit Luft	34.6	2.8	<b>37.4</b>
Gebäude Luft	2.6	0.2	<b>2.8</b>
Ernteauffälle Luft	2.0	0.2	<b>2.1</b>
Waldschäden Luft	1.8	0.1	<b>1.9</b>
Biodiversitätsverluste Luft	3.2	0.3	<b>3.4</b>
Lärm	128.9	7.8	<b>136.7</b>
Klima	826.3	66.5	<b>892.8</b>
Natur und Landschaft	6.3	0.5	<b>6.8</b>
Bodenschäden	-	-	<b>-</b>
Vor- und nachgelagerte Prozesse	153.5	12.6	<b>166.1</b>
Unfälle	33.1	0.5	<b>33.6</b>
Städtische Räume	-	-	<b>-</b>
<b>Total</b>	<b>1'192.2</b>	<b>91.5</b>	<b>1'283.7</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	<b>92.9%</b>	<b>7.1%</b>	<b>100.0%</b>

#### 16.4.5. Schiffsverkehr

Im Schiffsverkehr sind die sozialen Kosten nur geringfügig höher als die externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger: Die Unfallkosten steigen um 2.35 Mio. CHF und die Klimakosten um 1.0 Mio. CHF (da ein Teil internalisiert wird). Die sozialen Kosten betragen somit 95 Mio. CHF (siehe Abbildung 119). An den Verteilungen innerhalb des Schiffsverkehrs ändert sich damit nur wenig (vgl. Kapitel 16.1.5).

Abbildung 119: Soziale Effekte im Schiffsverkehr 2015 nach Kostenbestandteilen

Soziale Kosten in Mio. CHF	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
<b>Schiffsverkehr</b>			
Gesundheit Luft	23.2	33.6	<b>56.8</b>
Gebäude Luft	1.7	2.5	<b>4.3</b>
Ernteaussfälle Luft	0.9	2.0	<b>3.0</b>
Waldschäden Luft	0.8	1.8	<b>2.6</b>
Biodiversitätsverluste Luft	1.5	3.2	<b>4.7</b>
Lärm	-	-	-
Klima	6.4	6.8	<b>13.2</b>
Natur und Landschaft	0.8	4.4	<b>5.2</b>
Bodenschäden	-	-	-
Vor- und nachgelagerte Prozesse	1.4	1.8	<b>3.2</b>
Unfälle	0.2	2.3	<b>2.5</b>
Städtische Räume	-	-	-
<b>Total</b>	<b>37.0</b>	<b>58.4</b>	<b>95.4</b>
<b>in % des Gesamttotals</b>	<b>38.8%</b>	<b>61.2%</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: Daten BFS, Angaben aus der Studie zum Schiffsverkehr<sup>52</sup> sowie Daten der schweizerischen Rheinhäfen

Für die Kostenbereiche Lärm, Gesundheits- sowie Gebäudeschäden durch Luftverschmutzung erfolgt die Umrechnung auf die Fahr- und Verkehrsleistung im Strassen- und Schienenverkehr

<sup>52</sup> IRENE und Ecosys (2013), L'intégration de la navigation dans le compte des transports.

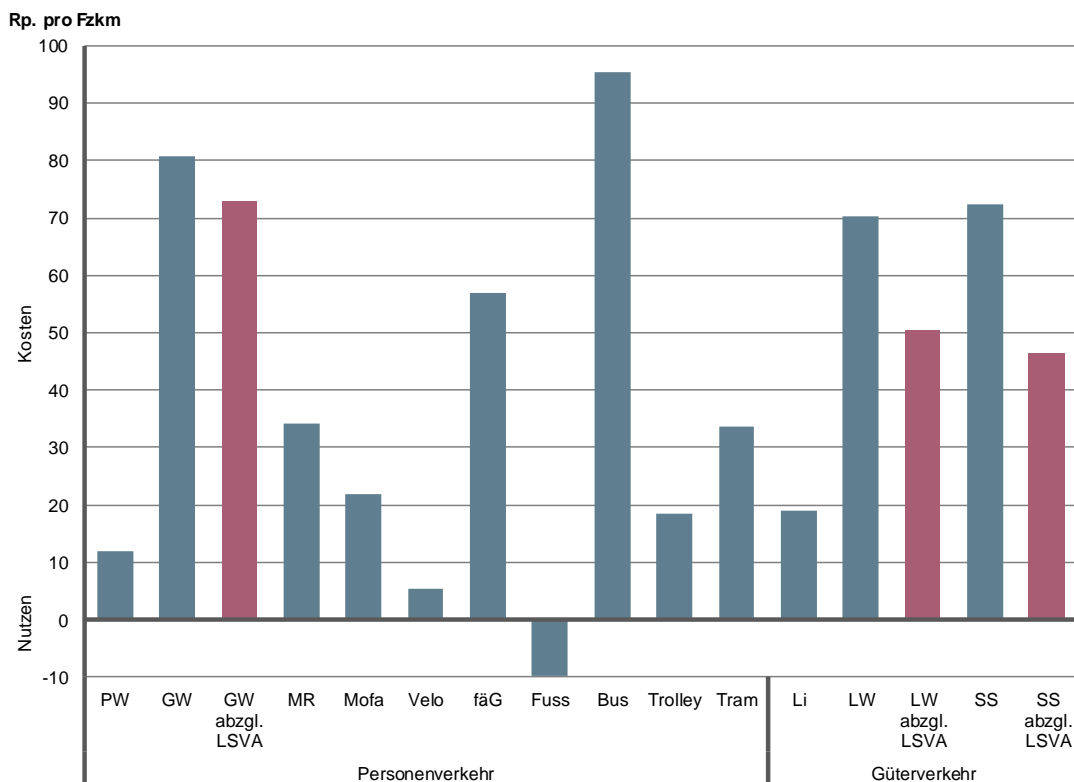
jeweils auf den Inputmengen, die dem jeweiligen Berechnungsmodell (Lärmmodell SonBase bzw. Schadstoffausbreitungsmodell) zugrunde lagen.<sup>53</sup>

## 16.5.2. Strassenverkehr

### Effekte pro Fahrzeugkilometer

Die externen Kosten pro Fzkm sind wenig überraschend besonders in den grossen Fahrzeugkategorien hoch, insbesondere bei Bussen mit 95 Rappen Rp./ Fzkm und Gesellschaftswagen mit 81 (Gesellschaftswagen abzüglich LSVA noch 73 Rp. / Fzkm – siehe Abbildung 120 und Abbildung 121). Auch der schwere Güterverkehr kommt auf externe Kosten von ca. 71 Rp. / Fzkm – wird ein Teil der LSVA als Internalisierungsbeitrag angerechnet, sinken diese auf 51 (Lastwagen)

**Abbildung 120: Externe Effekte aus Sicht Verkehrsträger pro Fahrzeugkilometer im Strassenverkehr 2015**



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

fäG: Keine Daten zur Berechnung der Gesundheitsnutzen verfügbar.

<sup>53</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 übereinstimmen.

Abbildung 121: Externe und soziale Effekte pro Fahrzeugkilometer im Strassenverkehr 2015

Externe Effekte pro Fzkm Strassenverkehr	Personenverkehr										Güterverkehr			
	Motorisierter privater Personenverkehr				Langsamverkehr			Öffentlicher Personenverkehr			Li	LW	SS	
	PW	GW	MR	Mofa	Velo	fäG	Fuss	Bus	Trolley	Tram				
Mio. Fzkm														
Grundlage Gesundheit / Gebäude Luft	53'653.8	112.1	2'297.5	146.6	2'453.5	111.3	4'870.6	251.2	27.1	33.1	3'602.5	1'363.2	923.3	
Grundlage Lärm	52'832.4	125.6	1'797.7	145.3	2'453.5	111.3	4'870.6	261.2	26.0	31.7	3'958.1	1'475.6	999.4	
Grundlage Übrige	55'114.1	131.0	1'875.3	151.6	2'453.5	111.3	4'870.6	272.4	27.1	33.1	4'129.1	1'332.3	902.3	
Rp. pro Fzkm														
Gesundheit Luft	3.7	31.6	0.8	0.1	-	-	-	41.5	n.a.	n.a.	5.5	23.7	21.8	
Gebäude Luft	0.3	2.4	0.1	0.0	-	-	-	3.1	n.a.	n.a.	0.4	1.8	1.6	
Ernteaussfälle Luft	0.1	1.1	0.0	0.0	-	-	-	1.3	-	-	0.2	0.6	0.5	
Waldschäden Luft	0.1	0.9	0.0	0.0	-	-	-	1.1	-	-	0.1	0.5	0.4	
Biodiversitätsverluste Luft	0.1	1.7	0.0	0.0	-	-	-	2.0	-	-	0.3	0.9	0.8	
Lärm	1.7	19.7	19.7	1.7	-	-	-	19.7	1.7	5.3	5.3	21.7	21.7	
Klima	2.1	9.9	1.2	0.1	-	-	-	12.6	-	-	2.6	7.6	9.4	
Natur und Landschaft	1.4	4.2	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	4.8	0.9	0.9	1.5	4.8	5.5	
Bodenschäden	0.1	2.1	0.1	0.0	-	-	-	2.1	2.1	0.0	0.3	2.1	2.1	
Vor- und nachgelagerte Prozesse	1.4	4.7	1.0	1.0	0.8	0.7	0.7	5.3	7.2	22.8	1.6	5.1	7.5	
Unfälle	0.8	2.2	10.5	18.3	22.6	55.9	7.5	1.2	5.5	3.1	1.0	1.4	0.8	
Städtische Räume	0.1	0.2	0.1	0.1	-	-	-	0.5	0.8	1.3	0.2	0.2	0.2	
Gesundheitsnutzen Langsamverkehr	-	-	-	-	-18.4	n.a.	-18.3	-	-	-	-	-	-	
Total aller Kostenbereiche	11.9	80.7	34.1	21.8	5.5	57.0	-9.8	95.3	18.4	33.6	19.0	70.3	72.3	
Abzug LSVA-Anteil	-	7.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19.8	25.8	
Total mit LSVA Abzug	11.9	72.9	34.1	21.8	5.5	57.0	-9.8	95.3	18.4	33.6	19.0	50.5	46.6	
Durchschnitt Teilbereiche	12.8				-3.7			82.3			38.6			
Gesamttotal Sicht Verkehrsart	78.8										57.1			48.9
Gesamttotal Sicht Verkehrsteilnehmende	14.9	100.0	42.9	29.0	10.3	95.1	-9.3	110.5	88.7	80.4	23.8	58.7	49.7	
Gesamttotal soziale Kosten	23.0	130.8	146.1	207.8	-217.4	509.3	-338.8	126.5	183.1	129.1	36.8	92.2	82.5	

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

bzw. 47 (Sattelschlepper) Rp. / Fzkm. Bei den Personenwagen belaufen sich die externen Kosten auf 12 Rp. / Fzkm. Auffällig sind des Weiteren die hohen Kosten von fäG, Motorrädern und Mofas (22 bis 57 Rp. / Fzkm). Dies ist auf die hohen, von ihnen verursachten Unfallkosten zurückzuführen und bei den Motorrädern zudem auf die Lärmkosten (vgl. Abbildung 121). Beim Fussverkehr sind die externen Nutzen von 18 Rp. / km deutlich höher als die externen Kosten mit 9 Rp. / km. Die von den Velofahrenden verursachten externen Kosten übersteigen deren externe Gesundheitsnutzen, so dass externe Kosten von 5 Rp. / Fzkm verbleiben.

Die externen Kosten aus **Sicht Verkehrsart** Schwerverkehr liegen nur geringfügig höher (2 bis 7 Rp / Fzkm) als aus Sicht Verkehrsträger (vgl. dritt- und fünftunterste Zeile in Abbildung 121). Aus **Sicht Verkehrsteilnehmende** liegen die Kosten um 0.5 (Fussgänger) bis 70 (Trolleybus) Rp. / Fzkm höher als aus Sicht Verkehrsträger. Der öffentliche Strassenverkehr sowie die



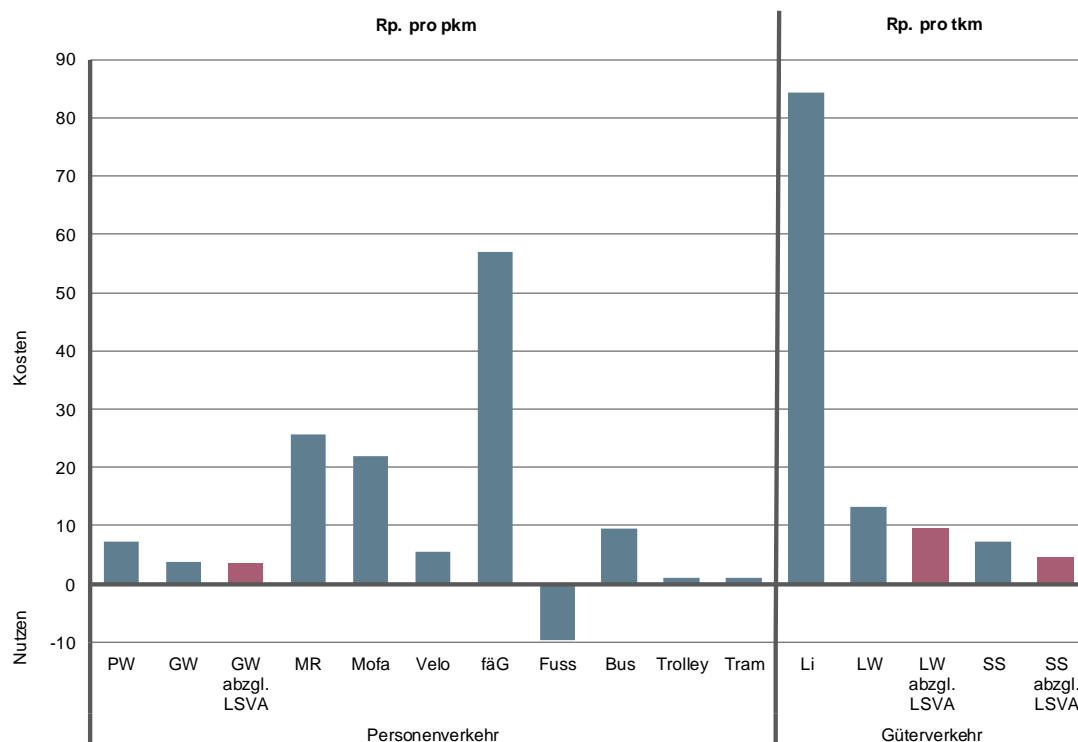
Gesellschaftswagen (sowie die fäG, deren Gesundheitsnutzen nicht quantifiziert werden können) erreichen damit aus Sicht Verkehrsteilnehmende die höchsten externen Kosten pro Fzkm. Für Personenwagen sind die externen Kosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende um 3.0 Rp. / Fzkm (oder 25%) höher als aus Sicht Verkehrsträger. Im Veloverkehr betragen die externen Kosten 10.3 Rp. / Fzkm (statt 5.5) und im Fussverkehr ist der Nettonutzen leicht kleiner (9.3 statt 9.8 Rp. / Fzkm).

Bei den **sozialen Kosten** zeigen sich deutliche Unterschiede zu den vorangehenden Gröszenordnungen: Aufgrund der hohen Unfallkosten liegen die sozialen Kosten von fäG, Mofas und Trolleybus über 180 Rp. / Fzkm (bei den fäG allerdings ohne Gesundheitsnutzen). Auch das Motorrad verursacht soziale Kosten von 146 Rp. / Fzkm und Bus und Tram solche von ca. 128 Rp. / Fzkm. Der schwere Güterverkehr kommt bei 82 bis 92 Rp. / Fzkm zu liegen und die Personenwagen bei 23 Rp. / Fzkm. Der Fuss- bzw. Veloverkehr generiert demgegenüber soziale Nutzen von 339 bzw. 217 Rp. / Fzkm.

### Effekte pro Personen- bzw. Tonnenkilometer

Im **Personenverkehr** verursachen fäG aufgrund der hohen Unfallkosten aus Sicht Verkehrsträger die höchsten externen Kosten (57 Rp. / pkm, wiederum ohne Gesundheitsnutzen).

**Abbildung 122: Externe Effekte aus Sicht Verkehrsträger pro Personen- bzw. Tonnenkilometer im Strassenverkehr 2015**



**Abbildung 123: Externe und soziale Effekte pro Personen- bzw. Tonnenkilometer im Strassenverkehr 2015**

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				
Mio. pkm bzw. tkm														
Grundlage Gesundheit / Gebäude Luft	88'633.9	2'367.2	3'066.6	146.6	2'453.5	111.3	4'870.6	2'514.3	516.3	1'153.3	813.3	7'270.6	9'375.5	
Grundlage Lärm	87'277.0	2'651.9	2'399.5	145.3	2'453.5	111.3	4'870.6	2'614.3	494.9	1'105.6	893.5	7'869.8	10'148.2	
Grundlage Übrige	91'046.3	2'766.4	2'503.2	151.6	2'453.5	111.3	4'870.6	2'727.2	516.3	1'153.3	932.1	7'105.3	9'162.4	
Rp. pro pkm bzw. tkm														
Gesundheit Luft	2.2	1.5	0.6	0.1	-	-	-	4.1	n.a.	n.a.	24.4	4.4	2.1	
Gebäude Luft	0.2	0.1	0.0	0.0	-	-	-	0.3	n.a.	n.a.	1.8	0.3	0.2	
Ernteausfälle Luft	0.0	0.1	0.0	0.0	-	-	-	0.1	-	-	0.7	0.1	0.0	
Waldschäden Luft	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	0.1	-	-	0.7	0.1	0.0	
Biodiversitätsverluste Luft	0.1	0.1	0.0	0.0	-	-	-	0.2	-	-	1.2	0.2	0.1	
Lärm	1.0	0.9	14.8	1.7	-	-	-	2.0	0.1	0.2	23.5	4.1	2.1	
Klima	1.3	0.5	0.9	0.1	-	-	-	1.3	-	-	11.4	1.4	0.9	
Natur und Landschaft	0.9	0.2	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.5	0.0	0.0	6.8	0.9	0.5	
Bodenschäden	0.1	0.1	0.1	0.0	-	-	-	0.2	0.1	0.0	1.5	0.4	0.2	
Vor- und nachgelagerte Prozesse	0.9	0.2	0.8	1.0	0.8	0.7	0.7	0.5	0.4	0.7	6.9	1.0	0.7	
Unfälle	0.5	0.1	7.9	18.3	22.6	55.9	7.5	0.1	0.3	0.1	4.5	0.3	0.1	
Städtische Räume	0.1	0.0	0.0	0.1	-	-	-	0.1	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	
Gesundheitsnutzen Langsamverkehr	-	-	-	-	-18.4	n.a.	-18.3	-	-	-	-	-	-	
Total aller Kostenbereiche	7.2	3.8	25.5	21.8	5.5	57.0	-9.8	9.5	1.0	1.0	84.3	13.2	7.1	
Abzug LSVA-Anteil	-	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.7	2.5	
Total mit LSVA Abzug	7.2	3.5	25.5	21.8	5.5	57.0	-9.8	9.5	1.0	1.0	84.3	9.5	4.6	
Durchschnitt Teilbereiche	7.6				-3.7			6.2			13.5			
Gesamttotal Sicht Verkehrsart	3.7										10.7			4.8
Gesamttotal Sicht Verkehrsteilnehmende	9.0	4.7	32.1	29.0	10.3	95.1	-9.3	11.0	4.7	2.3	105.3	11.0	4.9	
Gesamttotal soziale Kosten	13.9	6.2	109.4	207.8	-217.4	509.3	-338.8	12.6	9.6	3.7	162.8	17.3	8.1	

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

Auch Motorräder und Mofas führen zu Kosten von 26 bzw. 22 Rp. / pkm (vor allem wegen hoher Unfallkosten und bei Motorrädern vor allem wegen hoher Lärmkosten). Etwas überraschend verursachen Busse mit 9.5 Rp. / pkm etwas höhere Kosten als Personenwagen mit 7.2 Rp. / pkm. Dies ist vor allem auf die bei 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 (3.2 Rp. / pkm) oder im Tram oder Trolleybus, die beide nur auf 1.0 Rp. / pkm zu liegen kommen. Die Differenz zwischen Bussen bzw. Trams / Trolleybussen ist auf die vergleichsweise

hohen Besetzungsgrade von Trolleybussen und Trams (19 bzw. 35) 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 1.4 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 9.8 Rp. / pkm, im Veloverkehr hingegen sind die verursachten externen Kosten höher als die externen Gesundheitsnutzen (insgesamt Kosten von 5.5 Rp. / pkm).

Aus **Sicht Verkehrsteilnehmende** sind die externen Kosten je nach Fahrzeugkategorie um 0.5 (Fussgänger) bis 7 (Mofa) Rp. / pkm höher als aus Sicht Verkehrsträger (Ausnahme fäG: +38 Rp. / pkm). Die **sozialen Kosten** liegen bei fäG und Mofas über 200 Rp. / pkm, und auch die Motorräder erreichen 109 Rp. / pkm. Die Personenwagen liegen nun mit 13.9 Rp. / pkm über dem öffentlichen Personenverkehr mit durchschnittlich 9.9 Rp. / pkm. Der Langsamverkehr kann dank der Gesundheitsnutzen wiederum grosse Nutzen ausweisen.

Im **Güterverkehr** verursachen die Lieferwagen aufgrund der geringen Transportmengen (0.23 t pro Fahrzeug) mit 84 Rp. / tkm die höchsten externen Kosten pro tkm. Lastwagen mit durchschnittlich 5.3 t pro Fahrzeug bzw. Sattelschlepper mit 10.2 t verursachen Kosten von 9.5 bzw. 4.6 Rp. / tkm (nach Anrechnung des LSVA-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 163, 17 bzw. 8 Rp. / tkm).

### 16.5.3. Schienenverkehr

Aus Sicht Verkehrsträger liegen die externen Kosten der Bahn im Personenverkehr bei 334 Rp. / Zugkm, im Güterverkehr hingegen bei 1'512 Rp. / Zugkm – und damit gut 4.5-mal höher (vgl. Abbildung 124). 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, bei den vor- und nachgelagerten Prozessen sowie bei den Gebäudeschäden sind grössere Unterschiede zwischen Personen- und Güterverkehr erkennbar.

Pro Personenkilometer fallen im Schienenverkehr Kosten von 3.2 Rp. / pkm an. Dies ist vor allem auf Gesundheitskosten der Luftverschmutzung, Lärm sowie Natur und Landschaft zurückzuführen. Im Güterverkehr entstehen Kosten von fast 4 Rp. / tkm.<sup>54</sup>

<sup>54</sup> Dabei werden die sogenannten NNtkm (NettoNetto-tkm) verwendet, bei denen nur das Gewicht der transportierten Güter berücksichtigt wird (wie bei den anderen Verkehrsträgern).

Die externen Kosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende (pro Zugkm, pkm und tkm) steigen nur um 2% (Personenverkehr) bis 11% (Güterverkehr). Die sozialen Kosten sind im Personenverkehr um 5% höher, im Güterverkehr um 19%.

**Abbildung 124: Externe und soziale Effekte pro Fahr- und Verkehrsleistung im Schienenverkehr 2015**

Externe Kosten Schienenverkehr	Kosten pro Zugkm			pro pkm	
	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	Personenverkehr	Güterverkehr
<b>Mio. Zugkm, pkm bzw. tkm</b>					
Grundlage Gesundheit / Gebäude Luft	167.5	26.4	<b>193.9</b>	17'400.0	10'012.4
Grundlage Lärm	170.6	34.6	<b>205.2</b>	17'719.1	13'139.5
Grundlage Übrige	196.3	28.5	<b>224.8</b>	20'389.0	10'823.0
<b>Rp. pro Zugkm</b>					
Gesundheit Luft	137.2	515.7	<b>188.7</b>	1.32	1.36
Gebäude Luft	10.3	38.7	<b>14.2</b>	0.10	0.10
Ernteauffälle Luft	0.1	1.6	<b>0.3</b>	0.00	0.00
Waldschäden Luft	0.1	1.4	<b>0.3</b>	0.00	0.00
Biodiversitätsverluste Luft	0.2	2.5	<b>0.5</b>	0.00	0.01
Lärm	89.9	710.4	<b>194.5</b>	0.87	1.87
Klima	0.6	7.3	<b>1.5</b>	0.01	0.02
Natur und Landschaft	48.6	116.4	<b>57.2</b>	0.47	0.31
Bodenschäden	12.9	12.9	<b>12.9</b>	0.12	0.03
Vor- und nachgelagerte Prozesse	17.4	69.9	<b>24.1</b>	0.17	0.18
Unfälle	0.8	19.4	<b>3.2</b>	0.01	0.05
Städtische Räume	16.0	16.0	<b>16.0</b>	0.15	0.04
<b>Total</b>	<b>334.3</b>	<b>1'512.1</b>	<b>513.3</b>	<b>3.22</b>	<b>3.98</b>
<b>% Abweichung zum Durchschnitt</b>	-34.9%	194.6%			
<b>Gesamttotal Sicht Verkehrsteilnehmende</b>	<b>340.2</b>	<b>1'672.5</b>	<b>538.8</b>	<b>3.28</b>	<b>4.40</b>
<b>Gesamttotal soziale Kosten</b>	<b>350.0</b>	<b>1'799.9</b>	<b>563.5</b>	<b>3.37</b>	<b>4.74</b>

#### 16.5.4. Luftverkehr

Für die Berechnung der externen Kosten des Luftverkehrs pro Personenkilometer und pro Tonnenkilometer (Fracht), werden die externen Kosten im Verhältnis des transportierten Personen- und Frachtgewichts aufgeteilt. Würden transportierte Personen- und Frachtgewichte distanzabhängig gewichtet, so würden sich die Kostensätze leicht verschieben.

Im Luftverkehr belaufen sich die externen Kosten für den Personentransport auf 2.6 Rp. / pkm (Sicht Verkehrsträger – vgl. Abbildung 125). Im Frachtverkehr liegen die Kosten in der Sicht Verkehrsträger bei 8.5 Rp. / tkm. Der Grossteil der Kosten stammt jeweils vom Klimabereich. Aus Sicht Verkehrsteilnehmende steigen die Kosten im Personenverkehr um 1.2% (im Güterverkehr unverändert), die sozialen Kosten fallen ebenfalls nur um 4% bzw. 2% höher aus.

Abbildung 125: Externe und soziale Effekte pro Verkehrsleistung im Luftverkehr 2015

Externe Kosten pro pkm bzw. tkm	Personenverkehr pkm	Güterverkehr tkm
<b>Mio. pkm bzw. tkm</b>		
Berechnungsgrundlage	43'485.9	1'053.7
<b>Rp. pro pkm bzw. tkm</b>		
Gesundheit Luft	0.07	0.24
Gebäude Luft	0.01	0.02
Ernteauffälle Luft	0.00	0.02
Waldschäden Luft	0.00	0.01
Biodiversitätsverluste Luft	0.01	0.02
Lärm	0.26	0.64
Klima	1.90	6.30
Natur und Landschaft	0.01	0.05
Bodenschäden	-	-
Vor- und nachgelagerte Prozesse	0.35	1.19
Unfälle	0.00	0.00
Städtische Räume	-	-
<b>Total</b>	<b>2.63</b>	<b>8.50</b>
<b>Gesamttotal Sicht Verkehrsteilnehmende</b>	<b>2.66</b>	<b>8.50</b>
<b>Gesamttotal soziale Kosten</b>	<b>2.74</b>	<b>8.68</b>

#### 16.5.5. Schiffsverkehr

Im Schiffsverkehr liegen die externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger bei 23 Rp. / pkm bzw. bei 2.6 Rp. / tkm (vgl. Abbildung 126). 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 auf 1.9 Rp. / tkm, auf den Seen hingegen auf 44 Rp. / tkm. Dies ist eine Folge der deutlich kleineren Tonnagen und kürzeren Strecken auf den Seen sowie der höheren Schadstoffemissionen.

Die sozialen Kosten bzw. die externen Kosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende übersteigen die externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger nur relativ wenig (maximal +6%).

Abbildung 126: Externe und soziale Effekte pro Verkehrsleistung im Schiffsverkehr 2015

Externe Kosten pro Kilometer Schiffsverkehr	Personenverkehr pkm	Güterverkehr tkm	davon Rhein	Seen
Verkehrsleistung (Mio. pkm bzw. Mio. tkm)	158.9	2'158.8	2'125.05	33.80
<b>in Rp. pro pkm bzw. tkm</b>				
Gesundheit Luft	14.6	1.56	1.19	24.37
Gebäude Luft	1.1	0.12	0.09	1.83
Ernteaussfälle Luft	0.6	0.09	0.08	0.90
Waldschäden Luft	0.5	0.08	0.07	0.78
Biodiversitätsverluste Luft	0.9	0.15	0.13	1.42
Lärm	-	-	-	-
Klima	3.7	0.29	0.20	6.08
Natur und Landschaft	0.5	0.20	0.09	7.23
Bodenschäden	-	-	-	-
Vor- und nachgelagerte Prozesse	0.9	0.08	0.06	1.76
Unfälle	0.0	0.01	0.01	0.01
Städtische Räume	-	-	-	-
Gesundheitsnutzen Langsamverkehr	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>22.8</b>	<b>2.58</b>	<b>1.92</b>	<b>44.39</b>
<b>Gesamttotal Sicht Verkehrsteilnehmende</b>	<b>22.9</b>	<b>2.62</b>	<b>1.95</b>	<b>44.43</b>
<b>Gesamttotal soziale Kosten</b>	<b>23.3</b>	<b>2.71</b>	<b>2.03</b>	<b>45.00</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).

#### Personenverkehr

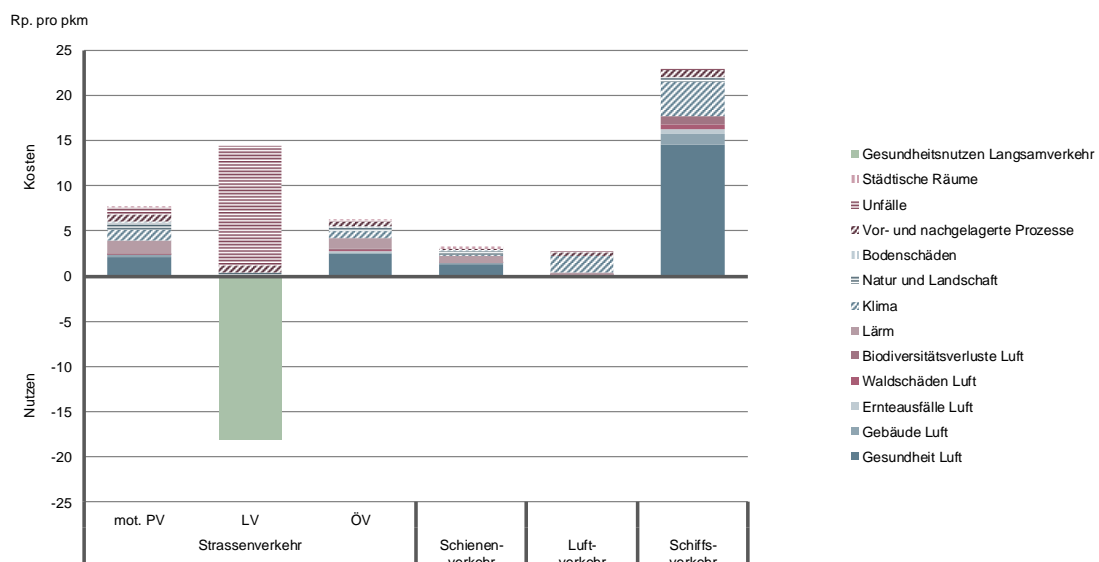
Zieht man die Ergebnisse zum Personenverkehr in den vorangehenden Kapiteln zusammen, wird sofort ersichtlich, dass der Schiffsverkehr aus **Sicht Verkehrsträger** mit 23 Rp. / pkm die höchsten externen Kosten pro pkm verursacht (vgl. Abbildung 127 und Abbildung 128). Dies ist

auf die sehr hohen Emissionen von Luftschadstoffen (aber auch von Klimagasen) zurückzuführen. Ansonsten verursacht der Langsamverkehr die höchsten externen 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 3.7 Rp. / pkm ergibt. Der motorisierte Privatverkehr auf der Strasse verursacht Kosten von 7.6 Rp. / pkm, was etwas höher liegt als der öffentliche Strassenverkehr mit 6.2 Rp. / pkm. Der Schienenverkehr verursacht Kosten von 3.2 Rp. / pkm. Der Luftverkehr erreicht schliesslich aufgrund der grossen Distanzen und der hohen Auslastung mit 2.6 Rp. / pkm die tiefsten Kosten pro pkm.

Aus **Sicht Verkehrsteilnehmende** steigen die Kosten des motorisierten privaten und des öffentlichen Strassenverkehrs um knapp 30%, während die Kosten der anderen Verkehrsträger sich kaum erhöhen. Zudem sinkt der Nettonutzen im Langsamverkehr um ca. zwei Drittel auf 1.3 Rp. / pkm. Bei den **sozialen Kosten** ist dies noch ausgeprägter: Die Kosten des motorisierten privaten und des öffentlichen Strassenverkehrs nehmen zu (um 117% bzw. 59%), während die anderen Verkehrsträger um maximal 5% zunehmen. Der grösste Effekt ist im Langsamverkehr zu beobachten, der einen Nutzenüberschuss von 286 Rp. / pkm ausweist.

**Abbildung 127: Vergleich der Verkehrsträger im Personenverkehr 2015: Externe Kosten pro pkm (Sicht Verkehrsträger)**

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



**Abbildung 128: Vergleich der Verkehrsträger im Personenverkehr 2015: Externe und soziale Kosten pro pkm**

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

	Personenverkehr in Rp. / pkm					
	Strassenverkehr		ÖV	Luftverkehr	Schiffsverkehr	
	mot. PV	LV				
Gesundheit Luft	2.2	-	2.5	1.3	0.1	14.6
Gebäude Luft	0.2	-	0.2	0.1	0.0	1.1
Ernteauffälle Luft	0.0	-	0.1	0.0	0.0	0.6
Waldschäden Luft	0.0	-	0.1	0.0	0.0	0.5
Biodiversitätsverluste Luft	0.1	-	0.1	0.0	0.0	0.9
Lärm	1.4	-	1.3	0.9	0.3	-
Klima	1.2	-	0.8	0.0	1.9	3.7
Natur und Landschaft	0.8	0.4	0.3	0.5	0.0	0.5
Bodenschäden	0.1	-	0.1	0.1	-	-
Vor- und nachgelagerte Prozesse	0.8	0.7	0.5	0.2	0.4	0.9
Unfälle	0.7	13.2	0.1	0.0	0.0	0.0
Städtische Räume	0.1	-	0.0	0.2	-	-
Gesundheitsnutzen Langsamverkehr	-	-18.1	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>7.6</b>	<b>-3.7</b>	<b>6.2</b>	<b>3.2</b>	<b>2.6</b>	<b>22.8</b>
<b>Abzug LSVA-Anteil</b>	<b>0.01</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>Total mit LSVA Abzug</b>	<b>7.6</b>	<b>-3.7</b>	<b>6.2</b>	<b>3.2</b>	<b>2.6</b>	<b>22.8</b>
<b>Gesamttotal Sicht Verkehrsteilnehmende</b>	<b>9.5</b>	<b>-1.3</b>	<b>7.9</b>	<b>3.3</b>	<b>2.7</b>	<b>22.9</b>
<b>Gesamttotal soziale Kosten</b>	<b>16.5</b>	<b>-286.0</b>	<b>9.9</b>	<b>3.4</b>	<b>2.7</b>	<b>23.3</b>

## Güterverkehr

Im Güterverkehr ergeben sich im Luftverkehr mit 8.5 Rp. / tkm die höchsten externen Kosten (Sicht Verkehrsträger – vgl. Abbildung 129 und Abbildung 130). Zwar liegen die Kosten des Strassengüterverkehrs (Durchschnitt Lastwagen und Sattelschlepper) mit 9.8 Rp. / tkm etwas höher. Aber davon werden 3.1 Rp. / tkm durch den LSVA-Anteil internalisiert, so dass nur noch 6.7 Rp. / tkm extern sind. Dies liegt deutlich über dem Schienenverkehr mit 4.0 Rp. / tkm. Im Schiffsverkehr entstehen auf dem Rhein externe Kosten von 1.9 Rp. / tkm, auf Seen hingegen 44 Rp. / tkm (der Güterverkehr auf Seen ist jedoch kaum relevant, nur 34 Mio. tkm oder 2% des Schiffsverkehrs<sup>55</sup>).

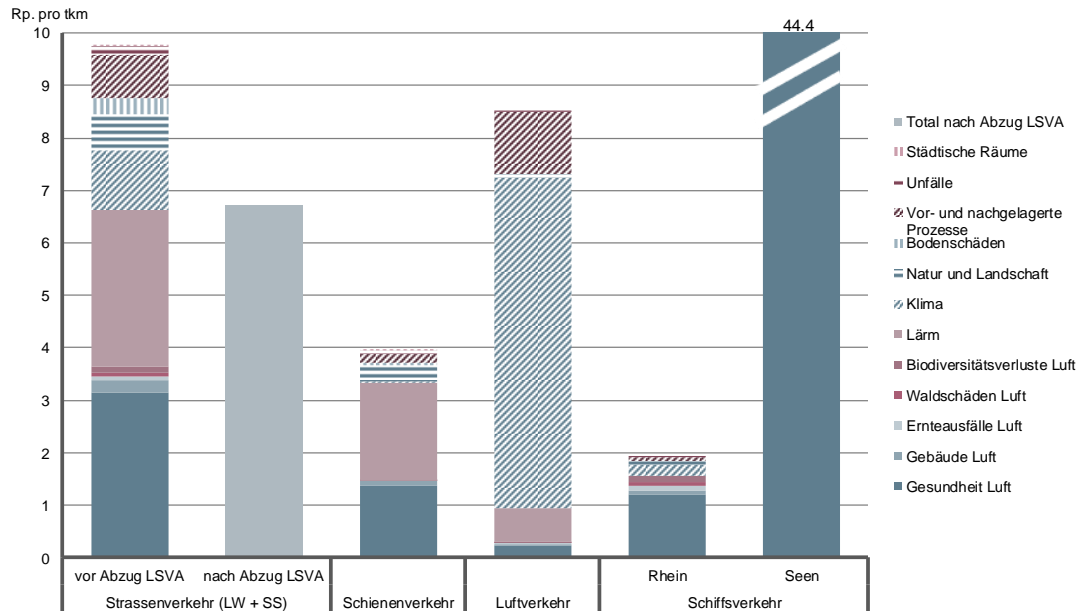
Aus **Sicht Verkehrsteilnehmende** schneidet der Strassenverkehr etwas weniger gut ab. Bei den **sozialen Kosten** fallen die Kosten des Strassenverkehrs 1.8-mal höher aus und liegen klar über dem Luftverkehr (12.1 versus 8.7 Rp. / tkm). Die sozialen Kosten des Schienen- und Schiffsverkehrs auf Seen liegen nur geringfügig über den externen Kosten (4.7 bzw. 45 Rp. / tkm). Beim Schiffsverkehr auf dem Rhein sind die sozialen Kosten etwa gleich hoch – (2.0 statt 1.9 Rp. / tkm).

<sup>55</sup> Entsprechend schätzen wir die Datenlage im Schiffsverkehr als vergleichsweise unsicher ein.



**Abbildung 129: Vergleich der Verkehrsträger im Güterverkehr 2015: Externe Kosten pro tkm (Sicht Verkehrsträger)**

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



**Abbildung 130: Vergleich der Verkehrsträger im Güterverkehr 2015: 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	3.1	1.4	0.2	1.2	24.4
Gebäude Luft	0.2	0.1	0.0	0.1	1.8
Ernteaufälle Luft	0.1	0.0	0.0	0.1	0.9
Waldschäden Luft	0.1	0.0	0.0	0.1	0.8
Biodiversitätsverluste Luft	0.1	0.0	0.0	0.1	1.4
Lärm	3.0	1.9	0.6	-	-
Klima	1.1	0.0	6.3	0.2	6.1
Natur und Landschaft	0.7	0.3	0.1	0.1	7.2
Bodenschäden	0.3	0.0	-	-	-
Vor- und nachgelagerte Prozesse	0.8	0.2	1.2	0.1	1.8
Unfälle	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
Städtische Räume	0.0	0.0	-	-	-
<b>Total</b>	<b>9.8</b>	<b>4.0</b>	<b>8.5</b>	<b>1.9</b>	<b>44.4</b>
<b>Abzug LSVA-Anteil</b>	<b>3.1</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>Total mit LSVA Abzug</b>	<b>6.7</b>	<b>4.0</b>	<b>8.5</b>	<b>1.9</b>	<b>44.4</b>
<b>Gesamttotal Sicht Verkehrsart</b>	<b>7.4</b>				
<b>Gesamttotal Sicht Verkehrsteilnehmende</b>	<b>7.6</b>	<b>4.4</b>	<b>8.5</b>	<b>2.0</b>	<b>44.4</b>
<b>Gesamttotal soziale Kosten</b>	<b>12.1</b>	<b>4.7</b>	<b>8.7</b>	<b>2.0</b>	<b>45.0</b>

## 16.6. Vergleich der Ergebnisse 2015 mit bisherigen und überarbeiteten Datengrundlagen

In diesem Abschnitt werden die neuen Ergebnisse für das Jahr 2015 mit den Resultaten für das Jahr 2015 gemäss bisherigen Datengrundlagen verglichen. Dabei wird untersucht, welchen Effekt all die Anpassungen der Datengrundlagen haben, die im Rahmen des vorliegenden Berichtes durchgeführt und in den vorangehenden 13 Kapiteln beschrieben wurden. Im Folgenden zeigen wir zuerst eine Gesamtübersicht und gehen dann noch differenzierter auf die vier Verkehrsträger ein.

**Insgesamt nehmen die externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger um 27% oder 2.75 Mrd. CHF zu.** Der Grossteil der Zunahme ist auf den Strassenverkehr zurückzuführen (+2.4 Mrd. CHF). Im Schienenverkehr ist die Zunahme prozentual zwar etwas höher (+34%), aber auf

**Abbildung 131:** Vergleich der Berechnungen für 2015 mit bisherigen und überarbeiteten Datengrundlagen (externe Kosten Sicht Verkehrsträger)

<b>Ergebnisse 2015 - bisher [Mio. CHF]</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	6'739	1'313	<b>8'052</b>
Schienenverkehr	445	344	<b>789</b>
Luftverkehr	1'111	88	<b>1'198</b>
Schiffsverkehr	27	21	<b>47</b>
<b>Total</b>	<b>8'321</b>	<b>1'766</b>	<b>10'087</b>
<b>Ergebnisse 2015 - überarbeitet [Mio. CHF]</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	8'546	1'911	<b>10'457</b>
Schienenverkehr	591	462	<b>1'053</b>
Luftverkehr	1'142	90	<b>1'231</b>
Schiffsverkehr	36	56	<b>92</b>
<b>Total</b>	<b>10'315</b>	<b>2'518</b>	<b>12'833</b>
<b>Veränderung in %</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	26.8%	45.5%	<b>29.9%</b>
Schienenverkehr	32.8%	34.4%	<b>33.5%</b>
Luftverkehr	2.8%	2.3%	<b>2.8%</b>
Schiffsverkehr	36.4%	171.6%	<b>95.3%</b>
<b>Total</b>	<b>24.0%</b>	<b>42.6%</b>	<b>27.2%</b>
<b>Veränderung in Mio. CHF</b>	Personenverkehr	Güterverkehr	<b>Total</b>
Strassenverkehr	1'807	597	<b>2'404</b>
Schienenverkehr	146	118	<b>264</b>
Luftverkehr	31	2	<b>33</b>
Schiffsverkehr	10	35	<b>45</b>
<b>Total</b>	<b>1'994</b>	<b>753</b>	<b>2'747</b>

einem deutlich tieferen Niveau (+ 264 Mio. CHF). Im Luftverkehr verändert sich gesamthaft wenig (+3% oder 33 Mio. CHF). Im Schiffsverkehr beträgt die Zunahme 45 Mio. CHF oder 95%. Um zu verstehen, auf was diese Veränderungen zurückzuführen sind, sollen im Folgenden die einzelnen Kostenbereiche für die vier Verkehrsträger untersucht werden.

### **Strassenverkehr**

Im Strassenverkehr ist gut die Hälfte der absoluten Zunahme von 2'404 Mio. CHF auf die Gesundheitskosten der Luftbelastung zurückzuführen (+1'263 Mio. CHF). Diese Zunahme ist durch den höheren VOSL begründet (sowie auf die gleichzeitige Umstellung vom Netto- zum Brutto-produktionsausfall), der kleinere, gegenläufige Effekte (tiefere Immissionen) mehr als ausgleicht. Die zweitgrösste Zunahme (465 Mio. CHF oder 19% der Zunahme) tritt bei den Lärmkosten auf. Auch dies ist auf den höheren VOSL zurückzuführen, der den sinkenden Effekt neuer Daten zu den Todesfällen dominiert. Im Bereich der vor- und nachgelagerten Effekte (+313 Mio. CHF) und bei Natur und Landschaft (+221 Mio. CHF) sind ebenfalls grössere Zunahmen zu verzeichnen.

Über alle Fahrzeugkategorien gerechnet, beruht die Zunahme der vor- und nachgelagerten Prozesse im Strassenverkehr zu 60% auf einer Zunahme der Emissionen der Verkehrsmittel. Das bedeutet, dass die aktualisierten Lebenszyklus-Daten (Ecoinvent 3.3) der Herstellung, Unterhalt und Entsorgung von Fahrzeugen um 60% höher berechnet wurden als die bisherigen (rund 184 Mio. CHF). Wie in Abschnitt 12.2.2 bereits beschrieben, ergibt sich der grösste Teil der Zunahme innerhalb der Fahrzeugkategorien aufgrund der Veränderung der Emissionen der Herstellung (ohne Unterhalt und Entsorgung!) von Personenwagen (rund 165 Mio. CHF)<sup>56</sup>. Ebenfalls gestiegen sind die Emissionsfaktoren der Infrastruktur (rund 105 Mio. CHF), wobei es hier zum grössten Teil die Entsorgung und den Unterhalt betrifft. Die Emissionsfaktoren für die Produktion der Infrastruktur sind leicht gesunken. Der Rest verteilt sich auf die Veränderungen der Emissionsfaktoren zur Energiebereitstellung.

Die starke Zunahme der Kosten im Bereich Natur und Landschaft ist auf die angepasste, neue Datengrundlage zur Ermittlung der Infrastrukturlängen zurückzuführen. Dazu werden neue, qualitativ bessere GIS-Daten verwendet. Dies führt im Strassenverkehr dazu, dass die Infrastrukturlängen um knapp ein Viertel zugenommen haben. Die Steigerung der Klimakosten um rund 100 Mio. CHF ist eine Folge der aktualisierten Grundlagen zu den Emissionsfaktoren (aktuellste Version des Handbuches Emissionsfaktoren im Strassenverkehr).

Die externen Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr nehmen aufgrund der neuen Belastungs-Wirkungs-Beziehungen bei den Krankheitsfällen um 10% oder 146 Mio. CHF ab.

<sup>56</sup> Da diese eine Position fast 50% des gesamten Kostenanstiegs des Kostenträgers vor- und nachgelagerte Prozesse ausmacht (165 Mio. CHF von 364 Mio. CHF), wurden die Emissionen aus der Herstellung und Unterhalt der Fahrzeuge mit denjenigen der Mobitool Datenbank verglichen. Die Emissionsfaktoren für die durchschnittlichen Personenwagenflotten sind kompatibel.

**Abbildung 132:** Externe Kosten Sicht Verkehrsträger im Strassenverkehr: Vergleich der Berechnungen für 2015 mit bisherigen und überarbeiteten Datengrundlagen

Methodenvergleich 2015 bisher mit 2015 überarbeitet	Ergebnisse 2015 - bisher	Ergebnisse 2015 - überarbeitet	Veränderung in %	Veränderung in Mio. CHF
<b>Strassenverkehr</b>				
Gesundheit Luft	1'603	2'866	79%	1'263
Gebäude Luft	277	216	-22%	-61
Ernteauffälle Luft	57	59	3%	2
Waldschäden Luft	51	54	6%	3
Biodiversitätsverluste Luft	112	118	5%	6
Lärm	1'624	2'089	29%	465
Klima	1'404	1'509	7%	105
Natur und Landschaft	812	1'033	27%	221
Bodenschäden	131	140	7%	9
Vor- und nachgelagerte Prozesse	778	1'091	40%	313
Unfälle	1'637	1'716	5%	79
Städtische Räume	73	73	0%	-
<b>Zwischentotal</b>	<b>8'559</b>	<b>10'963</b>	<b>28%</b>	<b>2'404</b>
Abzug LSVA	506	506	0%	-
<b>Total</b>	<b>8'052</b>	<b>10'457</b>	<b>30%</b>	<b>2'404</b>
Gesundheitsnutzen Langsamverkehr	-1'491	-1'345	-10%	146

### Schienenverkehr

Im Schienenverkehr verändern sich alle Kostenebereiche absolut nur wenig ausser die Gesundheitskosten der Luftbelastung (+160 Mio. CHF) und der Lärm (+100 Mio. CHF). Dies erklärt 98% der Zunahme von insgesamt 264 Mio. CHF und ist auf den neu höheren VOSL zurückzuführen.

**Abbildung 133:** Externe Kosten Sicht Verkehrsträger im Schienenverkehr: Vergleich der Berechnungen für 2015 mit bisherigen und überarbeiteten Datengrundlagen

Methodenvergleich 2015 bisher mit 2015 überarbeitet	Ergebnisse 2015 - bisher	Ergebnisse 2015 - überarbeitet	Veränderung in %	Veränderung in Mio. CHF
<b>Schienenverkehr</b>				
Gesundheit Luft	206.0	365.8	78%	159.8
Gebäude Luft	35.5	27.5	-23%	-8.0
Ernteauffälle Luft	0.8	0.7	-6%	-0.0
Waldschäden Luft	0.6	0.6	-1%	-0.0
Biodiversitätsverluste Luft	1.1	1.1	0%	-
Lärm	299.0	399.2	33%	100.2
Klima	3.3	3.3	-2%	-0.1
Natur und Landschaft	126.8	128.5	1%	1.7
Bodenschäden	27.2	29.1	7%	1.8
Vor- und nachgelagerte Prozesse	47.0	54.1	15%	7.1
Unfälle	5.5	7.2	32%	1.7
Städtische Räume	36.0	36.0	0%	-
<b>Total</b>	<b>788.8</b>	<b>1'053.1</b>	<b>34%</b>	<b>264.3</b>

## Luftverkehr

Im Luftverkehr ist die Zunahme insgesamt gering (+3% oder 33 Mio. CHF). Dies ist auf gegenläufige Effekte zurückzuführen, die sich beinahe ausgleichen. Im dominanten Klimabereich ist die Abnahme der Kosten eine Folge des leicht angepassten CO<sub>2</sub>-Kostensatzes. Die prozentuale Abnahme ist zwar nur klein (-2%), bewirkt aber doch eine Reduktion der Kosten um 17 Mio. CHF. Die Luftbelastung führt zu geringeren Schäden (-17 Mio. CHF bei Gesundheits- und Gebäudeschäden trotz höherem VOSL), was auf die deutlich tieferen Immissionen durch den Luftverkehr zurückzuführen sind. Dies ist auf die praktische Elimination der Emissionen durch Abrieb aufgrund neuer Studienresultate zurückzuführen. Die grösste Zunahme von 43 Mio. CHF ist auf die vor- und nachgelagerten Effekte zurückzuführen. Innerhalb der vor- und nachgelagerten Prozesse ist die Veränderung des Mengengerüsts fast ausschliesslich auf die Infrastruktur, sprich die Flughäfen, zurückzuführen. Die Lebenszyklus-Daten der Flughäfen in Ecoinvent 3.3 wurden nach oben korrigiert. Zudem nehmen auch die Lärmkosten aufgrund des höheren VOSL um 24 Mio. CHF zu. Gesamthaft führt dies wie erläutert zu einer geringen Zunahme.

**Abbildung 134:** Externe Kosten Sicht Verkehrsträger im Luftverkehr: Vergleich der Berechnungen für 2015 mit bisherigen und überarbeiteten Datengrundlagen

Methodenvergleich 2015 bisher mit 2015 überarbeitet	Ergebnisse 2015 - bisher	Ergebnisse 2015 - überarbeitet	Veränderung in %	Veränderung in Mio. CHF
<b>Luftverkehr</b>				
Gesundheit Luft	44.0	33.1	-25%	-10.9
Gebäude Luft	8.8	2.8	-68%	-6.0
Ernteaussfälle Luft	2.3	2.1	-6%	-0.1
Waldschäden Luft	1.9	1.9	0%	-0.0
Biodiversitätsverluste Luft	3.4	3.4	0%	0.0
Lärm	98.0	121.6	24%	23.6
Klima	908.7	891.7	-2%	-17.0
Natur und Landschaft	6.8	6.8	0%	-0.0
Bodenschäden	-	-	n.a.	-
Vor- und nachgelagerte Prozesse	122.8	166.1	35%	43.3
Unfälle	1.6	1.8	16%	0.3
Städtische Räume	-	-	n.a.	-
<b>Total</b>	<b>1'198.3</b>	<b>1'231.5</b>	<b>3%</b>	<b>33.2</b>

## Schiffsverkehr

Im Schiffsverkehr beträgt die Zunahme insgesamt 95% oder 45 Mio. CHF. Dies ist auf die Gesundheitsschäden der Luftbelastung (+35 Mio. CHF) zurückzuführen. Die übrigen Kostenbereiche nehmen um höchstens +4.0 Mio. CHF zu.

**Abbildung 135: Externe Kosten Sicht Verkehrsträger im Schiffsverkehr: Vergleich der Berechnungen für 2015 mit bisherigen und überarbeiteten Datengrundlagen**

Methodenvergleich 2015 bisher mit 2015 überarbeitet	Ergebnisse 2015 - bisher	Ergebnisse 2015 - überarbeitet	Veränderung in %	Veränderung in Mio. CHF
<b>Schiffsverkehr</b>				
Gesundheit Luft	22.2	56.8	155%	34.5
Gebäude Luft	3.8	4.3	11%	0.4
Ernteaussfälle Luft	1.3	3.0	120%	1.6
Waldschäden Luft	1.1	2.6	132%	1.5
Biodiversitätsverluste Luft	2.0	4.7	135%	2.7
Lärm	-	-	n.a.	-
Klima	8.2	12.2	49%	4.0
Natur und Landschaft	5.3	5.2	0%	-0.0
Bodenschäden	-	-	n.a.	-
Vor- und nachgelagerte Prozesse	3.0	3.2	6%	0.2
Unfälle	0.1	0.2	28%	0.0
Städtische Räume	-	-	n.a.	-
<b>Total</b>	<b>47.1</b>	<b>92.0</b>	<b>95%</b>	<b>44.9</b>

## 16.7. Entwicklung der externen Kosten 2010 bis 2015

### 16.7.1. Nach Verkehrsträger

Abbildung 136 und Abbildung 137 zeigen die Entwicklungen der externen Kosten nach Verkehrsträgern. **Alle Verkehrsträger ausser dem Schiffsverkehr verzeichnen seit 2010 steigende Kosten.** Mit 3.6% ist der Strassenverkehr relativ gesehen am wenigsten gestiegen, gefolgt vom Schienenverkehr mit 9.0% und dem Luftverkehr mit 30.6%. Die Entwicklungen im Strassen- und Schienenverkehr entsprechen den Entwicklungspfaden der Verkehrsleistungen, Emissionsfaktoren und Kostensätzen. Das heisst, die sinkenden Emissionsfaktoren dämpfen die ansteigenden Verkehrsleistungen. Insgesamt hat das zur Folge, dass die Durchschnittskosten pro pkm bzw. tkm zwischen 2010 und 2015 in etwa gleich gross geblieben sind. Während der Strassen- und Schienenverkehr relativ lineare Entwicklungen aufweisen, steigen beim Luftverkehr vor allem die Lärmkosten zwischen 2013 und 2014 überproportional an, weil am Flughafen Zürich die Internalisierung durch den Lärmfünfliber abgeschafft wurde. Der Schiffsverkehr ist der einzige Verkehrsträger, der eine Abnahme der externen Kosten zu verzeichnen hat (-23%). Dieser ist auf die abnehmende Anzahl Schiffe zurückzuführen. Die überproportionale Abnahme vom Jahr 2013 zum Jahr 2014 ist einem methodischen Bruch bei der Erfassung der Schiffe durch die Vereinigung der Schifffahrtsämter geschuldet und betrifft vor allem die Güterverkehrsschiffe. Die Daten 2014 sind nicht mehr mit den Daten 2013 vergleichbar. Ab 2015 werden die Verkehrsleistungen und die Emissionen für die Rhein-Güterschifffahrt mit neuen Datengrundlagen (KFV-Statistik) berechnet.

Abbildung 136: Entwicklung der externen Kosten pro Verkehrsträger 2010 bis 2015

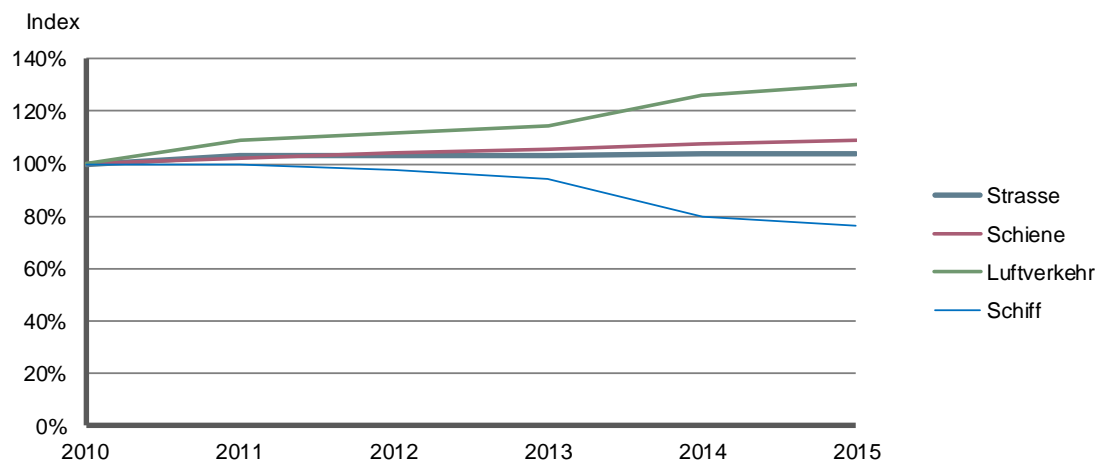


Abbildung 137: Entwicklung der externen Kosten pro Verkehrsträger 2010 bis 2015

Mio. CHF	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Strasse	10'582	10'924	10'909	10'897	11'006	10'963
Schiene	967	990	1'009	1'020	1'039	1'053
Luftverkehr	943	1'030	1'055	1'077	1'188	1'231
Schiff	120	120	117	113	96	92
<b>Total</b>	<b>12'612</b>	<b>13'064</b>	<b>13'091</b>	<b>13'108</b>	<b>13'330</b>	<b>13'340</b>
<b>Differenz in Mio. CHF</b>						
Strasse	0	342	327	315	424	381
Schiene	0	23	43	54	73	87
Luftverkehr	0	87	112	134	245	288
Schiff	0	-1	-3	-7	-25	-28
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>452</b>	<b>479</b>	<b>496</b>	<b>718</b>	<b>728</b>
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Strasse	100%	103.2%	103.1%	103.0%	104.0%	103.6%
Schiene	100%	102.4%	104.4%	105.6%	107.5%	109.0%
Luftverkehr	100%	109.2%	111.9%	114.2%	126.0%	130.6%
Schiff	100%	99.6%	97.6%	94.0%	79.4%	76.5%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>103.6%</b>	<b>103.8%</b>	<b>103.9%</b>	<b>105.7%</b>	<b>105.8%</b>

\*Der Internalisierungsanteil der LSVA ist in dieser Tabelle nicht abgezogen. Deswegen weicht das Gesamttotal 2015 vom Gesamttotal in Abbildung 102 ab.

## 16.8. Unsicherheiten

Die Berechnungen der externen und sozialen Kosten unterliegen teilweise grossen Unsicherheiten. Diese wurden im Rahmen von Sensitivitätsanalysen in Ecoplan / INFRAS (2014) untersucht. Die wesentlichen Ergebnisse dieser Sensitivitätsanalysen werden im Annex tabellarisch dargestellt. Dabei wurden einzelne wesentliche Annahmen verändert und analysiert, wie sich das Ergebnis dadurch verändert. Die folgende Abbildung 138 fasst die Ergebnisse zusammen und zeigt die Schwankungsbreiten der externen Kosten pro Kostenbereich jeweils für die Summe der vier Verkehrsträger (Sicht Verkehrsträger). Die Schwankungsbreiten variieren je nach Kostenbereich wie dargestellt zwischen  $-6\%$  /  $+6\%$  und  $-50\%$  /  $+144\%$ . Viele dieser Unsicherheiten sind jedoch unabhängig voneinander, so dass sie sich bei einer Aufsummierung über alle Kostenbereiche vermindern würden.<sup>57</sup> In den Berechnungen der externen Kosten für das Jahr 2005<sup>58</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>59</sup> ergaben sich für 2005 Schwankungsbreiten von  $-25\%$  /  $+52\%$  (Strasse) bzw.  $-28\%$  /  $+56\%$  (Schiene). Allerdings können diese Schwankungsbreiten aufgrund des neu deutlich höheren VOSL und dessen geändertem Unsicherheitsintervall (früher  $-50\%$  /  $+100\%$ , neu  $\pm 50\%$ ) nicht einfach auf die neuen Ergebnisse übertragen werden.

Die wichtigsten untersuchten Unsicherheiten der externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger 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  $\pm 50\%$  aufweist. Das Ergebnis schwankt dadurch um  $\pm 40\%$ . Werden aber die frühzeitigen Todesfälle bewertet (statt die verlorenen Lebensjahre), so steigen die Kosten gar um 144%.
- **Lärm:** Obwohl grosse Anstrengungen unternommen wurden, zuverlässige Lärmmodelle zu entwickeln, führen die Unsicherheiten in der Lärmberechnung zu einer Schwankungsbreite von  $-36\%$  bis  $+43\%$ . Praktisch gleich gross sind die Schwankungen durch Veränderung der drei Belastungs-Wirkungs-Beziehungen der drei Krankheitsbilder (ischämische Herzkrankheiten, Bluthochdruck bedingte Krankheiten und Schlaganfälle).<sup>60</sup> Auch die Lärmkosten steigen

<sup>57</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 können.

<sup>58</sup> Ecoplan, INFRAS (2008), Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz, S. 298.

<sup>59</sup> Dies auch weil in Ecoplan, INFRAS (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.

<sup>60</sup> Der VOSL bzw. der VLYL bewirkt hier aber nur Schwankungen von  $\pm 23\%$ .



stark an (+120%), wenn die frühzeitigen Todesfälle statt die verlorenen Lebensjahre bewertet werden.

- **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 (–46% bis +80%). Der Klimakostensatz spielt auch bei den vor- und nachgelagerten Prozesse eine wichtige Rolle.
- **Natur und Landschaft:** Hier führt die unsichere Höhe des Kostensatzes für Habitatfragmentierungen zu Schwankungen von –21% bis +26%.
- **Unfälle:** Die untersuchten Unsicherheiten bei den externen Unfallkosten sind relativ gering (±6%), wobei die Schwankungen vor allem auf die unsichere Höhe der medizinischen Heilungskosten sowie der Transferleistungen und der Regressanteile zurückzuführen ist.
- **Gesundheitsnutzen Langsamverkehr:** Die externen Gesundheitsnutzen schwanken lediglich um –15% (ohne Effekte bei Senioren) bis +12% (Unsicherheiten Rentenleistungen). Die Unsicherheiten beim Zusammenhang zwischen Bewegungsaktivität und Gesundheitsnutzen (Belastungs-Wirkungs-Beziehung) konnten jedoch nicht quantifiziert werden.

Daneben wurde in Ecoplan / INFRAS (2014) erläutert, dass es in allen Kostenbereichen diverse Gründe gibt, warum die dargestellten Kosten eine Unterschätzung (oder in wenigen Ausnahmefällen eine Überschätzung) darstellen.

**Abbildung 138: Maximale Schwankungsbreiten der externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger in den Sensitivitätsanalysen**

in Mio. CHF	Basisresultat	Minimaler Wert	Maximaler Wert	Schwankungsbreite
Gesundheit Luft	3'321	1'993	8'103	-40% bis +144%
Gebäude Luft	250	186	315	-26% bis +26%
Ernteaussfälle Luft	64	47	83	-27% bis +28%
Waldschäden Luft	59	40	77	-32% bis +30%
Biodiversitätsverluste Luft	127	102	152	-20% bis +20%
Lärm	2'610	1'674	5'744	-36% bis +120%
Klima	2'416	1'316	4'357	-46% bis +80%
Natur und Landschaft	1'174	926	1'476	-21% bis +26%
Bodenschäden	169	84	253	-50% bis +50%
Vor- und nachgelagerte Prozesse	1'314	779	2'258	-41% bis +72%
Unfälle	1'725	1'630	1'820	-6% bis +6%
Städtische Räume	109	80	224	-26% bis +106%
Gesundheitsnutzen Langsamverkehr	-1'345	-1'139	-1'512	-15% bis +12%

## 17. Empfehlungen

Im Rahmen der vorliegenden Aktualisierung war es aufgrund der beschränkten Ressourcen nicht möglich, sämtliche methodischen Ansätze und Datengrundlagen umfassend zu überprüfen und alle relevanten Fragestellungen vertieft zu analysieren. Zudem mussten einzelne Anpassungen aufgrund des grossen Bearbeitungsaufwands auf die nächste grössere Aktualisierung verschoben werden. Auch wenn nicht alle Überarbeitungspunkte umgesetzt werden konnten, sind die nun vorliegenden Ergebnisse konsistent und belastbar.

Für eine zukünftige Aktualisierung der externen Effekte des Verkehrs erachten wir folgende Themen als prioritär (Reihenfolge gemäss Abfolge der Kostenkategorien in diesem Bericht):

- *Gesundheitseffekte (Luft, Lärm, Gesundheitsnutzen):* Bei einer künftigen Aktualisierung gilt es (wiederum) zu prüfen, ob es neue Krankheitsbilder gibt, für die es epidemiologisch verlässliche Grundlagen gibt. Zudem sind bestehende Belastungs-Wirkungs-Beziehungen zu aktualisieren.
- *Leitschadstoff Gesundheitskosten durch Luftbelastung:* Es ist zu überprüfen, ob der bisherige Leitschadstoff PM10 durch andere oder weitere Schadstoffe (z. B. PM2.5, NO<sub>2</sub>) ergänzt oder abgelöst werden muss.
- *Luftschadstoffimmissionen:* Die Berechnung der Luftschadstoffimmissionen (PM10) wurde für 2015 nach einer vereinfachten Methodik durchgeführt. Der Einfluss der PM10-Immissionen auf das Ergebnis ist aber sehr gross und deshalb künftig wieder mittels Schadstoffmodellierung zu aktualisieren.
- *Gebäudeschäden:* Das Modell zur Berechnung der Gebäudeschäden durch Luftverschmutzung stammt aus der Basisstudie von INFRAS (2004). Insbesondere die Grundlagen für die Belastungs-Wirkungs-Beziehungen sollten unbedingt wieder umfassend aktualisiert werden.
- *Lärmimmissionen:* Die Datengrundlagen für die Lärmimmissionen (Basis SonBase) sollten in einer kommenden Überarbeitung unbedingt aktualisiert werden.
- *Klimakosten:* Die Grundlagen für eine Aktualisierung des CO<sub>2</sub>-Kostensatzes sollten im Rahmen der nächsten Aktualisierung wieder umfassend und vertieft analysiert werden.
- *Natur und Landschaft:* Die Methodik und Berechnungsgrundlagen, insbesondere im Bereich der Belastungs-Wirkungs-Beziehungen, ist mittlerweile ziemlich alt und basiert primär auf alten Luftbildanalysen der ersten, umfassenden Studie von Econcept, Nateco (2004). Aufgrund der grossen Relevanz der Kostenkategorie sollte hier in Zukunft eine umfassende Aktualisierung unbedingt vorgenommen werden.

- *Unfalldaten*: Für die Aufteilung der Unfallopfer auf Unfallverursacher und Nicht-Unfallverursacher bzw. die entsprechenden Fahrzeugkategorien liegen neue Datengrundlagen aus der Unfallstatistik des ASTRA vor, die in die Berechnungsmethodik einfließen sollten.
- *Elektrofahrzeuge*: Aufgrund der steigenden Relevanz der Elektrofahrzeuge sollten die entsprechenden Grundlagen (Emissionsfaktoren, Mengengerüst) vertieft und in die Berechnungen eingebaut werden.

Im Weiteren gibt es eine Reihe von Themen, die in der vorliegenden Arbeit überarbeitet wurden, aber aufgrund ihrer Relevanz auch zukünftig wieder zu analysieren und bei Bedarf zu aktualisieren sind:

- *Value of statistical life (VOSL)*: Die vorliegende Aktualisierung hat die hohe Relevanz des VOSL gezeigt. Bei einer nächsten Aufdatierung ist wiederum zu prüfen, ob es neue wissenschaftliche Grundlagen gibt (z. B. eine Aktualisierung der Studie der OECD (2012)).
- *Emissionsfaktoren Strassenverkehr*: Die Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs sind regelmässig, d.h. mindestens alle fünf Jahre zu aktualisieren, weil sich in diesem Zeitraum erhebliche Verschiebungen im Vergleich zu den im Aktualisierungstool hinterlegten Prognosen ergeben können.
- *Emissionsgrundlagen vor- und nachgelagerte Prozesse*: Die Emissionsfaktoren aus den vorgelegten Prozessen (v. a. Energiebereitstellung, Infrastruktur- und Fahrzeugherstellung) haben einen grossen und zunehmend wichtigeren Einfluss auf die Ergebnisse und sind auch künftig vertieft zu aktualisieren.

Nebst dieser Liste prioritärer Themen gibt es auch weitere methodische Bereiche mit Überarbeitungsbedarf. Annex A enthält eine längere Liste mit Hinweisen auf verschiedene Fragestellungen, die bei der nächsten grösseren Aktualisierung zu prüfen sind. Die Liste basiert insbesondere auf den Ergebnissen der ersten Phase des vorliegenden Projekts, in der Anknüpfungspunkte für die Überarbeitung von Methoden und Daten geprüft wurden.

## Annex

### Annex A: Vertiefungsthemen für künftige Aktualisierungen

Im Rahmen der vorliegenden Aktualisierung war es aufgrund des beschränkten Budgets nicht möglich, sämtliche Berechnungsansätze umfassend zu überprüfen und alle relevanten Fragestellungen erneut vertieft zu analysieren. Zudem mussten einzelne Anpassungen aufgrund des grossen Bearbeitungsaufwands auf die nächste grössere Aktualisierung verschoben werden. Die folgende – nicht abschliessende – Liste enthält Hinweise auf verschiedene Fragestellungen, die bei der nächsten grösseren Aktualisierung zu bearbeiten sind.

#### Grundlegendes

- Bis anhin sind die externen Kosten der Elektromobilität (Strassenverkehr) nur sehr vereinfacht in den Berechnungen der externen Effekte des Verkehrs enthalten. Aufgrund des momentan geringen Anteils der Elektrofahrzeuge am Schweizer Fahrzeugbestand, wurde auf eine grundlegende Einführung dieser Fahrzeugkategorie verzichtet. Die Wachstumsraten sind allerdings relativ hoch, weshalb in Zukunft eine Einarbeitung der Elektromobilität in die Methode ins Auge zu fassen ist.
- Die Emissionsfaktoren für den Strassenverkehr wurden im Rahmen dieser Arbeit auf den neusten Stand gebracht. Die Verkehrsemissionen bilden das Schadstoff Mengengerüst vieler Kostenkategorien. Innerhalb der Verkehrsemissionen verursacht der Strassenverkehr weit aus die grössten externen Kosten. Die Flottenzusammensetzung im Schweizer Strassenverkehr verändert sich allerdings stetig. Auch durch die verschärften Abgasvorschriften des neuen CO<sub>2</sub>-Gesetzes<sup>61</sup> haben sich die Motorentechnologien stark verbessert. Die Auswirkung auf das Gesamtergebnis ist gross. Deshalb sollen auch in Zukunft die aktuellsten, dannzumal verfügbaren Emissionsfaktoren verwendet werden.
- Der VOSL hat einen sehr grossen Einfluss auf die Ergebnisse. Es wird daher zu untersuchen sein, ob bis zum Zeitpunkt der nächsten Aktualisierung neue belastbare Resultate vorliegen, die eine Anpassung des VOSL nahelegen. Insbesondere wird zu prüfen sein, ob es eine Aktualisierung der OECD (2012)-Studie gibt, welche die Hauptgrundlage des verwendeten VOSL bildet.
- Die medizinischen Heilungskosten und die Aufenthaltsdauer im Krankenhaus wurden bisher mit Hilfe der sogenannten APDRG-Klassifizierung der Spitalaufenthalte ermittelt: Dabei wurde bestimmt, welche Diagnosegruppen der APDRG-Klassifizierung zu den einzelnen hier betrachteten Krankheitsbildern gehören. Seit 2011 werden die Datengrundlagen vom BFS

<sup>61</sup> Art. 10 CO<sub>2</sub>G: «Die CO<sub>2</sub>-Emissionen von Personenwagen, die erstmals in Verkehr gesetzt werden (Personenwagen), sind bis Ende 2015 auf durchschnittlich 130 g CO<sub>2</sub>/km zu vermindern.» (SR 641.71).

aber nicht mehr nach APDRG ermittelt. Deshalb sollten diese Berechnung bei einer nächsten Aktualisierung auf die neue Publikation der Swiss-DRG angepasst werden.

### **Gesundheitskosten der Luftverschmutzung**

- Das Niveau der PM10-Gesamtmissionen wurde im Rahmen der vorliegenden Aktualisierung an die Messungen angepasst und ist deshalb korrekt. Die Aufteilung nach Sektoren und Verkehrsträgern basiert jedoch auf einer fünfjährigen Applikation des Luftschadstoff-Immissionsmodells PolluMap. Inzwischen haben sich diverse Inputdaten verändert, und für einzelne methodische Ansätze wären Verbesserungen möglich (ob und wann eine neue Applikation durchgeführt wird, entscheidet das BAFU). Mit einer Aktualisierung dürften sich die Anteile der Sektoren und Verkehrsträger leicht verschieben. Über das Ausmass dieser Verschiebungen kann aber nichts ausgesagt werden.
- Bei allen bisher berücksichtigten Krankheitsbildern ist zu überprüfen, ob die bisher verwendeten Belastungs-Wirkungs-Beziehungen noch Gültigkeit haben oder anzupassen sind.
- Zudem ist zu untersuchen, ob neue Krankheitsbilder mit zu berücksichtigen sind. So gibt es bereits heute Hinweise, dass möglicherweise auch die folgenden Krankheitsbilder mit der Luftbelastung in Zusammenhang stehen: Lungenkrebs (Chen et al., 2015), Allergien (Gruzieva et al., 2014) und Frühgeburten (Lamichhane et al., 2015), Blutdruck (Fuks et al., 2014), niedriges Geburtsgewicht (Pedersen et al., 2013), Lebertumore (Pedersen et al., 2017), Diabetes Typ II (Eze et al., 2015), Demenz und kognitive Effekte bei Kindern (Power et al., 2016). Bestätigt sich für diese neuen Krankheitsbilder ein signifikanter Zusammenhang mit der Luftverschmutzung, so müssen auch für diese Krankheitsbilder Belastungs-Wirkungs-Beziehungen hergeleitet werden. Zudem müssten für neue, bisher in keinem Kostenbereich berücksichtigte Krankheitsbilder in der Literatur auch neue Kostensätze gefunden werden, um die Gesundheitsschäden in Geldeinheiten umrechnen zu können.
- Bisher wurden die externen Gesundheitskosten der Luftbelastung über den Leitschadstoff PM10 abgeschätzt. Diese Festlegung sollte im Lichte der bis dann vorliegenden Literatur nochmals überdacht werden. Mögliche Alternativen könnten andere Feinstaubmasse sein, aber auch NO<sub>2</sub>, Russ oder elementarerer Kohlenstoff. Zudem stellt sich die Frage, ob weiterhin ein Leitschadstoff verwendet werden soll oder ob aufgrund von Multiexpositionsmodellen nicht mehrere Schadstoffe zu berücksichtigen sind. Dabei ist auch die bisher benutzte, vereinfachende, aber wahrscheinlich nicht ganz korrekte Annahme zu überdenken, dass alle Feinstaubbestandteile gleich toxisch sind. So wurde in einer Studie für den Flughafen Genf NO<sub>2</sub> statt PM10 als Leitschadstoff verwendet (Université de Genève et al. 2016). Dies wäre auch bei der Ermittlung der gesamten sozialen und externen Kosten des Luftverkehrs zu prüfen. Sollte entschieden werden, in Zukunft von einem anderen Leitschadstoff auszugehen, so

müssten auch die Emissionen bzw. Immissionen dieses Leitschadstoffs bestimmt werden. Zudem wäre genau zu prüfen, ob bei allen vier Verkehrsträgern derselbe Leitschadstoff verwendet werden sollte.

- Bei den verwendeten Kostensätzen für die Krankheitsbilder ist zu prüfen, ob es in der Literatur neue Kostensätze gibt, die übernommen werden sollten. Dies betrifft insbesondere die immateriellen Kosten, gilt aber auch für die übrigen Kostenbestandteile.

### **Gebäudeschäden der Luftverschmutzung**

- Die verkehrsbedingten Gebäudeschäden sind ein Teil der gesamten Wirkung der Luftverschmutzung des Verkehrs. Um diese Kosten berechnen zu können, wird PM10 als Leitschadstoff herangezogen. 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. Die Resultate der Expositions-Wirkungszusammenhänge für die drei Kostenbereiche Renovationskosten, Verschlechterung Fassadenzustand und zusätzliche Reinigungskosten werden jährlich fortgeschrieben, die Expositions-Wirkungszusammenhänge selber aber nicht grundlegend aktualisiert. Die Schäden werden mit Hilfe eines Immobilienbewirtschaftungsmodells (Renovationszyklen) sowie durch Reinigungskosten monetarisiert. Grundsätzlich gilt es zu sagen, dass das Modell zur Berechnung der Gebäudeschäden durch Luftverschmutzung aus dem Jahr 2004 stammt und seither nicht mehr grundlegend überarbeitet werden konnte. Im Rahmen einer grösseren Überarbeitung würde sich eine Überarbeitung dieses Modells durchaus anbieten.

### **Ernteaufälle durch Luftverschmutzung**

- Bei den Ernteaufällen steht die negative Wirkung von Ozon auf Nutzpflanzen im Zentrum. Die Expositions-Wirkungs-Beziehungen zwischen Ernterückgang und Ozonkonzentration ist wissenschaftlich untersucht und mit einer linearen Gleichung beschrieben und für verschiedene Nutzpflanzen errechnet. Die Ozonkonzentration wird jährlich mittels NABEL Messwerten für unterschiedliche Raumtypen aktualisiert. Die Literaturrecherche zu neuen wissenschaftliche Erkenntnissen, vor allem zur Expositions-Wirkungs-Beziehung wird nicht jährlich aktualisiert und sollte in regelmässigen Abständen mittels Literaturrecherche auf den neusten Stand gebracht werden, was zuletzt für die Aktualisierung 2010 erfolgte.

### **Waldschäden durch Luftverschmutzung**

- Die Expositions-Wirkungs-Beziehungen zwischen Holzwachstum und Ozonkonzentration sollte in regelmässigen Abständen auf den neusten Stand gebracht werden.
- Der Anteil der versauerten Waldböden werden aus Daten des Instituts für Angewandte Pflanzenbiologie (IAP) und dem Landesforstinventar (LFI) abgeleitet. Bei einer Basensättigung <40% ist mit Beeinträchtigungen von Wachstum und Vitalität zu rechnen. Da die Versauerung nicht jährlich aktualisiert wird, bietet es sich bei einer zukünftigen Überarbeitung an, den Sachverhalt auf den neusten Stand zu bringen.

### **Biodiversitätsverluste durch Luftverschmutzung**

- Eine Monetarisierung der Biodiversitätsverluste infolge Luftverschmutzung wurde im Rahmen des EU-Forschungsprojekts NEEDS (‘New Energy Externalities Development for Sustainability’) erstmals vorgenommen. Die Studie befasste sich vor allem damit, wie die Auswirkungen der Emissionen von versauernden und eutrophierenden Luftschadstoffen wie NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> und SO<sub>2</sub> auf die Biodiversität berechnet werden können. Es resultierten spezifische Kostensätze für die externen Kosten durch Biodiversitätsverluste infolge Luftschadstoffemissionen. Das grundlegende Wertgerüst wird nicht jährlich aktualisiert, sondern anhand des Konsumentenpreisindex fortgeschrieben. Hier bietet sich eine zukünftige Literaturrecherche an, um das Wertgerüst auf den neusten Stand zu bringen.

### **Lärm**

- Die Lärmbelastungen werden mit den aktualisierten SonBase-Berechnungen des BAFU zu überarbeiten sein. Dazu sind umfangreiche Auswertungen von SonBase für den Strassen-, Schienen- und Luftverkehr nötig.
- Es ist zu prüfen, ob der Zusammenhang zwischen Lärmbelastung und der Reduktion der Wohnungspreise aufgrund von neuen Forschungsergebnissen anzupassen ist.
- Die Belastungs-Wirkungs-Beziehungen zwischen den Lärmbelastungen und den drei untersuchten Krankheitsbildern (ischämische Herzkrankheiten, Bluthochdruck und Schlaganfälle) konnten im Rahmen dieser Studie nicht aktualisiert werden. Dies wäre bei der nächsten Überarbeitung im Lichte der neuen Literatur zu prüfen.
- Zudem wäre auch zu prüfen, ob neue, zusätzliche Krankheitsbilder zu berücksichtigen sind wie z.B. Herzinsuffizienz (Seidler et al., 2016), Depressionen (Seidler et al., 2017), Lesefähigkeit bei Kindern und Diabetes (Eze et al., 2017). Falls ja, müssten für bisher nicht berücksichtigte Krankheitsbilder auch die entsprechenden Kostensätze neu beschafft werden.

- Ebenso ist bei den bisher verwendeten Kostensätzen – insbesondere den immateriellen – zu prüfen, ob es in der Literatur für diese Krankheitsfälle neue Kostensätze gibt, die übernommen werden sollten.
- Im Luftverkehr beruht die Aufteilung des Lärms nach Verkehrsart (europäischer bzw. interkontinentaler Linien- und Charterverkehr und General Aviation) auf der Verteilung der Schallenergie, deren Ermittlung vom BAZL vorgenommen wurde. Das BAZL konnte diese Aufteilung im Rahmen der vorliegenden Studie nicht aktualisieren. Das nächste Mal sollte dies aber auf den neusten Stand gebracht werden.

### **Klima**

- Bei den Klimakosten steht die Frage nach dem zu verwendenden CO<sub>2</sub>-Kostensatz jeweils im Zentrum der Diskussion. Weitere zentrale Inputparameter sind die Treibhausgasemissionen sowie allfällige Internalisierungsbeiträge. Aktuell wird seit der letzten Aktualisierungsstudie (Ecoplan, INFRAS 2014) ein Kostensatz basierend auf globalen Vermeidungskosten zur Erreichung des 2-Grad-Ziels verwendet. Grundlage dafür bildet die Metastudie von Kuik et al. (2009). In der Zwischenzeit gab es zwar diverse neue Studien zu den Kosten des Klimawandels, sowohl für Schadenskosten als auch Vermeidungskosten. Allerdings haben die aktuell noch laufenden Arbeiten zur Methodenkonvention 3.0 des deutschen Umweltbundesamtes gezeigt (EIFER 2018, laufend), dass die methodischen Schwierigkeiten bei den Schadenskostenberechnungen weiterhin erheblich sind. Für die vorliegende Aktualisierung wurden die aktuellsten wissenschaftlichen Grundlagen kurz dargestellt werden und die wichtigsten parallel laufenden Arbeiten und Empfehlungen (v.a. UBA) in Rahmen einer kleinen Literaturanalyse gewürdigt. Für zukünftige Aktualisierungen sollte die Literaturanalyse ausgeweitet werden, es werden mehr Studien vertieft einbezogen und es sollte v.a. mehr Aufwand für einen Diskurs innerhalb der Projektgruppe betrieben werden können.

### **Natur und Landschaft**

- Zum Kostenbereich 'Natur und Landschaft' gehören in der Schweiz bisher die Kosten durch Habitatverluste und Habitatfragmentierungen. Das erweiterte Themenfeld 'Kosten infolge Beeinträchtigung von Ökosystemen bzw. Ökosystemleistungen' ist in den letzten Jahren verstärkt in den Fokus gekommen und in verschiedenen Forschungsarbeiten bearbeitet worden. Zuletzt hat beispielsweise das deutsche Umweltbundesamt UBA im Rahmen der Aktualisierung der Methodenkonvention 3.0 zur Schätzung von Umweltkosten eine grosse Meta-studie<sup>62</sup> zu diesem Thema erarbeiten lassen. Es gibt heute also viele neue Grundlagen, aber

<sup>62</sup> Schätzung der Umweltkosten infolge Schädigung oder Zerstörung von Ökosystemen und Biodiversitätsverlust; Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung UFZ, Leipzig; 2017 (noch unveröffentlicht).



noch keine etablierte neue Methode.

Besonders wichtig ist zu betonen, dass die konkreten Ursache-Wirkungszusammenhänge der Schweizer Methode (also: welche und wie grosse Biotopflächen werden pro Meter Verkehrsinfrastruktur 'verbraucht') in der Zwischenzeit ziemlich alt sind und primär auf den Luftbildanalysen aus Econcept, Nateco (2004) basieren. Aufgrund der grossen Relevanz der Kostenkategorie sollte hier in Zukunft eine umfassende Aktualisierung vorgenommen werden.

### **Bodenschäden durch toxische Stoffe**

- Das Wertgerüst dieser Kostenkategorie wurde im Zuge dieser Überarbeitung auf den neusten Stand gebracht. Es ist zu prüfen wie sich die Preise der verschiedenen Deponietypen entwickeln.
- Das Mengengerüst beruht momentan auf einer maximal möglichen Verschmutzung mit toxischen Stoffen die durch den gesamten Verkehr emittiert werden. Es wäre durchaus denkbar die Menge an Sanierungsbedürftigen Böden mittels Infrastrukturlängen genauer zu ermitteln.

### **Kosten für vor- und nachgelagerte Prozesse**

- Die Kostenkategorie «vor- und nachgelagerte Prozesse» berechnet für jeden Verkehrsträger anhand der Fahrzeuge, der Infrastruktur und der Energie, die Lebenszyklus-Emissionen und anschliessend die Kosten. Die Emissionsfaktoren sind jeweils unterteilt in Bau/Produktion, Unterhalt und Entsorgung. Ausgenommen von dieser Betrachtung sind die direkten Emissionen des Betriebs der Verkehrsmittel. Die Lebenszyklusdaten sind bei jeder Aktualisierung auf ihre Aktualität zu prüfen. Bis jetzt beruhen diese immer auf der Ecoinvent-Datenbank.

### **Unfälle**

- Im Strassenverkehr kann die Aufteilung auf Unfallverursacher und Nicht-Unfallverursacher sowie auf Fahrzeugkategorien weiter verfeinert werden. Seit einigen Jahren steht in der Unfallstatistik des ASTRA flächendeckend das neue Merkmal «Hauptverursacher» zur Verfügung, womit die bisherigen Annahmen (basierend auf «Mängeln») nicht mehr benötigt werden. Dadurch würde es voraussichtlich zu Verschiebungen der Unfallkosten zwischen den Fahrzeugkategorien kommen. Diese Aktualisierung konnte im Rahmen der vorliegenden Arbeiten aufgrund des grossen Bearbeitungsaufwandes leider nicht vorgenommen werden.
- Aufgrund der deutlichen Zunahme der Elektrovelo-Unfälle in den letzten Jahren sollte auch die Einführung einer entsprechenden Fahrzeugkategorie geprüft werden (vgl. auch Erläuterungen zu den Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr unten).

- Für einen vollständigen und aktuellen Vergleich der Bedeutung der verschiedenen Energieträger im Strassenverkehr müsste auch der Verteilschlüssel der Unfallopfer im Linienbusverkehr auf die Autobusse (Verbrennungsmotor) und Trolleybusse (Elektroantrieb) regelmässig überprüft werden.
- Dunkelziffer im Strassenverkehr: Die Dunkelziffer zum Unfallgeschehen im Strassenverkehr wird jährlich durch die bfu über eine Hochrechnung ermittelt. Die von der bfu verwendeten Hochrechnungsraten basieren aber auf Datengrundlagen aus dem Jahr 2010 und sollten auf einen aktuelleren Stand gebracht werden.
- Im Schienenverkehr muss die Aufteilung auf Unfallverursacher und Nicht-Unfallverursacher aktualisiert werden (basiert auf Daten 2010). Im Rahmen einer solchen Aktualisierung ist auch zu prüfen, ob die jetzige Verursacherkategorie «Dritte» – welche auf den detaillierten Daten aus der Ereignisdatenbank des BAV basiert – noch detaillierter aufgeschlüsselt werden soll. Insbesondere ist zu prüfen, ob von Reisenden verursachte Unfälle künftig dem Personenverkehr zuzuordnen sind oder wie heute den «Dritten».
- Im Luftverkehr sind momentan nur Unfälle im eigentlichen Luftverkehr enthalten. Daneben gibt es aber auch Unfälle auf dem Flugplatz (z.B. beim Gepäckverlad, Busverkehr etc.). Es ist zu prüfen, ob diese Unfälle in Zukunft miteinbezogen werden können.
- Zudem sind weitere Datengrundlagen aufzudatieren (Transferleistungen Sozialversicherungen und Regress, Rechtsfolgekosten, Polizeikosten und Administrativkosten der Versicherungen, Mengengerüst Luftfahrt und Schifffahrt, Sachschäden Luftverkehr – dazu mussten im Jahr 2010 teilweise aufwendige Umfragen durchgeführt bzw. kostenpflichtige Daten abgerufen werden).

#### **Zusatzkosten in Städtischen Räumen**

- Das Mengengerüst der räumlichen Trenneffekte wird über ein Wirkungsgefüge ermittelt, dessen Daten teilweise aus dem Jahr 2000 stammen. Eine Überarbeitung der quantitativen Wirkungszusammenhänge (Anzahl Querungen grosser Infrastrukturen, damit verbundener Zeitverlust) müsste im Rahmen von Fallstudien erfolgen und wäre mit grösserem Aufwand verbunden.
- Das Mengen- und Wertgerüst der Beeinträchtigung der Ortsbilder beruht auf der 2. Generation Agglomerationsprogramme (2015-2018) und die neuste 3. Generation ist momentan erst noch in der Überprüfungsphase. Bei einer zukünftigen Überarbeitung ist eine Anpassung an diese 3. Generation zu empfehlen.

### Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr

- Erstmalig werden im Mikrozensus 2015 Wege mit Elektrovelos (Pedelects bzw. E-Bikes mit Tretunterstützung bis 25 bzw. 45 km/h) separat ausgewiesen, die in den letzten Jahren hohe Wachstumsraten<sup>63</sup> verzeichnen. Interessant wäre eine methodische Erweiterung der Berechnungen des Gesundheitsnutzens in Richtung der neuen Fahrzeugkategorien E-Bike und Pedelects (tiefere Intensität der körperlichen Aktivität auf Elektrovelos als auf normalen Velos versus längere Distanzen und häufigere Wege; zudem werden möglicherweise neue Bevölkerungssegmente erreicht, insbesondere ältere Menschen). Bisher werden die Pedelects zu den normalen Velos gezählt, die E-Bikes hingegen zu den Mofas, d.h. die Gesundheitsnutzen der Pedelects sind überschätzt, wogegen die Gesundheitsnutzen der E-Bikes bisher fehlen. Eine explizite Quantifizierung der Pedelect- / E-Bike-Effekte wäre aus Sicht Gesundheitsförderung und Verkehrssicherheit wünschenswert. Dies würde wohl bedingen, dass die Fahrzeugkategorien Pedelect und E-Bike in die gesamten Berechnungen und damit in allen Kostenbereichen eingeführt werden – insbesondere bei den Unfällen, den vor- und nachgelagerten Prozessen sowie bei Natur und Landschaft. In vielen Kostenbereichen sind die Kosten des Langsamverkehrs allerdings bisher Null, diejenigen der Mofas hingegen nicht. Es ist zu prüfen, ob den Pedelects und E-Bikes in diesen Bereichen Kosten anzurechnen sind oder nicht.
- Es ist zu untersuchen, ob die sportliche Aktivitäten der Fussgänger und Velofahrerinnen ausserhalb des Langsamverkehrs noch genauer abgebildet werden können.
- Es wird zu prüfen sein, ob aufgrund neuerer Literatur<sup>64</sup> die bisherigen Belastungs-Wirkungs-Beziehungen zwischen Gesundheitsnutzen und körperlicher Aktivität anzupassen sind.
- Ebenso ist zu klären, ob zusätzliche Krankheitsbilder neu mitberücksichtigt werden sollen. Falls ja, müssten auch die entsprechenden Kostensätze beschafft werden.
- Zudem fehlen bisher Sensitivitätsanalysen bei den Belastungs-Wirkungs-Beziehungen und bei der sportlichen Betätigung (da diese nicht in Auftrag gegeben wurden). Diese sollten in den kommenden Arbeiten integriert werden, um mit den anderen Kostenbereichen vergleichbare Sensitivitätsanalysen darstellen zu können.

Im Weiteren sind alle anderen Datengrundlagen, die in diesem Bericht aktualisiert wurden, wieder auf den aktuellsten Stand zu bringen.

Es ist zu betonen, dass bei der nächsten Überarbeitung zunächst in einem ersten Schritt zu untersuchen ist, welche Anpassungen aufgrund des dannzumaligen Wissensstands zu empfehlen

<sup>63</sup> Ecoplan, Universität Bern (2014), Verbreitung und Auswirkungen von E-Bikes in der Schweiz.

<sup>64</sup> Z.B. Kelly et al. (2014), Systematic Review and Meta-Analysis of Reduction in All-Cause Mortality from Walking and Cycling and Shape of Dose Response Relationship, Kyu et al. (2016), Physical Activity and Risk of Breast Cancer, Colon Cancer, Diabetes, Ischemic Heart Disease, and Ischemic Stroke Events: Systematic Review and Dose-Response Meta-Analysis for the Global Burden of Disease Study 2013 und Smith, et al. (2016), Physical Activity and Incident Type 2 Diabetes Mellitus: A Systematic Review and Dose-response Meta-Analysis of Prospective Cohort Studies.

bzw. durchzuführen sind. Erst nach der Klärung dieser Frage kann eine fundierte Aufwandschätzung für die Aktualisierung der gesamten sozialen und externen Kosten des Verkehrs erstellt werden.

## Annex B: Ergebnisse Sensitivitätsanalysen

Im vorliegenden Annex B werden die Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen dargestellt, wie sie bereits in Ecoplan, INFRAS (2014, Externe Effekte des Verkehrs 2010, Monetarisierung von Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekten) berechnet und erläutert wurden. Hier sollen die aktualisierten Ergebnisse unkommentiert wiedergegeben werden. Einzig die neue Sensitivität (Berechnung über frühzeitige Todesfälle statt verlorene Lebensjahre) wird jeweils kurz kommentiert.

**Abbildung 139: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für die externen Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung 2015, Sicht Verkehrsträger**

Gesundheitskosten der Luftverschmutzung in Mio. CHF	Strassen-verkehr	Schienen-verkehr	Luft-verkehr	Schiffs-verkehr	Total
<b>Basisrechnung</b>	<b>2'865.6</b>	<b>365.8</b>	<b>33.1</b>	<b>56.8</b>	<b>3'321.2</b>
Emissionen Schiffs- und Luftverkehr tief	2'865.6	365.8	12.7	38.2	<b>3'282.3</b>
Emissionen Schiffs- und Luftverkehr hoch	2'865.6	365.8	50.2	88.0	<b>3'369.6</b>
Belastungs-Wirkungs-Beziehung verlorene Lebensjahre tief	2'023.4	258.3	22.1	40.1	<b>2'343.9</b>
Belastungs-Wirkungs-Beziehung verlorene Lebensjahre hoch	3'640.6	464.7	43.2	72.1	<b>4'220.5</b>
Belastungs-Wirkungs-Beziehung alle Krankheitsfälle tief	2'803.1	357.8	32.2	55.5	<b>3'248.7</b>
Belastungs-Wirkungs-Beziehung alle Krankheitsfälle hoch	2'934.6	374.6	34.0	58.1	<b>3'401.3</b>
Immaterielle Kosten verlorene Lebensjahre tiefer	1'721.4	219.8	18.1	34.1	<b>1'993.4</b>
Immaterielle Kosten verlorene Lebensjahre höher	4'009.8	511.8	48.0	79.4	<b>4'649.0</b>
Immaterielle Kosten übrige Krankheitsfälle tiefer	2'692.7	343.7	30.8	53.3	<b>3'120.5</b>
Immaterielle Kosten übrige Krankheitsfälle höher	3'053.0	390.1	35.6	60.6	<b>3'539.2</b>
Frühzeitige Todesfälle statt verlorene Lebensjahre	6'986.4	891.9	86.8	138.3	<b>8'103.5</b>
<b>Abweichung von Basisrechnung in %</b>					
Emissionen Schiffs- und Luftverkehr tief	0.0%	0.0%	-61.6%	-32.7%	<b>-1.2%</b>
Emissionen Schiffs- und Luftverkehr hoch	0.0%	0.0%	51.9%	55.0%	<b>1.5%</b>
Belastungs-Wirkungs-Beziehung verlorene Lebensjahre tief	-29.4%	-29.4%	-33.3%	-29.4%	<b>-29.4%</b>
Belastungs-Wirkungs-Beziehung verlorene Lebensjahre hoch	27.0%	27.0%	30.6%	27.0%	<b>27.1%</b>
Belastungs-Wirkungs-Beziehung alle Krankheitsfälle tief	-2.2%	-2.2%	-2.5%	-2.2%	<b>-2.2%</b>
Belastungs-Wirkungs-Beziehung alle Krankheitsfälle hoch	2.4%	2.4%	2.8%	2.4%	<b>2.4%</b>
Immaterielle Kosten verlorene Lebensjahre tiefer	-39.9%	-39.9%	-45.2%	-39.9%	<b>-40.0%</b>
Immaterielle Kosten verlorene Lebensjahre höher	39.9%	39.9%	45.2%	39.9%	<b>40.0%</b>
Immaterielle Kosten übrige Krankheitsfälle tiefer	-6.0%	-6.0%	-6.9%	-6.1%	<b>-6.0%</b>
Immaterielle Kosten übrige Krankheitsfälle höher	6.5%	6.7%	7.6%	6.7%	<b>6.6%</b>
Frühzeitige Todesfälle statt verlorene Lebensjahre	143.8%	143.8%	162.6%	143.7%	<b>144.0%</b>

Es ist zu beachten, dass sich die Gesundheitskosten durch die Luftbelastung mehr als verdoppeln (+144%), wenn anstelle der verlorenen Lebensjahre die frühzeitigen Todesfälle bewertet würden (8'104 Mio. CHF für den Gesamtverkehr). Die Basisrechnung entspricht also wie erwartet dem at least Ansatz.

**Abbildung 140: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für die externen Gebäudeschäden durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung 2015, Sicht Verkehrsträger**

Gebäudekosten in Mio. CHF	Strassen- verkehr	Schienen- verkehr	Luft- verkehr	Schiffs- verkehr	Total
<b>Basisrechnung</b>	<b>215.7</b>	<b>27.5</b>	<b>2.8</b>	<b>4.3</b>	<b>250.3</b>
PM10-Immissionen hoch	264.5	33.7	3.5	5.2	<b>306.9</b>
PM10-Immissionen tief	167.6	21.4	2.2	3.3	<b>194.5</b>
Mengengerüst Fassadenflächen hoch	226.5	28.9	3.0	4.5	<b>262.8</b>
Mengengerüst Fassadenflächen tief	204.9	26.1	2.7	4.1	<b>237.8</b>
Anzahl zusätzlicher Fassadenreinigungen hoch	271.5	34.6	3.6	5.4	<b>315.0</b>
Anzahl zusätzlicher Fassadenreinigungen tief	160.0	20.4	2.1	3.2	<b>185.6</b>
Wertgerüst - Kostensätze hoch	269.7	34.4	3.5	5.3	<b>312.9</b>
Wertgerüst - Kostensätze tief	161.8	20.6	2.1	3.2	<b>187.7</b>
<b>Abweichung von Basisrechnung in %</b>					
PM10-Immissionen hoch	22.6%	22.6%	22.6%	22.6%	<b>22.6%</b>
PM10-Immissionen tief	-22.3%	-22.3%	-22.3%	-22.3%	<b>-22.3%</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	25.8%	25.8%	25.8%	25.8%	<b>25.8%</b>
Anzahl zusätzlicher Fassadenreinigungen tief	-25.8%	-25.8%	-25.8%	-25.8%	<b>-25.8%</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>

**Abbildung 141: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für die Ernteauffälle durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung 2015, Sicht Verkehrsträger**

Ernteauffälle in Mio. CHF	Strassen- verkehr	Schienen- verkehr	Luft- verkehr	Schiffs- verkehr	Total
<b>Basisrechnung</b>	<b>58.5</b>	<b>0.7</b>	<b>2.1</b>	<b>3.0</b>	<b>64.3</b>
Immissionen hoch	61.8	0.7	2.2	3.1	<b>67.9</b>
Immissionen tief	55.3	0.7	2.0	2.8	<b>60.8</b>
Expositions-Wirkungsbeziehungen hoch	75.1	0.9	2.7	3.8	<b>82.5</b>
Expositions-Wirkungsbeziehungen tief	42.8	0.5	1.5	2.2	<b>47.1</b>
Ernteerträge hoch	61.5	0.7	2.2	3.1	<b>67.6</b>
Ernteerträge tief	55.6	0.7	2.0	2.8	<b>61.1</b>
Produzentenpreise hoch	61.5	0.7	2.2	3.1	<b>67.6</b>
Produzentenpreise tief	55.6	0.7	2.0	2.8	<b>61.1</b>
Verkehrsbedingter Anteil Emissionen hoch	64.4	0.8	2.3	3.3	<b>70.8</b>
Verkehrsbedingter Anteil Emissionen tief	52.7	0.6	1.9	2.7	<b>57.9</b>
<b>Abweichung von Basisrechnung in %</b>					
Immissionen hoch	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	<b>5.5%</b>
Immissionen tief	-5.5%	-5.5%	-5.5%	-5.5%	<b>-5.5%</b>
Expositions-Wirkungsbeziehungen hoch	28.3%	28.3%	28.3%	28.3%	<b>28.3%</b>
Expositions-Wirkungsbeziehungen tief	-26.8%	-26.8%	-26.8%	-26.8%	<b>-26.8%</b>
Ernteerträge hoch	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	<b>5.0%</b>
Ernteerträge tief	-5.0%	-5.0%	-5.0%	-5.0%	<b>-5.0%</b>
Produzentenpreise hoch	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	<b>5.0%</b>
Produzentenpreise tief	-5.0%	-5.0%	-5.0%	-5.0%	<b>-5.0%</b>
Verkehrsbedingter Anteil Emissionen hoch	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%	<b>10.0%</b>
Verkehrsbedingter Anteil Emissionen tief	-10.0%	-10.0%	-10.0%	-10.0%	<b>-10.0%</b>

**Abbildung 142: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für Waldschäden durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung 2015, Sicht Verkehrsträger**

Waldschäden in Mio. CHF	Strassen- verkehr	Schienen- verkehr	Luft- verkehr	Schiffs- verkehr	Total
<b>Basisrechnung</b>	<b>54.0</b>	<b>0.6</b>	<b>1.9</b>	<b>2.6</b>	<b>59.1</b>
Immissionen tief	46.1	0.5	1.6	2.2	<b>50.5</b>
Immissionen hoch	62.4	0.7	2.2	3.0	<b>68.3</b>
Expositions-Wirkungsbeziehungen tief	36.8	0.4	1.3	1.8	<b>40.3</b>
Expositions-Wirkungsbeziehungen hoch	70.0	0.8	2.5	3.3	<b>76.6</b>
Holznutzung und Holzpreise tief	47.9	0.5	1.7	2.3	<b>52.5</b>
Holznutzung und Holzpreise hoch	60.3	0.7	2.1	2.9	<b>66.0</b>
Verkehrsbedingter Anteil Emissionen tief	48.6	0.6	1.7	2.3	<b>53.2</b>
Verkehrsbedingter Anteil Emissionen hoch	59.4	0.7	2.1	2.8	<b>65.0</b>
<b>Abweichung von Basisrechnung in %</b>					
Immissionen tief	-14.6%	-13.9%	-14.4%	-13.9%	<b>-14.5%</b>
Immissionen hoch	15.7%	14.8%	15.5%	14.9%	<b>15.6%</b>
Expositions-Wirkungsbeziehungen tief	-31.9%	-30.7%	-31.7%	-30.8%	<b>-31.8%</b>
Expositions-Wirkungsbeziehungen hoch	29.7%	28.8%	29.5%	28.8%	<b>29.7%</b>
Holznutzung und Holzpreise tief	-11.2%	-11.1%	-11.2%	-11.1%	<b>-11.2%</b>
Holznutzung und Holzpreise hoch	11.6%	11.5%	11.6%	11.5%	<b>11.6%</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 143: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für Biodiversitätsverluste durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung 2015, Sicht Verkehrsträger**

Biodiversitätsverluste in Mio. CHF	Strassen-verkehr	Schienen- verkehr	Luft- verkehr	Schiffs- verkehr	Total
<b>Basisrechnung</b>	<b>117.8</b>	<b>1.1</b>	<b>3.4</b>	<b>4.7</b>	<b>127.1</b>
Emissionen (NO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> ) hoch	123.7	1.2	3.6	4.9	<b>133.4</b>
Emissionen (NO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> ) tief	111.9	1.1	3.3	4.5	<b>120.7</b>
Kostensätze pro Tonne NO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub>	141.4	1.3	4.1	5.6	<b>152.5</b>
Kostensätze pro Tonne NO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub>	94.3	0.9	2.7	3.8	<b>101.7</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>	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>	-20.0%	-20.0%	-20.0%	-20.0%	<b>-20.0%</b>

Abbildung 144: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für die externen Lärmkosten 2015

Externe Lärmkosten in Mio. CHF	Strassen- verkehr	Schienen- verkehr	Luft- verkehr	Total
<b>Basisrechnung</b>	<b>2'089.5</b>	<b>399.2</b>	<b>121.6</b>	<b>2'610.3</b>
Lärmbelastung tiefer als modelliert	1'287.2	283.5	106.6	<b>1'677.3</b>
Lärmbelastung höher als modelliert	3'048.9	542.0	136.6	<b>3'727.5</b>
Reduktion Wohnungspreise 30% tiefer	1'805.6	353.8	95.9	<b>2'255.2</b>
Reduktion Wohnungspreise 30% höher	2'373.4	444.7	147.3	<b>2'965.3</b>
Alle drei Belastungs-Wirkungs-Beziehungen tiefer	1'347.5	238.3	88.5	<b>1'674.4</b>
Alle drei Belastungs-Wirkungs-Beziehungen höher	3'003.2	597.9	162.5	<b>3'763.6</b>
Immaterielle Gesundheitskosten tiefer	1'550.9	282.6	97.6	<b>1'931.1</b>
Immaterielle Gesundheitskosten höher	2'628.0	515.9	145.6	<b>3'289.5</b>
Frühzeitige Todesfälle statt verlorene Lebensjahre	4'575.7	936.5	232.1	<b>5'744.3</b>
<b>Abweichung von Basisrechnung in %</b>				
Lärmbelastung tiefer als modelliert	-38.4%	-29.0%	-12.4%	<b>-35.7%</b>
Lärmbelastung höher als modelliert	45.9%	35.8%	12.4%	<b>42.8%</b>
Reduktion Wohnungspreise 30% tiefer	-13.6%	-11.4%	-21.1%	<b>-13.6%</b>
Reduktion Wohnungspreise 30% höher	13.6%	11.4%	21.1%	<b>13.6%</b>
Alle drei Belastungs-Wirkungs-Beziehungen tiefer	-35.5%	-40.3%	-27.2%	<b>-35.9%</b>
Alle drei Belastungs-Wirkungs-Beziehungen höher	43.7%	49.8%	33.6%	<b>44.2%</b>
Immaterielle Gesundheitskosten tiefer	-25.8%	-29.2%	-19.7%	<b>-26.0%</b>
Immaterielle Gesundheitskosten höher	25.8%	29.2%	19.7%	<b>26.0%</b>
Frühzeitige Todesfälle statt verlorene Lebensjahre	119.0%	134.6%	90.8%	<b>120.1%</b>

Die Sensitivität mit der Bewertung der frühzeitigen Todesfälle führt auch im Lärmbereich zu einer deutlichen Zunahme (+120%). Die Bewertung der verlorenen Lebensjahre alleine (ohne Belästigung und nicht-tödliche Krankheitsfälle) nimmt aufgrund des hohen Alters der Opfer gar um den Faktor 3.5 zu.



**Abbildung 145: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für externe Klimakosten 2015, Sicht Verkehrsträger**

Klimakosten in Mio. CHF	Strassen- verkehr	Schienen- verkehr	Luft- verkehr	Schiffs- verkehr	Total
<b>Basisrechnung</b>	<b>1'509.1</b>	<b>3.3</b>	<b>891.7</b>	<b>12.2</b>	<b>2'416.3</b>
Treibhausgasemissionen hoch	1'591.3	3.4	936.4	12.8	<b>2'543.9</b>
Treibhausgasemissionen tief	1'426.9	3.1	847.1	11.5	<b>2'288.6</b>
Emissionsgewichtung Luftverkehr (RFI) hoch	1'509.1	3.3	1'320.8	12.2	<b>2'845.4</b>
Emissionsgewichtung Luftverkehr (RFI) tief	1'509.1	3.3	858.7	12.2	<b>2'383.3</b>
Kostensatz pro Tonne CO <sub>2</sub> Maximal	2'758.2	6.0	1'570.3	22.2	<b>4'356.6</b>
Kostensatz pro Tonne CO <sub>2</sub> Minimal	800.5	1.7	506.9	6.5	<b>1'315.6</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>17.8%</b>
Emissionsgewichtung Luftverkehr (RFI) tief	0.0%	0.0%	-3.7%	0.0%	<b>-1.4%</b>
Kostensatz pro Tonne CO <sub>2</sub> Maximal	82.8%	82.6%	76.1%	82.3%	<b>80.3%</b>
Kostensatz pro Tonne CO <sub>2</sub> Minimal	-47.0%	-46.8%	-43.2%	-46.7%	<b>-45.6%</b>

**Abbildung 146: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für externe Natur- und Landschaftskosten 2015, Sicht Verkehrsträger**

Natur- und Landschaftskosten in Mio. CHF	Strassen-verkehr	Schienen- verkehr	Luft- verkehr	Schiffs- verkehr	Total
<b>Basisrechnung</b>	<b>1'033.2</b>	<b>128.5</b>	<b>6.8</b>	<b>5.2</b>	<b>1'173.8</b>
Länge Verkehrsinfrastruktur hoch	1'085.1	135.0	7.2	5.5	<b>1'232.8</b>
Länge Verkehrsinfrastruktur tief	981.3	122.0	6.5	5.0	<b>1'114.8</b>
Ersatzkosten Habitatfragmentierung hoch	1'302.7	161.3	6.8	5.2	<b>1'476.1</b>
Ersatzkosten Habitatfragmentierung tief	812.7	101.7	6.8	5.2	<b>926.5</b>
Ersatzkosten Habitatverlust hoch	1'218.3	152.3	9.8	7.5	<b>1'388.0</b>
Ersatzkosten Habitatverlust tief	881.8	109.1	4.4	3.4	<b>998.6</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	26.1%	25.5%	0.0%	0.0%	<b>25.8%</b>
Ersatzkosten Habitatfragmentierung tief	-21.3%	-20.9%	0.0%	0.0%	<b>-21.1%</b>
Ersatzkosten Habitatverlust hoch	17.9%	18.5%	44.0%	44.0%	<b>18.2%</b>
Ersatzkosten Habitatverlust tief	-14.7%	-15.1%	-36.0%	-36.0%	<b>-14.9%</b>

**Abbildung 147: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für externe Kosten durch Bodenschäden 2015, Sicht Verkehrsträger**

Bodenschäden in Mio. CHF	Schienen- verkehr	Schienen- verkehr	Luft- verkehr	Schiffs- verkehr	Total
<b>Basisrechnung</b>	<b>140</b>	<b>29</b>	-	-	<b>169</b>
Emissionen Schwermetalle und PAK: Strasse und Schiene (hoch)	168	44	-	-	211
Emissionen Schwermetalle und PAK Strasse und Schiene (tief)	112	15	-	-	126
Schadensgrenze: Grenzwerte für Schwermetalle und PAK im Boden (hoch)	210	44	-	-	253
Schadensgrenze: Grenzwerte für Schwermetalle und PAK im Boden (tief)	70	15	-	-	84
Spezifische Bodensanierungskosten (hoch)	175	36	-	-	211
Spezifische Bodensanierungskosten (tief)	105	22	-	-	127
<b>Abweichung von Basisrechnung in %</b>					
Emissionen Schwermetalle und PAK: Strasse und Schiene (hoch)	20.0%	50.0%			25.2%
Emissionen Schwermetalle und PAK Strasse und Schiene (tief)	-20.0%	-50.0%			-25.2%
Schadensgrenze: Grenzwerte für Schwermetalle und PAK im Boden (hoch)	50.0%	50.0%			50.0%
Schadensgrenze: Grenzwerte für Schwermetalle und PAK im Boden (tief)	-50.0%	-50.0%			-50.0%
Spezifische Bodensanierungskosten (hoch)	25.0%	25.0%			25.0%
Spezifische Bodensanierungskosten (tief)	-25.0%	-25.0%			-25.0%

**Abbildung 148: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für externe Kosten der vor- und nachgelagerten Prozesse 2015, Sicht Verkehrsträger**

Kosten vor- und nachgelagerter Prozesse in Mio. CHF	Strassen- verkehr	Schienen- verkehr	Luft- verkehr	Schiffs- verkehr	Total
<b>Basisrechnung</b>	<b>1'091</b>	<b>54</b>	<b>166</b>	<b>3.2</b>	<b>1'314</b>
Verkehrsmittel hoch	1'184	57	167	3.3	1'411
Verkehrsmittel tief	998	51	166	3.1	1'218
Infrastruktur hoch	1'155	63	178	3.2	1'399
Infrastruktur tief	1'027	45	154	3.2	1'230
Energiebereitstellung hoch	1'146	55	183	3.6	1'388
Energiebereitstellung tief	1'036	54	149	2.8	1'241
CO2-eq. (Treibhausgase) hoch	1'875	94	284	5.5	2'258
CO2-eq. (Treibhausgase) tief	646	32	99	1.9	779
Kostensatz Luftschadstoffe hoch	1'109	55	169	3.2	1'336
Kostensatz Luftschadstoffe tief	1'073	53	163	3.1	1'293
<b>Abweichung von Basisrechnung in %</b>					
Verkehrsmittel hoch	8.5%	5.4%	0.3%	4.1%	7.4%
Verkehrsmittel tief	-8.5%	-5.4%	-0.3%	-4.1%	-7.4%
Infrastruktur hoch	5.9%	16.8%	7.2%	0.2%	6.5%
Infrastruktur tief	-5.9%	-16.8%	-7.2%	-0.2%	-6.5%
Energiebereitstellung hoch	5.1%	0.9%	10.5%	11.8%	5.6%
Energiebereitstellung tief	-5.1%	-0.9%	-10.5%	-11.8%	-5.6%
CO2-eq. (Treibhausgase) hoch	71.9%	72.9%	71.1%	71.6%	71.8%
CO2-eq. (Treibhausgase) tief	-40.8%	-41.3%	-40.3%	-40.6%	-40.7%
Kostensatz Luftschadstoffe hoch	1.6%	1.2%	1.9%	1.7%	1.7%
Kostensatz Luftschadstoffe tief	-1.6%	-1.2%	-1.9%	-1.7%	-1.7%

Abbildung 149: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für die sozialen und externen Unfallkosten 2015

Unfallkosten des Gesamtverkehrs in Mio. CHF	Externe Kosten Sicht Verkehrsträger	Externe Kosten Sicht Verkehrs- teilnehmende	Soziale Kosten
<b>Basisrechnung</b>	<b>1'725</b>	<b>4'113</b>	<b>19'159</b>
50% höhere immaterielle Kosten	1'725	5'641	26'440
50% tiefere immaterielle Kosten	1'725	2'584	11'878
Frühzeitige Todesfälle statt verlorene Lebensjahre	1'725	4'212	19'417
Hohe medizinische Heilungskosten	1'820	4'208	19'265
Tiefe medizinische Heilungskosten	1'630	4'018	19'053
Zunahme der Transferleistungen und Abnahme Regressanteile	1'818	4'206	19'159
Abnahme der Transferleistungen und Zunahme Regressanteile	1'635	4'018	19'159
<b>Abweichung von der Basisrechnung in %</b>			
50% höhere immaterielle Kosten	0.0%	37.2%	38.0%
50% tiefere immaterielle Kosten	0.0%	-37.2%	-38.0%
Frühzeitige Todesfälle statt verlorene Lebensjahre	0.0%	2.4%	1.3%
Hohe medizinische Heilungskosten	5.5%	2.3%	0.6%
Tiefe medizinische Heilungskosten	-5.5%	-2.3%	-0.6%
Zunahme der Transferleistungen und Abnahme Regressanteile	5.4%	2.3%	0.0%
Abnahme der Transferleistungen und Zunahme Regressanteile	-5.2%	-2.3%	0.0%

Im Unfallbereich spielt es fast keine Rolle, ob die tödlichen Unfälle über frühzeitige Todesfälle oder verlorene Lebensjahre bewertet werden, weil die Unfallopfer etwa gleich alt sind wie die befragte Bevölkerung bei der Erhebung des VOSL.

**Abbildung 150: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für externe Kosten in städtischen Räumen 2015, Sicht Verkehrsträger**

<b>Zusatzkosten in städtischen Räumen in Mio. CHF</b>	<b>Strassen- verkehr</b>	<b>Schienen- verkehr</b>	<b>Luft- verkehr</b>	<b>Schiffs- verkehr</b>	<b>Total</b>
<b>Basisrechnung</b>	<b>73.0</b>	<b>36.0</b>	-	-	<b>109.0</b>
Betroffene Personen hoch	73.0	45.0	-	-	<b>118.0</b>
Betroffene Personen tief	73.0	27.0	-	-	<b>100.0</b>
Länge Strassennetz hoch	73.0	37.8	-	-	<b>110.8</b>
Länge Strassennetz tief	73.0	34.2	-	-	<b>107.2</b>
Zeitverluste hoch	73.0	54.0	-	-	<b>127.0</b>
Zeitverluste tief	73.0	18.0	-	-	<b>91.0</b>
Zeitkostensatz hoch	73.0	45.0	-	-	<b>118.0</b>
Zeitkostensatz tief	73.0	27.0	-	-	<b>100.0</b>
Länge betroffenes Strassennetz hoch	188.1	36.0	-	-	<b>224.1</b>
Länge betroffenes Strassennetz tief	61.5	36.0	-	-	<b>97.5</b>
Aufwertungskosten hoch	101.8	36.0	-	-	<b>137.8</b>
Aufwertungskosten tief	44.2	36.0	-	-	<b>80.2</b>
<b>Abweichung von Basisrechnung in %</b>					
Betroffene Personen hoch	0.0%	25.0%			<b>8.3%</b>
Betroffene Personen tief	0.0%	-25.0%			<b>-8.3%</b>
Länge Strassennetz hoch	0.0%	5.0%			<b>1.7%</b>
Länge Strassennetz tief	0.0%	-5.0%			<b>-1.7%</b>
Zeitverluste hoch	0.0%	50.0%			<b>16.5%</b>
Zeitverluste tief	0.0%	-50.0%			<b>-16.5%</b>
Zeitkostensatz hoch	0.0%	25.0%			<b>8.3%</b>
Zeitkostensatz tief	0.0%	-25.0%			<b>-8.3%</b>
Länge betroffenes Strassennetz hoch	157.7%	0.0%			<b>105.6%</b>
Länge betroffenes Strassennetz tief	-15.8%	0.0%			<b>-10.6%</b>
Aufwertungskosten hoch	39.4%	0.0%			<b>26.4%</b>
Aufwertungskosten tief	-39.4%	0.0%			<b>-26.4%</b>

**Abbildung 151: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für die sozialen und externen Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr 2015**

<b>Gesundheitsnutzen des Langsamverkehrs in Mio. CHF</b>	<b>Soziale Nutzen</b>	<b>Externe Nutzen</b>
<b>Basisrechnung</b>	<b>30'012.9</b>	<b>1'345.1</b>
Alle Altersklassen (inkl. Kinder)	30'281.5	1'363.2
Nur Erwachsene (ohne Senioren)	16'277.8	1'139.3
Hohe Kostensätze für gewonnene Lebensjahre	43'841.0	1'511.8
Tiefe Kostensätze für gewonnene Lebensjahre	16'184.9	1'178.4
Hohe Kostensätze für vermiedene Krankheitsfälle	30'149.9	1'349.9
Tiefe Kostensätze für vermiedene Krankheitsfälle	29'876.0	1'340.4
Frühzeitige Todesfälle statt verlorene Lebensjahre	72'620.8	1'345.1
<b>Abweichung vom Basisrechnung in %</b>		
Alle Altersklassen (inkl. Kinder)	0.9%	1.3%
Nur Erwachsene (ohne Senioren)	-45.8%	-15.3%
Hohe Kostensätze für gewonnene Lebensjahre	46.1%	12.4%
Tiefe Kostensätze für gewonnene Lebensjahre	-46.1%	-12.4%
Hohe Kostensätze für vermiedene Krankheitsfälle	0.5%	0.4%
Tiefe Kostensätze für vermiedene Krankheitsfälle	-0.5%	-0.4%
Frühzeitige Todesfälle statt verlorene Lebensjahre	142.0%	0.0%

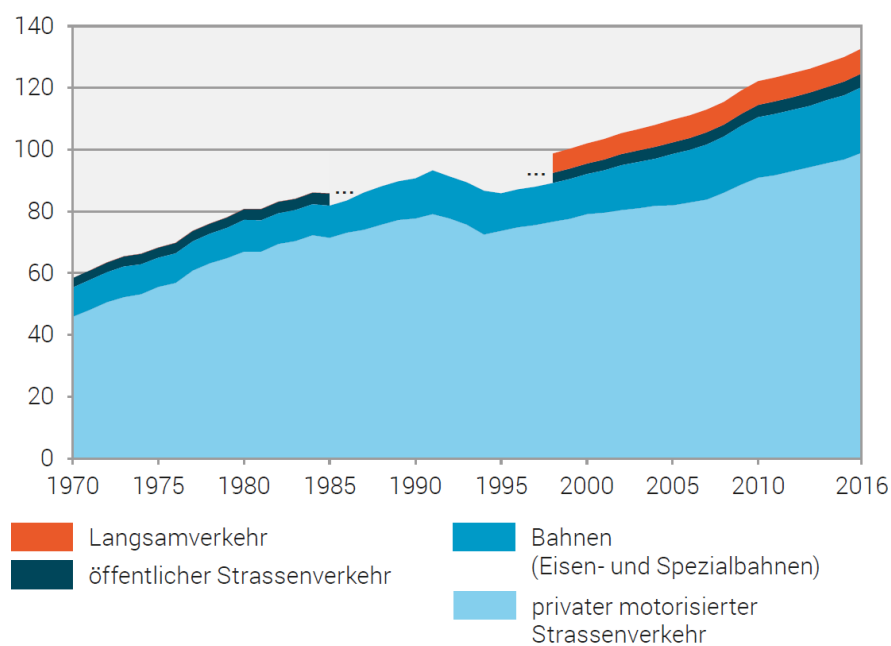
Bei den sozialen Gesundheitsnutzen führt die Bewertung über frühzeitige Todesfälle (statt verlorene Lebensjahre) zu einer Erhöhung der Nutzen um 142% auf 73 Mrd. CHF.

## Annex C: Modalsplit im Personen- Güterverkehr

Abbildung 152: Verkehrsleistungen im Personenverkehr

### Verkehrsleistungen im Personenverkehr

Milliarden Personenkilometer

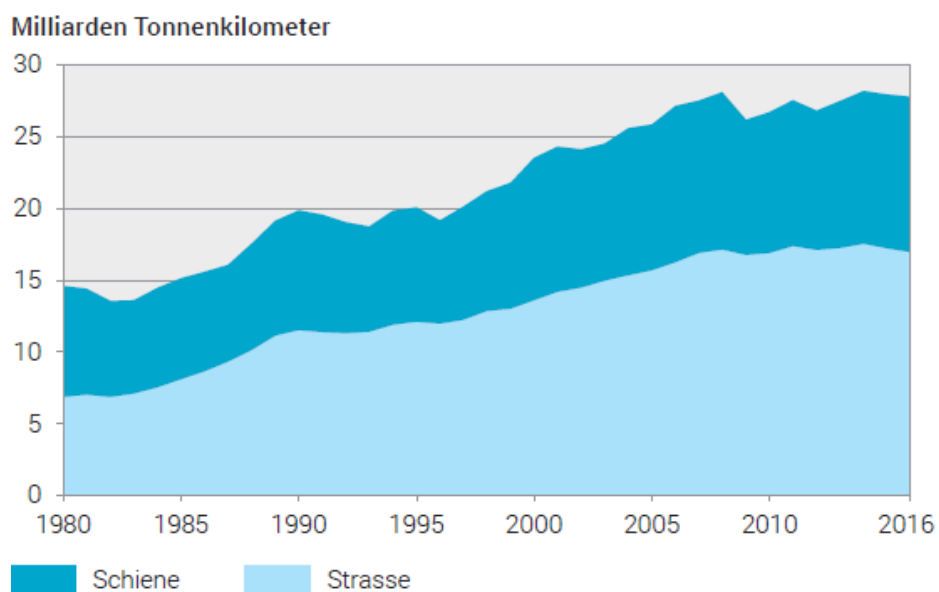


Quellen: BFS – Leistungen des Personenverkehrs (PV-L),  
Statistik des öffentlichen Verkehrs (OeV)

© BFS 2017

Abbildung 153: Verkehrsleistungen im Güterverkehr

## Transportleistungen im Güterverkehr



Datenbasis Strasse: schwere in- und ausländische Güterfahrzeuge, leichte inländische Güterfahrzeuge

Schiene: Werte in Netto-Tonnenkilometern (ohne das Eigengewicht von Containern und Strassengüterfahrzeugen im kombinierten Verkehr)

Quellen: BFS – Gütertransportstatistik (GTS),  
Statistik des öffentlichen Verkehrs (OeV)

© BFS 2017

## Abkürzungsverzeichnis

AHV	Alters- und Hinterlassenenversicherung
AOT40	Mass für die akkumulierte Ozondosis über einem Schwellenwert von 40ppb
ARA	Abwasserreinigungsanlage
ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
ASTRA	Bundesamt für Strassen
BAFU	Bundesamt für Umwelt
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
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
€	Euro
EU	Europäische Union
fäG	Fahrzeugähnliche Geräte
Fzkm	Fahrzeugkilometer
GV	Güterverkehr
GW	Gesellschaftswagen (privater Autobus / Car)
HBEFA	Handbuch Emissionsfaktoren
IMPACT	Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport
ISPMZ	Institut für Sozial- und Präventivmedizin der Universität Zürich
IV	Invalidenversicherung
Li	Lieferwagen
LIK	Landesindex der Konsumentenpreise
Li	Lieferwagen
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
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
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)
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)
SN	Schweizer Norm
SNF	Schwere Nutzfahrzeuge
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
TLM	Topografisches Landschaftsmodell (GIS-Datenmodell von swisstopo)
Tr	Traktor
TVA	Technische Verordnung über Abfälle
UBA	Umweltbundesamt Deutschland

UNFCCC	UN Framework Convention on Climate Change
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
UVG	Unfallversicherung bzw. Versicherung gemäss Unfallversicherungsgesetz
Vector 25	Digitales 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)

## Literatur

- ACRP Report 2013:** Measuring PM Emissions from Aircraft Auxiliary Power Units, Tires, and Brakes. ACRP (Airport Cooperative Research Program) Report 97 des US Transportation Research Board.
- Adam M., Schikowski T., Carsin A.E., et al. 2015:** Adult lung function and long-term air pollution exposure. ESCAPE: a multicentre cohort study and meta-analysis. *Eur Respir J* 45(1): 38-50.
- BAFU 2015:** Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des Non-Road-Sektors. Studie für die Jahre 1980-2050. Umwelt-Wissen Nr. 1519. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern.
- Bennett M., Christie S.M., Graham A., Thomas B.S., Vishnyakov V., Morris K., Peters D.M., Jones R., Ansell C. 2011:** Composition of smoke generated by landing aircraft. *Environ Sci Technol.* 2011 Apr 15;45(8):3533-8.
- BFE 2012:** Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Energienachfrage und Elektrizitätsangebot 2000 - 2050 (BFE 2012).
- BFE 2016:** Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 - 2015 nach Verwendungszwecken (BFE 2016).
- BFS 2012:** Ausmass der wöchentlich ausgeübten sportlichen Aktivität. Online: [http://www.portal-stat.admin.ch/sgb2012/docs/su-d-14.02-ESS-SPORT\\_CH.xls](http://www.portal-stat.admin.ch/sgb2012/docs/su-d-14.02-ESS-SPORT_CH.xls) (8.8.2017).
- BFS, ARE (2017):** Verkehrsverhalten der Bevölkerung 2017. Online: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/personenverkehr/verkehrsverhalten.assetdetail.1840604.html> (21.12.2017).
- B,S,S. (2015):** Monetarisierung des statistischen Lebens im Strassenverkehr. Forschungsauftrag VSS 2011/104 des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute. Basel.
- Cai Y., Schikowski T., Adam M., et al. 2014:** Cross-sectional associations between air pollution and chronic bronchitis: an ESCAPE meta-analysis across five cohorts. *Thorax* 69(11): 1005-1014.
- 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.
- Cesaroni G., Forastiere F., Stafoggia M., et al. 2014:** Long term exposure to ambient air pollution and incidence of acute coronary events: prospective cohort study and meta-analysis in 11 European cohorts from the ESCAPE Project. *BMJ* 348: f7412.
- Chen G., Wan X., Yang G., et al. 2015:** Traffic-related air pollution and lung cancer: A meta-analysis. *Thorac Cancer* 6(3): 307-318.

- Curran, R.J., 2006:** Method for estimating particulate emissions from aircraft brakes and tyres. QinetiQ/05/01827.
- 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).
- Dimakopoulou K., Samoli E., Beelen R., et al. 2014:** Air pollution and nonmalignant respiratory mortality in 16 cohorts within the ESCAPE project. *Am J Respir Crit Care Med* 189(6): 684-696.
- 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 2016:** Empfehlungen zur Festlegung der Zahlungsbereitschaft für die Verminderung des Unfall- und Gesundheitsrisikos (value of statistical life), Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung ARE und der Beratungsstelle für Unfallverhütung bfu, 2016.
- Ecoplan, INFRAS 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, INFRAS 2014:** Externe Effekte des Verkehrs 2010, Monetarisierung von Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekten, Ecoplan und INFRAS im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung ARE, Bern.
- Ecoplan, ISPMZ 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, Universität Bern 2014:** Verbreitung und Auswirkungen von E-Bikes in der Schweiz. Online: <http://www.news.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/36765.pdf> (31.3.2017).
- Eeftens M., Hoek G., Gruzieva O., et al. 2014:** Elemental composition of particulate matter and the association with lung function. *Epidemiology* 25(5): 648-657.
- EIFER 2018:** Umweltkosten durch Treibhausgasemissionen, Sachstandsbericht zur Methodenkonvention 3.0 zur Schätzung von Umweltkosten, im Auftrag des Umweltbundesamtes UBA, Europäisches Institut für Energieforschung (EIFER), Karlsruhe, unveröffentlicht.
- EIFER, INFRAS 2018:** Umweltkosten durch Luftschadstoffemissionen, Sachstandsbericht zur Methodenkonvention 3.0 zur Schätzung von Umweltkosten, im Auftrag des Umweltbundesamtes UBA, Europäisches Institut für Energieforschung (EIFER) und Infrass, Karlsruhe/Zürich, unveröffentlicht.

- Eze I.C., Foraster M., Schaffner E., et al. 2017:** Long-term exposure to transportation noise and air pollution in relation to incident diabetes in the SAPALDIA study. *Int J Epidemiol*.
- Eze I.C., Hemkens L.G., Bucher H.C., et al. 2015:** Association between ambient air pollution and diabetes mellitus in Europe and North America: systematic review and meta-analysis. *Environ Health Perspect* 123(5): 381-389.
- Fahrländer Stefan Sebastian, Gerfin Michael, Lehner Manuel 2015:** The influence of noise on net revenue and values of investment properties: Evidence from Switzerland. Discussion Papers 15-02 Universität Basel. Online: <http://www.vwl.unibe.ch/papers/dp/dp1502.pdf> (31.3.2017).
- FPRE Fahrländer Partner AG Raumentwicklung 2014:** Lärm und Renditeigenschaften. Untersuchung des Lärmeinflusses auf Renditeigenschaften (Wohnen, Büro, Verkauf, Gastronomie). Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU.
- Fuks K.B., Weinmayr G., Foraster M., et al. 2014:** Arterial blood pressure and long-term exposure to traffic-related air pollution: an analysis in the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). *Environ Health Perspect* 122(9): 896-905.
- Gehring U., Gruzieva O., Agius R.M., et al. 2013:** Air pollution exposure and lung function in children: the ESCAPE project. *Environ Health Perspect* 121(11-12): 1357-1364.
- Götschi, T., Tainio, M., Maizlish, N., Schwanen, T., Goodman, A., & Woodcock, J. (2015):** Contrasts in active transport behaviour across four countries: How do they translate into public health benefits? *Preventive medicine*, 74, 42-48.
- Gruzieva O., Gehring U., Aalberse R., et al. 2014:** Meta-analysis of air pollution exposure association with allergic sensitization in European birth cohorts. *J Allergy Clin Immunol* 133(3): 767-776 e767.
- Guski R., Schreckenberger D. 2015:** Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld: Gesamtbeurteilung des Forschungsprojekts NORAH. Gemeinnützige Umwelthaus GmbH Kelsterbach.
- Heritier H., Vienneau D., Foraster M., et al. 2017:** Transportation noise exposure and cardiovascular mortality: a nationwide cohort study from Switzerland. *Eur J Epidemiol*. Siehe auch: <http://p3.snf.ch/project-147635>
- Heroux M.E., Anderson H.R., Atkinson R., et al. 2015:** Quantifying the health impacts of ambient air pollutants: recommendations of a WHO/Europe project. *Int J Public Health* 60(5): 619-627.
- INFRAS 2004:** Verkehrsbedingte Gebäudeschäden in der Schweiz: Aktualisierung der externen Kosten 2000. INFRAS mit Unterstützung von Wüest & Partner. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung. Zürich/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 2014:** HBEFA 3.2. Handbook of Emission Factors for Road Transport. Infrac, Bern. [www.hbefa.net].
- Infrac, 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.
- Infrac, Planco 2017:** Statistik der Kosten und Finanzierung des Verkehrs (KFV-Statistik) für den Teil Schiffsverkehr, BFS 2017.
- Jacquemin B., Siroux V., Sanchez M., et al. 2015:** Ambient air pollution and adult asthma incidence in six European cohorts (ESCAPE). *Environ Health Perspect* 123(6): 613-621.
- Kelly, Paul, Sonja Kahlmeier, Thomas Götschi, Nicola Orsini, Justin Richards, Nia Roberts, Peter Scarborough, Charlie Foster 2014:** Systematic Review and Meta-Analysis of Reduction in All-Cause Mortality from Walking and Cycling and Shape of Dose Response Relationship. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity* 11 (1): 132. <http://www.ijbnpa.org/content/11/1/132>.
- Kuik et al. 2009:** Marginal abatement costs 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.
- Kyu, Hmwe H, Victoria F Bachman, Lily T Alexander, John Everett Mumford, Ashkan Afshin, Kara Estep, J Lennert Veer-man, et al. 2016:** Physical Activity and Risk of Breast Cancer, Colon Cancer, Diabetes, Ischemic Heart Disease, and Ischemic Stroke Events: Systematic Review and Dose-Response Meta-Analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *BMJ* 354.
- Lamichhane D.K., Leem J.H., Kim H.C., et al. 2015:** Association of infant and young child feeding practices with undernutrition in children: evidence from the Nepal Demographic and Health Survey. *Paediatr Int Child Health*.
- Loomis D., Grosse Y., Lauby-Secretan B., et al. 2013:** The carcinogenicity of outdoor air pollution. *Lancet Oncol* 14(13): 1262-1263.
- MacIntyre E.A., Gehring U., Molter A., et al. 2014:** Air pollution and respiratory infections during early childhood: an analysis of 10 European birth cohorts within the ESCAPE Project. *Environ Health Perspect* 122(1): 107-113.
- 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.

- Molter A., Simpson A., Berdel D., et al. 2015:** A multicentre study of air pollution exposure and childhood asthma prevalence: the ESCAPE project. *Eur Respir J* 45(3): 610-624.
- NEEDS (2006):** Final report on the monetary valuation of mortality and morbidity 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%204032009.pdf](http://www.needs-project.org/docs/RS1a%20D6_1%20External%20costs%20of%20reference%20technologies%204032009.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).
- OECD 2012:** Mortality Risk Valuation in Environment, Health and Transport Policies. Online: <http://www.oecd.org/environment/mortalityriskvaluationinenvironmenthealthand-transportpolicies.htm> (27.3.2017).
- Pedersen M., Andersen Z.J., Stafoggia M., et al. 2017:** Ambient air pollution and primary liver cancer incidence in four European cohorts within the ESCAPE project. *Environ Res* 154: 226-233.
- Pedersen M., Giorgis-Allemand L., Bernard C., et al. 2013:** Ambient air pollution and low birth-weight: a European cohort study (ESCAPE). *Lancet Respir Med* 1(9): 695-704.
- Power M.C., Adar S.D., Yanosky J.D., et al. 2016:** Exposure to air pollution as a potential contributor to cognitive function, cognitive decline, brain imaging, and dementia: A systematic review of epidemiologic research. *Neurotoxicology* 56: 235-253.

- PSI 2016:** Opportunities and challenges for electric mobility: an interdisciplinary assessment of passenger vehicles (final report THELMA project, PSI 2016).
- Raaschou-Nielsen O., Andersen Z.J., Beelen R., et al. 2013:** Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). *Lancet Oncol* 14(9): 813-822.
- SBB 2011:** Umweltfahrplan SBB, Hintergrundbericht Version 1.1, Oktober 2011
- Seidler A., Hegewald J., Seidler A.L., et al. 2017:** Association between aircraft, road and railway traffic noise and depression in a large case-control study based on secondary data. *Environ Res* 152: 263-271.
- Seidler A., Wagner M., Schubert M., et al. 2016:** Aircraft, road and railway traffic noise as risk factors for heart failure and hypertensive heart disease-A case-control study based on secondary data. *Int J Hyg Environ Health* 219(8): 749-758.
- Smith, Andrea D., Alessio Crippa, James Woodcock, and Søren Brage 2016:** Physical Activity and Incident Type 2 Diabetes Mellitus: A Systematic Review and Dose–response Meta-Analysis of Prospective Cohort Studies. *Diabetologia*. Springer Berlin Heidelberg, 1–19. doi: 10.1007/S00125-016-4079-0.
- Stafoggia M., Cesaroni G., Peters A., et al. 2014:** Long-term exposure to ambient air pollution and incidence of cerebrovascular events: results from 11 European cohorts within the ESCAPE project. *Environ Health Perspect* 122(9): 919-925.
- Stansfeld S. et al. 2016:** WHO Environmental noise guidelines for the European Region - What is new? New evidence on health effects from environmental noise and implications for research, Internoise conference, Hamburg, August 2016. Siehe auch: <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/activities/development-of-who-environmental-noise-guidelines-for-the-european-region>
- Thomas P.J., Vaughan G.J. 2015:** Testing the validity of the “value of a prevented fatality” (VPF) used to assess UK safety measures. In: *Process Safety and Environmental Protection* 94 (2015), S. 239–261.
- Tsai M.Y., Hoek G., Eeftens M., et al. 2015:** Spatial variation of PM elemental composition between and within 20 European study areas--Results of the ESCAPE project. *Environ Int* 84: 181-192.
- TVA 2011:** Technische Verordnung über Abfälle vom 10. Dezember 1990 (Stand am 1. Juli 2011).
- 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 2018:** Ökonomische Bewertung von Umweltschäden – Aktualisierung der Methodenkonvention 3.0 zur Schätzung von Umweltkosten, Umweltbundesamt Deutschland in Zusammenarbeit mit Infrass, EIFER, Fraunhofer-ISI, CE Delft, UFZ ; laufend (unveröffentlicht).
- UFZ 2017:** Schätzung der Umweltkosten infolge Schädigung oder Zerstörung von Ökosystemen und Biodiversitätsverlust, Sachstandsbericht zur Methodenkonvention 3.0 zur Schätzung von Umweltkosten, im Auftrag des Umweltbundesamtes UBA, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung UFZ, Leipzig, unveröffentlicht.
- Université de Genève, equiterre, Swiss TPH, EMPA, Ecoplan, M.I.S. Trend 2016:** Plan sectoriel de l'infrastructure aéronautique (PSIA) de l'Aéroport de Genève Cointrin (GA): Evaluation d'impacts sur la santé. Rapport final.
- Wang M., Beelen R., Stafoggia M., et al. 2014:** Long-term exposure to elemental constituents of particulate matter and cardiovascular mortality in 19 European cohorts: results from the ESCAPE and TRANSPHORM projects. Environ Int 66: 97-106.
- WHO 2013:** Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE project. Recommendations for concentration–response functions for cost–benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. Copenhagen, World Health Organization (WHO). Regional office for Europe.
- Woodcock J, Edwards P, Tonne C, et al. 2009:** Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: urban land transport. Lancet 374(9705): 1930-1943.
- Wüest & Partner (2013):** Mikrolage neu gesehen. In: Immo-Monitoring 2013 / 2, S. 63-75.