

Staukosten Schweiz 2015

Korrigierte Version: Diese Publikation ersetzt die bisherige vom Juni 2018.

von Mario Keller



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Raumentwicklung ARE
Office fédéral du développement territorial ARE
Ufficio federale dello sviluppo territoriale ARE
Uffizi federal da svilup dal territori ARE

IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesamt für Raumentwicklung (ARE)

Autor dieser Publikation

Mario Keller, MK Consulting GmbH

Projektleitung

Franziska Borer Blindenbacher, ARE

Begleitgruppe

Franziska Borer Blindenbacher, ARE

Christian Egeler, ARE

Antonin Danalet, ARE

Produktion

Rudolf Menzi, Leiter Kommunikation ARE

Bezugsquelle

Elektronische Version: www.are.admin.ch

Korrigierte Version: Die Zuweisung der Unfallkosten des Strassenverkehrs auf die verschiedenen Fahrzeugkategorien wurde überarbeitet, was eine Korrektur bei den staubedingten Unfallkosten nach sich zog. Diese Publikation ersetzt die bisherige vom Juni 2018.

Inhalt

Zusammenfassung	4
Résumé	6
Sintesi	9
Summary	11
1. Aufgabenstellung	13
2. Berechnung der Stauzeitkosten für die Jahre 2015 – 2017	14
2.1. Berechnung der Gesamtstauzeitkosten	14
2.1.1. Methodik zur Ermittlung der Gesamtstauzeitkosten	14
2.1.2. Aktualisiertes Mengengerüst – Autobahnen	16
2.1.3. Aktualisiertes Mengengerüst – übriges Strassennetz	18
2.1.4. Aktualisierte Kostensätze	19
2.1.5. Ergebnisse: Aktualisierte Stauzeitkosten 2015 – 2017	19
2.2. Aktualisierung der vom Schwerverkehr verursachten Stauzeitkosten	20
2.2.1. Methodik zur Ermittlung der vom Schwerverkehr verursachten Stauzeitkosten	20
2.2.2. Ergebnisse: Vom Schwerverkehr verursachte Stauzeitkosten 2015 – 2017	22
3. Aktualisierung der staubedingten Umwelt-, Klima-, Energie- und Unfallkosten 2015	24
3.1. Staubbedingte Umwelt-, Klima- und Energiekosten 2015	24
3.1.1. Zur Methodik	24
3.1.2. Aktualisierung der staubedingten Umweltkosten	25
3.1.3. Aktualisierung der staubedingten Klimakosten	25
3.1.4. Aktualisierung der staubedingten Energiekosten	26
3.2. Staubbedingte Unfallkosten 2015	26
3.2.1. Zur Methodik	27
3.2.2. Aktualisierung der staubedingten Unfallkosten	27
4. Zusammenfassende Übersicht	29
4.1. Aktualisierte Stauzeitkosten	29
4.2. Aktualisierte staubedingte Umwelt-, Klima- und Energiekosten	30
4.3. Aktualisierte staubedingte Unfallkosten	30
4.4. Aktualisierte Gesamtstaukosten	31
Annex A: Herleitung der aktualisierten Kostensätze bis 2017	32
Annex B: Sensitivitätsbetrachtung zu den vom Schwerverkehr verursachten Stauzeitkosten	33
Abkürzungen	36
Literatur	38

Zusammenfassung

Die jüngste Studie des Bundesamtes für Raumentwicklung (ARE) zu den externen Kosten und Nutzen des Verkehrs enthält eine aktualisierte Berechnung von Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekten aller Verkehrsträger für die Jahre 2010 bis 2015 (Infras/Ecoplan, 2019). Darin ist bei den Umwelt-, Klima- und Unfallkosten der staubedingte Anteil mit enthalten, nicht berücksichtigt sind hingegen die Stauzeitkosten. Die vorliegende Studie aktualisiert einerseits die Stauzeitkosten für die Jahre 2015-2017 (die gesamten Stauzeitkosten sowie den Anteil, der vom Schwerverkehr verursacht und mittels der vom Bundesgericht vorgegebenen Methodik berechnet wird). Andererseits wird auch der Anteil der staubedingten Umwelt-, Klima-, Energie- und Unfallkosten für das Jahr 2015 ermittelt, der - zusammen mit den Stauzeitkosten - die Gesamt-Staukosten ergibt. Methodisch lehnt sich die Untersuchung weitgehend an die letzte Staukostenstudie (ARE, 2016) an, in der die Stauzeitkosten bis 2014 und die staubedingten weiteren Kosten für das Jahr 2010 ausgewiesen sind. Bei der vorliegenden Aktualisierung letzterer kommt die überarbeitete Methodik gemäss der jüngsten Studie von Infras/Ecoplan (2019) zum Zug.

Tabelle Z-1 zeigt die Ergebnisse für die gesamten Stauzeitkosten sowie die vom Schwerverkehr verursachten Stauzeitkosten, die gut einen Drittel der gesamten Stauzeitkosten ausmachen. Tabelle Z-2 und Abbildung Z-3 weisen die gesamten Staukosten für 2015 und 2010 aus. Die Gesamt-Staukosten nahmen im Zeitraum 2010 bis 2015 um rund 7 % zu. Knapp 70 % der rund 1.9 Mrd. CHF im Jahr 2015 fallen auf die Stauzeitkosten, welche ihrerseits gegenüber 2010 um rund 14 % zugenommen haben. Einen wichtigen Anteil von etwa 24 % (2015) machen die staubedingten Unfallkosten aus (450 Mio. CHF), die gegenüber 2010 jedoch leicht abgenommen haben. Der Anteil staubedingter Umwelt- und Klimakosten ist in beiden Bezugsjahren vergleichsweise bescheiden (<3 %), während die staubedingten Energiekosten gut 5 % ausmachen.

Tabelle Z-1: Aktualisierte Fahrzeug-Stauzeitkosten in Mio. CHF pro Jahr 2010-2017

	Stauzeitkosten insgesamt (Mio. CHF)	% ggü. Vorjahr	Vom Schwerverkehr verursachte Stauzeitkosten (Mio. CHF)	% ggü. Vorjahr	Vom Schwerverkehr verursachte Stauzeitkosten (% des Totals)
2010	1'137		378		33 %
2011	1'170	+2.9 %	391	+3.5 %	33 %
2012	1'216	+4.0 %	411	+4.9 %	34 %
2013	1'191	-2.0 %	398	-3.0 %	33 %
2014	1'245	+4.5 %	421	+5.7 %	34 %
2015	1'293	+3.9 %	444	+5.4 %	34 %
2016	1'347	+4.1 %	466	+5.0 %	35 %
2017	1'420	+5.4 %	496	+6.4 %	35 %

Quellen: Werte 2010-2014 gemäss Staustudie (ARE, 2016), Werte 2015-2017 aktualisiert gemäss vorliegender Untersuchung.

Tabelle Z-2: Gesamte Staukosten 2010 und 2015 in Mio. CHF pro Jahr

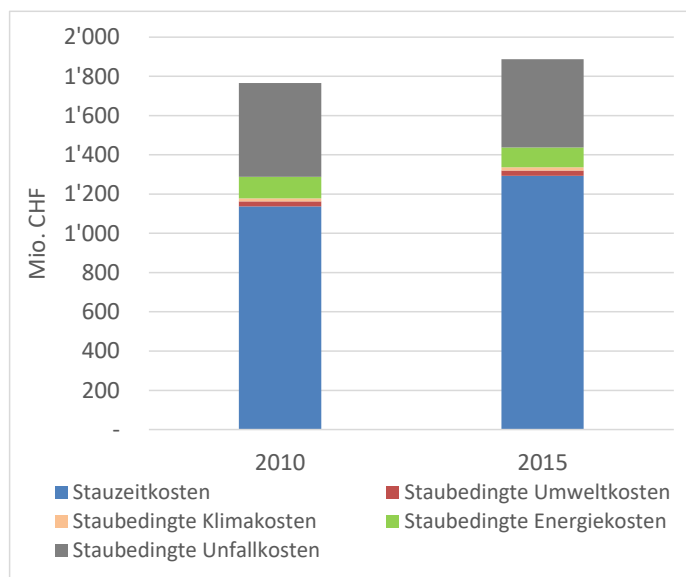
	2010 Mio. CHF	2015 Mio. CHF	% 2010	% 2015	Veränderung 2015 ggü. 2010
Stauzeitkosten	1'137	1'293	64.4 %	68.5 %	+13.8 %
Staubedingte Umweltkosten	26	27	1.5 %	1.4 %	+2.9 %
Staubedingte Klimakosten	15	17	0.9 %	0.9 %	+11.7 %
Staubedingte Energiekosten	109	101	6.2 %	5.3 %	-7.8 %
Staubedingte Unfallkosten	479	450	27.1 %	23.8 %	-6.1 %
Gesamte Staukosten	1'767	1'888	100.0%	100.0%	+6.9 %

Quellen:

Stauzeitkosten 2010 gemäss Staustudie (ARE, 2016), Werte 2015 aktualisiert gemäss vorliegender Untersuchung.

Umwelt-, Klima-, Energie- und Unfallkosten 2010 und 2015 auf der Basis der aktualisierten Methodik gemäss Infrac/Ecoplan (2019).

Abbildung Z-3: Gesamte Staukosten 2010 und 2015 in Mio. CHF pro Jahr



Quellen:

Stauzeitkosten 2010 gemäss Staustudie (ARE, 2016), Werte 2015 aktualisiert gemäss vorliegender Untersuchung.

Umwelt-, Klima-, Energie- und Unfallkosten 2010 und 2015 auf der Basis der aktualisierten Methodik gemäss Infrac/Ecoplan (2019).

Résumé

La toute dernière étude de l'Office fédéral du développement territorial (ARE) sur les coûts et bénéfices externes du transport contient un calcul actualisé des effets de tous les modes de transport dans le domaine de l'environnement, des accidents et de la santé pour les années 2010 à 2015 (Infras/Ecoplan, 2019). La part des coûts dus aux embouteillages y est incluse dans les coûts liés à l'environnement, au climat et aux accidents, mais il n'est pas tenu compte, par contre, du *temps perdu* dans les embouteillages. La présente étude actualise les données sur les coûts du temps perdu dans les embouteillages pour les années 2015 à 2017 (l'ensemble des coûts du temps perdu dans les embouteillages et la part causée par le trafic poids lourds, calculée selon la méthode prescrite par le Tribunal fédéral). Par ailleurs, la part des coûts, dus aux embouteillages, liés à l'environnement, au climat, à l'énergie et aux accidents est également déterminée pour l'année 2015. En y ajoutant les coûts du temps perdu, on obtient le total des coûts dus aux embouteillages. La méthode utilisée dans l'enquête reprend en grande partie la précédente étude sur les coûts des embouteillages (ARE, 2016), qui déterminait les coûts du temps perdu dans les embouteillages jusqu'en 2014 et les coûts dus aux embouteillages dans les coûts liés à l'environnement, au climat, à l'énergie et aux accidents en 2010. Pour la présente actualisation, la méthode utilisée a d'abord été revue selon la dernière étude d'Infras/Ecoplan (2019).

Le tableau Z-1 montre les résultats concernant le total des coûts du temps perdu dans les embouteillages et les coûts du temps perdu dans les embouteillages causés par le trafic poids lourds, qui représentent un bon tiers du total. Le tableau Z-2 et le graphique Z-3 indiquent le total des coûts dus aux embouteillages en 2015 et en 2010. Durant la période 2010 à 2015, le total des coûts dus aux embouteillages a augmenté d'environ 7 %. Juste 70 % des environs 1.9 milliards de CHF en 2015 sont imputables aux coûts du temps perdu dans les embouteillages, qui ont augmenté, eux, d'environ 14 % depuis 2010. Les coûts liés aux accidents causés par les embouteillages, qui ont légèrement diminué depuis 2010, constituent néanmoins une part importante de presque 24 % (450 millions en 2015). La part des coûts dus aux embouteillages dans les coûts liés à l'environnement et au climat est comparativement assez faible pour l'une comme pour l'autre année de référence (< 3 %) et la part des coûts liés à l'énergie est environ 5 %.

Tableau Z-1 : Coûts actualisés du temps perdu par les véhicules dans les embouteillages, en millions de CHF par an, de 2010 à 2017

	Coûts du temps perdu dans les embouteillages (en mio de CHF)	% par rapport à l'année précédente	Coûts du temps perdu dans les embouteillages et dus au trafic poids lourds (en mio de CHF)	% par rapport à l'année précédente	% coûts du temps perdu dans les embouteillages dus au trafic poids lourds
2010	1 137		378		33 %
2011	1 170	+2.9 %	391	+3.5 %	33 %
2012	1 216	+4.0 %	411	+4.9 %	34 %
2013	1 191	-2.0 %	398	-3.0 %	33 %
2014	1 245	+4.5 %	421	+5.7 %	34 %
2015	1 293	+3.9 %	444	+5.4 %	34 %
2016	1 347	+4.1 %	466	+5.0 %	35 %
2017	1 420	+5.4 %	496	+6.4 %	35 %

Sources : valeurs 2010-2014 selon l'étude sur les embouteillages (ARE, 2016), valeurs 2015-2017 actualisées selon la présente enquête.

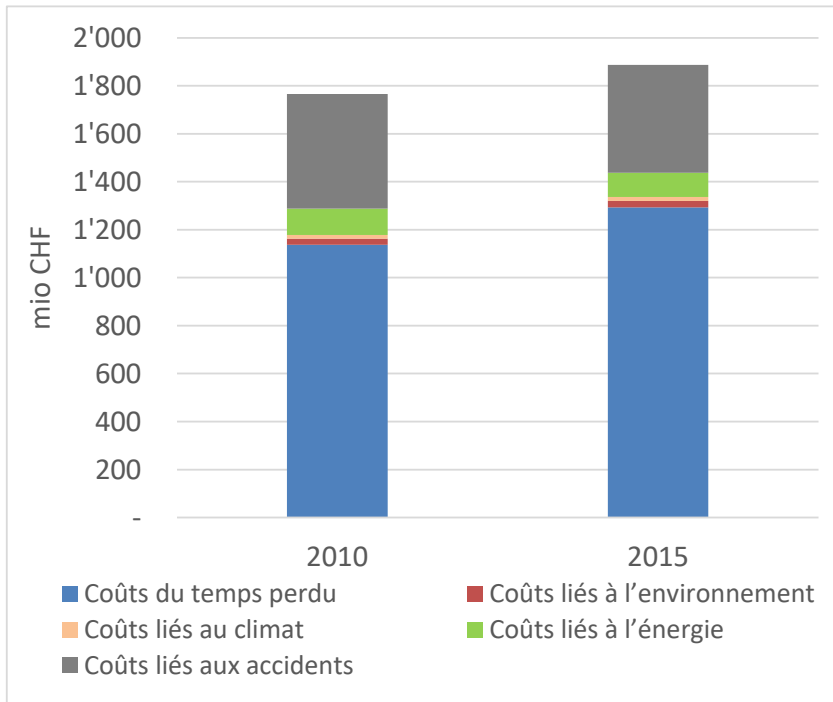
Tableau Z-2 : Total coûts dus aux embouteillages en 2010 et 2015 en millions de CHF par an

	2010 mio de CHF	2015 mio de CHF	% 2010	% 2015	Évolution de 2010 à 2015
Coûts du temps perdu	1'137	1'293	64.4 %	68.5 %	+13.8 %
Coûts liés à l'environnement	26	27	1.5 %	1.4 %	+2.9 %
Coûts liés au climat	15	17	0.9 %	0.9 %	+11.7 %
Coûts liés à l'énergie	109	101	6.2 %	5.3 %	-7.8 %
Coûts liés aux accidents	479	450	27.1 %	23.8 %	-6.1 %
Total coûts dus aux embouteillages	1'767	1'888	100.0 %	100.0 %	+6.9 %

Sources :

Coûts du temps perdu dans les embouteillages en 2010 selon l'étude sur les embouteillages (ARE, 2016), valeurs de 2015 actualisées selon la présente enquête.

Coûts environnement, climat, énergie, accidents en 2010 et 2015 sur la base de la méthode actualisée selon Infras/Ecoplan (2019).

Graphique Z-3 : Total coûts dus aux embouteillages en 2010 et 2015 en millions de CHF par an

Sources :

Coûts du temps perdu dans les embouteillages en 2010 selon l'étude sur les embouteillages (ARE, 2016), valeurs de 2015 actualisées selon la présente enquête.

Coûts environnement, climat, énergie, accidents en 2010 et 2015 sur la base de la méthode actualisée selon Infrac/Ecoplan (2019).

Sintesi

Lo studio più recente dell'Ufficio federale dello sviluppo territoriale (ARE) sui costi e benefici esterni del traffico presenta un calcolo aggiornato di Infrac/Ecoplan (2019) degli effetti di tutti i vettori di trasporto sull'ambiente, sulla salute e incidenti per il periodo 2010 - 2015. Per quanto riguarda i costi climatici, ambientali e di quelli dovuti agli incidenti, nel calcolo sono integrate le quote dovute alle code ma non sono stati presi in considerazione i costi delle ore di coda. Il presente studio aggiorna da un lato i costi delle ore di coda per il periodo 2015 - 2017 (i costi totali delle code, la percentuale dovuta al traffico pesante e quella calcolata secondo il metodo stabilito dal Tribunale federale); dall'altro, rileva anche la quota dei costi degli incidenti, climatici, energetici e ambientali dovuti alle code per l'anno 2015. Questa quota combinata con i costi delle ore di coda costituisce il totale dei costi delle code. A livello metodologico, lo studio si rifà in larga misura all'ultima pubblicazione sui costi delle code (ARE, 2016), in cui sono rilevati i costi delle ore di coda fino al 2014 e i costi climatici, ambientali, energetici e degli incidenti dovuti alle code per l'anno 2010. Nel presente aggiornamento viene applicato il metodo rielaborato secondo il più recente studio di Infrac/Ecoplan (2019).

La tabella Z-1 presenta i risultati relativi ai costi complessivi delle ore di coda nonché i costi delle ore di coda dovuti al traffico pesante, che rappresentano poco più di un terzo del totale. La tabella Z-2 e il grafico Z-3 mostrano i costi complessivi dovuti alle code per l'anno 2015 e per il 2010. Tra il 2010 e il 2015, i costi complessivi delle code sono aumentati di circa il 7 per cento. Circa il 70 per cento dei 1.9 miliardi di franchi per l'anno 2015 sono riconducibili ai costi delle ore di coda, che a loro volta sono aumentati del 14 per cento rispetto al 2010. Una quota importante pari a circa il 24 per cento (2015) riguarda i costi degli incidenti dovuti alle code (450 mio. CHF), tuttavia leggermente in calo rispetto al 2010. La variazione percentuale dei costi climatici e dei costi ambientali dovuti alle code negli anni presi in esame è relativamente modesta (<3 %), la variazione percentuale dei costi energetici è circa 5 per cento.

Tabella Z-1: Aggiornamento dei costi delle ore di coda per veicolo in mio. CHF relativi al periodo 2010-2017

	Totale costi ore di coda (mio. CHF)	% rispetto anno precedente	Costi delle ore di coda dovuti al traffico pesante (mio. CHF)	% rispetto anno precedente	Costi delle ore di coda dovuti al traffico pesante (% del totale)
2010	1'137		378		33 %
2011	1'170	+2,9 %	391	+3,5 %	33 %
2012	1'216	+4,0 %	411	+4,9 %	34 %
2013	1'191	-2,0 %	398	-3,0 %	33 %
2014	1'245	+4,5 %	421	+5,7 %	34 %
2015	1'293	+3,9 %	444	+5,4 %	34 %
2016	1'347	+4,1 %	466	+5,0 %	35 %
2017	1'420	+5,4 %	496	+6,4 %	35 %

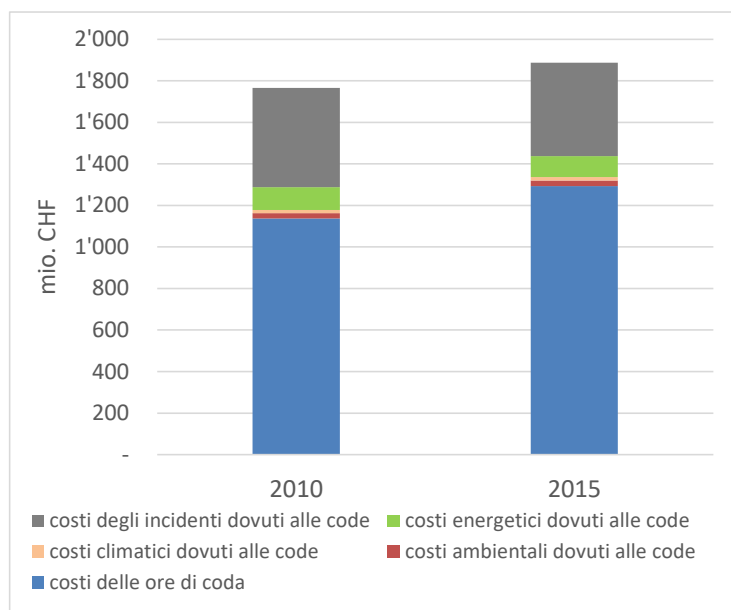
Fonte: Valori 2010-2014 secondo lo studio sulle code (ARE, 2016), valori 2015-2017 aggiornati sulla base del presente studio.

Tabella Z-2: Totale costi dovuti alle code relativi al 2010 e al 2015 in mio. CHF all'anno

	2010 mio. CHF	2015 mio. CHF	% 2010	% 2015	Variazione 2015 vs. 2010
Costi ore di coda	1'137	1'293	64.4 %	68.5 %	+13.8 %
Costi ambientali dovuti alle code	26	27	1.5 %	1.4 %	+2.9 %
Costi climatici dovuti alle code	15	17	0.9 %	0.9 %	+11.7 %
Costi energetici dovuti alle code	109	101	6.2 %	5.3 %	-7.8 %
Costi degli incidenti dovuti alle code	479	450	27.1 %	23.8 %	-6.1 %
Totale costi delle code	1'767	1'888	100.0 %	100.0 %	+6.9 %

Fonti: Costi ore di coda 2010 secondo lo studio sulle code (ARE, 2016), valori 2015 aggiornati sulla base del presente studio. Costi climatici, ambientali, energetici e costi dovuti agli incidenti 2010 e 2015 sulla base del metodo aggiornato di Infrac/Ecoplan (2019).

Grafico Z-3: Totale costi dovuti alle code relativi al 2010 e al 2015 in mio. CHF all'anno



Fonti: Costi ore di coda 2010 secondo lo studio sulle code (ARE, 2016), valori 2015 aggiornati sulla base del presente studio. Costi climatici, ambientali, energetici e costi dovuti agli incidenti 2010 e 2015 sulla base del metodo aggiornato utilizzato da Infrac/Ecoplan (2019).

Summary

The latest study from the Federal Office for Spatial Development ARE on the external costs and benefits of transport contains updated calculations of the impact on the environment, accidents and health of all modes of transport for the 2010 to 2015 period (Infras/Ecoplan, 2019). This report factors in the share of the environmental, climate and accident-related costs accounted for by congestion, but does not reflect the cost of *time* spent stuck in congestion. The new study updates the costs of congestion for the 2015–2017 period, setting out the total costs of that congestion, as well as the proportion caused by heavy vehicle traffic, calculated as per the method prescribed by the Federal Supreme Court. It also determines the proportion of the impact on the environment, climate, energy and accidents caused by congestion in 2015. Adding up latter costs and traffic delay costs results in aggregate costs of congestion. Methodologically, the report draws heavily on the most recent study into the cost of congestion conducted by the ARE in 2016. It reports the costs of time spent in congested traffic until 2014, as well as the impact of congestion on the environment, climate, energy, and accidents, for 2010. This latest update applies the revised methodology used in the most recent Infras/Ecoplan study from 2019.

Table Z-1 shows the findings for overall traffic delay costs, as well as that portion caused by heavy vehicles, which account for more than a third of the total. Table Z-2 and Figure Z-3 show the total congestion-related costs for 2015 and 2010. Aggregate costs increased by around 7 % between 2010 and 2015. Short of 70 % of the total of around CHF 1.9 billion in 2015 was caused by traffic delays, which increased by approximately 14 % compared with 2010. Congestion-related accident costs (CHF 450 million) account for a significant proportion of almost 24 % (2015), although the figure fell slightly compared with 2010. The proportion of congestion-related environmental and climate-related costs was relatively modest (less than 3 %) in both reference years and the proportion of congestion-related energy costs was around 5 %.

Table Z-1: Updated traffic delay costs in CHF million per year, 2010–2017

	Traffic delay costs, total (CHF m)	% / prev. year	Traffic delay costs caused by heavy vehicles (CHF m)	% / prev. year	Traffic delay costs caused by heavy vehicles (% of total)
2010	1,137		378		33 %
2011	1,170	+2.9 %	391	+3.5 %	33 %
2012	1,216	+4.0 %	411	+4.9 %	34 %
2013	1,191	-2.0 %	398	-3.0 %	33 %
2014	1,245	+4.5 %	421	+5.7 %	34 %
2015	1,293	+3.9 %	444	+5.4 %	34 %
2016	1,347	+4.1 %	466	+5.0 %	35 %
2017	1,420	+5.4 %	496	+6.4 %	35 %

Sources: Figures for 2010–2014 from 2016 ARE congestion study, figures for 2015–2017 from current study.

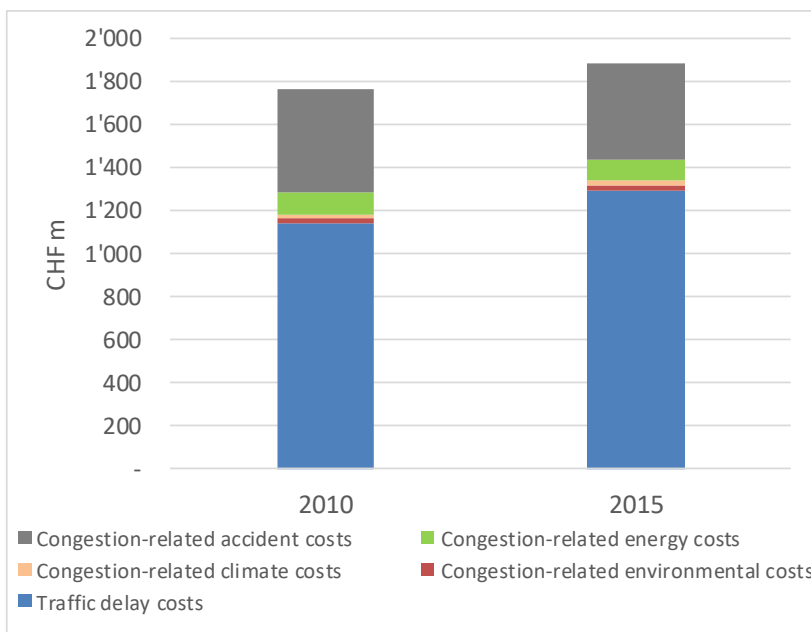
Table Z-2: Aggregate congestion-related costs for 2010 and 2015 in CHF m per year

	2010 CHF m	2015 CHF m	% 2010	% 2015	Change 2015 vs. 2010
Traffic delay costs	1'137	1'293	64.4 %	68.5 %	+13.8 %
Congestion-related environmental costs	26	27	1.5%	1.4 %	+2.9 %
Congestion-related climate costs	15	17	0.9 %	0.9 %	+11.7 %
Congestion-related energy costs	109	101	6.2 %	5.3 %	-7.8 %
Congestion-related accident costs	479	450	27.1 %	23.8 %	-6.1 %
Aggregate congestion-related costs	1'767	1'888	100.0 %	100.0 %	+6.9 %

Sources:

Traffic delay costs in 2010 from 2016 ARE congestion study, figures for 2015 from current study.

Environmental, climate, energy, and accident-related costs for 2010 and 2015 based on the updated methodology applied by In-
fras/Ecoplan (2019).

Figure Z-3: Aggregate congestion-related costs for 2010 and 2015 in CHF m per year

Sources:

Traffic delay costs in 2010 from 2016 ARE congestion study, figures for 2015 from current study.

Environmental, climate, energy, and accident-related costs for 2010 and 2015 based on the updated methodology applied by In-
fras/Ecoplan (2019).

1. Aufgabenstellung

Das Bundesamt für Raumentwicklung (ARE) publiziert seit 2005 jährlich Zahlen zu den externen Kosten des Strassen- und Schienenverkehrs in der Schweiz. Die jüngste Studie dazu datiert vom März 2019 und enthält eine Aktualisierung der Berechnungen von Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekten des Strassen-, Schienen-, Luft- und Schiffsverkehrs für die Jahre 2010 bis 2015 (Infras/Ecoplan, 2019). Zu den externen Kosten gehören teilweise auch die Staukosten – einerseits die Stauzeitkosten, andererseits die übrigen Komponenten der Staukosten, d.h. staubedingte Umwelt-, Klima-, Energie- und Unfallkosten. Die Stauzeitkosten sind eine eigene Kostenkategorie, welche in der oben erwähnten Studie (Infras/Ecoplan, 2019) noch nicht berücksichtigt ist, während die staubedingten Umwelt-, Klima-, Energie- und Unfallkosten ein Teil der dort ausgewiesenen externen Kosten sind.

Die externen Kosten spielen u.a. im Kontext der Leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe (LSVA) eine wichtige Rolle. Nebst dem Grundsatz, dass die Staukosten und namentlich auch die Stauzeitkosten zu den externen Kosten gehören, hat das Bundesgericht (BG) auch die grundsätzliche Methodik, wie diese zu ermitteln sind, vorgegeben. Die letzte Studie zu den Staukosten datiert vom April 2016 (ARE, 2016) und enthält Angaben zu den Stauzeitkosten für die Jahre 2010 bis 2014, für die übrigen Komponenten der Staukosten (Umwelt-, Klima-, Energie- und Unfallkosten) für das Jahr 2010.

Die vorliegende Untersuchung legt folgende Aktualisierungen vor:

- In Kapitel 2 werden die Stauzeitkosten für die Jahre 2015 bis 2017 ermittelt; dies umfasst einerseits die Stauzeitkosten insgesamt, andererseits die vom Schwerverkehr verursachten Stauzeitkosten.
- In Kapitel 3 werden – ausgehend von den in der eingangs erwähnten Studie (Infras/Ecoplan, 2019) ausgewiesenen externen Kosten – die aktualisierten staubedingten Umwelt-, Klima-, Energie- und Unfallkosten dargestellt.
- Kapitel 4 macht eine zusammenfassende Übersicht.

2. Berechnung der Stauzeitkosten für die Jahre 2015 – 2017

Bei den Stauzeitkosten stellen sich zwei Aufgaben: einerseits die Ermittlung der Gesamtstauzeitkosten, andererseits die Ermittlung der vom Schwerverkehr verursachten Stauzeitkosten.

2.1. Berechnung der Gesamtstauzeitkosten

2.1.1. Methodik zur Ermittlung der Gesamtstauzeitkosten

Ausgangspunkt ist die Methodik, die in der letzten Staustudie (ARE, 2016) entwickelt wurde. Dabei ist zu differenzieren zwischen der Methodik, die für das Basisjahr 2013 angewandt wurde bzw. jener für die Ermittlung der Stauzeitkosten der zeitlichen Entwicklung 2010-2014. Zudem wurde auch unterschieden zwischen der Situation auf Autobahnen bzw. dem übrigen Strassennetz.

Basisjahr 2013

Die letzte Berechnung der Stauzeitkosten (2016) konnte sich erstmals auf Echtzeitdaten abstützen, konkret auf einen Datensatz von INRIX für das Jahr 2013 mit der Angabe der Geschwindigkeit pro Minute und pro Netzabschnitt des TMC-Netzes (Traffic Message Channel), ein Datensatz mit gegen 10 Mio. Records. Diese Echtzeitdaten zur Geschwindigkeit bzw. Reisezeit je Abschnitt und Minute mussten im Rahmen der Studie zuerst in Verlustzeiten umgerechnet werden (definiert als Differenz zwischen der effektiven Reisezeit pro Abschnitt minus einer Referenzzeit). Dazu mussten eine Reihe von Annahmen getroffen werden (Festlegung von v-Referenz, eines Schwellenwerts, ab wann eine Verlustzeit als «staurelevant» gilt u.a.m.). Anschliessend wurden diese Verlustzeiten mit der Verkehrsnachfrage gewichtet (differenziert nach Personenwagen [PW], Leichten Nutzfahrzeugen [LNF] und Schwerverkehr) und in Fahrzeug-Staustunden pro Jahr umgerechnet. Durch Multiplikation mit Kostensätzen ergaben sich schliesslich die gesuchten Stauzeitkosten in Mio. CHF pro Jahr. Da das INRIX-Netz (bzw. das TMC-Netz) neben den Autobahnen auch alle wichtigen Hauptstrassen umfasst, konnten die Stauzeitkosten auch nach Autobahnen [AB] bzw. Nicht-Autobahnen differenziert werden. Die Verkehrsnachfrage wurde dem nationalen Personenverkehrsmodell (NPVM) des ARE entnommen (PW, LNF¹, Schwerverkehr) und dem TMC-Netz mit Hilfe einer sogenannten «Conflation» zugespielt. Zudem musste die Nachfrage² je Streckenabschnitt auf die Minuten «hinuntergebrochen» werden, dies unter Bezug der Angaben aus den ASTRA-Zählstellen. So konnten die Stauzeitkosten für PW, LNF und Schwerverkehr für das Jahr 2013 eruiert werden.

¹ Im nationalen Personenverkehrsmodell (NPVM) wird für die LNF der Begriff Lieferwagen (LI) verwendet.

² Definiert als DTV (durchschnittlicher täglicher Verkehr) bzw. DWV (durchschnittlicher werktäglicher Verkehr).

Entwicklung 2010-2014

Weil Echtzeitdaten lediglich für das Jahr 2013 verfügbar waren, musste bereits in der Studie 2016 für die Entwicklung in den Jahren 2010 bis 2014 eine Näherung gesucht werden. Für die Abschätzung der Entwicklung auf **Autobahnen** standen zwei Datensätze zur Verfügung, welche im Prinzip auch für die Jahre 2015 bis 2017 verfügbar sind: die Staustatistik von Viasuisse (mit Angaben zur Staudauer) und die Online-Daten der ASTRA-Zählstellen³. Für die Herleitung der zeitlichen Entwicklung wurden in der Studie 2016 die Online-Daten mit folgendem Prozedere gewählt (vgl. Studie 2016, S. 92/93):

- In einem ersten Schritt wurde je Zählstelle und Jahr (soweit plausible Daten zur Verfügung standen) anhand der Online-Daten für jedes 3-Minuten-Intervall geprüft, ob «Stau» vorkommt, d.h., falls die Geschwindigkeit unter einem bestimmten Schwellenwert liegt⁴.
- In einem zweiten Schritt wurde die Verlustzeit für die staurelevanten Zeitabschnitte berechnet (als Differenz zwischen der effektiven Reisezeit und einer „normalen“ Reisezeit ohne Störung [„freeflow“]), wobei eine Normdistanz von 1 Kilometer unterstellt wurde, weil die Online-Daten Querschnitts- und nicht Abschnittsgeschwindigkeiten liefern. Diese Verlustzeit wurde dann mit der Anzahl betroffener Fahrzeuge multipliziert (differenziert nach leichten bzw. schweren Motorwagen), woraus sich spezifische Fahrzeug-Staustunden (pro Zeitabschnitt, je Zählstelle und Jahr) ergaben.
- In einem dritten Schritt wurde das für das ganze Jahr aufsummiert und in Relation gesetzt zum Total der gemessenen Fahrzeuge, was für jedes Jahr einen Indikator für die «Stauintensität» ergab (spezifische Fahrzeugstunden pro Jahr und Fahrzeug, getrennt nach leichten Motorwagen [LMW] und schweren Motorwagen [SMW]⁵).
- In einem vierten Schritt wurde dieser Indikator mit der Fahrleistung (für LMW bzw. SMW) gewichtet und in Relation gesetzt zum Wert des Jahres 2013 (= Referenzjahr mit INRIX-Daten), woraus sich näherungsweise die gesuchten Fahrzeug-Staustunden. pro Jahr (für LMW bzw. SMW) ableiten liessen.

Für die Entwicklung auf **Nicht-Autobahnen** wurde vereinfachend unterstellt, dass sich die Fahrzeug-Staustunden im Zeitraum 2009 bis 2014 nicht grundlegend verändert haben. «Das Verkehrswachstum namentlich auf Einfallsachsen in die Städte, welche grösseres Staupotenzial aufweisen, dürfte deutlich geringer sein als jenes auf den Autobahnen, so dass diese Annahme zwar eine Notlösung ist, aber mangels Alternativen gerechtfertigt scheint» (Studie 2016, S. 92). Diese Aussage bezieht

³ Automatische Dauerzählungen/Messungen (Schweizerische automatische Strassenverkehrszählung [SASVZ]). Mittlerweile werden die Verkehrsmengen im übergeordneten Strassennetz an rund 360 Streckenabschnitten erfasst.

⁴ Konkret: Falls $v < 0.6 * v_{85}$, wobei v_{85} jene Geschwindigkeit bezeichnet, die von 85 % der unbehindert fahrenden Fahrzeuge nicht überschritten wird. Zu den „unbehindert“ fahrenden Fahrzeugen wurden alle Fahrzeuge gezählt, die ein v grösser als 85 % des Mittelwerts aller Fahrzeuge aufwiesen.

⁵ LMW (leichte Motorwagen) ist ein Oberbegriff für PW und LNF, SMW (schwere Motorwagen) entsprechend für Lastwagen und Busse.

sich auf die Fahrzeug-Staustunden. Dass die Stauzeitkosten auf Nicht-Autobahnen dann nicht ebenfalls konstant sind, ist auf die jährlich variierenden Kostensätze zurückzuführen.

2.1.2. Aktualisiertes Mengengerüst – Autobahnen

Grundsätzlich gilt für die vorliegende Aktualisierungsarbeit, dass methodische Neuerungen nur aufgenommen werden sollen sofern neue Datengrundlagen oder Kenntnisse dies nahelegen. Neue Echtzeit-Daten liegen für den Zeitraum 2015-2017 nicht vor, hingegen sind Angaben zur Staudauer auf der Basis der Staustatistik von Viasuisse und auch die Online-Daten der ASTRA-Zählstellen verfügbar. Aufgrund einer Nutzen/Aufwand-Abwägung wurde beschlossen, auf die vergleichsweise aufwändige Analyse der Online-Daten zu verzichten und stattdessen die Entwicklung der Staudauer gemäss Staustatistik, stellvertretend für die Entwicklung der Fahrzeug-Staustunden, zu verwenden. Ausgangspunkt sind die Entwicklungen der zwei Parameter Fahrzeugkilometer (Fzkm, auf AB) und Staudauer gemäss ASTRA-Jahresberichten zum Verkehrsfluss (ASTRA, 2016). Für das Jahr 2017 stellte das ASTRA die entsprechenden Werte zur Verfügung (vgl. Tabelle 1). Die Angaben bis 2014 entsprechen den Angaben in Studie 2016.

Tabelle 1: Entwicklung von Fahrleistung und Staudauer auf Autobahnen

	Gesamt-Verkehr auf AB (Mio. Fzkm/a)		Leichte Motorwagen (Mio. Fzkm/a)		Schwerer Güterverkehr (Mio. Fzkm/a)		StauStd.	
		% ggü. Vorjahr		% ggü. Vorjahr		% ggü. Vorjahr		% ggü. Vorjahr
2010	25'161*		23'653		1'508		15'958	
2011	25'874*	+2.8 %*	24'339	+2.9 %	1'535	+1.8 %	19'149	+20.0 %
2012	25'947*	+0.3 %*	24'436	+0.4 %	1'511	-1.6 %	19'919	+4.0 %
2013	25'169	-3.0 %*	23'640	-3.3 %	1'529	+1.2 %	20'596	+3.4 %
2014	25'416	+1.0 %	23'873	+1.0 %	1'543	+0.9 %	21'541	+4.6 %
2015	26'484	+4.2 %	24'939	+4.5 %	1'545	+0.1 %	22'828	+6.0 %
2016	27'131	+2.4 %	25'564	+2.5 %	1'567	+1.4 %	24'066	+5.4 %
2017	27'680	+2.0 %	26'089	+2.1 %	1'591	+1.5 %	25'842	+7.4 %

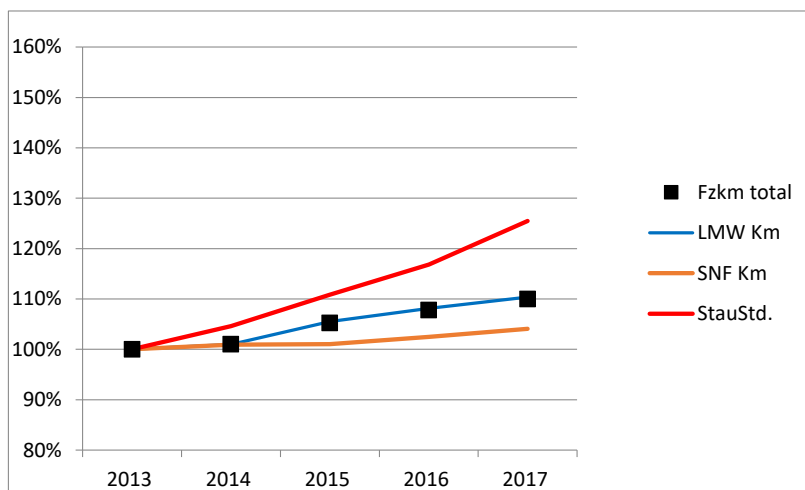
Quellen: ASTRA Jahresberichte «Verkehrsentwicklung und Verfügbarkeit der Nationalstrassen».

*) Die Angaben zu den Fahrleistungen bis 2012 basieren auf einer alten Methodik; ab 2013 wurde eine neue Methodik verwendet. Erläuterungen dazu finden sich z. B. im ASTRA-Jahresbericht 2016, Kap. 6.

Abkürzungen: AB: Autobahnen, Fzkm: Fahrzeugkilometer, /a: pro Jahr.

Demnach nimmt die Staudauer erwartungsgemäss überproportional zur Fahrleistung zu. Die Zahlen zur Fahrleistung bis 2012 basieren allerdings auf einer alten Methodik, so dass die Reduktion 2012/13 methodisch bedingt ist und die Fzkm-Zahlen erst ab 2013 vergleichbar sind. Ähnliches gilt für die Staudauer. Deren Entwicklung weist in den letzten Jahren durchaus eine gewisse Plausibilität auf, während die Daten bis 2011 gewisse Fragezeichen offenlassen, weil die Stauerfassung bis ca. 2011/2012 laufend und markant verbessert wurde. Betrachtet man die Entwicklung ab 2013, scheint jedenfalls eine direkte Verwendung der Staudauer als 'Proxy' für die Relativ-Entwicklung der Fahrzeug-Staustunden nicht abwegig.

Abbildung 1: Relative Entwicklung von Fahrleistung und Staudauer auf Autobahnen ab 2013



Abkürzungen: Fzkm: Fahrzeugkilometer, LMW: leichte Motorwagen (Personenwagen und leichte Nutzfahrzeuge), SNF: schwere Nutzfahrzeuge.

Unter der Annahme, dass sich die Fahrzeug-Staustunden proportional zur Staudauer entwickeln, ergeben sich die Ergebnisse gemäss Tabelle 2. Die Aufteilung des Wachstums der Fahrzeug-Staustunden auf die beiden Fahrzeugkategorien LWM (leichte Motorwagen) bzw. SMW (schwere Motorwagen) erfolgt proportional zur Entwicklung der Fahrleistung⁶, wobei diese in Personenwagen- (PW)-Einheiten ausgedrückt werden (Annahme: 1 LMW = 1.0 PWE, 1 SMW = 2.0 PWE)⁷.

Tabelle 2: Abschätzung der Fahrzeug-Staustunden 2014/2015/2016/2017

	Staustunden		FzStaustd.		FzStaustd.		FzStaustd.	
	(ASTRA)	ggü. Vorjahr	Total (Mio.)	ggü. Vorjahr	LMW (Mio.)	ggü. Vorjahr	SMW (Mio.)	ggü. Vorjahr
2014	21'541		17.491		16.620		0.871	
2015	22'828	106.0%	18.536	106.0%	17.662	106.3%	0.875	100.4%
2016	24'066	105.4%	19.542	105.4%	18.601	105.3%	0.941	107.6%
2017	25'842	107.4%	20.984	107.4%	19.922	107.1%	1.062	112.8%

⁶ Vereinfachend wird hier die Entwicklung der Fahrleistung der schweren Nutzfahrzeuge (SNF) stellvertretend für jene der schweren Motorwagen (SMW = SNF + Busse) verwendet.

⁷ Entwicklung der Fzkm auf Autobahnen (Quelle: ASTRA)

	Fzkm total	LMWKm	SMWKm	PWE-km total	Anteil am Wachstum		LMW % ggü 2014	SMW % ggü 2014
					LMW	SMW		
2014	25'416	23'873	1'543	26'959				
2015	26'484	24'939	1'545	28'029	99.6%	0.4%	104.5%	100.1%
2016	27'131	25'564	1'567	28'698	93.4%	6.6%	107.1%	101.6%
2017	27'680	26'089	1'591	29'271	91.6%	8.4%	109.3%	103.1%

Ergänzender Kommentar

In der Staukosten-Studie ARE 2016 wurde für die Herleitung der Entwicklung der Stauzeitkosten 2010-2014 ein etwas differenzierterer Ansatz anhand der Online-Daten verwendet (vgl. 2.1.1) und dann in Relation zu den Ergebnissen des Jahres 2013 gesetzt. Für die Entwicklung 2013/2014 lieferte dieser Ansatz für 2014 relativ zu 2013:

- für die Staudauer: +5.3 %⁸ [Zum Vergleich: Zunahme gemäss Staustatistik +4.5 %]
- für die Fahrzeug-Staustunden: +6.1 %⁹.

Das bedeutet, dass die Zunahme der Fahrzeug-Staustunden leicht grösser war als die Zunahme der Staudauer, oder anders ausgedrückt: die Stauintensität hat tendenziell zugenommen. Der hier verwendete vereinfachte Ansatz unterstellt eine gleichbleibende «spezifische Stauintensität» pro Stunde und unterschätzt damit tendenziell die Entwicklung der Fahrzeug-sStaustunden. Jedenfalls stimmt das mit dem «at least»-Prinzip überein, wonach bei Unsicherheiten vorsichtige Annahmen getroffen werden sollen, die eher zu einer Unter- als einer Überschätzung der tatsächlichen Kosten führen.

2.1.3. Aktualisiertes Mengengerüst – übriges Strassennetz

In der Studie 2016 wurden Staukosten auf dem Nicht-Autobahn-Netz ebenfalls aus Echtzeitdaten von INRIX für das Jahr 2013 ermittelt. Für eine Zeitreihe lagen aber keine belastbaren Daten vor, weshalb die Werte 2013 auch für die übrigen Jahre (2010-2014) unverändert übernommen wurden.

Heute ist festzustellen, dass für Nicht-Autobahnen nach wie vor kaum systematisch Daten zum (für Stau wichtigen) Parameter Verkehrsfluss vorliegen, die eine einfache Herleitung von Stauzeiten bzw. Fahrzeug-Staustunden erlauben würden. Wohl wurden inzwischen Fortschritte gemacht, indem die Zahl der Messstellen durch die Kantone markant erhöht wurde. So verfügt z. B. das Amt für Verkehr des Kantons Zürich inzwischen über rund 300 Zählstellen. Die Daten zu Nachfrage und Querschnittsgeschwindigkeit werden zwar sehr differenziert erfasst, aus Speicherkapazitätsgründen der Zählstellengeräte – und da die Daten nicht online übermittelt werden – aber derzeit «nur» als Durchschnitts- bzw. Summenwerte je Stunde abgespeichert. Aus der Studie 2016 ist aber bekannt, dass ein stündlicher Mittelwert zum Verkehrsfluss (Querschnittsgeschwindigkeit) kein tauglicher Wert ist, um Staus zu erkennen bzw. Verlustzeiten zu ermitteln.

Andere Ansätze fokussieren direkt auf die Reisezeiten. So hat das Amt für Verkehr des Kantons Zürich ab 2014/15 ein Reisezeitenmonitoring für den motorisierten Individualverkehr (MIV) aufgebaut. Für rund 50 Routen werden die Reisezeiten jährlich für die Morgenspitzenstunde (MSP), die Abendspitzenstunde (ASP), für Nebenverkehrszeiten (NVZ) und für den Tagesverkehr erhoben. Die Routen führen allerdings auch über Autobahn-Abschnitte. Die Erhebung erfolgt jeweils im September. Die Messresultate dienen der Beurteilung der Reisezeiten im Strassenverkehr und werden als

⁸ Gemäss Online-Daten-Auswertung.

⁹ LMW: +6.1 %, SMW: +6.4 %.

Indikator für die Bestimmung der Verkehrsqualität verwendet, unter anderem auch für die Kalibrierung des Gesamtverkehrsmodells des Kantons Zürich. Systematische Stauberechnungen werden damit allerdings nicht gemacht. Daten existieren inzwischen für die drei Jahre 2014/2015/2016; die Daten 2017 sind zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichts noch nicht verfügbar. Eine Zeitreihenanalyse der Daten 2016 (AfV-ZH, 2016) zeigt, dass die Reisezeiten auf den meisten Routen eine stabile Entwicklung aufweisen. Markante Differenzen sind auf spezifische Sondersituationen zurückzuführen (Baustellen, Streckensperrungen, neue Verkehrsführungen etc.). Das Fazit deckt sich mit der bereits in der Studie 2016 getroffenen Annahme unveränderter Verhältnisse. Diese Annahme wird deshalb auch für das Mengengerüst der Jahre 2014 bis 2017 übernommen. Das bedeutet konkret:

- 11.22 Mio. Fahrzeug-Staustunden für die leichten Motorwagen,
- 0.22 Mio. Fahrzeug-Staustunden für den Schwerverkehr.

2.1.4. Aktualisierte Kostensätze

Die Kostensätze wurden in der Studie 2016 neu auf die einschlägigen VSS-Normen abgestützt. Die Details der Herleitung sind dort beschrieben (vgl. ARE, 2016, Annex A5 Kenngrössen zur Herleitung der Kostensätze). Die nachstehende Tabelle zeigt die Ergebnisse für die Jahre bis 2017; die Details der Herleitung finden sich in Annex A.

Tabelle 3: Aktualisierte Kostensätze (in CHF pro Fahrzeugstunde): Werte bis 2014 gemäss Studie 2016; ergänzte Werte 2015 bis 2017

	LMW	SMW
2010	40.1	78.1
2011	40.5	78.9
2012	40.9	79.6
2013	41.2	80.0
2014	41.6	80.8
2015	41.7	81.1
2016	42.0	81.7
2017	42.2	82.5

Die Details der Herleitung finden sich in Annex A.

Abkürzungen: LMW: Leichte Motorwagen (Personenwagen und leichte Nutzfahrzeuge), SMW: Schwere Motorwagen (Lastwagen und Busse).

2.1.5. Ergebnisse: Aktualisierte Stauzeitkosten 2015 – 2017

Aus der multiplikativen Verknüpfung von Mengengerüsten (Fahrzeug-Staustunden) und Kostensätzen ergeben sich die aktualisierten Gesamt-Stauzeitkosten für die Jahre 2015 bis 2017. Die nachstehenden Tabellen zeigen die aktualisierten Mengengerüste (Fahrzeug-Staustunden) und die Stauzeitkosten für die Jahre 2010 bis 2017. Die Werte 2010 bis 2014 sind unverändert aus der Studie 2016 übernommen, die Werte 2015 bis 2017 basieren auf den oben erläuterten Annahmen.

Tabelle 4: Fahrzeug-Staustunden in Mio. pro Jahr für 2010-2014 gemäss Studie 2016, ergänzte Werte 2015 bis 2017

	AB	AB	NichtAB	NichtAB	total	total	total
	LMW	SMW	LMW	SMW	LMW	SMW	alle
2010	15.19	0.79	11.23	0.22	26.42	1.00	27.42
2011	15.68	0.81	11.23	0.22	26.90	1.03	27.93
2012	16.45	0.85	11.23	0.22	27.68	1.07	28.75
2013	15.67	0.82	11.23	0.22	26.90	1.04	27.93
2014	16.62	0.87	11.23	0.22	27.85	1.09	28.94
2015	17.66	0.87	11.23	0.22	28.89	1.09	29.98
2016	18.60	0.94	11.23	0.22	29.83	1.16	30.99
2017	19.92	1.06	11.23	0.22	31.15	1.28	32.43

Abkürzungen: LMW: leichte Motorwagen (Personenwagen und Leichte Nutzfahrzeuge), SMW: schwere Motorwagen (Lastwagen und Busse); AB: Autobahnen.

Tabelle 5: Fahrzeug-Stauzeitkosten in Mio. CHF pro Jahr für 2010-2014 gemäss Studie 2016, ergänzte Werte 2015 bis 2017

	AB	AB	NichtAB	NichtAB	total	total	total	% ggü.
	LMW	SMW	LMW	SMW	LMW	SMW	alle	Vorjahr
2010	608.7	61.4	449.9	17.0	1'058.6	78.4	1'137.0	
2011	634.3	63.8	454.4	17.2	1'088.7	80.9	1'169.7	+2.9 %
2012	672.2	67.8	458.8	17.3	1'131.0	85.1	1'216.0	+4.0 %
2013	645.7	65.5	462.7	17.4	1'108.4	83.0	1'191.3	-2.0 %
2014	690.6	70.4	466.6	17.6	1'157.1	87.9	1'245.1	+4.5 %
2015	736.6	71.0	468.3	17.7	1'204.9	88.6	1'293.5	+3.9 %
2016	780.9	76.9	471.4	17.8	1'252.3	94.7	1'347.0	+4.1 %
2017	840.6	87.6	473.8	17.9	1'314.4	105.5	1'419.9	+5.4 %

Abkürzungen: LMW: leichte Motorwagen (Personenwagen und Leichte Nutzfahrzeuge), SMW: schwere Motorwagen (Lastwagen und Busse); AB: Autobahnen.

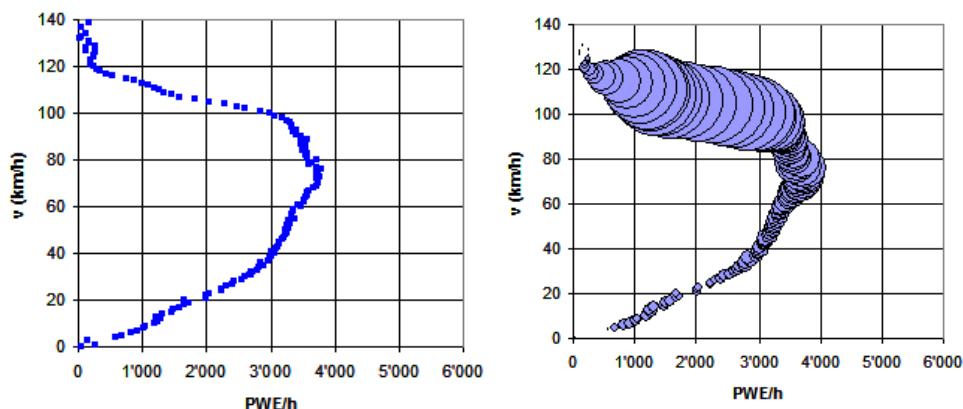
2.2. Aktualisierung der vom Schwerverkehr verursachten Stauzeitkosten

2.2.1. Methodik zur Ermittlung der vom Schwerverkehr verursachten Stauzeitkosten

Wie die vom Schwerverkehr verursachten Stauzeitkosten zu ermitteln sind, hat das Bundesgericht im Grundsatz vorgegeben, nämlich aus einem Vergleich der effektiven Verkehrsfluss-Situation (MIT Schwerverkehr) mit einer fiktiven Verkehrsfluss-Situation OHNE Schwerverkehr. Das erfordert zwangsläufig eine Modellierung, da es für die fiktive Verkehrsfluss-Situation OHNE Schwerverkehr keine empirischen Grundlagen gibt. In der Studie 2016 wurde dazu eine methodische Erweiterung

entwickelt (vgl. ARE, 2016, Kap. 2.6.1 und 2.6.2). Kurz zusammengefasst lautet diese wie folgt: Anhand der ASTRA-Online-Daten wurden für die einzelnen Zählstellen Fundamentaldiagramme erstellt (vgl. Abbildung 2).

Abbildung 2: Illustration von Fundamentaldiagrammen: q-v-Diagramme des Werktagsverkehrs: Zählstelle 20 A1 Zürich Nordumfahrung, Richtung Bern, Jahr 2013



Die Darstellung zeigt links vereinfachend jeweils einen Volumen-Wert pro v-Stufe; rechts ist zusätzlich eingetragen, wie häufig die betreffenden Punkte vorkommen.

Abkürzungen: v (Geschwindigkeit, in km/h), PWE/h: Verkehrsvolumen in Personenwageneinheiten (PWE) pro Stunde.

Diese Fundamentaldiagramme wurden anhand von zählstellenspezifischen Grenzgeschwindigkeiten in zwei Bereiche eingeteilt, $v > v_{\text{Grenz}}$ bzw. $v \leq v_{\text{Grenz}}$. Die Zuweisung einer bestimmten Situation erfolgt über die sog. v-Einbruchswahrscheinlichkeit (pE-Funktion), welche empirisch aus den Zählstellendaten 2013 hergeleitet wurde¹⁰. Im oberen v-Bereich ($v > v_{\text{Grenz}}$) kam die CR-Funktion zum Zug¹¹, im unteren v-Bereich ($v \leq v_{\text{Grenz}}$), d.h. auf dem rückläufigen Ast der q-v-Funktion, eine „vStau-Funktion“¹², welche die Geschwindigkeit zwischen dem Nullpunkt und der Grenzgeschwindigkeit in Abhängigkeit des Auslastungsgrads festlegt. Auch diese Funktionen wurden mit Hilfe des Datenmaterials 2013 hergeleitet.

So konnten einerseits die Fahrzeugstaukosten für den Fall MIT Schwerverkehr modelliert werden, welcher in der Summe über alle Zählstellen als 100 %-Referenzwert betrachtet wurde und dem empirisch (anhand der INRIX-Daten) ermittelten Eckwert der Fahrzeugstaukosten entspricht. Andererseits konnte auch der Fall OHNE Schwerverkehr modelliert werden. Aus dem Vergleich des Falls

¹⁰ $pE(v\text{-Einbruch}) = \alpha \cdot \text{Auslastungsgrad}^\beta$, mit den Parameterwerten $\alpha = 0.9$ und $\beta = 9$.

¹¹ CR-Funktion: $t(\text{Auslastung}) = t_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \text{Auslastungsgrad}^\beta)$ wobei $\alpha = 0.4$ und $\beta = 6.0$. Es ist zu beachten, dass die CR-Funktion sich auf die Zeit (und nicht auf die Geschwindigkeit) bezieht, d.h. mit zunehmender Auslastung nimmt der Wert also zu (und nicht ab, wie es das Fundamentaldiagramm in q-v-Form in Abbildung 2 zeigt).

¹² $v_{\text{Stau}}/v_{\text{Grenz}}(\text{Auslastung}) = \alpha \cdot \text{Exp}(\beta \cdot \text{Auslastungsgrad})$ wobei $\alpha = 0.045$ und $\beta = 2.97$.

OHNE Schwerverkehr zu MIT Schwerverkehr konnte so ein prozentualer Rückgang der Gesamtstaukosten abgeschätzt werden, was dem gesuchten Ergebnis entsprach, nämlich den vom Schwerverkehr verursachten Stauzeitkosten.

Diese Modellierung erfolgte in der Studie 2016 für das Referenzjahr 2013, und zwar zwangsläufig lediglich für die Autobahnen, weil Online-Daten fast ausschliesslich nur für Autobahnabschnitte verfügbar waren. Das Ergebnis lautete, dass die werktäglichen Fahrzeugstauzeiten ohne Schwerverkehr um 62 % reduziert würden. Für Nicht-Autobahnen wurde dieser Faktor reduziert, und zwar entsprechend dem deutlich tieferen Anteil des Schwerverkehrs an der Gesamtfahrleistung von 2.1 % ggü. 6.1 % auf Autobahnen, was dort zu einem Reduktionsfaktor von 21 % führt.

Die Ermittlung einer Zeitreihe mit Jahreswerten wäre im Prinzip möglich, indem man die Modellierung anhand der Online-Daten für jedes Jahr durchführt. Angesichts der Unsicherheiten in der Modellierung wurde in der Studie 2016 aber auf eine jahresweise Eruiierung des Anteils der vom Schwerverkehr verursachten Stauzeitkosten verzichtet, u. a., weil temporäre Ereignisse wie Baustellen etc., aber auch variierende Datenlücken diesen Wert beeinflussen. Vielmehr wurden die aus den Daten 2013 abgeleiteten relativen Anteile für alle Jahre (2010-2014) konstant gehalten (62 %) und auf die Staukosten der verschiedenen Jahre appliziert. Analoges galt für den Wert auf Nicht-Autobahnen (21 %).

2.2.2. Ergebnisse: Vom Schwerverkehr verursachte Stauzeitkosten 2015 – 2017

Grundsätzlich wäre es möglich, die gleiche Methodik, wie sie in der Studie 2016 für das Jahr 2013 entwickelt wurde, erneut für die Jahre 2015 bis 2017 anzuwenden. Das hiesse allerdings eine Neuberechnung des Falls MIT wie auch des Falls OHNE Schwerverkehr für alle Zählstellen, und strenggenommen müsste dies auch eine Überprüfung der zählstellenspezifischen Fundamentaldiagramme für die verschiedenen Jahre miteinschliessen. Bereits in der Studie 2013 wurde aber angesichts der Unsicherheiten in der Modellierung auf eine jahresweise Eruiierung des Anteils der vom Schwerverkehr verursachten Stauzeitkosten verzichtet und der relative Anteil für alle Jahre konstant belassen. Aufgrund einer Nutzen/Aufwand-Abwägung wurde für die vorliegende Aktualisierung beschlossen, den gleichen vereinfachten Ansatz auch für die Jahre 2015 bis 2017 anzuwenden. Konkret bedeutet dies die Übernahme folgender Anteilswerte (vgl. ARE, 2016, Kap. 2.6.3, S. 104):

- Anteil Werktagsverkehr: Weil der Schwerverkehr praktisch ausschliesslich am Werktag Mitverursacher von Staus ist, wird lediglich dieser Anteil in Rechnung gestellt, d.h. in der Berechnung werden lediglich 79.3 % der LMW-Staukosten auf Autobahnen berücksichtigt, auf Nicht-Autobahnen 84.6 %.
- Anteil der vom Schwerverkehr verursachten Stauzeitkosten: Gemäss der Modellierung in der Studie 2016 würden die Fahrzeugstauzeiten der LMW an Werktagen um 61.6 % zurückgehen, falls kein Schwerverkehr auf den Strassen zirkulieren würde; auf Nicht-Autobahnen ist der Schwerverkehrsanteil deutlich geringer, entsprechend ist auch dessen Anteil an der Stausituation kleiner (21.1 %).

Setzt man diese Werte auf die gesamten Stauzeitkosten an, so resultieren daraus die Werte gemäss Tabelle 6:

Tabelle 6: Fahrzeug-Stauzeitkosten und vom Schwerverkehr verursachte Stauzeitkosten in Mio. CHF pro Jahr für 2010-2014 gemäss Studie 2016, ergänzte Werte für die Jahre 2015 bis 2017

	Fahrzeugstauzeitkosten total (Mio. CHF/a)			Stauzeitkosten an Werktagen (Mio. CHF/a)			Vom Schwerverkehr verursachte Stauzeitkosten (Mio. CHF/a)		
	AB	NichtAB	Total	AB	NichtAB	Total	AB	NichtAB	Total
	LMW	LMW	LMW	LMW	LMW	LMW	LMW	LMW	LMW
2010	608.7	449.9	1'058.6	483	381	863	297	80	378
2011	634.3	454.4	1'088.7	503	384	887	310	81	391
2012	672.2	458.8	1'131.0	533	388	921	328	82	411
2013	645.7	462.7	1'108.4	512	391	903	316	83	398
2014	690.6	466.6	1'157.1	547	395	942	337	83	421
2015	736.6	468.3	1'204.9	584	396	980	360	84	444
2016	780.9	471.4	1'252.3	619	399	1'018	382	84	466
2017	840.6	473.8	1'314.4	666	401	1'067	411	85	496

Annahmen gemäss ARE (2016, Kap. 2.6.3, S. 104):

- Anteil Werktägliche Stauzeitkosten: AB 79.3 %, Nicht-AB 84.6 %.
- Anteil vom Schwerverkehr verursacht: 61.6 %, Nicht-AB 21.2 %.

Abkürzungen: LMW: leichte Motorwagen (Personenwagen und Leichte Nutzfahrzeuge), SMW: schwere Motorwagen (Lastwagen und Busse); AB: Autobahnen. /a: pro Jahr.

Sensitivitätsbetrachtung

Die vom Bundesgericht vorgegebene Grundsatz-Methodik kann im Kontext von Wachstum von Verkehr und Staukosten aufgrund von nicht-linearen Beziehungen zu kontraintuitiven Effekten führen. Würde beispielsweise der Schwerverkehr stagnieren, PW und LNF aber deutlich zunehmen, so könnte man erwarten, dass die vom Schwerverkehr verursachten Staukosten konstant bleiben müssten. Die vorgegebene Methodik führt aber zum Ergebnis, dass die vom Schwerverkehr verursachten Staukosten trotz Nullwachstum zunehmen; wohl aber würde deren prozentualer Anteil abnehmen. In Annex B ist dieser Sachverhalt näher erläutert.

Nun hat der Schwerverkehr gemäss den statistischen Angaben des ASTRA auf den Autobahnen weniger stark zugenommen als der Verkehr der leichten Motorwagen (vgl. Tabelle 1: Zunahme 2017 gegenüber 2014 des LMW: +9.3 %, des SMW +3.1 %). Aus den in Annex B gemachten Sensitivitätsbetrachtungen ist grob abschätzbar, dass dadurch der Anteil der vom Schwerverkehr verursachten Stauzeitkosten leicht abgenommen hat: statt 61.6 % auf Autobahnen liegt der Anteil noch bei 60.2 % auf Autobahnen, und überträgt man dieses Verhältnis auch auf Nicht-Autobahnstrecken, so ergibt sich dort ein Anteil von 20.7 % statt 21.1 %. In absoluten Zahlen ergäbe sich so für das Jahr 2017 ein leicht geringerer Betrag von 484 statt 496 Mio. CHF (AB: 401 statt 411 Mio. CHF, Nicht-AB-Strecken: 83 statt 85 Mio. CHF).

3. Aktualisierung der staubedingten Umwelt-, Klima-, Energie- und Unfallkosten 2015

Im Unterschied zu den Stauzeitkosten geht es hier darum, die staubedingten Anteile der Umwelt-, Klima-, Energie- und Unfallkosten zu ermitteln, jeweils ausgehend von deren Gesamtkosten, die in der Studie Infrac/Ecoplan (2019) ermittelt wurden.

3.1. Staubedingte Umwelt-, Klima- und Energiekosten 2015

3.1.1. Zur Methodik

Bei der Abschätzung dieser Kostenkomponenten sind verschiedene Aspekte zu beachten:

- Grundsätzlich orientiert sich die Aktualisierung der Berechnung der staubedingten Umwelt-, Klima- und Energiekosten an der Methodik, wie sie in der Studie 2016 (ARE, 2016, Kap. 3) dargestellt ist.
- Hier geht es um die Umwelt- und Klimakosten aus Verkehrsträgersicht. Diese Kosten werden nicht von den Verkehrsteilnehmern selbst getragen, sondern von der Allgemeinheit, deshalb sind es externe Kosten. Ein Sonderfall sind die Energiekosten, die aufgrund der ineffizienteren Fahrweise (höherer Treibstoffverbrauch) in Stausituationen entstehen. Im Gegensatz zu den Umwelt- und Klimakosten werden diese von den Verkehrsteilnehmern selbst getragen und sind daher aus Verkehrsträgersicht interne Kosten. Trotzdem werden diese hier – wie bereits in der Studie 2016 – ergänzend ausgewiesen.
- Zu den Umweltkosten werden im vorliegenden Kontext wie bisher die Kostenbereiche luftverschmutzungsbedingte Gesundheitsschäden, Gebäudeschäden, Ernteauffälle, Waldschäden und Biodiversitätsverluste gezählt.
- Ausgangslage für die Ermittlung der staubedingten Anteile der Umwelt- und Klimakosten des Verkehrs für das Jahr 2015 sind die Berechnungen in Infrac/Ecoplan (2019). Dabei wurden methodische Anpassungen – mit nennenswerten Veränderungen – vorgenommen, weshalb die Zahlen rückwirkend auch für das Jahr 2010 neu ausgewiesen werden.
- Eine der für die Umweltkosten wichtigsten Anpassung in der Studie Infrac/Ecoplan (2019) ist die Übernahme eines höheren VOSL (Value of Statistical Life) bzw. VLYL (Value of Life Year Lost). Dadurch nehmen die Umweltkosten um rund 55 % bis 60 % zu.
- Die staubedingten Anteile an den Umwelt-, Klima- und Energiekosten sind vergleichsweise marginal: gemäss Studie 2016 betragen diese im Jahr 2010 0.8 % (Umwelt) bzw. 1.1 % (CO₂, Energie). Diese staubedingten Anteile mögen sich leicht verändert (zugenommen) haben, bleiben aber im sehr tiefen Prozent-Bereich. Angesichts der erwähnten übrigen methodischen Anpassungen wurde beschlossen, auf eine umfangreiche und aufwändige neue Modellierung zur Ermittlung der staubedingten Anteile im Jahr 2015 zu verzichten, zumal die Emissionen (trotz Verkehrswachstum) gegenüber 2010 tendenziell abgenommen haben.

3.1.2. Aktualisierung der staubedingten Umweltkosten

Die nachstehende Tabelle 7 zeigt die aktualisierten Umweltkosten, differenziert einerseits nach Personen- und Güterverkehr und andererseits nach Kostenbereichen, für das Jahr 2015 gemäss neuer Methodik. Gleichzeitig werden auch die staubedingten Anteile ausgewiesen. Zudem enthält die Tabelle auch die entsprechenden Angaben für 2010 (Kostenbereiche aggregiert). Demnach bewegen sich die verkehrsbedingten gesamten wie auch staubedingten Umweltkosten 2015 in ähnlicher Gröszenordnung wie jene des Jahres 2010.

Tabelle 7: Umweltkosten 2015 bzw. 2010 nach neuer Methodik (total und staubedingter Anteil) in Mio. CHF pro Jahr

	PV	GV	Total
Gesundheit Luft	2'143	723	2'866
Gebäude Luft	161	54	216
Ernteausfälle Luft	39	19	59
Waldschäden Luft	37	17	54
Biodiversitätsverluste Luft	87	31	118
Total Umweltkosten 2015 (neue Methodik)	2'468	844	3'312
<i>davon staubedingt</i>	<i>15.8</i>	<i>10.4</i>	<i>26.5</i>
Total Umweltkosten 2010 (neue Methodik)	2'301	916	3'217
<i>davon staubedingt</i>	<i>14.7</i>	<i>11.3</i>	<i>25.8</i>

Quelle: Umweltkosten total und nach Bereichen gemäss Infrac/Ecoplan (2019); staubedingte Anteile in Anlehnung an ARE (2016).
Abkürzungen: PV: Personenverkehr, GV: Güterverkehr.

Tabelle 8 zeigt ergänzend dazu die entsprechenden Werte gemäss bisheriger Methodik. Demnach sind die aktualisierten Werte rund 55 % bis 60 % höher als die bisherigen Angaben. Der staubedingte Anteil beträgt neu für 2010 und 2015 Jahre jeweils rund 26 Mio. CHF, während der bisherige Wert auf rund 17 Mio. CHF veranschlagt wurde.

Tabelle 8: Umweltkosten 2015 bzw. 2010 nach bisheriger Methodik (total und staubedingter Anteil) in Mio. CHF

	PV	GV	Total
Total Umweltkosten 2015 (bisherige Methodik)	1'587	512	2'099
<i>davon staubedingt</i>	<i>10.1</i>	<i>6.3</i>	<i>16.8</i>
Total Umweltkosten 2010 (bisherige Methodik)	1'498	560	2'058
<i>davon staubedingt</i>	<i>9.6</i>	<i>6.9</i>	<i>16.5</i>

Quelle: Umweltkosten total gemäss Infrac/Ecoplan (2019); staubedingte Anteile in Anlehnung an ARE (2016).
Abkürzungen: PV: Personenverkehr, GV: Güterverkehr.

3.1.3. Aktualisierung der staubedingten Klimakosten

Analog zu den Umweltkosten zeigen die beiden folgenden Tabellen die verkehrsbedingten Klimakosten, ebenfalls nach neuer bzw. bisheriger Methodik. Im Unterschied zu den Umweltkosten schlagen die Anpassungen durch Datengrundlagen und Methodik wesentlich weniger stark zu Buche (+7 %).

Im Vergleich 2015 zu 2010 nehmen die gesamten Klimakosten wie auch der staubedingte Anteil um rund 10 % zu.

Tabelle 9: Klimakosten 2015 bzw. 2010 nach neuer Methodik (total und staubedingter Anteil) in Mio. CHF

	PV	GV	Total
Klimakosten 2015 (neue Methodik)	1'217	292	1'509
<i>davon staubedingt</i>	<i>13.4</i>	<i>3.6</i>	<i>17.0</i>
Klimakosten 2010 (neue Methodik)	1'107	246	1'353
<i>davon staubedingt</i>	<i>12.2</i>	<i>3.0</i>	<i>15.3</i>

Quelle: Klimakosten total gemäss Infrac/Ecoplan (2019); staubedingte Anteile in Anlehnung an ARE (2016).
Abkürzungen: PV: Personenverkehr, GV: Güterverkehr.

Tabelle 10: Klimakosten 2015 bzw. 2010 nach bisheriger Methodik (total und staubedingter Anteil) in Mio. CHF

	PV	GV	Total
Klimakosten 2015 (bisherige Methodik)	1'111	293	1'405
<i>davon staubedingt</i>	<i>12.3</i>	<i>3.6</i>	<i>15.9</i>
Klimakosten 2010 (bisherige Methodik)	1'011	250	1'261
<i>davon staubedingt</i>	<i>11.2</i>	<i>3.1</i>	<i>14.2</i>

Quelle: Klimakosten total gemäss Infrac/Ecoplan (2019); staubedingte Anteile in Anlehnung an ARE (2016).
Abkürzungen: PV: Personenverkehr, GV: Güterverkehr.

3.1.4. Aktualisierung der staubedingten Energiekosten

Im Gegensatz zu den externen Umwelt- und Klimakosten werden die staubedingten Energiekosten durch die Verkehrsteilnehmer selbst getragen und sind deshalb aus Verkehrsträgersicht keine externen Kosten. Gleichwohl werden sie hier ausgewiesen. Als Basis für die aktualisierte Berechnung wird auf den Bericht „Expost-Analyse“ 2016 (BFE, 2016) abgestützt, in welchem der Energieverbrauch des Verkehrs nach Verwendungszwecken alljährlich über ein Bottom-up-Modell nachgezeichnet wird. Demnach betragen die zusätzlichen Kosten für den staubedingten Treibstoffmehrverbrauch im Jahr 2015 100.9 Mio. CHF; der entsprechende Wert für das Jahr 2010 beträgt 109.4 Mio. CHF¹³, was für den Zeitraum 2010 bis 2015 eine Reduktion um knapp 8 % bedeutet. Der Treibstoffkonsum nahm in dieser Zeit zwar um 1.5 % zu, hingegen nahmen die Treibstoffpreise um rund 10 % ab (Benzin von 1.64 CHF/Liter auf 1.49 CHF/Liter, Diesel von 1.72 CHF/Liter auf 1.55 CHF/Liter Treibstoff).

3.2. Staubedingte Unfallkosten 2015

¹³ In der Studie ARE 2016 wird der entsprechende Wert mit 105 Mio. CHF angegeben.

3.2.1. Zur Methodik

Die staubedingten Unfallkosten wurden in einem separaten Kurzauftrag durch Ecoplan berechnet (Ecoplan, 2019). Dabei konnten – wie bereits im Rahmen der Staustudie 2016 – neue Datengrundlagen herangezogen werden (Unfalldatenbank, neue Definitionen ab 2011), welche durch das ASTRA ausgewertet wurden. In diesen Daten werden ab 2011 auch die Verkehrsbedingungen erfasst, was für die Definition von «staubedingten» Unfällen herangezogen wird. Zudem wird differenziert nach 11 Unfalltypen, wobei primär die Auffahrunfälle im Vordergrund stehen. Konkret werden folgende Situationen zu den staubedingten Unfällen gerechnet (analog zur Staustudie 2016):

- Unfälle bei stehender und stockender Kolonne,
- Da Stau bereits auftritt, bevor der Verkehrszustand „Stop-and-go“ erreicht wird, wird ein Teil der Unfälle bei starkem Verkehr ebenfalls als staubedingt betrachtet; konkret:
 - Auf Autobahnen werden 50 % der Unfälle bei starkem Verkehr dazu gezählt,
 - Auf den übrigen Strassen wird nach Unfalltyp differenziert: von den Unfällen bei stockender und stehender Kolonne werden 50 % aller Unfalltypen als staubedingt betrachtet; von den Unfällen bei starkem Verkehr werden lediglich 50 % der Auffahrunfälle dazu gezählt.

Die Kostensätze wurden aus der Studie Infrac/Ecoplan (2019) übernommen. Diese wurden allerdings gegenüber der Staustudie 2016 methodisch angepasst und berücksichtigen namentlich höhere VOSL (Value of Statistical Life) und die Verwendung des Brutto- statt Nettoproduktionsausfalls. Für Details dazu sei auf Infrac/Ecoplan (2019, Kap. 2.1, 13.1) verwiesen.

3.2.2. Aktualisierung der staubedingten Unfallkosten

Tabelle 11 zeigt die Ergebnisse. Demnach betragen die staubedingten Unfallkosten im Jahr 2015 450 Mio. CHF pro Jahr. Für 2010 wurden die entsprechenden Kosten in der Staustudie 2016 auf 329 Mio. CHF veranschlagt. Das neue Resultat liegt damit um 37 % höher. Dies ist auf folgende Ursachen zurückzuführen:

- Die Kostensätze der Unfallopfer haben sich in etwa verdoppelt (Leichtverletzte +93 %, Schwerverletzte +119 % und Getötete +141 %). Dies ist vor allem auf den höheren VOSL und die Verwendung des Brutto- statt Nettoproduktionsausfalls zurückzuführen.
- Gleichzeitig hat die Zahl der Unfallopfer abgenommen (Leichtverletzte –0.3 %, Schwerverletzte –16%, Getötete –62 %).
- Die Zahl der polizeilich registrierten staubedingten Unfälle hat zwar um 4 % zugenommen, da aber der Kostensatz pro Unfall um 5 % abgenommen hat, blieben die Sachkosten fast unverändert (–1%).

Tabelle 11: Kosten der staubedingten Unfälle 2015 in Mio. CHF pro Jahr

	AB/AS	übrige Strassen	Total	%
Auffahrunfälle	195.2	131.9	327.1	73 %
übrige Unfallarten	59.7	63.2	122.9	27 %
Total	255.0	195.1	450.0	100 %
%	57 %	43 %	100 %	

Quelle: Ecoplan (2019).

Abkürzungen: AB: Autobahnen, AS: Autostrassen.

Würden die früher verwendeten Kostensätze (wie in der Staustudie 2016) angesetzt, resultierte für 2015 ein Wert von 308.4 Mio. CHF, d.h. eine Reduktion um 6.1 % in 2015 gegenüber 2010 (329 Mio. CHF) statt der oben erwähnten Zunahme um 37 %. Vereinfachend kann man daraus ableiten, dass der Wert für 2010 unter Verwendung der aktualisierten Kostensätze auf 479 Mio. CHF zu liegen kommt (statt der 329 Mio. CHF gemäss der Staukostenstudie 2016).

4. Zusammenfassende Übersicht

4.1. Aktualisierte Stauzeitkosten

Die beiden nachstehenden Tabellen zeigen die Ergebnisse für die gesamten Stauzeitkosten bzw. die vom Schwerverkehr verursachten Stauzeitkosten. Die Zahlen 2010-2014 sind aus der Staustudie (ARE, 2016) übernommen, die Werte 2015 bis 2017 aus Kapitel 2 dieser Studie.

Tabelle 12: Aktualisierte Fahrzeug-Stauzeitkosten in Mio. CHF pro Jahr 2010-2017

	LMW	SMW	Total	% ggü. Vorjahr
2010	1'059	78	1'137	
2011	1'089	81	1'170	+2.9 %
2012	1'131	85	1'216	+4.0 %
2013	1'108	83	1'191	-2.0 %
2014	1'157	88	1'245	+4.5 %
2015	1'205	89	1'293	+3.9%
2016	1'252	95	1'347	+4.1 %
2017	1'314	106	1'420	+5.4 %

Quellen: Werte 2010-2014 gemäss Staustudie (ARE, 2016), Werte 2015-2017 gemäss Kapitel 2.1 dieser Studie.

Abkürzungen: LMW: leichte Motorwagen (Personenwagen und Leichte Nutzfahrzeuge), SMW: schwere Motorwagen (Lastwagen und Busse).

Tabelle 13: Vom Schwerverkehr verursachte Stauzeitkosten in Mio. CHF pro Jahr 2010-2017

	AB	Nicht-AB	Total	% ggü. Vorjahr
2010	297	80	378	
2011	310	81	391	+3.5 %
2012	328	82	411	+4.9 %
2013	316	83	398	-3.0 %
2014	337	83	421	+5.7 %
2015	360	84	444	+5.4 %
2016	382	84	466	+5.0 %
2017	411	85	496	+6.4 %

Quellen: Werte 2010-2014 gemäss Staustudie (ARE, 2016), Werte 2015-2017 gemäss Kapitel 2.1.

Abkürzung: AB: Autobahnen.

Die Gesamtstauzeitkosten betragen 2017 1.42 Milliarden CHF. Gegenüber 2010 entspricht dies einer Zunahme um 25 %. Der Anteil, der vom Schwerverkehr verursacht wurde, stieg in diesem Zeitraum leicht an von 33 % auf 35 %. In den beiden Zeitreihen sind allerdings methodische Änderungen enthalten, so dass nur eine beschränkte Vergleichbarkeit mit den Angaben vor 2013 gegeben ist.

4.2. Aktualisierte staubedingte Umwelt-, Klima- und Energiekosten

Tabelle 14 und Tabelle 15 zeigen die aktualisierten Ergebnisse für die staubedingten Umwelt-, Klima- und Energiekosten für das Jahr 2015. Als Folge der methodischen Anpassungen im Bericht zu den externen Effekten des Verkehrs (Infras/Ecoplan, 2019) verändern sich auch die Werte für das Jahr 2010 gegenüber den früheren Angaben; die Tabellen enthalten deshalb auch die aktualisierten Werte für das Jahr 2010.

Tabelle 14: Umwelt- und Klimakosten total sowie staubedingter Anteil in Mio. CHF pro Jahr 2015 bzw. 2010 (aktualisiert)

	PV	GV	Total	2015/2010
Umweltkosten 2015 (neue Methodik)	2'468	844	3'312	+2.9 %
<i>davon staubedingt</i>	<i>15.8</i>	<i>10.4</i>	<i>26.5</i>	<i>+2.9 %</i>
Umweltkosten 2010 (neue Methodik)	2'301	916	3'217	
<i>davon staubedingt</i>	<i>14.7</i>	<i>11.3</i>	<i>25.8</i>	
Klimakosten 2015 (neue Methodik)	1'217	292	1'509	+11.6 %
<i>davon staubedingt</i>	<i>13.4</i>	<i>3.6</i>	<i>17.0</i>	<i>+11.7 %</i>
Klimakosten 2010 (neue Methodik)	1'107	246	1'353	
<i>davon staubedingt</i>	<i>12.2</i>	<i>3.0</i>	<i>15.3</i>	

Quellen: Umwelt- und Klimakosten gemäss Infras/Ecoplan (2019), staubedingte Anteile gemäss Staustudie (ARE, 2016)
Abkürzungen: PV: Personenverkehr, GV: Güterverkehr.

Tabelle 15: Energiekosten total sowie staubedingter Anteil in Mio. CHF pro Jahr 2015 bzw. 2010 (aktualisiert)

	Total	2015/2010
Energiekosten 2015 (aktualisiert)	9'114	-7.8 %
<i>davon staubedingt</i>	<i>101</i>	<i>-7.8 %</i>
Energiekosten 2010 (aktualisiert)	9'888	
<i>davon staubedingt</i>	<i>109</i>	

Quellen: aktualisierte Berechnung aufgrund Expost-Analyse (BFE, 2017), staubedingte Anteile gemäss Staustudie (ARE, 2016).

Umwelt- und Klimakosten betragen 2015 zusammen rund 4.8 Mrd. CHF, sind also rund 3.7-mal höher als die Stauzeitkosten von 1.3 Mrd. CHF. Allerdings ist deren staubedingter Anteil mit total rund 45 Mio. CHF vergleichsweise unbedeutend. Die staubedingten Energiekosten liegen mit rund 100 Mio. CHF gut doppelt so hoch wie die staubedingten Umwelt- und Klimakosten; die Energiekosten sind jedoch nicht externe, sondern interne Kosten, da sie von den Verkehrsteilnehmenden selbst getragen werden.

4.3. Aktualisierte staubedingte Unfallkosten

Die aktualisierten staubedingten Unfallkosten für das Jahr 2015 werden auf rund 450 Mio. CHF veranschlagt (vgl. Tabelle 16), was gut einem Drittel der Stauzeitkosten von 1.3 Mrd. CHF entspricht.

Ein methodisch vergleichbarer Wert für 2010 beträgt 479 Mio. CHF, d.h. die staubedingten Unfallkosten gingen im Zeitraum 2010 – 2015 um gut 6 % zurück.

Tabelle 16: Kosten der staubedingten Unfälle 2015 in Mio. CHF pro Jahr

	AB/AS	übrige Strassen	Total	%
Auffahrunfälle	195.2	131.9	327.1	73 %
übrige Unfallarten	59.7	63.2	122.9	27 %
Total	255.0	195.1	450.0	100 %
%	57 %	43 %	100 %	

Quelle: Ecoplan (2019).

Abkürzungen: AB: Autobahnen, AS: Autostrassen.

4.4. Aktualisierte Gesamtstaukosten

Schliesslich zeigt Tabelle 17 die gesamten staubedingten Kosten für 2015 sowie die entsprechenden Zahlen für 2010 (nach überarbeiteter Methodik bei den staubedingten Umwelt-, Klima- und Unfallkosten). Demnach nahmen die Gesamtstaukosten im Zeitraum 2010 bis 2015 um rund 7 % auf rund 1.9 Mrd. CHF zu. Davon fallen fast 70 % auf die Stauzeitkosten, welche ihrerseits gegenüber 2010 um rund 14 % zugenommen haben¹⁴. Einen weiteren wichtigen Anteil von rund 24 % (2015) machen die staubedingten Unfallkosten aus (450 Mio. CHF), die gegenüber 2010 jedoch leicht abgenommen haben (-6 %). Der Anteil staubedingter Umwelt- und Klimakosten ist in beiden Bezugsjahren demgegenüber vergleichsweise bescheiden (insgesamt <3 %), während die staubedingten Energiekosten gut 5 % ausmachen.

Tabelle 17: Gesamte Staukosten 2010 und 2015 in Mio. CHF pro Jahr

	2010 Mio. CHF	2015 Mio. CHF	% 2010	% 2015	Veränderung 2015 ggü. 2010
Stauzeitkosten	1'137	1'293	64.4 %	68.5 %	+13.8 %
Staubedingte Umweltkosten	26	27	1.5 %	1.4 %	+2.9 %
Staubedingte Klimakosten	15	17	0.9 %	0.9 %	+11.7 %
Staubedingte Energiekosten	109	101	6.2 %	5.3 %	-7.8 %
Staubedingte Unfallkosten	479	450	27.1 %	23.8 %	-6.1 %
Gesamte Staukosten	1'767	1'888	100.0 %	100.0 %	+6.9 %

¹⁴ Nach 2015 nahmen die Stauzeitkosten weiter markant zu. So beträgt der Wert für 2017 gut 1.42 Mrd. CHF, d.h. 10 % mehr als 2015.

Annex A: Herleitung der aktualisierten Kostensätze bis 2017

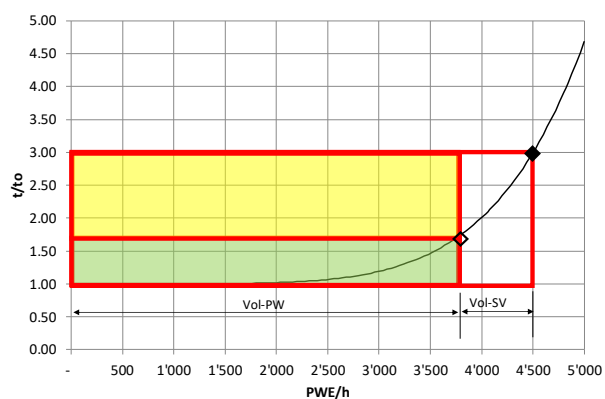
Kostensätze in CHF/Std.	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
PW	39.7	40.2	40.6	41.0	41.4	41.7	41.9	42.2	42.4
LI	37.4	37.8	38.1	38.4	38.7	39.0	39.1	39.3	39.5
LMW (Fzkm-gewichtet)	39.6	40.1	40.5	40.9	41.2	41.6	41.7	42.0	42.2
SNF	64.9	65.4	65.9	66.2	66.5	66.8	66.7	67.0	67.3
Car/Reisebus	313.5	316.0	318.8	321.3	323.4	325.5	326.5	328.5	330.1
SMW (Fzkm-gewichtet)	77.6	78.1	78.9	79.6	80.0	80.8	81.1	81.7	82.5
Verkehrsindikatoren	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
PWKm (Mio/a)	50'373	50'949	51'575	52'582	53'493	54'313	55'291	56'396	57'524
LIKm (Mio/a)	3'558	3'643	3'795	3'956	3'874	3'998	4'130	4'270	4'415
%PW	93.4%	93.3%	93.1%	93.0%	93.2%	93.1%	93.1%	93.0%	92.9%
%LI	6.6%	6.7%	6.9%	7.0%	6.8%	6.9%	6.9%	7.0%	7.1%
SNFKm (Mio/a)	2'164	2'226	2'258	2'229	2'243	2'236	2'236	2'236	2'236
Car/RbusKm (Mio/a)	116	118	122	124	125	128	131	134	137
%SNF	94.9%	95.0%	94.9%	94.7%	94.7%	94.6%	94.5%	94.3%	94.2%
%Car/Rbus	5.1%	5.0%	5.1%	5.3%	5.3%	5.4%	5.5%	5.7%	5.8%
Besetzungsgrad PW	1.64	1.64	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65
Besetzungsgrad Car/Rbus	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1
Weitere Indikatoren	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Teuerung/LIK (ggü. Vorjahr)	99.5%	100.7%	100.3%	99.3%	99.8%	99.9%	98.9%	100.3%	100.8%
Nominallohn (ggü. Vorjahr)	102.1%	100.8%	100.9%	100.9%	100.7%	100.8%	100.4%	100.7%	100.5%
Reallohn (ggü. Vorjahr)	102.8%	100.0%	101.0%	101.3%	101.0%	101.0%	101.3%	101.3%	100.5%

Annex B: Sensitivitätsbetrachtung zu den vom Schwerverkehr verursachten Stauzeitkosten

Die vom Bundesgericht vorgegebene Grundsatz-Methodik kann im Kontext von Wachstum von Verkehr und Staukosten zu kontraintuitiven Effekten führen. Würde beispielsweise der Schwerverkehr stagnieren, PW und LNF aber deutlich zunehmen, so könnte man erwarten, dass die vom Schwerverkehr verursachten Stauzeitkosten konstant bleiben sollten. Die gewählte Methodik führt aber nicht zu diesem Ergebnis. Wohl nimmt in einem solchen Fall der Anteil der vom Schwerverkehr verursachten Kosten prozentual ab, die gesamten Staukosten nehmen aber im Vergleich zum Verkehrswachstum überproportional zu, so dass die vom Schwerverkehr verursachten Stauzeitkosten (in absoluten Grössen) zunehmen – trotz Nullwachstum des Schwerverkehrs. Die nachstehenden Abbildungen illustrieren diesen Effekt anhand einer schematischen CR-Funktion (capacity restraint), welche zeigt, dass mit zunehmendem Verkehr die Verlustzeit überproportional anwächst. Die Grafiken visualisieren auch die daraus ableitbaren Stauzeitkosten (total bzw. vom Schwerverkehr verursacht) – und zwar bei unterschiedlicher Zusammensetzung des Wachstums.

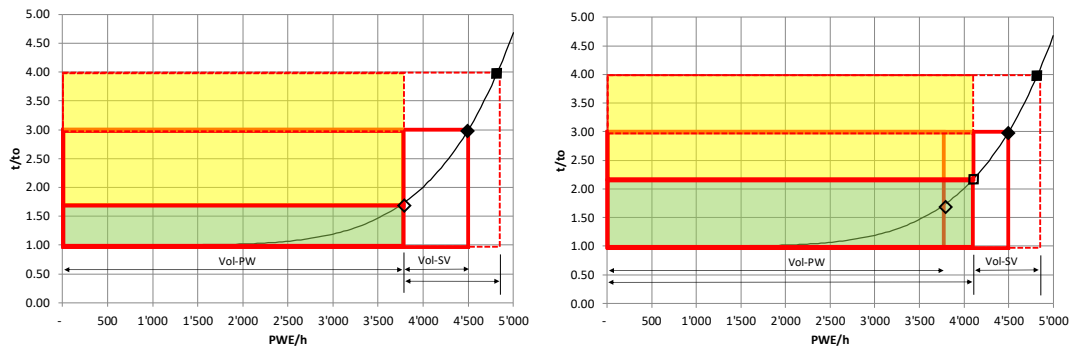
Abbildung 3 zeigt die Referenzsituation: die schwarze Kurve zeigt die Zunahme der Reisezeit in Abhängigkeit des Verkehrsvolumens, relativ zu t_0 (= Reisezeit ohne Verkehr). Daraus lassen sich die Stauzeitkosten für die PW in der Situation MIT Schwerverkehr ableiten (-> grüne + gelbe Fläche) sowie in der fiktiven Situation OHNE Schwerverkehr (-> grüne Fläche). Die gelbe Fläche entspricht somit den vom Schwerverkehr verursachten Stauzeitkosten. In diesem schematischen Beispiel beträgt der Anteil der vom Schwerverkehr verursachten Stauzeitkosten 66 % der PW-Gesamtkosten.

Abbildung 3: Darstellung der Stauzeitkosten in einer Referenzsituation MIT/OHNE Schwerverkehr



Die Abbildung zeigt die Zunahme der Reisezeit in Form einer CR-Funktion, d.h. in Abhängigkeit des Verkehrsvolumens, relativ zu t_0 (= Reisezeit ohne Verkehr). Die Figur zeigt auch die daraus ableitbaren Stauzeitkosten für die PW in der Situation MIT Schwerverkehr (-> grüne + gelbe Fläche) sowie in der fiktiven Situation OHNE Schwerverkehr (-> grüne Fläche). Die gelbe Fläche entspricht somit den vom Schwerverkehr verursachten Stauzeitkosten.

Abbildung 4: Darstellung der Stauzeitkosten in einer gleichen Wachstumssituation (+7 % Gesamtverkehr), aber links mit ausschliesslichem Wachstum des Schwerverkehrs, rechts mit ausschliesslichem Wachstum der PW.



Die Figur zeigt für beide Situationen die daraus ableitbaren Stauzeitkosten für die PW einmal in der Situation MIT Schwerverkehr (-> grüne + gelbe Fläche), und dann in der fiktiven Situation OHNE Schwerverkehr (-> grüne Fläche). Die gelbe Fläche entspricht somit jeweils den vom Schwerverkehr verursachten Stauzeitkosten. Die vom Schwerverkehr verursachten Stauzeitkosten nehmen in beiden Fällen zu – auch im Fall von Nullwachstum des Schwerverkehrs.

Abbildung 4 zeigt eine analoge Situation mit Verkehrswachstum von +7 % Gesamtverkehr, aber links mit ausschliesslichem Wachstum des Schwerverkehrs, rechts mit ausschliesslichem Wachstum der PW. Für beide Situationen lassen sich die Stauzeitkosten für die PW analog ableiten: in der Situation MIT Schwerverkehr (-> grüne + gelbe Fläche) und in der fiktiven Situation OHNE Schwerverkehr (-> grüne Fläche). Wie in der Referenzsituation in Abbildung 3 entspricht die gelbe Fläche somit jeweils den vom Schwerverkehr verursachten Stauzeitkosten. Nun nehmen die Stauzeitkosten in beiden Fällen gleich stark zu (+55 %), aber auch die vom Schwerverkehr verursachten Stauzeitkosten nehmen in beiden Fällen zu – im Fall des ausschliesslichen SV-Wachstums um +69 %, aber auch im Fall von Nullwachstum des Schwerverkehrs (um +51 %), was nicht a priori erwartet würde (vgl. Tabelle 18). Allerdings nimmt der relative Anteil im zweiten Fall ab (von 65.6 % auf 63 %). In Tabelle 18 sind auch die Angaben von zwei weiteren Situationen dargestellt: nehmen LMW und SMW mit gleicher Wachstumsrate zu, so bleibt der relative Anteil gleich wie in der Referenz-Situation (bei 65.6 %). Ist das Wachstum der LMW aber rund 3-mal höher als jenes der SMW (im Beispiel +7.4 % ggü. +2.6 %), so sinkt der Anteil der vom Schwerverkehr verursachten Stauzeitkosten von 65.6 % auf 64.1 %. Überträgt man dieses Verhältnis auf die Annahmen aus der Studie 2016, so würde der Anteil von 61.6 % auf 60.2 % zurückgehen.

Tabelle 18: Zahlen zu Abbildung 3 und Abbildung 4

	Verkehrsvolumen					Staukosten					
	LMW+SV (PWE)	LMW	SV (Fz)	SV (PWE)	%SV (Fz)	StauK. Total	StauK. LMW	LMW StauK/Fz.	StauK. SV	von SV verursacht	%SV verurs. / LMW StauK.
Referenz	4'520	3'760	380	760	9.2%	9'269	7'710	2.05	1'558	5'060	65.6%
Wachstum nur SV	4'820	3'760	530	1'060	12.4%	14'348	11'193	2.98	3'155	8'542	76.3%
Wachstum nur LMW	4'820	4'060	380	760	8.6%	14'348	12'086	2.98	2'262	7'617	63.0%
Wachstum LMW=SMW	4'820	4'010	405	810	9.2%	14'348	11'936	2.98	2'413	7'828	65.6%
Wachstum LMW>SMW	4'820	4'040	390	780	8.8%	14'348	12'026	2.98	2'322	7'706	64.1%
	Index	Index	Index	Index		Index	Index	Index	Index	Index	
Referenz	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%		100%	100%	100%	100%	100%	
Wachstum nur SV	106.6%	100.0%	139.5%	139.5%		155%	145%	145%	202%	169%	
Wachstum nur LMW	106.6%	108.0%	100.0%	100.0%		155%	157%	145%	145%	151%	
Wachstum LMW=SMW	106.6%	106.6%	106.6%	106.6%		155%	155%	145%	155%	155%	
Wachstum LMW>SMW	106.6%	107.4%	102.6%	102.6%		155%	156%	145%	149%	152%	

Abkürzungen

AB	Autobahnen
AfV ZH	Amt für Verkehr des Kantons Zürich
ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
AS	Autostrassen
ASP	Abendspitzenstunde
ASTRA	Bundesamt für Strassen
BFE	Bundesamt für Energie
BG	Bundesgericht
CO ₂	Kohlendioxid
CR-Funktion	Capacity Restraint Funktion
DTV	Durchschnittlicher täglicher Verkehr
DWV	Durchschnittlicher werktäglicher Verkehr
GV	Güterverkehr
HBEFA	Handbuch für Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs
LI	Lieferwagen (hier gleichgesetzt mit LNF)
LIK	Landesindex der Konsumentenpreise
LMW	Leichte Motorwagen
LNF	Leichte Nutzfahrzeuge
LSVA	Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe
LW	Lastwagen
LZ	Lastenzug
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MSP	Morgenspitzenstunde
Nicht-AB	Nicht-Autobahnen (übriges Strassennetz)
NPVM	Nationales Personenverkehrsmodell
NVZ	Nebenverkehrszeiten
pE-Funktion	Wahrscheinlichkeit des Einbruchs der Geschwindigkeit (Funktion)
PW	Personenwagen
PV	Personenverkehr
RZM	Reisezeitenmonitoring
SASVZ	Schweizerische automatische Strassenverkehrszählung
SMW	Schwere Motorwagen
SNF	Schwere Nutzfahrzeuge
SV	Schwerverkehr
TMC	Traffic Message Channel
v85	Geschwindigkeit, die von 85 % der unbehindert fahrenden Fahrzeuge nicht überschritten wird

VLYL	Value of Life Year Lost
VOSL	Value of Statistical Life

Literatur

AfV-ZH 2016: Reisezeitenmonitoring (RZM) Kanton Zürich für den MIV, Jahresbericht 2016, 28.11.2016.

ARE 2016: Neuberechnung Staukosten Schweiz 2010-2014, erarbeitet durch MK Consulting GmbH und Infras AG, April 2016.

ASTRA 2017: Verkehrsentwicklung und Verfügbarkeit der Nationalstrassen – Jahresbericht 2016, [<https://www.astra.admin.ch/astra/de/home/themen/nationalstrassen/verkehrsfluss-stauaufkommen/verkehrsfluss-nationalstrassen.html>].

BFE 2017: Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 - 2016 nach Verwendungszwecken, ausgeführt von Prognos AG, Basel, Infras AG, Bern, TEP Energy GmbH im Auftrag BFE (Bundesamt für Energie), 1. Okt. 2017.

Ecoplan 2019: Staubedingte Unfallkosten 2015, im Auftrag ARE (Bundesamt für Raumentwicklung), Bern, 26. Februar 2019, nicht publiziert.

Infras/Ecoplan 2019: Externe Effekte des Verkehrs 2015, Aktualisierung der Berechnungen von Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekten des Strassen-, Schienen-, Luft- und Schiffsverkehrs 2010 bis 2015, im Auftrag ARE (Bundesamt für Raumentwicklung), Zürich, Bern, 13. März 2019.

