



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Raumentwicklung ARE

Bundesamt für Umwelt BAFU

études

Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz

Aktualisierung für das Jahr 2005 mit
Bandbreiten

Schlussbericht

Impressum

Herausgeber

ARE, Bundesamt für Raumentwicklung

BAFU, Bundesamt für Umwelt

Autoren

Ecoplan, Altdorf und Bern

Infras, Zürich

Heini Sommer, Gesamtprojektleitung, Ecoplan

Christoph Lieb, Hauptsachbearbeitung, Ecoplan

Renger van Nieuwkoop, Ecoplan,

Markus Maibach, Projektleitung bei Infras

Christoph Schreyer, Infras

Daniel Sutter, Infras

Jürg Heldstab, Infras

Christian Marti, Infras

Helen Lückge, Infras

Reto Höin, Planteam GHS AG (Mengengerüst Lärm)

Martin Rösli, Institut für Sozial- und Präventivmedizin, Universität Bern (Luftverschmutzungsbedingte Krankheits- und Todesfälle)

Matthias Haag, Wüest & Partner, Zürich (Fassadenflächen 2005)

Begleitung seitens des Auftraggebers

Reto Lorenzi, Bundesamt für Raumentwicklung ARE

Nathalie Carron, Bundesamt für Raumentwicklung ARE (Leitung)

Ueli Balmer, Bundesamt für Raumentwicklung ARE

Rahel Galliker, Bundesamt für Strassen ASTRA

Markus Liechti, Bundesamt für Verkehr BAV

Sonia Pellegrini, Bundesamt für Umwelt BAFU

Andrea Lanz, Bundesamt für Statistik BFS

Jean-Marc Pittet, Bundesamt für Statistik BFS

Produktion

Stabsstelle Information ARE

Zitierweise

Bundesamt für Raumentwicklung und Bundesamt für Umwelt (2008)

Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz.

Aktualisierung für das Jahr 2005 mit Bandbreiten

Anmerkung

Der Bericht gibt die Auffassung der Autoren wieder, die nicht notwendigerweise mit derjenigen der Auftraggeber oder der Begleitgruppe übereinstimmen muss.

Bezugsquelle

www.are.admin.ch

07.2008

Inhaltsübersicht

	Inhaltsverzeichnis	2
	Abstracts.....	8
	Kurzfassung.....	10
	Résumé	22
	Compendio.....	36
	Summary	49
1	Einleitung	61
2	Methodisches Vorgehen.....	64
3	Unfälle	73
4	Lärm.....	112
5	Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung	150
6	Gebäudeschäden durch Luftverschmutzung.....	173
7	Klima.....	186
8	Natur und Landschaft	205
9	Weitere externe Kosten	220
10	Zusammenfassung der externen Kosten	284
11	Anhang A: Kostensätze für die externen Unfallkosten.....	307
12	Anhang B: Abnahme der Mietzinse pro dB(A) Lärm	312
13	Anhang C: Berechnung der Unsicherheiten der bevölkerungsgewichteten PM10-Immissionskonzentration	318
14	Anhang D: Entwicklung der Luftschadstoffemissionen des Schienenverkehrs 2000 – 2005	320
	Abkürzungsverzeichnis.....	322
	Literaturverzeichnis	325

Inhaltsverzeichnis

	Inhaltsverzeichnis	2
	Abstracts.....	8
	Kurzfassung.....	10
	Résumé	22
	Compendio.....	36
	Summary	49
1	Einleitung	61
1.1	Ausgangslage	61
1.2	Zielsetzung	61
1.3	Aufbau des Berichtes	62
1.4	Dank	63
2	Methodisches Vorgehen.....	64
2.1	Methodisches Vorgehen bei der Berechnung der Kosten	64
2.2	Allgemeine Festlegungen.....	65
2.3	Methodisches Vorgehen bei der Aktualisierung der Kosten	66
2.4	Neue Erkenntnisse aus der nationalen und internationalen Forschung	66
2.5	Umgang mit Unsicherheiten und Ausweis von Bandbreiten	67
2.5.1	Einleitung.....	67
2.5.2	Vorgehenskonzept zum Ausweis der Unsicherheiten pro Kostenbereich	69
2.5.3	Die Monte-Carlo-Simulation	70
3	Unfälle	73
3.1	Bewertungsmethodik.....	73
3.2	Neue Erkenntnisse aus der nationalen und internationalen Forschung	76
3.3	Mengengerüst	77
3.3.1	Strassenverkehr	77
3.3.2	Schienenverkehr	81
3.4	Wertgerüst.....	83
3.4.1	Einleitung.....	83
3.4.2	Aktualisierung.....	86
3.4.3	Verwendete Kostensätze	88
3.4.4	Externe Kosten.....	90
3.5	Ergebnisse	92

3.5.1	Gesamtverkehr.....	92
3.5.2	Strassenverkehr	93
3.5.3	Schienerverkehr	97
3.6	Bandbreiten	102
3.6.1	Zusammenfassung der Annahmen und Bandbreiten	102
3.6.2	Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation	106
3.6.3	Zusätzliche Unter- oder Überschätzungen	108
3.7	Vergleich mit den bisherigen Ergebnissen für das Jahr 2000	109
4	Lärm.....	112
4.1	Bewertungsmethodik.....	112
4.2	Neue Erkenntnisse aus der nationalen und internationalen Forschung	114
4.3	Mengengerüst	115
4.3.1	SonBase.....	115
4.3.2	Lärmbelastung im Strassenverkehr	121
4.3.3	Lärmbelastung im Schienenverkehr	124
4.3.4	Lärmbedingte Krankheits- und Todesfälle	126
4.4	Wertgerüst.....	127
4.4.1	Einleitung.....	127
4.4.2	Mietzinsausfälle.....	128
4.4.3	Kosten der lärmbedingten Gesundheitsschäden	130
4.5	Ergebnisse	133
4.5.1	Gesamtverkehr.....	133
4.5.2	Mietzinsausfälle.....	134
4.5.3	Lärmbedingte Gesundheitsschäden	137
4.5.4	Aufteilung auf den Personen- und Güterverkehr	139
4.6	Bandbreiten	140
4.6.1	Zusammenfassung der Annahmen und Bandbreiten	140
4.6.2	Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation	143
4.6.3	Zusätzliche Unter- oder Überschätzungen	145
4.7	Vergleich mit den bisherigen Ergebnissen für das Jahr 2000	146
5	Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung	150
5.1	Bewertungsmethodik.....	150
5.2	Neue Erkenntnisse aus der nationalen und internationalen Forschung	152
5.3	Mengengerüst	154
5.3.1	Verkehrsbedingte Schadstoffbelastung der Bevölkerung	154
5.3.2	Luftverschmutzungsbedingte Krankheits- und Todesfälle	157
5.4	Wertgerüst.....	158
5.4.1	Einleitung.....	158
5.4.2	Aktualisierung.....	159
5.4.3	Verwendete Kostensätze	160
5.5	Ergebnisse	161

5.5.1	Gesamtverkehr.....	161
5.5.2	Verteilung auf die verschiedenen Kostenbestandteile.....	162
5.5.3	Aufteilung auf die Fahrzeugkategorien im Strassenverkehr.....	164
5.6	Bandbreiten.....	165
5.6.1	Zusammenfassung der Annahmen und Bandbreiten.....	165
5.6.2	Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation.....	167
5.6.3	Zusätzliche Unter- oder Überschätzungen.....	168
5.7	Vergleich mit den bisherigen Ergebnissen für das Jahr 2000.....	170
6	Gebäudeschäden durch Luftverschmutzung.....	173
6.1	Bewertungsmethodik.....	173
6.2	Neue Erkenntnisse aus der nationalen und internationalen Forschung.....	175
6.3	Mengengerüst.....	176
6.3.1	PM10-Immissionen.....	176
6.3.2	Fassadenflächen 2005.....	176
6.4	Wertgerüst.....	177
6.4.1	Kostensätze Fassadenrenovation.....	177
6.4.2	Jährliche Kapitalkosten der Gebäudehülle.....	177
6.4.3	Reinigungskosten.....	177
6.5	Ergebnisse.....	178
6.5.1	Gesamtverkehr.....	178
6.5.2	Strassen- und Schienenverkehr.....	179
6.6	Bandbreiten.....	180
6.6.1	Zusammenfassung der Annahmen und Bandbreiten.....	180
6.6.2	Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation.....	182
6.6.3	Zusätzliche Unter- oder Überschätzungen.....	183
6.7	Vergleich mit den bisherigen Ergebnissen für das Jahr 2000.....	184
7	Klima.....	186
7.1	Bewertungsmethodik.....	186
7.2	Neue Erkenntnisse aus der nationalen und internationalen Forschung.....	189
7.2.1	Stern Review on the Economics of Climate Change.....	189
7.2.2	EU Handbuch zu externen Kosten des Verkehrs.....	190
7.2.3	Aktuelle Rahmenbedingungen der Klimapolitik.....	191
7.3	Mengengerüst.....	192
7.3.1	Strassenverkehr.....	192
7.3.2	Schienenverkehr.....	193
7.4	Wertgerüst.....	194
7.5	Ergebnisse.....	196
7.5.1	Gesamtverkehr.....	196
7.5.2	Strassenverkehr.....	197
7.5.3	Schienenverkehr.....	198
7.6	Bandbreiten.....	199

7.6.1	Zusammenfassung der Annahmen und Bandbreiten	199
7.6.2	Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation	200
7.7	Vergleich mit den bisherigen Ergebnissen für das Jahr 2000	201
8	Natur und Landschaft	205
8.1	Bewertungsmethodik.....	205
8.2	Neue Erkenntnisse aus der nationalen und internationalen Forschung	206
8.3	Mengengerüst	206
8.3.1	Strassenverkehr	206
8.3.2	Schienenverkehr	209
8.4	Wertgerüst.....	210
8.4.1	Einleitung.....	210
8.4.2	Bewertung Habitatverluste	211
8.4.3	Bewertung Habitatfragmentierung	212
8.5	Ergebnisse	212
8.5.1	Gesamtverkehr.....	212
8.5.2	Strassenverkehr	214
8.5.3	Schienenverkehr	214
8.6	Bandbreiten	215
8.6.1	Zusammenfassung der Annahmen und Bandbreiten	215
8.6.2	Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation	215
8.6.3	Zusätzliche Unter- oder Überschätzungen	216
8.7	Vergleich mit den bisherigen Ergebnissen für das Jahr 2000	218
9	Weitere externe Kosten	220
9.1	Ernteauffälle	220
9.1.1	Bewertungsmethodik.....	220
9.1.2	Neue Erkenntnisse aus der nationalen und internationalen Forschung	222
9.1.3	Mengengerüst	222
9.1.4	Wertgerüst.....	225
9.1.5	Ergebnisse	225
9.1.6	Bandbreiten	228
9.1.7	Vergleich mit den bisherigen Ergebnissen für das Jahr 2000	231
9.2	Waldschäden.....	233
9.2.1	Bewertungsmethodik.....	233
9.2.2	Neue Erkenntnisse aus der nationalen und internationalen Forschung	235
9.2.3	Mengengerüst	235
9.2.4	Wertgerüst.....	239
9.2.5	Ergebnisse	240
9.2.6	Bandbreiten	243
9.2.7	Vergleich mit den bisherigen Ergebnissen für das Jahr 2000	246
9.3	Schäden an Böden.....	248
9.3.1	Bewertungsmethodik.....	248
9.3.2	Neue Erkenntnisse aus der nationalen und internationalen Forschung	250
9.3.3	Mengengerüst	250

9.3.4	Wertgerüst.....	252
9.3.5	Ergebnisse	252
9.3.6	Bandbreiten	254
9.3.7	Vergleich mit den bisherigen Ergebnissen für das Jahr 2000	257
9.4	Zusatzkosten in städtischen Räumen	259
9.4.1	Bewertungsmethodik.....	259
9.4.2	Neue Erkenntnisse aus der nationalen und internationalen Forschung	260
9.4.3	Mengengerüst	261
9.4.4	Wertgerüst.....	263
9.4.5	Ergebnisse	263
9.4.6	Bandbreiten	266
9.4.7	Vergleich mit den bisherigen Ergebnissen für das Jahr 2000	268
9.5	Kosten vor- und nachgelagerter Prozesse.....	269
9.5.1	Bewertungsmethodik.....	269
9.5.2	Neue Erkenntnisse aus der nationalen und internationalen Forschung	271
9.5.3	Mengengerüst	272
9.5.4	Wertgerüst.....	275
9.5.5	Ergebnisse	276
9.5.6	Bandbreiten	278
9.5.7	Vergleich mit den bisherigen Ergebnissen für das Jahr 2000	281
10	Zusammenfassung der externen Kosten	284
10.1	Gesamtverkehr.....	284
10.2	Strassenverkehr	285
10.2.1	Berücksichtigte Fahrzeugkategorien.....	285
10.2.2	Ergebnisse für den Strassenverkehr.....	287
10.3	Schienenverkehr	291
10.4	Kostensätze pro Kilometer.....	292
10.4.1	Strassenverkehr	292
10.4.2	Schienenverkehr	295
10.4.3	Vergleich Strasse und Schiene	296
10.5	Bandbreiten	297
10.6	Vergleich mit bisherigen Ergebnissen für das Jahr 2000	301
10.6.1	Strassenverkehr	301
10.6.2	Schienenverkehr	303
10.6.3	Veränderung der Mengengerüste	305
11	Anhang A: Kostensätze für die externen Unfallkosten.....	307
12	Anhang B: Abnahme der Mietzinse pro dB(A) Lärm	312
13	Anhang C: Berechnung der Unsicherheiten der bevölkerungsgewichteten PM10-Immissionskonzentration	318
14	Anhang D: Entwicklung der Luftschadstoffemissionen des Schienenverkehrs 2000 – 2005	320

Abkürzungsverzeichnis.....	322
Literaturverzeichnis	325

Abstracts

In dieser Studie werden die für das Jahr 2000 ermittelten externen Kosten des Verkehrs in der Schweiz auf das Jahr 2005 aufdatiert. Zudem wird die Unsicherheit der Schätzung erstmals mittels einer Monte-Carlo-Simulation, einem probabilistischen Verfahren, bestimmt. Bei der Aktualisierung werden neue Forschungsergebnisse mit einbezogen und neue Datenbanken (Lärmdatenbank "SonBase", BAV-Datenbank zum Unfallgeschehen im Schienenverkehr) genutzt. Es werden die folgenden elf Bereiche der externen Kosten aufdatiert: Unfälle, Lärm, Gesundheitskosten und Gebäudeschäden der Luftverschmutzung, Klima, Natur und Landschaft, Ernteauffälle, Waldschäden, Bodenschäden, Zusatzkosten in städtischen Räumen sowie vor- und nachgelagerte Prozesse.

Im Strassenverkehr belaufen sich die externen Kosten im Jahr 2005 auf 8'074 Mio. CHF (95%-Konfidenzintervall 6'021 bis 12'247 Mio. CHF). Davon entfallen 76% oder 6'134 Mio. CHF auf den Personenverkehr und 24% oder 1'941 Mio. CHF auf den Güterverkehr. Im Schienenverkehr betragen die externen Kosten 455 Mio. CHF (329 bis 708 Mio. CHF). Im Vergleich zu den bisherigen Berechnungen für das Jahr 2000 sind die Kosten des Strassenverkehrs damit von 6'451 auf 8'074 Mio. CHF gestiegen, im Schienenverkehr von 417 auf 455 Mio. CHF. Es gilt zu beachten, dass die Kostenzunahme zum Teil auch durch methodische Anpassungen bedingt ist und nicht allein auf reale Änderungen zurückzuführen ist.

Cette étude met à jour pour 2005 les coûts externes des transports en Suisse tels qu'ils ont été calculés pour l'année 2000. Pour la première fois, l'incertitude de l'estimation est déterminée à l'aide d'une simulation de Monte-Carlo, une méthode probabiliste. La mise à jour tient compte des résultats de recherches récentes et utilise de nouvelles sources de données (banque de données sur le bruit en Suisse "SonBase", banque de données de l'OFT sur les accidents ferroviaires). Les coûts externes ont été actualisés pour les onze domaines suivants: accidents, bruit, coûts de la santé et dégâts aux bâtiments dus à la pollution de l'air, climat, nature et paysage, pertes agricoles, dégâts aux forêts, dégâts aux sols, coûts supplémentaires en zone urbaine, ainsi que processus en amont et en aval.

Pour le transport routier, les coûts externes en 2005 se montent à 8074 mio CHF (intervalle de confiance à 95%: 6021 à 12 247 mio CHF). De ce montant, 76 % (6134 mio CHF) sont liés au trafic voyageurs et 24 % (1941 mio CHF) au trafic marchandises. Dans le secteur ferroviaire, les coûts externes atteignent 455 mio CHF (329 à 708 mio CHF). Par rapport aux calculs précédents effectués pour 2000, les coûts liés au transport routier passent ainsi de 6451 à 8074 mio CHF, et ceux liés au transport ferroviaire de 417 à 455 mio CHF. Il convient de souligner que la hausse des coûts est due non seulement à des changements effectifs, mais aussi en partie à des adaptations méthodologiques.

This study updates the external costs of transport calculated for 2000 in Switzerland to the year 2005. For the first time, the study also defines the degree of uncertainty in the estimate using a Monte Carlo simulation, a probabilistic method. The update takes into account new research findings and new databases (Swiss noise database "SonBase", Federal Office of Transport database for accident events in rail transport). The following eleven areas of external costs have been updated: accidents, noise, health costs and building damage from air pollution, climate, nature and landscape, harvest losses, forest damage, soil damage, additional costs in urban areas, and upstream and downstream processes.

In road transport the external costs in 2005 amount to CHF 8,074 million (95% confidence interval CHF 6,021 to 12,247 million). Of this, 76% or CHF 6,134 million is attributable to passenger transport and 24% or CHF 1,941 million to freight transport. In rail transport the external costs amount to CHF 455 million (CHF 329 to 708 million). Compared with the previous calculations for the year 2000 the costs for road transport have increased from CHF 6,451 million to 8,074 million. The costs for rail transport have increased from CHF 417 million to 455 million. It should be noted that the cost increase is due in part to methodological adjustments, and not only to real changes.

Questo studio aggiorna all'anno 2005 i dati concernenti i costi esterni dei trasporti in Svizzera rilevati per l'anno 2000. Inoltre, per la prima volta viene determinata l'incertezza della stima tramite una simulazione di Monte Carlo, un metodo probabilistico. L'attualizzazione tiene conto dei più recenti risultati della ricerca e utilizza nuove banche dati (Banca Dati Rumore Svizzera, Banca dati dell'UFT sulla natura e frequenza degli incidenti nel trasporto ferroviario). L'aggiornamento concerne i seguenti undici settori di costi esterni: incidenti, rumore, costi della salute e danni agli edifici dovuti all'inquinamento atmosferico, clima, natura e paesaggio, perdite del raccolto, danni alle foreste, danni al suolo, costi supplementari in aree urbane e processi collaterali a monte.

I costi esterni del traffico stradale ammontano per il 2005 a 8'074 milioni di CHF (intervallo di confidenza 95% da 6'021 a 12'247 milioni di CHF). Di questi, il 76% o 6'134 milioni di CHF è riconducibile al traffico viaggiatori e il 24% o 1'941 milioni di CHF al traffico merci. Nei trasporti ferroviari i costi esterni raggiungono 455 milioni di CHF (da 329 a 708 milioni di CHF). Nel confronto con i precedenti calcoli per l'anno 2000, i costi dei trasporti stradali sono quindi aumentati da 6'451 milioni di CHF a 8'074 milioni di CHF, mentre i costi dei trasporti ferroviari hanno registrato una crescita da 417 milioni di CHF a 455 milioni di CHF. Va tenuto presente che l'aumento dei costi è in parte dovuto ad adattamenti metodologici e non è riconducibile unicamente a variazioni reali.

Kurzfassung

Ausgangslage und Ziel

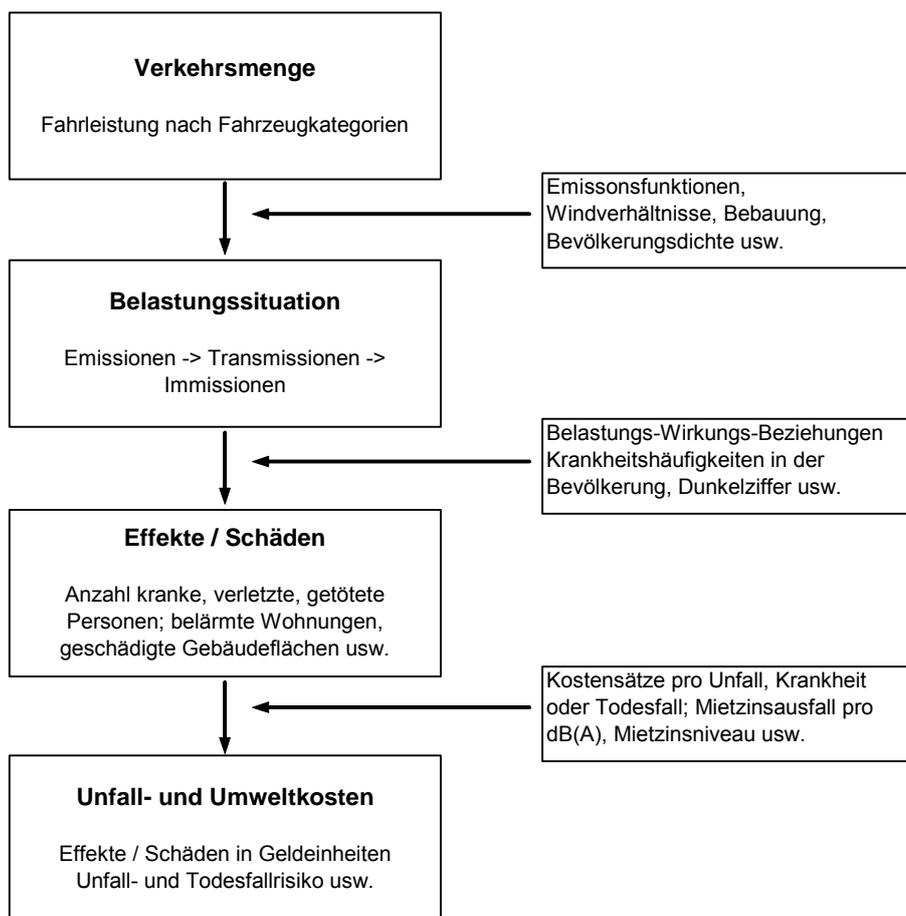
Gemäss Artikel 7 des Gesetzes über die leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe vom 19. Dezember 1997 sind die externen Kosten und Nutzen des Verkehrs regelmässig aufzudatieren. Die Methodik der Aufdatierung muss dem jeweiligen Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse entsprechen. Ausserdem haben die Bundesämter für Statistik und Raumentwicklung im Herbst 2006 erstmals eine integrale Transportrechnung für die Verkehrsträger Strasse und Schiene für das Jahr 2003 erstellt. Diese Rechnung, die neben den externen Kosten auch Betriebs- und Infrastrukturkosten enthält, soll für das Stichjahr 2005 aufdatiert werden. Beide Gründe haben zur vorliegenden Aktualisierung der externen Kosten des Verkehrs geführt.

Das **Ziel** der vorliegenden Arbeit ist es, die im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung (ARE) entstandenen Studien zu den **externen Kosten des Verkehrs** des Jahres 2000 **auf das Jahr 2005 aufzudatieren**. Die Aktualisierung erfolgt für die Verkehrsträger **Strasse** und **Schiene** separat. Die Kosten werden **differenziert nach Personen- und Güterverkehr** dargestellt. Für den Strassenverkehr wird zusätzlich eine Aufteilung der Kosten für verschiedene Fahrzeugkategorien vorgenommen. Ein weiterer Schwerpunkt dieses Projektes liegt auf dem Ausweis von **Bandbreiten** (oder 95%-Konfidenzintervallen), um die Unsicherheiten in einzelnen Annahmen der Berechnungen zu berücksichtigen.

Vorgehen bei der Berechnung der externen Kosten

Die Methodik zur Berechnung der externen Kosten des Verkehrs orientiert sich an der nachstehenden allgemeinen Systematik:

- Ausgangslage bilden die Verkehrsmengen im Strassen- und Schienenverkehr im Jahr 2005.
- Daraus wird die Belastungssituation abgeschätzt. Je nach Kostenbereich sind dafür Grundlagen wie Emissionsfunktionen, Windverhältnisse, Bevölkerungsdichte, Lärmschutzwände etc. nötig.
- In einem nächsten Schritt werden die daraus resultierenden Effekte bzw. Schäden ermittelt. Dabei handelt es sich je nach Kostenbereich z.B. um die Zahl der zusätzlichen kranken, verletzten oder getöteten Personen oder um die Anzahl belärmter Wohnungen. Um diese Effekte bestimmen zu können, werden Belastungs-Wirkungs-Beziehungen, Überlebenswahrscheinlichkeiten und weitere Grundlagen verwendet.
- Schliesslich werden die Schäden in Geldeinheiten quantifiziert. Dazu werden je nach Kostenbereich spezifische Kostensätze pro Unfall, Verletzten, Krankheitsfall und verlorenes Lebensjahr sowie Mietzinsausfälle ermittelt und mit den ermittelten Schäden verknüpft.

Grafik 1: Allgemeine Systematik zur Berechnung von Unfall- und Umweltkosten

Sämtliche Ergebnisse werden als **Faktorkosten** ausgewiesen, d.h. die indirekten Steuern (z.B. MWST) werden herausgerechnet. Die Berechnung der Kosten erfolgt mit Ausnahme der Klimakosten nach dem **Territorialprinzip**: Es werden die Kosten in der Schweiz ermittelt, welche durch den Strassen- und Schienenverkehr entstehen. Für die Berechnung der Klimakosten wird ein globaler Ansatz verwendet, der die Schäden durch den Verkehr in der Schweiz berechnet. Bei der Berechnung werden auch Kosten berücksichtigt, die möglicherweise erst nach dem Jahr 2005 anfallen (z.B. medizinische Behandlungskosten, Produktionsausfall usw.), aber durch den Verkehr im Jahr 2005 verursacht werden.

In der Kurzfassung werden die **externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger** ausgewiesen, d.h. es werden diejenigen Kosten ermittelt, die nicht vom Verursachenden selbst, sondern **von der Allgemeinheit getragen** werden. Bei der Sicht Verkehrsteilnehmende würden die externen Kosten höher ausfallen, weil dann zusätzlich auch jene Kosten zu berücksichtigen sind, die von anderen Verkehrsteilnehmern (nicht dem Verursacher, z.B. unschuldiges Unfallopfer) getragen werden.

Die Berechnungen beruhen auf dem **at least Ansatz**, d.h. überall wo Annahmen und Vereinfachungen vorgenommen werden, werden diese „so realistisch wie möglich, im Zweifelsfall

jedoch konservativ“ getroffen. Konkret bedeutet dies, dass bei Unsicherheiten vorsichtige Annahmen unterlegt werden, die eher zu einer Unter- als einer Überschätzung der tatsächlichen Kosten führen. Die Unsicherheiten werden mittels Bandbreiten quantifiziert.

Vorgehen bei der Aktualisierung

Für die Aktualisierung der Berechnungen wurden praktisch alle statistischen Grundlagen aus dem Jahr 2000 mit neuen Werten für das Jahr 2005 ersetzt. Nur bei einigen wenigen Daten musste aufgrund des sehr grossen Aufwandes und der beschränkten Ressourcen auf eine Aktualisierung verzichtet werden. Zudem wurden neue Forschungsergebnisse (z.B. die EU-Projekte IMPACT, HEATCO und CAFE CBA) ausgewertet und neue Datenquellen genutzt. Die wesentlichsten Aktualisierungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Allgemein: Anpassungen an das Preisniveau 2005, Berücksichtigung des Bevölkerungswachstums und der Erhöhung der Lebenserwartung.
- Unfälle: In einer Studie für die Beratungsstelle für Unfallverhütung (bfu) wurden Fortschritte in der Abstufung der Verletzungsschwere gemacht und das Wertgerüst wurde überarbeitet. Für den Schienenverkehr hat das Bundesamt für Verkehr (BAV) eine neue Datenbank zum Unfallgeschehen aufgebaut. Darin werden die Sachschäden umfassender als bisher erfasst und sie liefert zusätzliche Informationen zur Zuteilung auf die Verursacher.
- Lärm: Mit SonBase steht ein neues Berechnungstool zur Verfügung, mit dem erstmals die verkehrliche Lärmbelastung in der Schweiz flächendeckend abgebildet werden kann. Bei der Bewertung der Mietzinsverluste durch den Lärm sind in den vergangenen Jahren diverse Studien für die Schweiz erschienen, die neue Erkenntnisse zum Einfluss des Lärms auf die Mietzins ermöglichen.
- Luftverschmutzung: Für alle Berechnungen wurden die aktuellen Emissions- und Immissionsberechnungen für das Jahr 2005 eingesetzt.
- Klima: Aufgrund neuerer Erkenntnisse internationaler Studien wurden die Kosten pro Tonne CO₂ angepasst. Dabei wird analog den Empfehlungen der EU zwischen einer kurzfristigen (mit tieferen Ansätzen) und langfristigen Betrachtungsweise (mit höheren Ansätzen) unterschieden. Da es für beide Betrachtungsweisen Argumente gibt, wird für die Berechnungen ein Mittelwert (90 CHF pro Tonne CO₂) eingesetzt.
- Kosten vor- und nachgelagerte Prozesse: Hier konnte auf die aktualisierte Ökobilanz-Datenbank von Ecoinvent zurückgegriffen werden, die teilweise deutlich veränderte Emissionen für verschiedene verkehrsrelevante Prozesse enthält. Ebenfalls aktualisiert wurden durch Ecoinvent die Emissionsdaten für die Bahnstromproduktion.

Ergebnisse

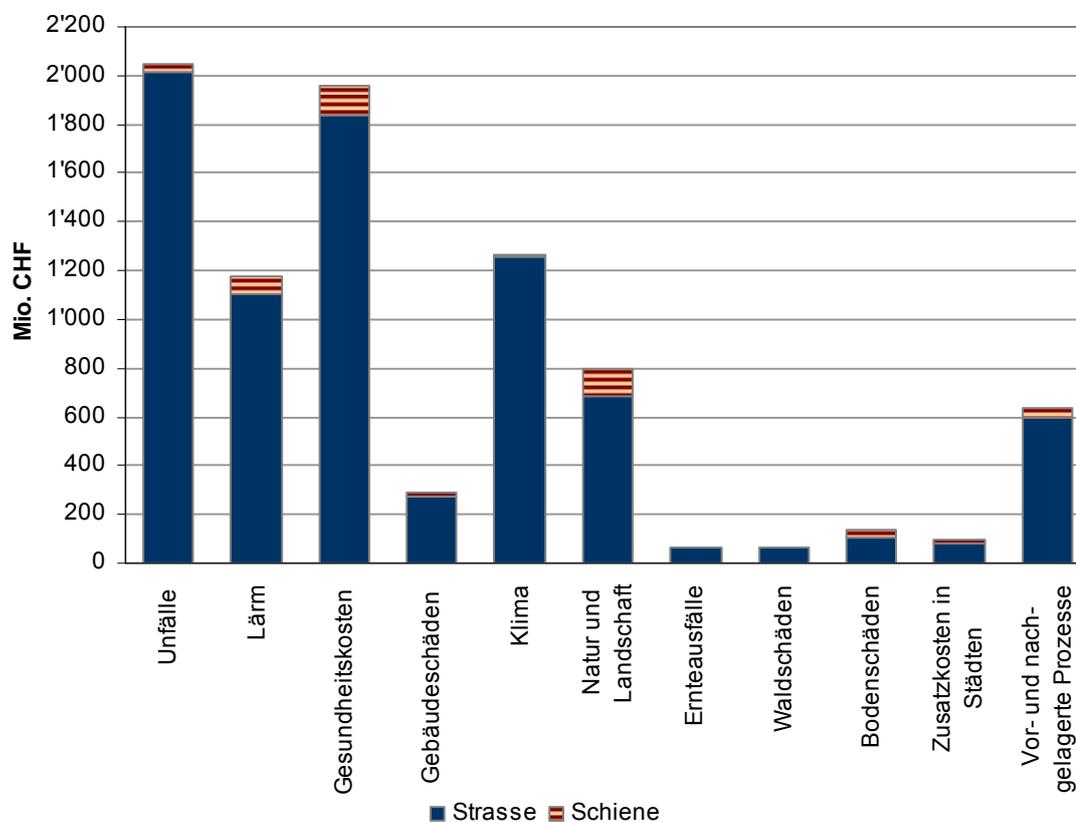
Gesamtverkehr

Tabelle 1 und Grafik 2 zeigen die Hauptergebnisse (Basisrechnung). Im Gesamtverkehr entstehen externe Kosten von 8.53 Mrd. CHF. Rund 95% dieser Kosten werden durch den Strassenverkehr verursacht, nur 5% entfallen auf den Schienenverkehr.

Tabelle 1: Externe Kosten des Verkehrs im Jahr 2005 in Mio. CHF (Basisrechnung)

	Strasse	Schiene	Total	Total in %
Unfälle (Sicht Verkehrsträger)	2'017	30	2'047	24.0%
Lärm	1'101	74	1'174	13.8%
Gesundheitskosten der Luftverschmutzung	1'834	120	1'954	22.9%
Gebäudeschäden der Luftverschmutzung	274	15	289	3.4%
Klima	1'256	7	1'264	14.8%
Natur und Landschaft	687	110	797	9.3%
Ernteauffälle	63	2	65	0.8%
Waldschäden	64	2	66	0.8%
Bodenschäden	107	33	140	1.6%
Zusatzkosten in städtischen Räumen	78	20	99	1.2%
Vor- und nachgelagerte Prozesse	593	41	634	7.4%
Total	8'074	455	8'529	100.0%
Anteil an Total	94.7%	5.3%	100.0%	

Bei der Bedeutung der verschiedenen Bereiche dominieren die Unfallkosten und die Gesundheitskosten der Luftverschmutzung, die zusammen 47% der Kosten (4.0 Mrd. CHF) verursachen. Auf Klima und Lärm entfallen je etwa 14% (1.2 Mrd. CHF) der Kosten.

Grafik 2: Externe Kosten des Verkehrs im Jahr 2005 in Mio. CHF

Strassenverkehr

In der Tabelle 2 werden die Ergebnisse des Strassenverkehrs auf die einzelnen Fahrzeugkategorien aufgeteilt. Auf den Personenverkehr entfallen 76% oder 6'134 Mio. CHF, auf den Güterverkehr 24% oder 1'941 Mio. CHF. Bei den einzelnen Fahrzeugkategorien sind die Personenwagen mit 57% dominant, gefolgt von den Lastwagen mit 10%, motorisierten Zweirädern (Motorräder und Mofas) mit 9%, Lieferwagen mit 8% sowie den Fahrrädern und Sattelschleppern mit je 6%.

Tabelle 2: Externe Kosten des Strassenverkehrs im Jahr 2005 in Mio. CHF

Personenverkehr	PW	Bus	Trolley	Tram	Car	MR	Mofa	Fahrrad	Fussgänger	Total
Unfälle (Sicht Verkehrsträger)	884	8			19	271	128	476	106	1'893
Lärm	501	25	0.3	1	12	227	1	0	0	768
Gesundheitskosten der Luftverschmutzung	922	66	6	n.v.	16	38		n.v.	0	1'047
Gebäudeschäden der Luftverschmutzung	127	9	n.v.	n.v.	2	5		n.v.	0	144
Klima	981	23	n.v.	n.v.	8	19		0	0	1'030
Natur und Landschaft	575	5	0	0	2	9		0	0	592
Ernteausfälle	26	4	n.v.	n.v.	1	1		0	0	33
Waldschäden	27	4	n.v.	n.v.	1	1		0	0	34
Bodenschäden	54	4	n.v.	n.v.	2	1		0	0	61
Zusatzkosten in städtischen Räumen	65	1	n.v.	n.v.	0.2	2		0	0	68
Vor- und nachgelagerte Prozesse	438	8	n.v.	n.v.	3	17		n.v.	0	466
Total	4'599	164.8			67	721		476	106	6'134
Anteil an Gesamttotal Strasse	57.0%	2.0%			0.8%	8.9%		5.9%	1.3%	76.0%

Güterverkehr	Li	LW	SS	Traktor, Arb.m.	Total	<i>Gesamttotal (PV + GV)</i>
Unfälle (Sicht Verkehrsträger)	63	30	16	16	124	2'017
Lärm	98	157	78	-0	333	1'101
Gesundheitskosten der Luftverschmutzung	252	353	182	n.v.	787	1'834
Gebäudeschäden der Luftverschmutzung	42	58	30	n.v.	130	274
Klima	81	95	50	n.v.	226	1'256
Natur und Landschaft	39	35	22	n.v.	95	687
Ernteausfälle	6	17	8	n.v.	31	63
Waldschäden	6	17	8	n.v.	31	64
Bodenschäden	9	24	13	n.v.	46	107
Zusatzkosten in städtischen Räumen	6	3	2	n.v.	10	78
Vor- und nachgelagerte Prozesse	40	53	34	n.v.	127	593
Total	642	840	443	16	1'941	8'074
Anteil an Gesamttotal Strasse	8.0%	10.4%	5.5%	0.2%	24.0%	100%

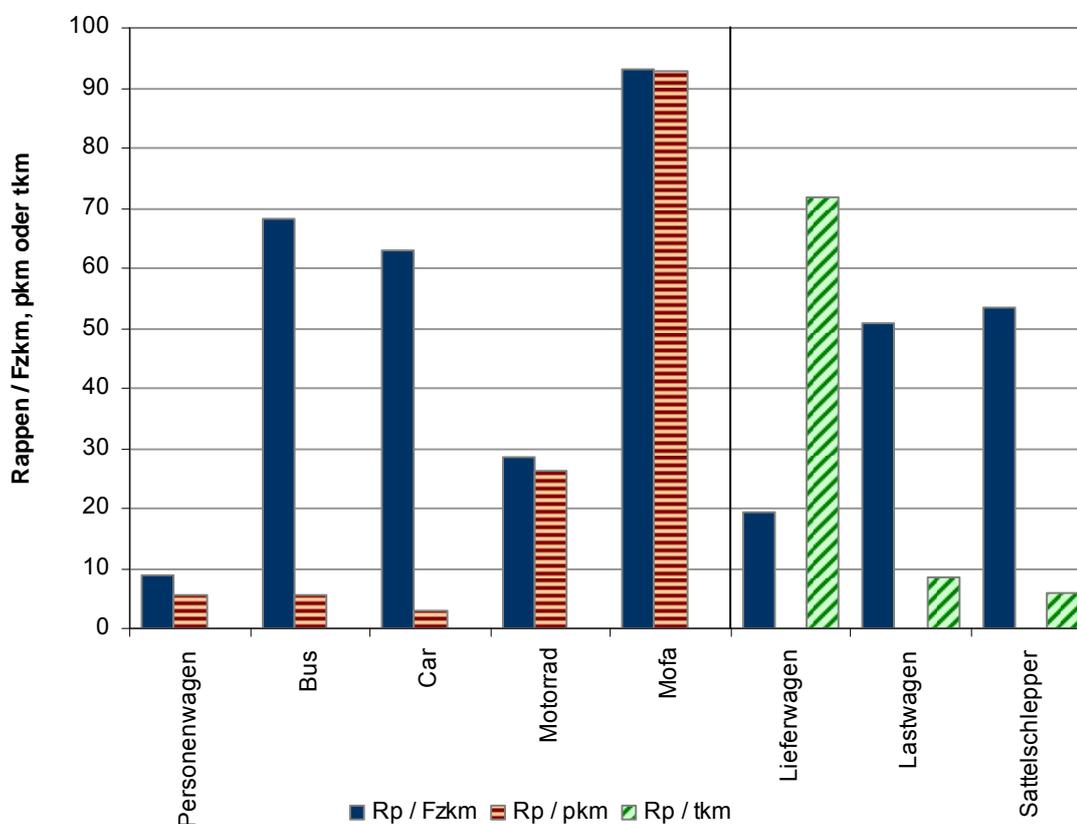
n.v. = nicht verfügbar, PW = Personenwagen, Bus = öffentlicher Bus, Car = Privatcar, MR = Motorrad, Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper, Arb.m. = Arbeitsmaschine, PV = Personenverkehr, GV = Güterverkehr.

In der folgenden Grafik werden die Kosten pro Fzkm, pkm und tkm dargestellt. Pro Fzkm sind die Kosten der Personenwagen mit 9 Rp / Fzkm am tiefsten, gefolgt von den Lieferwagen mit 19 Rp / Fzkm. Motorräder und Mofas verursachen mit 28 bzw. 93 Rp / Fzkm deutlich höhere Kosten, was auf die wesentlich höheren Unfallkosten (insbesondere der Mofas) und die ho-

hen Lärmkosten der Motorräder zurückzuführen ist. Die grösseren Fahrzeuge – Busse, Cars, Lastwagen und Sattelschlepper – verursachen Kosten von 51 bis 68 Rp / Fzkm.

Grafik 3 zeigt auch, dass bezogen auf die pkm die Kosten von Cars mit 3.0 Rp / pkm am tiefsten sind, gefolgt von den öffentlichen Bussen und den Personenwagen mit je 5.5 Rp / pkm. Motorräder mit 26 Rp / pkm und insbesondere Mofas mit 93 Rp / pkm verursachen jedoch deutlich höhere externe Kosten (wiederum vor allem wegen den hohen Unfall- und Lärmkosten). Im Güterverkehr werden die Kosten auf die Tonnenkilometer bezogen. Die für den Warentransport eingesetzten Lastwagen und Sattelschlepper verursachen mit 9 bzw. 6 Rp / tkm deutlich tiefere Kosten als die Lieferwagen mit 72 Rp / tkm.

Grafik 3: Externe Kosten des Strassenverkehrs in Rappen pro Fzkm, pkm und tkm



Schienerverkehr

Tabelle 3 zeigt die Ergebnisse für den Schienenverkehr. Insgesamt entstehen externe Kosten von 455 Mio. CHF. Davon entfallen 56% oder 254 Mio. CHF auf den Personenverkehr, 39% oder 176 Mio. CHF auf den Güterverkehr und 6% oder 26 Mio. CHF auf durch Dritte (z.B. Reisende) verursachte Unfälle.

Tabelle 3: Externe Kosten des Schienenverkehrs im Jahr 2005 in Mio. CHF

	Personenverkehr	Güterverkehr	Dritte	Total
Unfälle (Sicht Verkehrsträger)	2	3	26	30
Lärm	53	20	-	74
Gesundheitskosten der Luftverschmutzung	55	65	-	120
Gebäudeschäden der Luftverschmutzung	8	7	-	15
Klima	1	6	-	7
Natur und Landschaft	73	37	-	110
Ernteausfälle	0	2	-	2
Waldschäden	0	2	-	2
Bodenschäden	21	12	-	33
Zusatzkosten in städtischen Räumen	17	4	-	20
Vor- und nachgelagerte Prozesse	23	18	-	41
Total	254	176	26	455
Anteil an Total	55.7%	38.6%	5.6%	100.0%

Im Schienenverkehr sind vor allem die Gesundheitskosten der Luftverschmutzung mit 27% sowie die Kosten für Natur und Landschaft mit 24% bedeutend. Auch der Lärm ist mit 16% ein wichtiger Kostenbestandteil.

Bezogen auf die Zugkm betragen die Kosten im Personenverkehr 155 Rp / Zugkm, im Güterverkehr sind es 505 Rp / Zugkm und damit 3.3-mal mehr.

Ein **Vergleich des Strassen- und Schienenverkehrs** zeigt, dass im Personenverkehr die Kosten pro pkm auf der Strasse 3.8-mal höher sind als auf der Schiene. Im Güterverkehr führt die Strasse zu 7-mal höheren Kosten pro tkm (es werden nur die tatsächlich transportierten Tonnen betrachtet).

Bandbreiten

Die Berücksichtigung von Unsicherheiten bei der Berechnung von externen Kosten des Verkehrs erfolgt in dieser expliziten und systematischen Weise erstmals. Dazu werden die Unsicherheiten so weit als möglich quantifiziert. Mittels einer Monte-Carlo-Simulation (mit einer Million Simulationen) wird jeweils das 95%-Konfidenzintervall ermittelt (mit 95%-iger Wahrscheinlichkeit, liegt das wahre Ergebnis innerhalb dieses Intervalls). Die wichtigsten Unsicherheiten sind dabei:

- Der VOSL (value of statistical life), der in den Bereichen Unfälle, Lärm und Gesundheitskosten einfließt, könnte auch um 50% tiefer oder um 100% höher liegen.
- Lärm: Die Lärmbelastung kann nur mit grossen Unsicherheiten bestimmt werden (ca. -60% bis +100% und mehr). Zudem kann auch die Abnahme der Mietzinse um 67% tiefer ausfallen oder um 50% höher.
- Gesundheitskosten des Lärms und der Luftverschmutzung: Die Belastungs-Wirkungs-Beziehungen der neun verschiedenen Krankheitsbilder schwanken um $\pm 15\%$ bis -100% und $+196\%$. Die verlorenen Lebensjahre, welche diese Kosten dominieren, schwanken um $\pm 47\%$.

- Klimakosten sowie vor- und nachgelagerte Prozesse: Der durch eine Tonne CO₂ entstehende und berechenbare Schaden könnte auch um 56% tiefer oder höher liegen. Die kurzfristige Betrachtungsweise bildet dabei den unteren, die langfristige Betrachtungsweise den oberen Wert.

Wie die folgende Tabelle zeigt, liegt das 95%-Konfidenzintervall im **Strassenverkehr zwischen 6.0 Mrd. CHF und 12.2 Mrd. CHF** (Schwankungsbreite –25% und +52%). Im **Schiennenverkehr** liegen die externen Kosten **zwischen 329 und 708 Mio. CHF** (Schwankungsbreite –28% und +56%). Die externen Kosten des Gesamtverkehrs liegen damit zwischen 6.4 und 12.9 Mrd. CHF (Schwankungsbreite –25% und +52%). Damit sind die Schwankungsbreiten im Strassen- und Schienenverkehr kleiner als in den meisten einzelnen Bereichen, denn hohe Ergebnisse beim einen externen Effekt und tiefe Ergebnisse beim anderen gleichen sich gegenseitig etwas aus.

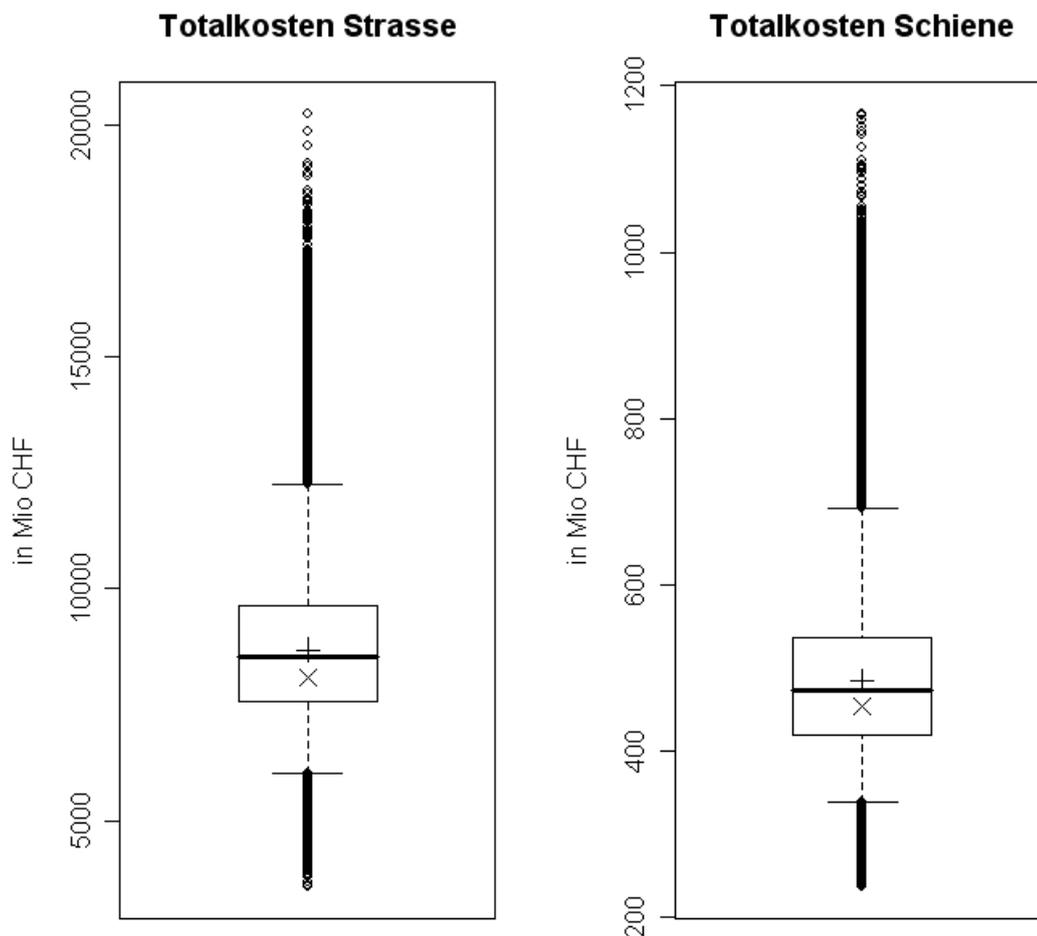
Tabelle 4: Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulationen für die externen Kosten in Mio. CHF

	Basisrechnung	95%-Konfidenzintervall	95%-Konfidenzintervall
Strassenverkehr			
Unfälle (Sicht Verkehrsträger)	2'017	1'271 - 3'592	-37% - 78%
Lärm	1'101	367 - 2'587	-67% - 135%
Gesundheitskosten der Luftverschmutzung	1'834	885 - 3'974	-52% - 117%
Gebäudeschäden der Luftverschmutzung	274	169 - 391	-38% - 43%
Klima	1'256	558 - 1'963	-56% - 56%
Natur und Landschaft	687	483 - 891	-30% - 30%
Ernteauffälle	63	45 - 83	-29% - 32%
Waldschäden	64	41 - 95	-37% - 48%
Bodenschäden	107	47 - 225	-56% - 110%
Zusatzkosten in städtischen Räumen	78	35 - 132	-55% - 69%
Vor- und nachgelagerte Prozesse	593	262 - 934	-56% - 58%
Total	8'074	6'021 - 12'247	-25% - 52%
Schiennenverkehr			
Unfälle (Sicht Verkehrsträger)	30	20 - 49	-31% - 65%
Lärm	74	31 - 160	-58% - 117%
Gesundheitskosten der Luftverschmutzung	120	58 - 261	-52% - 117%
Gebäudeschäden der Luftverschmutzung	15	9 - 22	-39% - 43%
Klima	7	3 - 11	-56% - 56%
Natur und Landschaft	110	78 - 142	-29% - 29%
Ernteauffälle	1.8	1.3 - 2.3	-29% - 32%
Waldschäden	1.8	1.1 - 2.6	-36% - 48%
Bodenschäden	33	12 - 74	-65% - 124%
Zusatzkosten in städtischen Räumen	20	9 - 34	-55% - 69%
Vor- und nachgelagerte Prozesse	41	18 - 66	-56% - 60%
Total	455	329 - 708	-28% - 56%
Total Gesamtverkehr	8'529	6'378 - 12'934	-25% - 52%

Die Grafik 4 zeigt, dass die Kosten rechtsschief verteilt sind bzw. die Schwankungsbreite gegen oben grösser ist als gegen unten. Dies gilt nicht nur für das 95%-Konfidenzintervall, sondern auch für die Ausreisser ausserhalb dieses Intervalls, die unten nahe an der Intervallgrenze liegen, oben hingegen teilweise deutlich darüber sind. Die Grafik zeigt auch, dass die

Basisrechnung im Strassen- und Schienenverkehr unter dem Median und dem Mittelwert der Verteilung liegt und somit eine vorsichtige Schätzung darstellt.

Grafik 4: Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulationen für die externen Kosten in Mio. CHF



Erläuterung: Die Begrenzung der rechteckigen Box entspricht dem 25%- bzw. 75%-Quantil, d.h. 50% aller Simulationen liegen innerhalb der Box. Der Strich in der Box ist der Median (=50%-Quantil), das „+“-Zeichen der Mittelwert und das „x“-Zeichen das Ergebnis aus der Basisrechnung. Der untere bzw. obere Querstrich nach der gestrichelten Linie („Whisker“) ist das 2.5%- bzw. 97.5%-Quantil, so dass 95% innerhalb dieser Werte liegen. Die Kreise ausserhalb dieser Querstriche zeigen Ausreisser (da eine Million Simulationen durchgeführt wurden, gibt es relativ viele Ausreisser).

Zusätzliche Unterschätzungen

Nicht alle Unsicherheiten können quantifiziert und in die Monte-Carlo-Simulation aufgenommen werden. Die oben ausgewiesenen Werte und Bandbreiten **unterschätzen die wahren Kosten** aus folgenden Gründen:

- Allgemein: In vielen Bereichen wurden bei der **Wahl der Kostensätze** entsprechend dem at least Ansatz **vorsichtige** Schätzungen verwendet, obwohl teilweise auch deutlich höhere Kostensätze begründet werden könnten.

- Unfälle: Im **Schieneverkehr** wird das Unfallgeschehen (insbesondere die **Sachschäden**) noch immer nicht vollständig erfasst.
- Lärm: Es wurden **nur** die Auswirkungen des **Lärms am Wohnort** untersucht. Weitere Lärmkosten werden nicht berücksichtigt (Auswirkungen des Lärms in Schutz- und Erholungsgebieten, am Arbeitsplatz sowie in der Schule, Verluste durch Auszonung oder Nicht-Einzonung von Grundstücken, Kosten von Schallschutzmassnahmen, Lärmfluchtkosten, Baulärm).
- Lärm: Würde das **minimale Lärmniveau**, unter dem keine Mietzinsausfälle entstehen, von 55 dB(A) auf 50 dB(A) gesenkt – was manchmal empfohlen wird – so würden sich die Lärmkosten etwa verdoppeln.
- Luft: Die Gesundheitseffekte durch **Ozon** werden in dieser Arbeit nicht quantifiziert, da die für die Gesundheitsschäden nötigen Ozon-Expositionsdaten fehlen. Der Einbezug dürfte die Gesundheitskosten um ca. 10% erhöhen.
- Klima: Unwägbar **Grossrisiken** (wie beispielsweise unumkehrbare Klimaschocks, z.B. Kippen des Golfstroms) sind in den Berechnungen nicht berücksichtigt.
- **Vor- und nachgelagerte Prozesse**: Bei den vor- und nachgelagerten Prozessen werden ausschliesslich die Emissionen von Treibhausgasen erfasst. Die Emissionen weiterer Luftschadstoffe sowie eventuell auftretende Schäden an Gewässern und am Boden können auf Basis der vorhandenen Daten nicht quantifiziert werden.

Vergleich mit bisherigen Ergebnissen für das Jahr 2000

Wie die folgende Tabelle zeigt, haben sich die Berechnungen der externen Kosten des **Strassenverkehrs** zwischen 2000 und 2005 **um 25% erhöht** (von 6'451 auf 8'074 Mio. CHF, diejenigen des **Schieneverkehrs** lediglich um **9%** (von 417 auf 455 Mio. CHF). Es ist aber zu betonen, dass es sich bei diesen Zunahmen um reale Änderungen (z.B. Preisniveau, Bevölkerungswachstum) und methodische Anpassungen (z.B. SonBase, Anpassung des Kostensatzes pro Tonne CO₂ aufgrund neuer Forschungsergebnisse) handelt. Die Zunahmen dürfen somit nicht einfach in die Zukunft fortgeschrieben werden. Die wichtigsten Gründe für die Zunahme der externen Kosten lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Tabelle 5: Vergleich der externen Kosten im Jahr 2000 und 2005 in Mio. CHF

	2000	2005	Veränderung
Strassenverkehr	6'451.1	8'074.3	25.2%
Schieneverkehr	417.3	455.0	9.0%

- Allgemein: Die Preisanpassungen zwischen 2000 und 2005 führen zu ca. 8% höheren Kosten. Teuerungsbereinigt bleiben die Kosten des Schieneverkehrs also etwa konstant. Die Nettoproduktionsausfälle (als Teil der Unfallkosten, Lärmkosten und Gesundheitskos-

ten) nehmen zusätzlich um 18% zu, da das BFS neu auch die betrieblichen Vorsorgeansprüche mit berücksichtigt.

- Unfälle: Die Sachschäden im Schienenverkehr werden neu deutlich besser erfasst.
- Lärm: SonBase weist für den Strassenverkehr wesentlich höhere Lärmbelastungen aus als die bisherigen Hochrechnungen, für den Schienenverkehr jedoch deutlich tiefere. Ausserdem wird aufgrund neuer Studien die Abnahme der Mietzinse pro dB(A) Lärm um 25% verringert.
- Gesundheitskosten: Das Bevölkerungswachstum und die erhöhte Lebenserwartung führen beide zu höheren Gesundheitskosten durch die Luftverschmutzung.
- Gebäudeschäden: Zunahme der exponierten Fassadenfläche aufgrund der Bautätigkeit.
- Klima: Erhöhung des Kostensatzes pro Tonne CO₂ aufgrund aktueller internationaler Studien zu Schadensszenarien (z.B. Stern Report oder IPCC) sowie neuen Berechnungen für Vermeidungsszenarien für die europäische Klimapolitik.

Neben der Veränderung der Kosten ist auch von Interesse, wie sich die Umweltbelastung zwischen 2000 und 2005 verändert hat. Die nachstehende Zusammenfassung widerspiegelt ausschliesslich die realen Veränderungen (methodische Anpassungen wurden in diesen Vergleich nicht miteinbezogen):

- Unfälle: Die Zahl der Verletzten und Getöteten hat im Strassenverkehr um 13% bzw. 30% abgenommen. Im Schienenverkehr schwanken die Verunfalltenzahlen relativ stark über die Jahre. 2005 gab es etwas mehr Todesfälle, aber deutlich weniger Schwerverletzte als 2000.
- Lärm: Im Lärm ist keine Aussage über die quantitative Veränderung der Lärmbelastung möglich, da eine vollständig neue Datenbasis verwendet wurde. Qualitativ ist im Strassenverkehr einerseits aufgrund von Lärmsanierungen (Lärmschutzwände und lärmarme Beläge) eine Reduktion zu erwarten. Andererseits führen die Zunahmen des Verkehrsvolumens, der Bevölkerung und der lärmintensiveren grösseren Personenwagen zu einer Erhöhung des Lärms. Welcher Effekt stärker ist, lässt sich ohne zusätzliche Erhebungen nicht feststellen. Im Schienenverkehr haben die Lärmemissionen hingegen trotz der Verkehrszunahme abgenommen. Dies ist auf die Lärmsanierung der Wagen (vor allem im Personen-, aber auch im Güterverkehr) und auf den Bau von Lärmschutzwänden zurückzuführen.
- Gesundheitsschäden und Gebäudeschäden durch Luftverschmutzung: Trotz einer geringen Reduktion der PM10-Emissionen haben die Immissionen zwischen 2000 und 2005 leicht zugenommen, was auf die Witterungsverhältnisse zurückzuführen ist. Neue Daten deuten auch darauf hin, dass die Emissionsabnahme wahrscheinlich überschätzt wurde. Zudem sind heute mehr Personen bzw. Gebäude den Schadstoffen ausgesetzt.
- Klima: Gemäss Treibhausgasinventar sind die Treibhausgasemissionen des Strassenverkehrs zwischen 2000 und 2005 um 1.4% gestiegen. Im Schienenverkehr betrug die Zunahme 5.8%.
- Natur und Landschaft: Aufgrund neuer Infrastrukturanlagen hat die Belastung von Natur und Landschaft leicht zugenommen.

- Ernteauffälle und Waldschäden: Die NO_x-Emissionen des Strassen- bzw. Schienenverkehrs haben um 25% bzw. 10% abgenommen.
- Bodenschäden: Die Emissionen der Schwermetalle haben im Strassenverkehr um 2% abgenommen, im Schienenverkehr um 15% zugenommen.
- Zusatzkosten in städtischen Räumen: Die Zahl der betroffenen Personen hat um 3% zugenommen.
- Vor- und nachgelagerte Prozesse: Die Treibhausgasemissionen der vor- und nachgelagerten Prozesse sind im Strassenverkehr konstant geblieben, im Schienenverkehr um 23% zurückgegangen.

Résumé

Contexte et objectifs

Selon l'article 7 de la loi fédérale du 19 décembre 1997 concernant une redevance sur le trafic des poids lourds liée aux prestations, les coûts et avantages externes des transports doivent être tenus à jour régulièrement. La méthodologie utilisée pour l'actualisation doit tenir compte de l'état des connaissances scientifiques. Par ailleurs, l'Office fédéral de la statistique et l'Office fédéral du développement territorial ont établi pour la première fois, en automne 2006, un compte des transports complet distinguant la route et le rail, pour l'année 2003. Ce compte, qui inclut les coûts d'infrastructure et d'exploitation en plus des coûts externes, doit être actualisé pour 2005. Ce sont là les deux raisons de la présente mise à jour des coûts externes des transports.

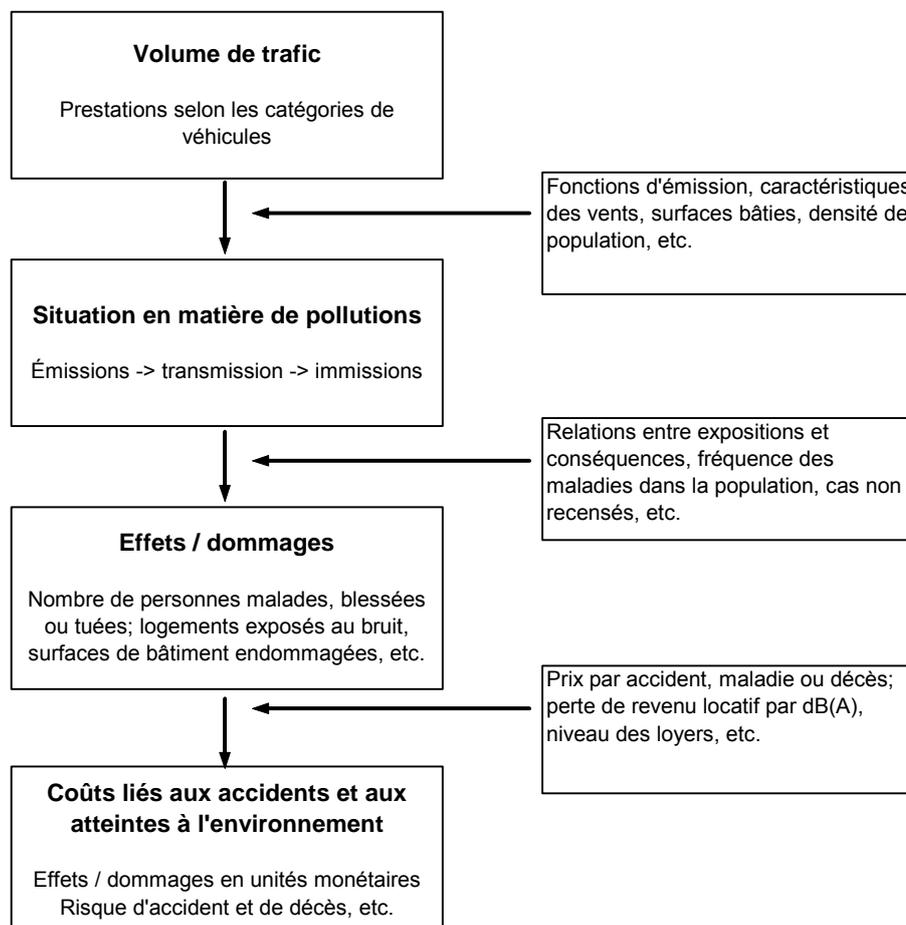
L'**objectif** de ce travail est de **mettre à jour pour 2005** les études commandées par l'Office fédéral du développement territorial (ARE) au sujet des **coûts externes des transports**. L'actualisation se fait séparément pour les deux modes de transport que sont la **route** et le **rail**. Les coûts sont présentés **en distinguant le trafic voyageurs du trafic marchandises**. Dans le cas du transport routier, on ventile en outre les coûts selon diverses catégories de véhicules. Une autre tâche centrale de ce projet consiste à présenter les résultats sous forme de **fourchettes** (ou intervalles de confiance à 95%), afin de tenir compte des incertitudes liées aux différentes hypothèses posées pour les calculs.

Procédure suivie pour le calcul des coûts externes

La méthodologie de calcul des coûts externes des transports se fonde sur la systématique générale suivante:

- La situation de départ est fournie par les volumes de trafic des transports routier et ferroviaire en 2005.
- Ces informations permettent d'estimer les pollutions. Selon le domaine de coûts, il faut disposer pour cela de diverses données: fonctions d'émissions, caractéristiques des vents, densité de population, parois antibruit, etc.
- L'étape suivante consiste à déterminer les effets ou dommages qui en résultent. En fonction du domaine concerné, il peut s'agir du nombre de personnes tuées, blessées ou malades supplémentaires ou du nombre de logements exposés au bruit. Pour estimer ces effets, on utilise les relations entre les expositions et leurs conséquences, les probabilités de survie ainsi que d'autres données.
- Finalement, les dommages sont quantifiés en unités monétaires. En fonction du domaine concerné, on calcule des coûts spécifiques par accident, par blessé, par cas de maladie ou par année de vie perdue, ainsi que des pertes de revenu locatif. Ces coûts sont ensuite mis en relation avec les dommages identifiés.

Figure 1: Systématique générale de calcul des coûts liés aux accidents et aux atteintes à l'environnement



Tous les résultats sont présentés sous la forme de **coûts des facteurs**, ce qui veut dire que la fiscalité indirecte en a été déduite (p. ex. la TVA). Si l'on excepte les coûts liés au climat, le calcul respecte le **principe de territorialité**: on détermine les coûts engendrés sur le territoire suisse par les transports routier et ferroviaire. Le calcul des coûts liés au climat utilise une approche globale qui estime les dommages causés par les transports en Suisse. On tient également compte des coûts qui ne surviendront peut-être qu'après 2005 (frais de traitement médical, pertes de production, etc.), mais qui ont été provoqués par les transports durant l'année 2005.

Le résumé présente les **coûts externes du point de vue des modes de transport**, ce qui veut dire que l'on détermine les coûts qui ne sont pas supportés par les personnes qui les occasionnent mais **par la collectivité**. Si l'on prenait le point de vue des usagers des transports, les coûts externes seraient encore plus élevés puisqu'il faudrait alors prendre aussi en considération les coûts supportés par d'autres usagers (par exemple par la victime innocente d'un accident).

Les calculs se fondent sur une **approche « at least »**: à chaque fois qu'il faut poser une hypothèse ou accepter une simplification, celles-ci sont introduites « de la manière la plus réaliste possible, mais en restant prudent en cas de doute ». Concrètement, cela signifie que les hypothèses prudentes posées en cas d'incertitudes conduisent plutôt à sous-estimer qu'à surestimer les coûts. Les incertitudes sont quantifiées sous la forme d'une fourchette de valeurs.

Procédure suivie pour la mise à jour

Pour l'actualisation des calculs, pratiquement toutes les bases statistiques issues de l'année 2000 ont été remplacées par de nouvelles valeurs pour 2005. Ce n'est que pour de rares données que l'on a renoncé à la mise à jour, en raison du travail trop important que cela aurait engendré et des ressources limitées à disposition. Par ailleurs, on a analysé de nouveaux résultats de recherche (p. ex. les projets de l'UE intitulés IMPACT, HEATCO et CAFE CBA) et recouru à de nouvelles sources de données. Les principales mises à jour peuvent être résumées comme suit:

- De manière générale: Adaptation au niveau des prix de 2005, prise en compte de la croissance de la population et de l'élévation de l'espérance de vie.
- Accidents: Une étude réalisée pour le Bureau de prévention des accidents (bpa) a permis de faire des progrès en ce qui concerne la délimitation du degré de gravité des blessures. La structure des valeurs a ainsi été révisée. Pour le rail, l'Office fédéral des transports (OFT) a mis en place une nouvelle banque de données concernant les accidents. Les dommages matériels y sont saisis de manière plus complète qu'auparavant et on y trouve des informations supplémentaires pour attribuer la responsabilité de l'accident.
- Bruit: La banque de données sur le bruit en Suisse (SonBase) constitue un nouvel outil de calcul qui permet pour la première fois de se faire une image complète de la pollution sonore liée aux transports en Suisse. En ce qui concerne l'évaluation des pertes de revenu locatif dues au bruit, diverses études concernant la Suisse sont parues ces dernières années. Elles ont permis de mieux connaître l'influence du bruit sur les loyers.
- Pollution de l'air: Dans toutes les estimations, on a utilisé les calculs d'émissions et d'immissions pour l'année 2005.
- Climat: Les coûts par tonne de CO₂ ont été adaptés sur la base des connaissances amenées par de nouvelles études internationales. Conformément aux recommandations de l'UE, on y distingue une perspective à court terme (avec des prix plus bas) et une perspective à long terme (avec des prix plus élevés). Comme il existe des arguments en faveur de chacune de ces approches, les calculs se fondent sur une moyenne (90 CHF par tonne de CO₂).
- Coûts des processus en amont et en aval: Ici, il a été possible de recourir à la banque d'écobilans du Centre Ecoinvent, qui mentionne des émissions parfois sensiblement modifiées pour divers processus liés aux transports. Les valeurs d'émission relatives à l'approvisionnement électrique du rail ont également été actualisées par Ecoinvent.

Résultats

Pour l'ensemble des transports

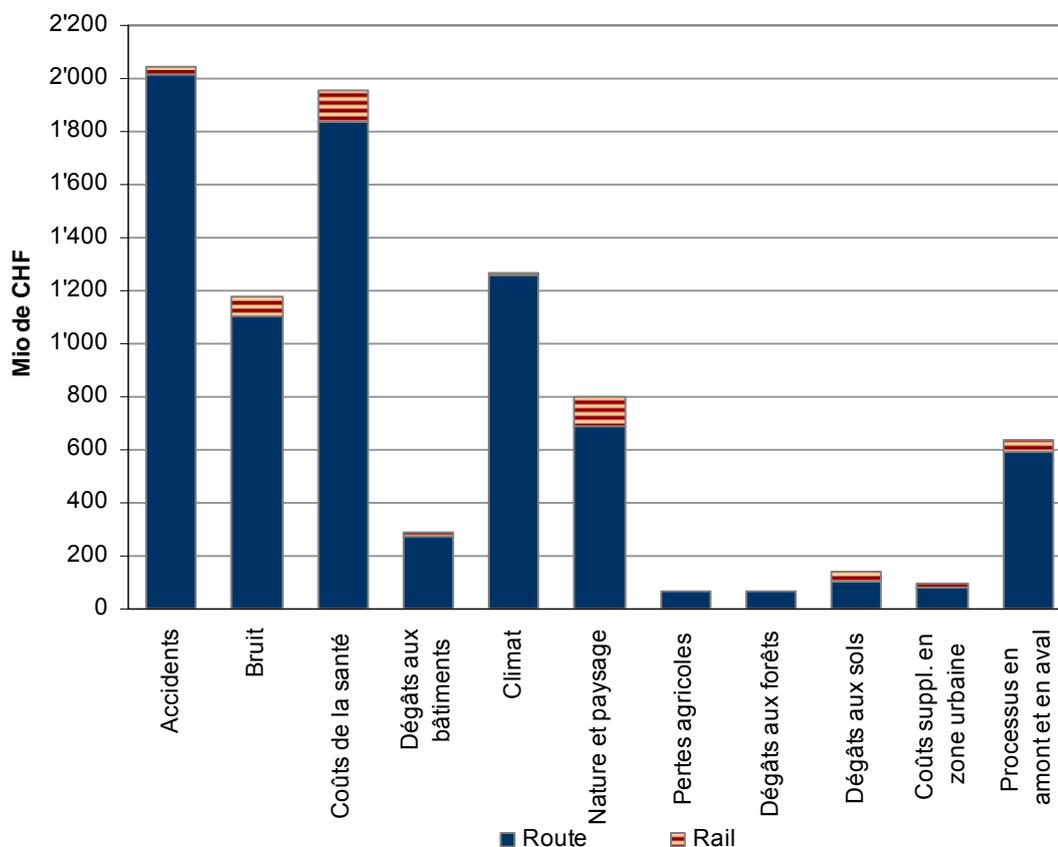
Le tableau 1 et la figure 2 présentent les principaux résultats (valeur de référence). L'ensemble des transports engendre des coûts externes de 8,53 mia CHF. Près de 95% de ces coûts sont provoqués par le transport routier, seuls 5% sont imputables au transport ferroviaire.

Tableau 1: Coûts externes des transports pour l'année 2005 en mio CHF (valeur de référence)

	Route	Rail	Total	Total en %
Accidents (point de vue des modes de transport)	2'017	30	2'047	24.0%
Bruit	1'101	74	1'174	13.8%
Coûts de la santé dus à la pollution de l'air	1'834	120	1'954	22.9%
Dégâts aux bâtiments dus à la pollution de l'air	274	15	289	3.4%
Climat	1'256	7	1'264	14.8%
Nature et paysage	687	110	797	9.3%
Pertes agricoles	63	2	65	0.8%
Dégâts aux forêts	64	2	66	0.8%
Dégâts aux sols	107	33	140	1.6%
Coûts supplémentaires en zone urbaine	78	20	99	1.2%
Processus en amont et en aval	593	41	634	7.4%
Total	8'074	455	8'529	100.0%
Part du total	94.7%	5.3%	100.0%	

Pour ce qui est de l'importance des différents domaines, ce sont les coûts des accidents et les coûts de la santé dus à la pollution de l'air qui dominent, puisqu'ils forment ensemble 47% du total (4,0 mia CHF). Le climat et le bruit ne représentent chacun qu'environ 14% des coûts (1,2 mia CHF).

Figure 2: Coûts externes des transports pour l'année 2005 en mio CHF



Pour le transport routier

Le tableau 2 ventile les résultats obtenus pour le transport routier en fonction de diverses catégories de véhicules. Dans l'ensemble, 76% des coûts (ou 6'134 mio CHF) sont dus au trafic voyageurs et 24% (1'941 mio CHF) au trafic marchandises. Parmi les diverses catégories de véhicules, ce sont les voitures de tourisme qui dominent avec 57%, suivies des camions (10%), des deux-roues à moteur (motocycles et cyclomoteurs: 9%), des voitures de livraison (8%), des vélos et des semi-remorques (6% dans les deux cas).

Tableau 2: Coûts externes du transport routier pour l'année 2005 en mio CHF

Trafic voyageurs	VO	bus	trol- ley	tram	car	moto	CM	vélo	pié- ton	Total
Accidents (point de vue modes de transport)	884	8			19	271	128	476	106	1'893
Bruit	501	25	0.3	1	12	227	1	0	0	768
Coûts de la santé dus à la pollution de l'air	922	66	6	n.d.	16	38	n.d.	0	0	1'047
Dégâts bâtiments dus à la pollution de l'air	127	9	n.d.	n.d.	2	5	n.d.	0	0	144
Climat	981	23	n.d.	n.d.	8	19	0	0	0	1'030
Nature et paysage	575	5	0	0	2	9	0	0	0	592
Pertes agricoles	26	4	n.d.	n.d.	1	1	0	0	0	33
Dégâts aux forêts	27	4	n.d.	n.d.	1	1	0	0	0	34
Dégâts aux sols	54	4	n.d.	n.d.	2	1	0	0	0	61
Coûts supplémentaires en zone urbaine	65	1	n.d.	n.d.	0.2	2	0	0	0	68
Processus en amont et en aval	438	8	n.d.	n.d.	3	17	n.d.	0	0	466
Total	4'599	164.8			67	721		476	106	6'134
Part du total global pour la route	57.0%	2.0%			0.8%	8.9%		5.9%	1.3%	76.0%

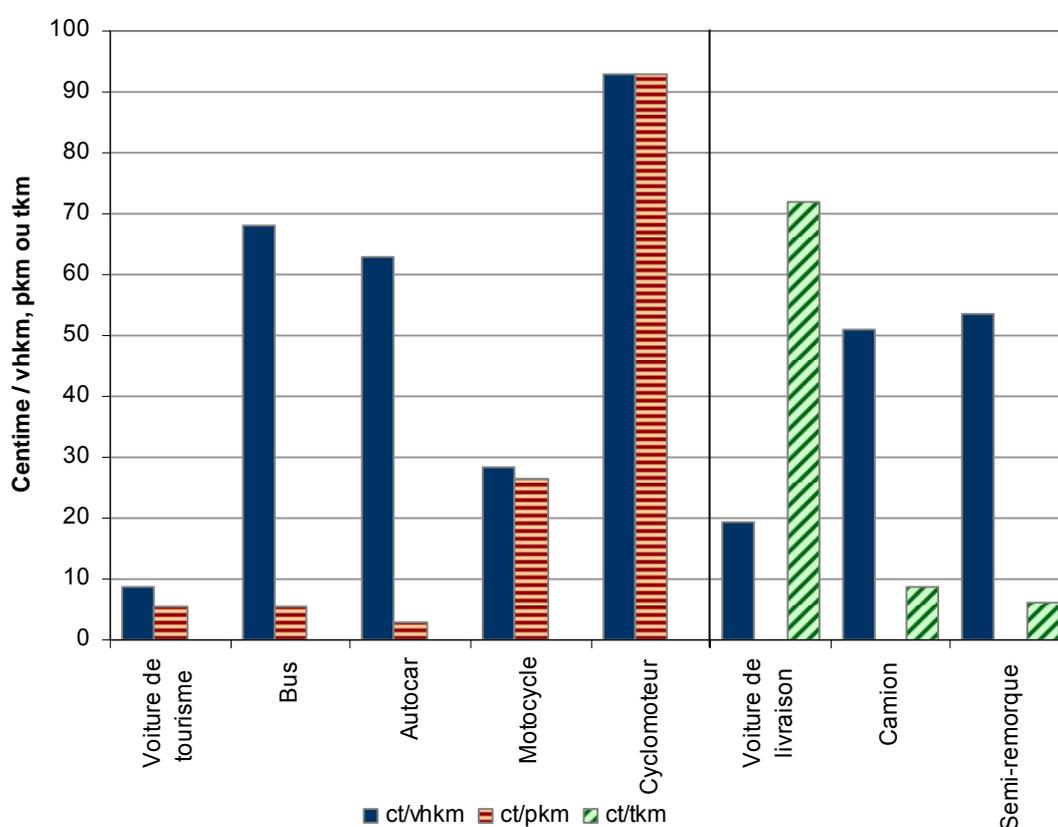
Trafic marchandises	VL	CAM	SR	Tracteur, mach. tr.	Total	<i>Total global (TV + TM)</i>
Accidents (point de vue modes de transport)	63	30	16	16	124	2'017
Bruit	98	157	78	-0	333	1'101
Coûts de la santé dus à la pollution de l'air	252	353	182	n.d.	787	1'834
Dégâts bâtiments dus à la pollution de l'air	42	58	30	n.d.	130	274
Climat	81	95	50	n.d.	226	1'256
Nature et paysage	39	35	22	n.d.	95	687
Pertes agricoles	6	17	8	n.d.	31	63
Dégâts aux forêts	6	17	8	n.d.	31	64
Dégâts aux sols	9	24	13	n.d.	46	107
Coûts supplémentaires en zone urbaine	6	3	2	n.d.	10	78
Processus en amont et en aval	40	53	34	n.d.	127	593
Total	642	840	443	16	1'941	8'074
Part du total global pour la route	8.0%	10.4%	5.5%	0.2%	24.0%	100%

n.d. = non disponible, VO = voiture de tourisme, bus = bus des transports publics, car = autocar privé, moto = motocycle, CM = cyclomoteur, VL = voiture de livraison, CAM = camion, SR = semi-remorque, mach. tr. = machine de travail, TV = trafic voyageur, TM= trafic marchandises.

La figure suivante présente les coûts par véhicule-kilomètre (véh.km), par personne-kilomètre (pkm) et par tonne-kilomètre (tkm). Par véhicule-kilomètre, ce sont les coûts des voitures de tourisme qui sont les plus bas (9 ct/véh.km), suivi de ceux des voitures de livraison (19 ct/véh.km). Avec respectivement 28 et 93 ct/véh.km, les motocycles et les cyclomoteurs provoquent des coûts sensiblement plus élevés, ce qui s'explique par les frais nettement plus importants imputables aux accidents (en particulier pour les cyclomoteurs), ainsi que par les coûts liés au bruit des motocycles. Les véhicules plus lourds (bus, autocars, camions et semi-remorques) engendrent des coûts compris entre 51 et 68 ct/véh.km.

La figure 3 montre aussi que ce sont les autocars qui présentent les coûts les plus faibles si l'on considère les personnes-kilomètres (3,0 ct/pkm), suivis des bus des transports publics et des voitures de tourisme (5,5 ct/pkm dans les deux cas). Les motocycles (26 ct/pkm) et plus encore les cyclomoteurs (93 ct/pkm) provoquent des coûts externes nettement plus importants (là aussi, surtout en raison des accidents et du bruit). Dans le trafic marchandises, les coûts sont rapportés aux tonnes-kilomètres. Avec 9 et 6 ct/tkm respectivement, les camions et les semi-remorques utilisés dans ce secteur provoquent des coûts nettement plus faibles que les voitures de livraison (72 ct/tkm).

Figure 3: Coûts externes du transport routier en centimes par véh.km, pkm et tkm



Pour le transport ferroviaire

Le tableau 3 présente les résultats pour le transport ferroviaire. Dans l'ensemble, les coûts externes se montent à 455 mio CHF, dont 56% (245 mio CHF) pour le trafic voyageurs, 39% (176 mio CHF) pour le trafic marchandises et 6% (26 mio CHF) pour les accidents provoqués par des tiers (par exemple des voyageurs).

Tableau 3: Coûts externes du transport ferroviaire pour l'année 2005 en mio CHF

	Trafic voyageurs	Trafic marchandises	Tiers	Total
Accidents (point de vue modes de transport)	2	3	26	30
Bruit	53	20	-	74
Coûts de la santé dus à la pollution de l'air	55	65	-	120
Dégâts bâtiments dus à la pollution de l'air	8	7	-	15
Climat	1	6	-	7
Nature et paysage	73	37	-	110
Pertes agricoles	0	2	-	2
Dégâts aux forêts	0	2	-	2
Dégâts aux sols	21	12	-	33
Coûts supplémentaires en zone urbaine	17	4	-	20
Processus en amont et en aval	23	18	-	41
Total	254	176	26	455
Part du total	55.7%	38.6%	5.6%	100.0%

Pour le transport ferroviaire, ce sont avant tout les coûts de la santé dus à la pollution de l'air (27%) ainsi que les coûts pour la nature et le paysage (24%) qui jouent un rôle. Avec 16%, le bruit constitue également un élément important des coûts externes.

Si on les rapporte aux trains-kilomètres (trkm), les coûts du trafic voyageurs sont 3,3 fois plus faibles (155 ct/trkm) que ceux du trafic marchandises (505 centimes).

Une **comparaison des transports routier et ferroviaire** montre que les coûts par pkm sont 3,8 fois plus élevés pour la route que pour le rail. Dans le trafic marchandises, la route provoque des coûts par tkm 7 fois plus élevés (seules les tonnes effectivement transportées sont prises en compte).

Présentation des résultats sous forme de fourchettes

C'est la première fois que les incertitudes liées au calcul des coûts externes des transports sont prises en compte de manière aussi explicite et systématique. À cette fin, on quantifie les incertitudes dans toute la mesure du possible. Grâce à la méthode de Monte-Carlo (avec un million de simulations), on calcule à chaque fois l'intervalle de confiance à 95% (il y a 95% de chance que le résultat correct se situe dans la fourchette des valeurs indiquées). Les principales incertitudes sont les suivantes:

- La valeur statistique de la vie humaine (value of statistical life), qui joue un rôle pour les domaines des accidents, du bruit et des coûts de la santé, pourrait aussi être plus basse de 50% ou plus élevée de 100%.

- Bruit: L'exposition au bruit ne peut être déterminée qu'avec une grande incertitude (entre - 60% et + 100% environ). En outre, la diminution des loyers peut aussi être 67% plus faible ou 50% plus élevée.
- Coûts de la santé dus au bruit et à la pollution de l'air: Les relations entre les expositions et leurs conséquences pour les neuf tableaux cliniques varient dans des proportions allant de $\pm 15\%$ à $- 100\%$ et $+ 196\%$. Les années de vie perdues, qui dominent dans ces coûts, varient de $\pm 47\%$.
- Coûts liés au climat ainsi que processus en amont et en aval: Les dommages calculables provoqués par une tonne de CO₂ pourraient aussi être plus faibles ou plus élevés de 56%. Pour cette fourchette, la valeur la plus basse correspond à la perspective à court terme et la plus haute à la perspective à long terme.

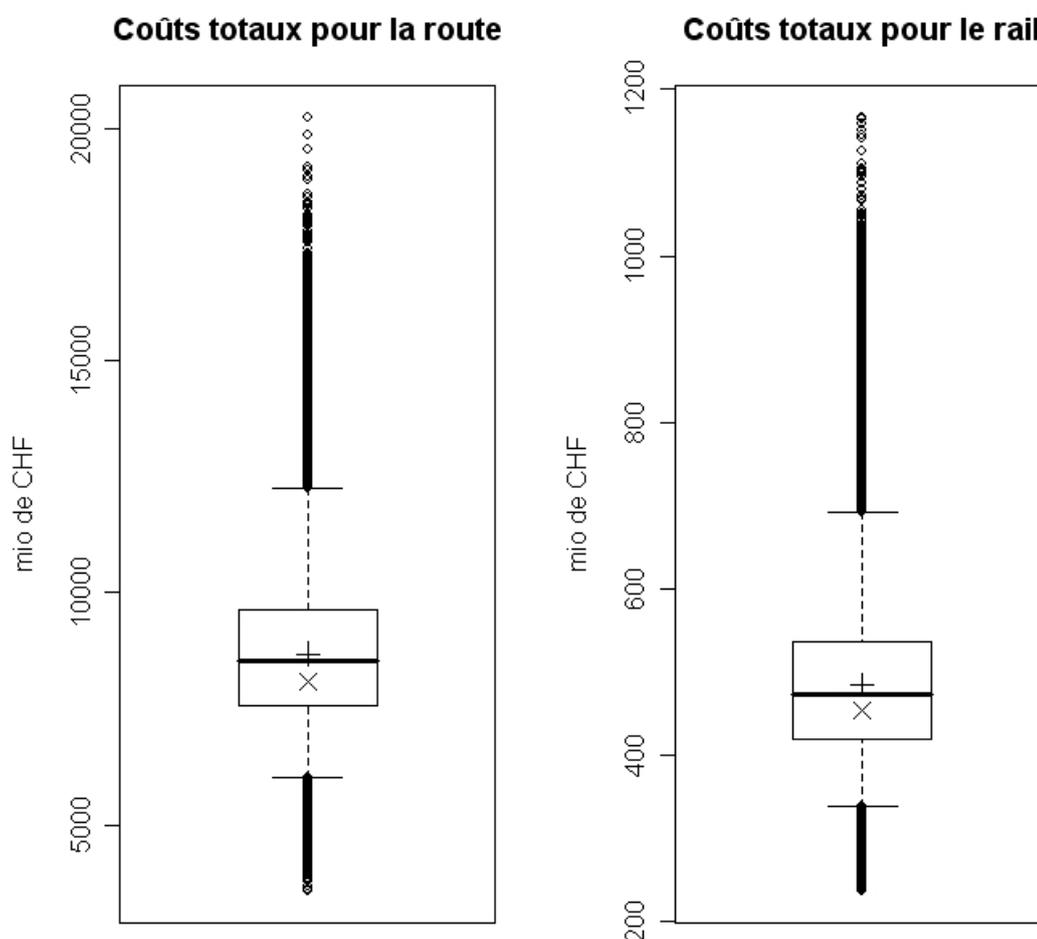
Comme le montre le tableau suivant, l'intervalle de confiance à 95% **pour le transport routier va de 6,0 mia CHF à 12,2 mia CHF** (marge de fluctuation allant de $- 25\%$ à $+ 52\%$). Pour le **transport ferroviaire**, les coûts externes sont compris **entre 329 et 708 mio CHF** (marge de fluctuation allant de $- 28\%$ à $+ 56\%$). Les coûts externes de l'ensemble des transports se situent ainsi entre 6,4 et 12,9 mia CHF (marge de fluctuation allant de $- 25\%$ à $+ 52\%$). Les marges de fluctuation des transports routier et ferroviaire sont donc moindres que celles de la plupart des domaines pris isolément, puisque des résultats élevés pour un effet externe ont tendance à compenser les résultats faibles obtenus pour un autre effet.

Tableau 4: Résultats des simulations de Monte-Carlo pour les coûts externes en mio CHF

	Valeur de référence	Intervalle de confiance à 95 %	Intervalle de confiance à 95 %
Transport routier			
Accidents (point de vue modes de transport)	2'017	1'271 - 3'592	-37% - 78%
Bruit	1'101	367 - 2'587	-67% - 135%
Coûts de la santé dus à la pollution de l'air	1'834	885 - 3'974	-52% - 117%
Dégâts aux bâtiments dus à la pollution de l'air	274	169 - 391	-38% - 43%
Climat	1'256	558 - 1'963	-56% - 56%
Nature et paysage	687	483 - 891	-30% - 30%
Pertes agricoles	63	45 - 83	-29% - 32%
Dégâts aux forêts	64	41 - 95	-37% - 48%
Dégâts aux sols	107	47 - 225	-56% - 110%
Coûts supplémentaires en zone urbaine	78	35 - 132	-55% - 69%
Processus en amont et en aval	593	262 - 934	-56% - 58%
Total	8'074	6'021 - 12'247	-25% - 52%
Transport ferroviaire			
Accidents (point de vue modes de transport)	30	20 - 49	-31% - 65%
Bruit	74	31 - 160	-58% - 117%
Coûts de la santé dus à la pollution de l'air	120	58 - 261	-52% - 117%
Dégâts aux bâtiments dus à la pollution de l'air	15	9 - 22	-39% - 43%
Climat	7	3 - 11	-56% - 56%
Nature et paysage	110	78 - 142	-29% - 29%
Pertes agricoles	1.8	1.3 - 2.3	-29% - 32%
Dégâts aux forêts	1.8	1.1 - 2.6	-36% - 48%
Dégâts aux sols	33	12 - 74	-65% - 124%
Coûts supplémentaires en zone urbaine	20	9 - 34	-55% - 69%
Processus en amont et en aval	41	18 - 66	-56% - 60%
Total	455	329 - 708	-28% - 56%
Total pour l'ensemble des transports	8'529	6'378 - 12'934	-25% - 52%

La figure 4 montre que les coûts sont distribués de manière positivement asymétrique, c'est-à-dire que la marge de fluctuation est plus grande vers le haut que vers le bas. C'est le cas non seulement de l'intervalle de confiance à 95%, mais aussi des valeurs extrêmes situées en dehors de cet intervalle, qui sont proches de la limite de l'intervalle lorsqu'elles sont situées en dessous de celui-ci, mais s'en éloignent parfois fortement lorsqu'elles sont situées en dessus. La figure montre aussi que la valeur de référence (« mode ») des transports routier et ferroviaire est inférieure à la médiane et à la moyenne de la distribution: elle constitue donc une estimation prudente.

Figure 4: Résultats des simulations de Monte-Carlo pour les coûts externes en mio CHF



Explications: Les limites de la boîte rectangulaire correspondent aux 1^{er} et 3^e quartiles (25 et 75%), ce qui veut dire que la moitié de toutes les simulations se situent à l'intérieur de cette boîte. La barre à l'intérieur de la boîte est la médiane (2^e quartile, 50%), le signe « + » est la moyenne et le signe « x » indique le résultat de la valeur de référence (« mode »). Les barres horizontales inférieure et supérieure après les pointillés marquent respectivement le quantile à 2,5% et le quantile à 97,5%, si bien que 95% des simulations se situent entre ces deux valeurs. Les lignes, formées de petits cercles, qui se trouvent en dessous et au-dessus de ces barres représentent les valeurs extrêmes (comme on a effectué un million de simulations, ces valeurs extrêmes sont relativement nombreuses).

Autres sous-estimations

Les incertitudes ne peuvent pas toutes être quantifiées et intégrées dans la simulation de Monte-Carlo. Les valeurs et fourchettes présentées ci-dessus **sous-estiment les coûts effectifs** pour les raisons suivantes:

- De manière générale: Dans de nombreux domaines, on a utilisé des estimations **prudentes** lorsqu'on a **défini le coût** des atteintes, conformément à l'approche « at least », bien que des coûts nettement plus élevés auraient parfois aussi pu se justifier.

- Accidents: Dans le **transport ferroviaire**, les accidents continuent à ne pas toujours faire l'objet d'un enregistrement complet (en particulier les **dommages matériels**).
- Bruit: On **n'a étudié que** les effets du **bruit au domicile**. D'autres coûts liés au bruit ne sont pas pris en considération (effets du bruit dans les réserves naturelles et les zones de détente, au poste de travail ainsi que dans les écoles; pertes liées au déclassement ou à la non-affectation de parcelles en zones à bâtir; coûts des mesures de protection contre le bruit; frais consentis pour éviter l'exposition au bruit; bruit de construction).
- Bruit: Si le **niveau sonore minimal** en dessous duquel on considère qu'il n'y a pas de perte de revenu locatif était abaissé de 55 à 50 dB(a) – ce que l'on recommande parfois – les coûts liés au bruit passeraient environ du simple au double.
- Pollution de l'air: Les effets de **l'ozone** sur la santé ne sont pas quantifiés dans ce travail, puisque l'on ne dispose pas des données d'exposition nécessaires pour estimer les atteintes à la santé. La prise en compte de ce facteur augmenterait probablement les coûts de la santé d'environ 10%.
- Climat: Les calculs ne tiennent pas compte des **grands risques** impondérables (par exemple d'un éventuel choc climatique irréversible comme l'arrêt du Gulf Stream).
- **Processus en amont et en aval**: Pour les processus en amont et en aval, on saisit uniquement les émissions de gaz à effet de serre. Les données disponibles ne permettent pas de quantifier les émissions d'autres polluants atmosphériques, ni les éventuelles atteintes aux eaux et aux sols.

Comparaison avec les résultats obtenus pour l'année 2000

Comme le montre le tableau ci-dessous, les coûts externes calculés pour le **transport routier augmentent de 25%** entre 2000 et 2005 (de 6'451 à 8'074 mio CHF), alors que ceux liés au **transport ferroviaire** ne progressent que de **9%** (de 417 à 455 mio CHF). Il faut toutefois souligner que cette hausse est liée à la fois à des variations effectives (niveau des prix, croissance de la population, etc.) et à des adaptations méthodologiques (intégration de la banque de données sur le bruit en Suisse, adaptation du prix de la tonne de CO₂ en raison de nouveaux résultats scientifiques, notamment). Ces hausses ne devraient donc pas se maintenir telles quelles à l'avenir. En résumé, les principales raisons de la hausse des coûts externes sont les suivantes:

Tableau 5: Comparaison des coûts externes pour les années 2000 et 2005 en mio CHF

	2000	2005	Variation
Transport routier	6'451.1	8'074.3	25.2%
Transport ferroviaire	417.3	455.0	9.0%

- De manière générale: Les adaptations de prix entre 2000 et 2005 provoquent une hausse des coûts d'environ 8%. Les coûts du transport ferroviaire restent donc plus ou moins constants une fois corrigés de l'inflation. Les pertes de production nettes (comme éléments des coûts liés aux accidents, au bruit et à la santé) augmentent de 18% supplémentaires, puisque l'OFS tient également compte, désormais, des prétentions de prévoyance liées à l'exploitation.
- Accidents: Dans le transport ferroviaire, les dommages matériels sont maintenant nettement mieux enregistrés.
- Bruit: La banque de données sur le bruit en Suisse mentionne des expositions à la pollution sonore nettement plus élevées que les estimations faites précédemment pour le transport routier, mais sensiblement plus basses pour le transport ferroviaire. En outre, de nouvelles études justifient de réduire de 25% les diminutions de loyer par dB(A).
- Coûts de la santé: La croissance de la population et l'élévation de l'espérance de vie augmentent toutes deux les coûts de la santé dus à la pollution de l'air.
- Dégâts aux bâtiments: Augmentation de la surface de façades exposées, suite aux activités de construction.
- Climat: Hausse du prix de la tonne de CO₂ en raison de nouvelles études internationales présentant des scénarios de dommages (Rapport Stern et rapport du GIEC, notamment), ainsi que nouveaux calculs pour les scénarios de prévention de la politique climatique européenne.

À côté des variations des coûts, il est intéressant d'observer comment les atteintes à l'environnement ont évolué entre 2000 et 2005. Le résumé ci-dessous reflète uniquement les variations effectives (les adaptations méthodologiques ne sont pas intégrées dans cette comparaison):

- Accidents: Les nombres de personnes blessées et de personnes tuées sur la route ont diminué respectivement de 13 et de 30%. Dans le transport ferroviaire, le nombre de victimes d'accident varie assez fortement d'une année à l'autre: en 2005, il y a eu plus de décès, mais nettement moins de personnes grièvement blessées qu'en 2000.
- Bruit: Il n'est pas possible de commenter l'évolution de l'exposition au bruit sur le plan quantitatif, parce qu'une banque de données entièrement nouvelle a été utilisée. Du point de vue qualitatif, on peut s'attendre d'un côté à une réduction dans le transport routier, en raison des assainissements effectués (parois antibruit et revêtements phonoabsorbants). De l'autre côté, le bruit augmente en raison de la hausse du volume de trafic, de la croissance de la population et de l'usage de voitures de tourisme plus grosses et plus bruyantes. Sans études complémentaires, il n'est pas possible de savoir lequel de ces effets domine. Dans le secteur ferroviaire, en revanche, les émissions sonores ont diminué malgré la hausse du trafic, en raison de l'assainissement des wagons (surtout pour les voyageurs, mais aussi pour les marchandises) et de la construction de parois antibruit.
- Coûts de la santé et dégâts aux bâtiments dus à la pollution de l'air: Malgré une légère réduction des émissions de PM₁₀, les immissions ont quelque peu augmenté entre 2000 et 2005, en raison des conditions météorologiques. De nouvelles données indiquent éga-

lement que cette baisse des émissions a été vraisemblablement surestimée. Par ailleurs, un nombre accru de personnes et de bâtiments sont désormais exposés aux polluants.

- Climat: D'après l'inventaire des émissions de gaz à effet de serre, les émissions du transport routier ont progressé de 1,4% et celles du transport ferroviaire de 5,8%.
- Nature et paysage: Les atteintes à la nature et au paysage ont légèrement augmenté suite à la construction de nouvelles infrastructures.
- Pertes agricoles et dégâts aux forêts: Les émissions de NO_x du transport routier et du transport ferroviaire ont reculé respectivement de 25 et de 10%.
- Dégâts aux sols: Les émissions de métaux lourds ont diminué de 2% dans le transport routier et de 15% dans le transport ferroviaire.
- Coûts supplémentaires en zone urbaine: Le nombre de personnes concernées a augmenté de 3%.
- Processus en amont et en aval: Les émissions de gaz à effet de serre des processus en amont et en aval sont restées constantes pour le transport routier, alors qu'elles ont reculé de 23% pour le transport ferroviaire.

Compendio

Situazione iniziale e obiettivi

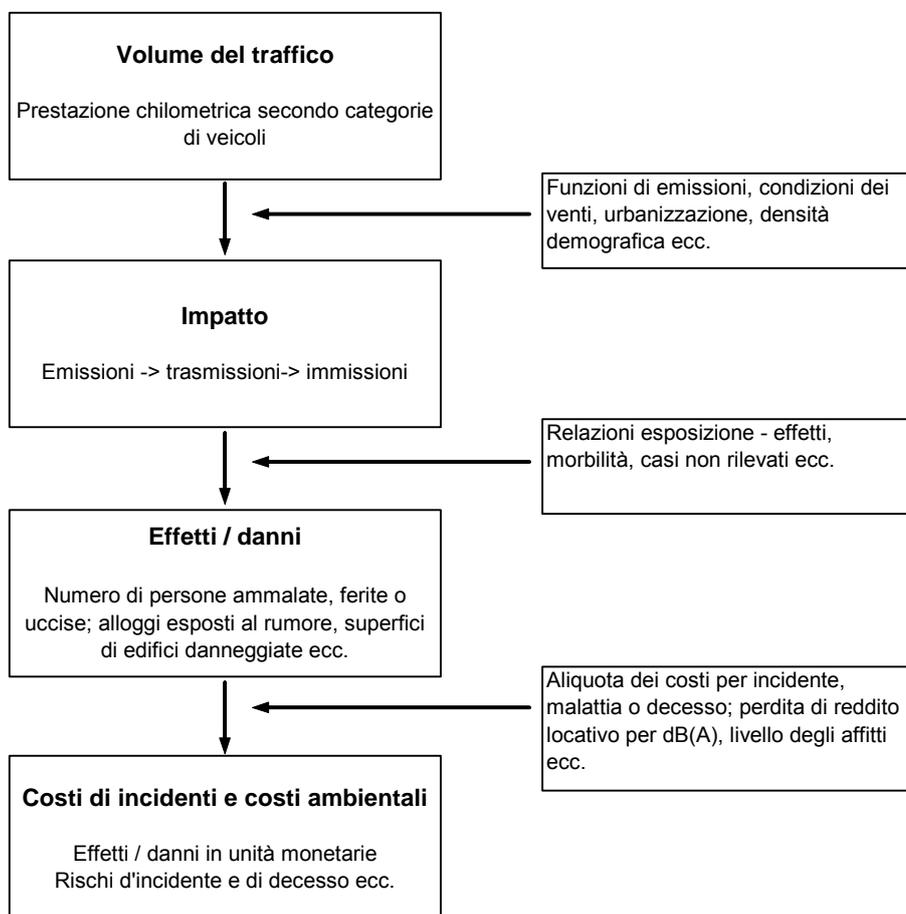
In virtù dell'articolo 7 della legge federale del 19 dicembre 1997 concernente una tassa sul traffico pesante commisurata alle prestazioni, il calcolo dei costi e degli utili esterni dei trasporti va periodicamente aggiornato. Il metodo dell'aggiornamento deve corrispondere al livello attuale delle conoscenze scientifiche. Inoltre, gli Uffici federali di statistica e dello sviluppo territoriale hanno pubblicato per la prima volta nell'autunno del 2006 un conto dei trasporti integrale per i vettori di trasporto strada e rotaia riferito al 2003. Questo conto, che comprende oltre ai costi esterni anche i costi d'esercizio e d'infrastruttura, verrà aggiornato all'anno di riferimento 2005. Entrambi i motivi sono all'origine del presente aggiornamento dei costi esterni dei trasporti.

L'**obiettivo** di questo lavoro è l'**aggiornamento al 2005** degli studi sui **costi esterni dei trasporti** eseguiti su mandato dell'Ufficio federale dello sviluppo territoriale (ARE) per l'anno 2000. L'aggiornamento avviene separatamente per i due vettori di trasporto **strada e ferrovia**. I costi **per il traffico viaggiatori e il traffico merci** sono esposti **distintamente**. Per i trasporti stradali si procede inoltre a una suddivisione dei costi secondo le diverse categorie di veicoli. Un altro aspetto centrale di questo progetto risiede nella messa in evidenza dei **margini di variazione** (o intervalli di confidenza 95%), per tenere conto delle incertezze nelle singole ipotesi alla base dei calcoli.

Procedura di calcolo dei costi esterni

La metodologia di calcolo dei costi esterni dei trasporti si basa sulla seguente sistematica generale.

- La situazione di partenza è data dai volumi di traffico nei trasporti stradali e ferroviari nell'anno 2005.
- Ciò fornisce la base per la stima dell'impatto. A dipendenza del settore di costo, occorrono a tal fine dati di base quali funzioni di emissioni, condizioni dei venti, densità della popolazione, pareti di protezione dall'inquinamento fonico ecc.
- La tappa successiva consiste nel determinare gli effetti o i danni che ne risultano. In funzione del settore di costo, può trattarsi per esempio del numero supplementare di persone malate, ferite o morte o del numero di alloggi esposti al rumore. Per determinare questi effetti, si utilizzano relazioni tra esposizione ed effetti, probabilità di sopravvivenza e altre basi.
- Infine, i danni sono quantificati in unità monetarie. A tal fine vengono determinate, in funzione della voce di costo, specifiche aliquote di costo per incidente, ferito, caso di malattia e anno di vita perso nonché le perdite di reddito locativo e messe in relazione con i danni determinati.

Grafico 1: Sistematica generale per il calcolo di costi di incidenti e ambientali

Tutti i risultati sono presentati sotto forma di **costi dei fattori**, ossia con l'esclusione della fiscalità indiretta (per es. IVA). Ad eccezione dei costi legati al clima, il calcolo dei costi avviene in base al **principio di territorialità**: si determinano i costi causati in Svizzera dai trasporti stradali e ferroviari. Per il calcolo dei costi climatici si ricorre a un modello globale che calcola i danni causati dai trasporti in Svizzera. Nel calcolo sono considerati anche i costi che potrebbero risultare soltanto dopo il 2005 (costi per cure mediche, perdite di produzione ecc.), ma che sono stati causati dai trasporti nel 2005.

Nel compendio sono esposti i **costi esterni dalla prospettiva del vettore di trasporto**, il che significa che vengono determinati i costi che non sono assunti da chi li causa ma **sono a carico della collettività**. Nella prospettiva degli utenti dei trasporti i costi esterni risulterebbero maggiori poiché in tal caso vanno considerati anche i costi sopportati da altri utenti dei trasporti (non chi li causa, per es. vittima innocente di un incidente).

I calcoli si basano sull'**approccio « at least »**: ossia ogni volta che si formulano ipotesi o si effettuano semplificazioni, queste sono «le più realistiche possibile, nel dubbio si scelgono i

valori conservativi». Concretamente, ciò significa che in caso di incertezze sono state adottate ipotesi prudenti che tendono a sottostimare piuttosto che a sopravvalutare i costi effettivi. Le incertezze sono quantificate sotto forma di margini di variazione.

Procedura di aggiornamento

Per l'attualizzazione dei calcoli, praticamente tutte le basi statistiche del 2000 sono state sostituite con nuovi valori per il 2005. Solo per pochi dati si è dovuto rinunciare all'aggiornamento in considerazione dell'elevato onere e delle risorse limitate disponibili. Inoltre sono stati considerati nuovi risultati della ricerca (per es. i progetti UE IMPACT, HEATCO e CAFE CBA) e sono state utilizzate nuove fonti di dati. I principali aggiornamenti possono essere riassunti come segue.

- In generale: adattamenti al livello dei prezzi 2005, considerazione dell'incremento demografico e dell'aumento della speranza di vita.
- Incidenti: uno studio realizzato dall'Ufficio prevenzione infortuni (upi) ha permesso di compiere progressi per quanto concerne la gradazione della gravità delle lesioni ed è stata rielaborata la struttura dei valori. Per i trasporti ferroviari, l'Ufficio federale dei trasporti (UFT) ha creato una nuova banca dati concernente la natura e la frequenza dei sinistri. I danni materiali vi sono rilevati più completi rispetto a quelli disponibili fino ad oggi ed inoltre forniscono informazioni supplementari per l'attribuzione della responsabilità dell'incidente.
- Rumore: con la Banca Dati Rumore Svizzera (LDBS) si dispone di un nuovo strumento di calcolo che consente per la prima volta il monitoraggio sul piano nazionale dell'inquinamento fonico causato dai trasporti in Svizzera. Per quanto concerne la valutazione della perdita di reddito locativo dovuto al rumore, negli scorsi anni sono stati pubblicati diversi studi concernenti la Svizzera che forniscono nuove conoscenze sulle ripercussioni del rumore sulle pigioni.
- Inquinamento atmosferico: per tutti i calcoli sono stati utilizzati i calcoli attuali delle emissioni e delle immissioni per l'anno 2005.
- Clima: i costi per tonnellata di CO₂ sono stati adattati in base alle più recenti risultanze di studi internazionali. Conformemente alle raccomandazioni dell'UE, si distingue tra una prospettiva a breve termine (con stime più basse) e una prospettiva a lungo termine (con stime più alte). Poiché esistono argomenti a favore di ciascuna prospettiva, per il calcolo si è optato per un valore medio (90 CHF per tonnellata di CO₂).
- Costi di processi collaterali a monte: qui è stato possibile ricorrere alla banca dati di bilancio ecologico aggiornata di Ecoinvent, che contiene emissioni in parte sensibilmente modificate per diversi processi concernenti i trasporti. Ecoinvent ha aggiornato anche i dati relativi alle emissioni per la produzione di corrente elettrica ferroviaria.

Risultati

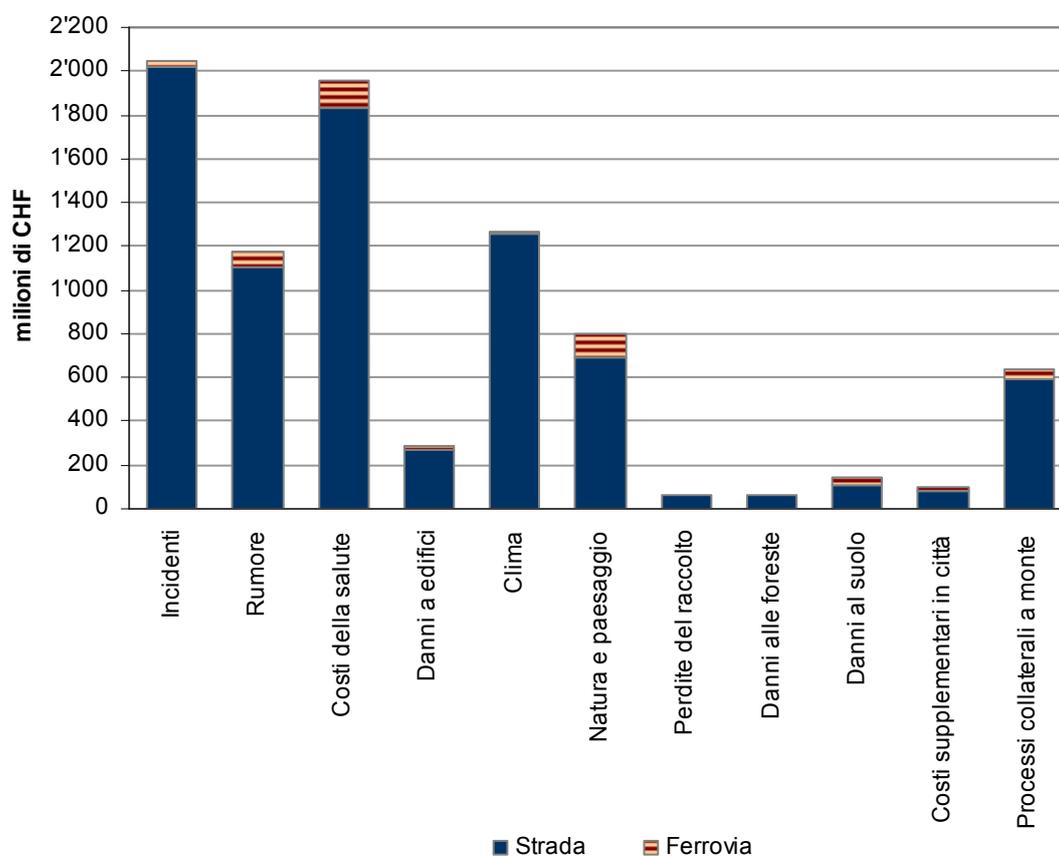
Traffico globale

La tabella 1 e il grafico 2 presentano i principali risultati (calcolo di base). Per l'insieme dei trasporti risultano costi esterni di 8,53 miliardi di CHF. Circa il 95% di questi costi è imputabile al traffico stradale e soltanto il 5% ai trasporti ferroviari.

Tabella 1: Costi esterni dei trasporti per l'anno 2005 in milioni di CHF (calcolo di base)

	Strada	Ferrovia	Totale	Totale in %
Incidenti (prospettiva vettori di trasporto)	2'017	30	2'047	24.0%
Rumore	1'101	74	1'174	13.8%
Costi d. salute dovuti all'inquinam. atmosferico	1'834	120	1'954	22.9%
Danni a edifici dovuti all'inquinam. atmosferico	274	15	289	3.4%
Clima	1'256	7	1'264	14.8%
Natura e paesaggio	687	110	797	9.3%
Perdite del raccolto	63	2	65	0.8%
Danni alle foreste	64	2	66	0.8%
Danni al suolo	107	33	140	1.6%
Costi supplementari in aree urbane	78	20	99	1.2%
Processi collaterali a monte	593	41	634	7.4%
Totale	8'074	455	8'529	100.0%
Percentuale del totale	94.7%	5.3%	100.0%	

Per quanto concerne l'importanza dei diversi settori, dominano i costi degli incidenti e i costi della salute dovuti all'inquinamento atmosferico, che assieme causano il 47% dei costi (4,0 miliardi di CHF). Il clima e il rumore causano ciascuno circa il 14% dei costi (1,2 miliardi di CHF).

Grafico 2: Costi esterni dei trasporti per l'anno 2005 in milioni di CHF

Trasporti stradali

Nella tabella 2 i risultati concernenti il traffico stradale vengono ripartiti sulle diverse categorie di veicoli. Il 76% dei costi (pari a 6'134 milioni di CHF) è imputabile al traffico viaggiatori e il 24% (1'941 milioni di CHF) al traffico merci. Tra le diverse categorie di veicoli predominano le automobili con il 57%, seguite dagli autocarri (10%), dai veicoli a due ruote con motore (motoveicoli e ciclomotori: 9%), dai furgoni (8%), dalle biciclette e dai trattori a sella (6% ciascuno).

Tabella 2: Costi esterni dei trasporti stradali per l'anno 2005 in milioni di CHF

Traffico viaggiatori	AM	bus	filo	tram	AP	moto	CM	bici	pedoni	Tot.
Incidenti (prospettiva vettori di trasporto)	884	8			19	271	128	476	106	1'893
Rumore	501	25	0.3	1	12	227	1	0	0	768
Costi d. salute dovuti all'inquinam. atmos.	922	66	6	n.d.	16	38	n.d.	0	0	1'047
Danni a edifici dovuti all'inquinam. atmos.	127	9	n.d.	n.d.	2	5	n.d.	0	0	144
Clima	981	23	n.d.	n.d.	8	19	0	0	0	1'030
Natura e paesaggio	575	5	0	0	2	9	0	0	0	592
Perdite del raccolto	26	4	n.d.	n.d.	1	1	0	0	0	33
Danni alle foreste	27	4	n.d.	n.d.	1	1	0	0	0	34
Danni al suolo	54	4	n.d.	n.d.	2	1	0	0	0	61
Costi supplementari in aree urbane	65	1	n.d.	n.d.	0.2	2	0	0	0	68
Processi collaterali a monte	438	8	n.d.	n.d.	3	17	n.d.	0	0	466
Totale	4'599	164.8			67	721		476	106	6'134
Percentuale del totale complessivo strada	57.0%	2.0%			0.8%	8.9%		5.9%	1.3%	76.0%

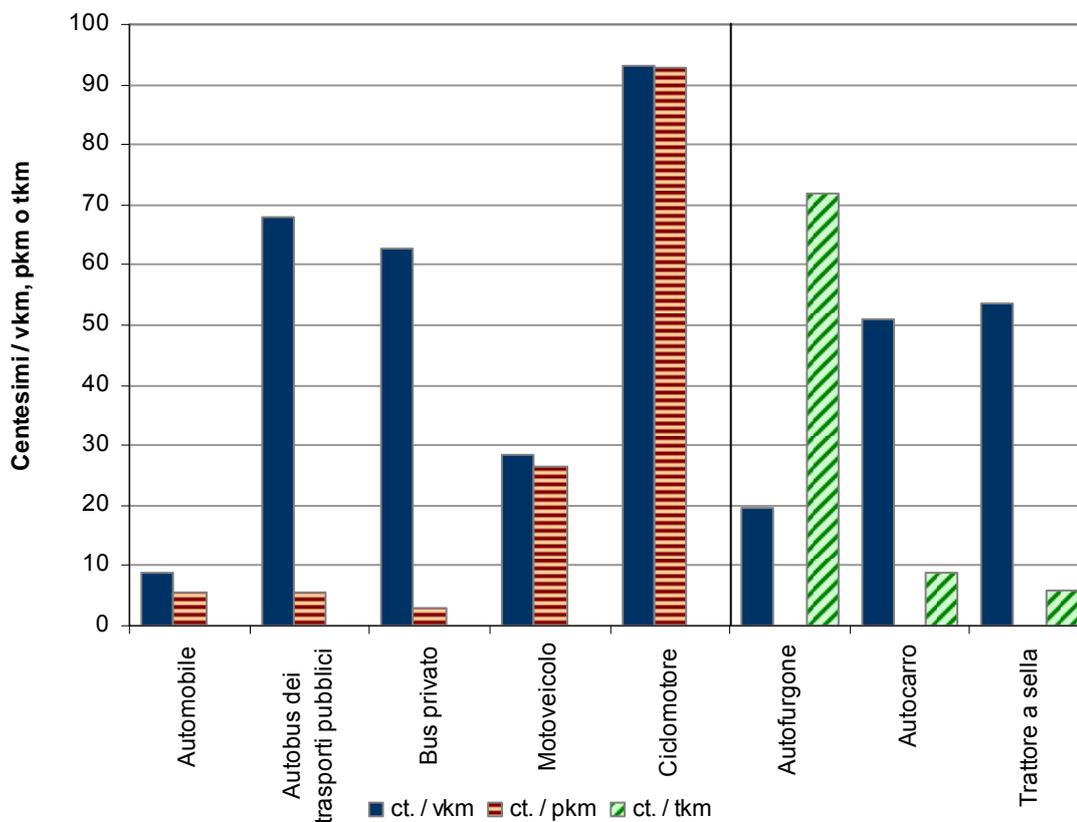
Traffico merci	AF	AC	TS	trattore, macc. sem.	Totale	<i>Tot. globale (TV + TM)</i>
Incidenti (prospettiva vettori di trasporto)	63	30	16	16	124	2'017
Rumore	98	157	78	-0	333	1'101
Costi d. salute dovuti all'inquinam. atmos.	252	353	182	n.d.	787	1'834
Danni a edifici dovuti all'inquinam. atmos.	42	58	30	n.d.	130	274
Clima	81	95	50	n.d.	226	1'256
Natura e paesaggio	39	35	22	n.d.	95	687
Perdite del raccolto	6	17	8	n.d.	31	63
Danni alle foreste	6	17	8	n.d.	31	64
Danni al suolo	9	24	13	n.d.	46	107
Costi supplementari in aree urbane	6	3	2	n.d.	10	78
Processi collaterali a monte	40	53	34	n.d.	127	593
Totale	642	840	443	16	1'941	8'074
Percentuale del totale complessivo strada	8.0%	10.4%	5.5%	0.2%	24.0%	100%

n.d. = non disponibile, AM = automobile, bus = autobus dei trasporti pubblici, AP = autobus privato, moto = motoveicolo, CM = ciclomotore, AF = autofurgone, AC = autocarro, TS = trattore a sella, macc. sem. = macchina semovente, TV = traffico viaggiatori, TM= traffico merci.

Nel grafico seguente sono indicati i costi per veicolo chilometro (vkm), per persona chilometro (pkm) e per tonnellata chilometro (tkm). Per veicolo chilometro, i costi più bassi sono quelli delle automobili (9 ct./vkm), seguiti da quelli degli autofurgoni (19 ct./vkm). Con rispettivamente 28 e 93 ct./vkm, i motoveicoli e i ciclomotori causano costi nettamente più elevati, il che è riconducibile ai costi sensibilmente maggiori degli incidenti (in particolare i ciclomotori) e ai costi più elevati legati al rumore dei motoveicoli. I veicoli più pesanti (bus pubblici e privati, autocarri, trattori a sella) causano costi tra 51 e 68 ct./vkm.

Il grafico 3 mostra inoltre che, in riferimento alle persone chilometro (pkm), gli autobus privati presentano i costi più bassi (3,0 ct./pkm), seguiti dai bus dei trasporti pubblici e dalle automobili (5,5 ct./pkm ciascuno). I motoveicoli (26 ct./pkm) e più ancora i ciclomotori (93 ct./pkm) provocano per contro costi esterni nettamente più elevati (anche qui soprattutto a causa degli elevati costi dovuti a incidenti e rumore). Nel traffico merci, i costi sono riferiti alle tonnellate chilometro. Con rispettivamente 9 e 6 ct./tkm, gli autocarri e i semirimorchi utilizzati nel trasporto merci provocano costi nettamente più bassi degli autofurgoni (72 ct./tkm).

Grafico 3: Costi esterni dei trasporti stradali in centesimi per vkm, pkm e tkm



Trasporti ferroviari

La tabella 3 presenta i risultati per i trasporti ferroviari. Complessivamente risultano costi esterni di 455 milioni di CHF, di cui il 56% (245 milioni di CHF) per il traffico viaggiatori, il 39% (176 milioni di CHF) per il traffico merci e il 6% (26 milioni di CHF) per incidenti causati da terzi (per esempio passeggeri).

Tabella 3: Costi esterni dei trasporti ferroviari per l'anno 2005 in milioni di CHF

	Traffico viaggi.	Traffico merci	Terzi	Totale
Incidenti (prospettiva vettori di trasporto)	2	3	26	30
Rumore	53	20	-	74
Costi d. salute dovuti all'inquinam. atmos.	55	65	-	120
Danni a edifici dovuti all'inquinam. atmos.	8	7	-	15
Clima	1	6	-	7
Natura e paesaggio	73	37	-	110
Perdite del raccolto	0	2	-	2
Danni alle foreste	0	2	-	2
Danni al suolo	21	12	-	33
Costi supplementari in aree urbane	17	4	-	20
Processi collaterali a monte	23	18	-	41
Totale	254	176	26	455
Percentuale del totale	55.7%	38.6%	5.6%	100.0%

Per il trasporto ferroviario sono rilevanti soprattutto i costi della salute dovuti all'inquinamento atmosferico (27%) e i costi per la natura e il paesaggio (24%). Anche il rumore, con il 16%, contribuisce in modo importante ai costi esterni.

In riferimento ai treni chilometro (trenikm), i costi del traffico viaggiatori sono 3,3 volte inferiori (155 ct./trenikm) a quelli del traffico merci (505 centesimi).

Un **confronto tra trasporti stradali e ferroviari** mostra che nel traffico viaggiatori i costi per pkm sono 3,8 volte maggiori su strada che su rotaia. Nel traffico merci, la strada comporta costi 7 volte maggiori per tkm (sono considerate solo le tonnellate effettivamente trasportate).

Margini di variazione

Per la prima volta, le incertezze nel calcolo dei costi esterni dei trasporti sono considerate in modo così esplicito e sistematico. A tal fine, le imprecisioni sono per quanto possibile quantificate. Mediante una simulazione di Monte Carlo (con un milione di simulazioni), si determina di volta in volta l'intervallo di confidenza 95% (con una probabilità del 95% il risultato corretto si situa all'interno dell'intervallo). Le principali incertezze sono le seguenti.

- Il valore della vita statistica (value of statistical life, VOSL), che è preso in considerazione alle voci incidenti, rumore e costi della salute, potrebbe anche essere del 50% inferiore o del 100% superiore.
- Rumore: l'impatto fonico può essere determinato solo con grande incertezza (ca - 60% fino a + 100% e più). Inoltre, la diminuzione delle pigioni può risultare del 67% inferiore o del 50% superiore.
- Costi della salute dovuti al rumore e all'inquinamento atmosferico: le relazioni tra esposizione e conseguenze per i nove diversi quadri clinici oscillano del $\pm 15\%$ fino a - 100% e + 196%. Gli anni di vita perduti, che dominano questi costi, variano del $\pm 47\%$.

- Costi climatici e processi collaterali a monte: i danni causati e calcolabili da una tonnellata di CO₂ potrebbero anche essere del 56% superiori o inferiori. Il valore inferiore corrisponde alla prospettiva a breve termine, quello superiore alla prospettiva a lungo termine.

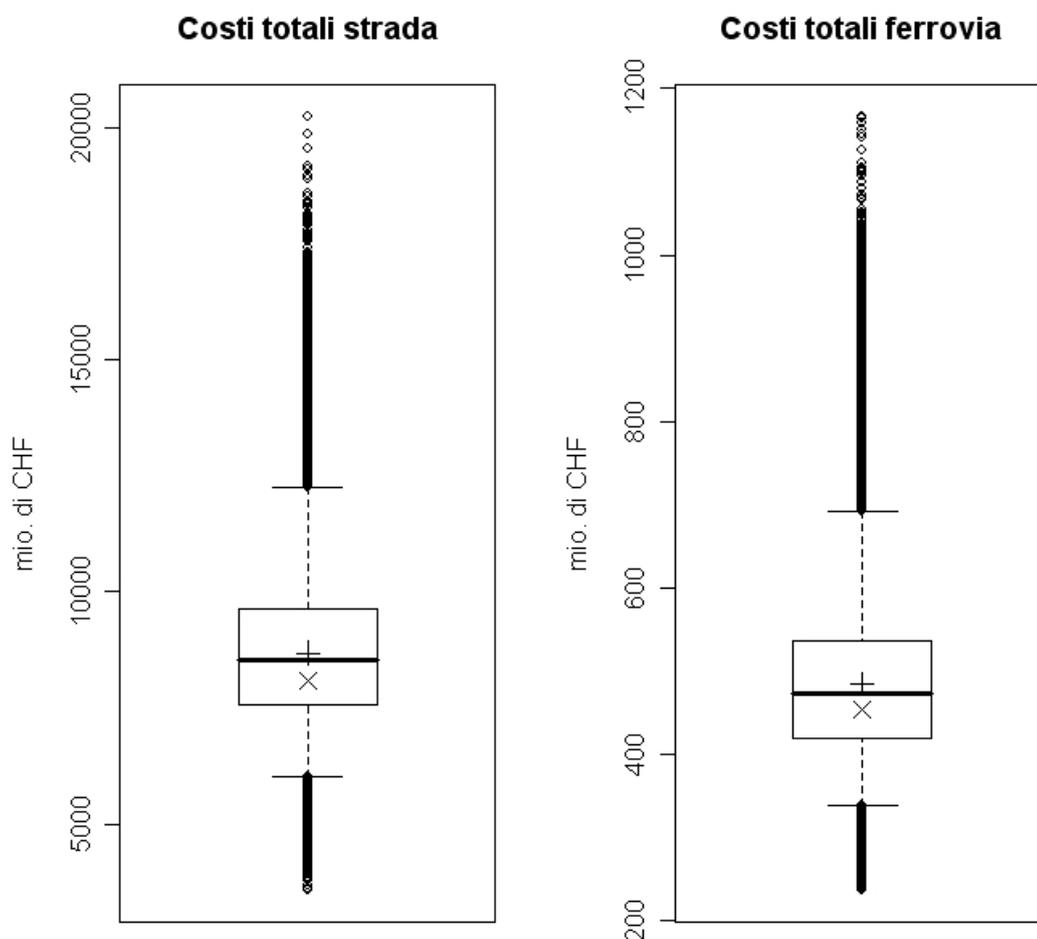
Come mostra la tabella seguente, l'intervallo di confidenza 95% **per i trasporti stradali si situa tra 6,0 miliardi di CHF e 12,2 miliardi di CHF** (margine di oscillazione – 25% e + 52%). Per i **trasporti ferroviari**, i costi esterni sono compresi **tra 329 e 708 milioni di CHF** (margine di oscillazione – 28% e + 56%). I costi esterni dell'insieme dei trasporti si situano così tra 6,4 e 12,9 miliardi di CHF (margine di oscillazione – 25% e + 52%). I margini di oscillazione nei trasporti stradali e ferroviari risultano quindi inferiori che nella maggior parte dei singoli settori, poiché in una certa misura i risultati elevati di un effetto esterno e quelli bassi di un altro si compensano a vicenda.

Tabella 4: Risultati delle simulazioni di Monte Carlo per i costi esterni in milioni di CHF

	Calcolo di base	Intervallo di confidenza 95 %	Intervallo di confidenza 95 %
Trasporti stradali			
Incidenti (prospettiva vettori di trasporto)	2'017	1'271 - 3'592	-37% - 78%
Rumore	1'101	367 - 2'587	-67% - 135%
Costi della salute dovuti all'inquinamento atmosferico	1'834	885 - 3'974	-52% - 117%
Danni a edifici dovuti all'inquinamento atmosferico	274	169 - 391	-38% - 43%
Clima	1'256	558 - 1'963	-56% - 56%
Natura e paesaggio	687	483 - 891	-30% - 30%
Perdite del raccolto	63	45 - 83	-29% - 32%
Danni alle foreste	64	41 - 95	-37% - 48%
Danni al suolo	107	47 - 225	-56% - 110%
Costi supplementari in aree urbane	78	35 - 132	-55% - 69%
Processi collaterali a monte	593	262 - 934	-56% - 58%
Totale	8'074	6'021 - 12'247	-25% - 52%
Trasporti ferroviari			
Incidenti (prospettiva vettori di trasporto)	30	20 - 49	-31% - 65%
Rumore	74	31 - 160	-58% - 117%
Costi della salute dovuti all'inquinamento atmosferico	120	58 - 261	-52% - 117%
Danni a edifici dovuti all'inquinamento atmosferico	15	9 - 22	-39% - 43%
Clima	7	3 - 11	-56% - 56%
Natura e paesaggio	110	78 - 142	-29% - 29%
Perdite del raccolto	1.8	1.3 - 2.3	-29% - 32%
Danni alle foreste	1.8	1.1 - 2.6	-36% - 48%
Danni al suolo	33	12 - 74	-65% - 124%
Costi supplementari in aree urbane	20	9 - 34	-55% - 69%
Processi collaterali a monte	41	18 - 66	-56% - 60%
Totale	455	329 - 708	-28% - 56%
Totale traffico globale	8'529	6'378 - 12'934	-25% - 52%

Il grafico 4 mostra che i costi presentano una distribuzione con asimmetria destra, ossia che il margine di oscillazione è maggiore verso l'alto che verso il basso. Ciò è il caso non solo per l'intervallo di confidenza 95%, ma anche per i valori aberranti all'esterno dell'intervallo che in basso sono vicini al limite dell'intervallo ma in alto in parte nettamente svettanti. Il grafico mostra altresì che il calcolo di base nei trasporti stradali e ferroviari è inferiore alla mediana e alla media della distribuzione: esso costituisce dunque una stima prudente.

Grafico 4: Risultati delle simulazioni di Monte Carlo per i costi esterni in mio CHF



Spiegazione: il margine del rettangolo corrisponde al quantile 25% e 75%, il che significa che il 50% di tutte le simulazioni si trovano nel rettangolo. La linea nel rettangolo è la mediana (=2° quantile, 50%), il segno « + » la media e il segno « x » il risultato del calcolo di base. I tratti orizzontali inferiori e superiori dopo la linea tratteggiata (whisker) indicano rispettivamente il quantile 2,5% e il quantile 97,5%, talché il 95% si situa all'interno di questi valori. I cerchi all'esterno dei tratti orizzontali rappresentano aberranti (essendo state effettuate un milione di simulazioni gli aberranti sono relativamente numerosi).

Altre sottostime

Non tutte le incertezze possono essere quantificate e accolte nella simulazione di Monte Carlo. I valori e i margini di variazione sopra esposti **sottostimano i costi effettivi** per le seguenti ragioni.

- In generale: in molti settori, nella **scelta delle aliquote di costo** sono state utilizzate stime **prudenti** in conformità all'approccio « at least » anche laddove si sarebbero potute giustificare aliquote di costo nettamente superiori.
- Incidenti: nei **trasporti ferroviari**, la natura e la frequenza degli incidenti continuano a non essere completamente rilevati (segnatamente i **danni materiali**).
- Rumore: sono state esaminate **solo** le ripercussioni del **rumore al domicilio**. Altri costi del rumore non sono considerati (effetti del rumore in zone protette e di svago, sul posto di lavoro e nelle scuole; perdite in seguito all'esclusione di un fondo da una zona o alla non inclusione in una zona; costo delle misure di protezione contro il rumore; costi per sfuggire al rumore; rumore di costruzione).
- Rumore: se il **livello minimo del rumore** sotto il quale non risultano perdite di reddito locativo fosse abbassato da 55 a 50 dB(a) – cosa talvolta raccomandata – i costi del rumore all'incirca raddoppierebbero.
- Aria: gli effetti dell'**ozono** sulla salute non sono quantificati in questo lavoro, poiché mancato i dati d'esposizione all'ozono necessari per calcolare i danni alla salute. La considerazione di questo fattore aumenterebbe presumibilmente i costi della salute del 10% circa.
- Clima: i **grandi rischi** imponderabili (per esempio choc climatici irreversibili come l'inversione della Corrente del Golfo) non sono considerati nei calcoli.
- **Processi collaterali a monte**: per i processi collaterali a monte vengono rilevate unicamente le emissioni di gas a effetto serra. Le emissioni di altri inquinanti atmosferici ed eventuali danni risultanti alle acque e al suolo non sono quantificabili in base ai dati esistenti.

Confronto con i risultati precedenti per l'anno 2000

Come mostra la tabella seguente, i costi esterni calcolati per i **trasporti stradali sono aumentati del 25%** tra il 2000 e il 2005 (da 6'451 a 8'074 milioni di CHF), mentre l'aumento di quelli dovuti ai **trasporti ferroviari** risulta soltanto del **9%** (da 417 a 455 milioni di CHF). Va tuttavia posto in evidenza che questi aumenti sono dovuti sia a variazioni reali (p. es. livello dei prezzi, incremento demografico) sia ad adattamenti metodologici (per es. Banca Dati Rumore Svizzera, adattamento dell'aliquota dei costi per tonnellata di CO₂ in base a nuove risultanze della ricerca). Questi aumenti non possono pertanto essere semplicemente estrapolati nel futuro. I principali motivi per l'aumento dei costi esterni possono essere riassunti come segue.

Tabella 5: Confronto dei costi esterni nel 2000 e nel 2005 in milioni di CHF

	2000	2005	Variazione
Trasporti stradali	6'451.1	8'074.3	25.2%
Trasporti ferroviari	417.3	455.0	9.0%

- In generale: gli adattamenti dei prezzi tra il 2000 e il 2005 determinano un aumento dei costi di circa l'8%. Depurati dall'inflazione, i costi dei trasporti ferroviari restano quindi all'incirca costanti. Le perdite di produzione nette (come parte dei costi dovuti a incidenti, rumore e salute) aumentano di un 18% addizionale in quanto l'UST considera ora anche le aspettative di previdenza aziendale.
- Incidenti: nei trasporti ferroviari il rilevamento dei danni materiali è nettamente migliorato.
- Rumore: la Banca Dati Rumore Svizzera espone per i trasporti stradali un inquinamento fonico nettamente superiore rispetto alle precedenti proiezioni ma sensibilmente più basso per i trasporti ferroviari. Inoltre, in base a nuovi studi la diminuzione delle pigioni per dB(A) di rumore è ridotta del 25%.
- Costi della salute: l'incremento demografico e la maggiore speranza di vita comportano entrambi costi della salute dovuti all'inquinamento atmosferico più elevati.
- Danni a edifici: aumento della superficie di facciate esposte in seguito all'attività edilizia.
- Clima: aumento dell'aliquota di costo per tonnellata di CO₂ in virtù di nuovi studi internazionali relativi a scenari di danni (per es. rapporto Stern o GIEC), nonché nuovi calcoli per scenari di prevenzione per la politica climatica europea.

Oltre alla variazione dei costi è interessante constatare come l'inquinamento dell'ambiente sia modificato tra il 2000 e il 2005. La seguente sintesi esprime unicamente i cambiamenti reali (gli adattamenti metodologici non sono stati considerati in questo confronto).

- Incidenti: il numero dei feriti e dei morti nel traffico stradale è diminuito rispettivamente del 13% e del 30%. Nei trasporti ferroviari, il numero delle vittime di incidenti varia in modo relativamente considerevole da un anno all'altro: nel 2005, i decessi sono lievemente aumentati, ma si sono registrati nettamente meno feriti gravi che nel 2000.
- Rumore: per quanto concerne l'inquinamento fonico, non è possibile formulare alcun giudizio sulla variazione quantitativa dell'esposizione al rumore poiché è stata utilizzata una base di dati completamente nuova. In termini qualitativi nei trasporti stradali è da un lato presumibile una riduzione in virtù dei risanamenti fonici (pareti antirumore e pavimentazioni fonoassorbenti). D'altro canto, l'aumento del volume del traffico, della popolazione e delle automobili di grossa taglia più rumorose comporta un aumento del rumore. Senza ulteriori rilevamenti non è possibile determinare quale sia l'effetto prevalente. Nei trasporti ferroviari le emissioni di rumore sono diminuite nonostante l'aumento del traffico. Ciò è riconducibile al risanamento dei vagoni (soprattutto nel traffico viaggiatori, ma anche nel traffico merci) e alla costruzione di pareti antirumore.
- Danni alla salute e a edifici dovuti all'inquinamento atmosferico: nonostante una lieve diminuzione delle emissioni di PM10, tra il 2000 e il 2005 le immissioni sono leggermente

aumentate a causa delle condizioni meteorologiche. I nuovi dati fanno altresì supporre che la diminuzione delle emissioni è stata verosimilmente sopravvalutata. Inoltre oggi un maggiore numero di persone ed edifici sono esposti alle sostanze nocive.

- **Clima:** in base all'Inventario dei gas a effetto serra, le emissioni di gas a effetto serra nei trasporti stradali sono aumentate tra il 2000 e il 2005 dell'1,4%, mentre nei trasporti ferroviari l'aumento è stato del 5,8%.
- **Natura e paesaggio:** l'impatto sulla natura e il paesaggio è lievemente aumentato a causa di nuovi impianti d'infrastruttura.
- **Perdite di raccolto e danni alle foreste:** le emissioni di NO_x dei trasporti stradali e ferroviari sono diminuite rispettivamente del 25% e del 10%.
- **Danni al suolo:** le emissioni di metalli pesanti sono diminuite del 2% nei trasporti stradali e sono aumentate del 15% nei trasporti ferroviari.
- **Costi supplementari in aree urbane:** il numero delle persone interessate è aumentato del 3%.
- **Processi collaterali a monte:** le emissioni di gas a effetto serra dei processi collaterali a monte sono rimaste costanti nei trasporti stradali e diminuite del 23% nei trasporti ferroviari.

Summary

Starting position and aim

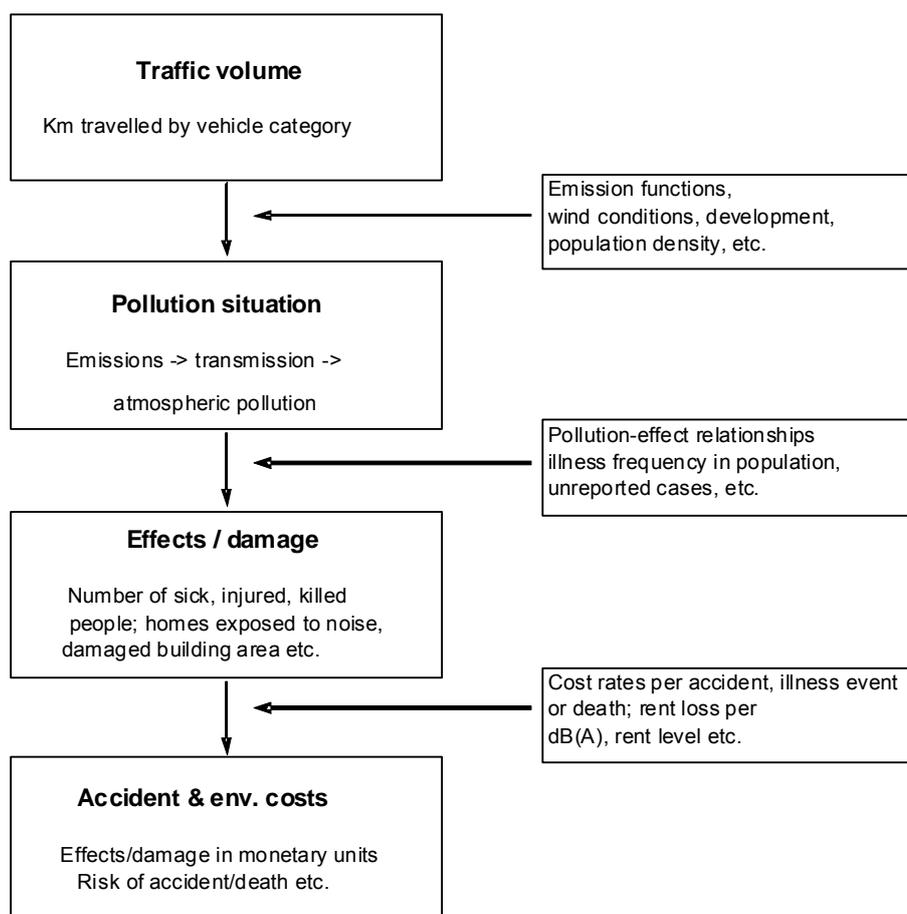
Under the terms of Article 7 of the distance-related Heavy Vehicle Fee Act (Schwerverkehrsabgabegesetz) of 19 December 1997, the external costs and benefits of transport are to be updated regularly. The methods used must reflect the latest research findings. In addition, in the autumn of 2006, the Federal Statistical Office and the Federal Office for Spatial Development produced for the first time an integrated transport account for road and rail transport for the year 2003. This calculation, which includes operating and infrastructure costs as well as external costs, is to be updated for the reference year 2005. These are the two factors that have led to this update of the external costs of transport.

The **aim** of this study is to **update** the studies on **external costs of transport** commissioned by the Federal Office for Spatial Development (ARE) from the year 2000 **to the year 2005**. The **road** and **rail** sections are being updated separately. The costs are split **according to passenger and freight transport**. Road transport is further split into costs for different vehicle categories. Another focus of this project is on identifying **bandwidths** (or 95% confidence intervals) in order to take into account the uncertainties associated with individual assumptions within the calculations.

Approach used to calculate external costs

The method used to calculate the external costs of transport is based on the following general system:

- The calculation basis is the traffic volumes in road and rail transport in 2005.
- These figures are used to estimate the pollution situation. Depending on the cost area, basic data are required, such as emission functions, wind conditions, population density, and noise barriers, etc.
- In the next step, the resulting effect/damage is calculated. Depending on the cost area, this may include the number of additional people who fall sick or are injured or killed, or the number of homes exposed to noise. In order to identify these effects, pollution-effect relationships, survival probabilities and other basic data are used.
- Finally, the damage is quantified in terms of monetary units. To do this, specific cost rates per accident, injured person, illness and lost year of life, and lost rent are calculated, depending on the cost area, and applied to the calculated damage figures.

Figure 1: General system for calculating accident and environment costs

All the results are shown as **factor costs**. In other words, indirect taxes (such as VAT) are taken out. With the exception of climate costs, the costs are calculated according to the **territorial principle**: the costs calculated are those incurred in Switzerland through road and rail transport. When calculating climate costs, a global approach is used, which calculates the damage caused by transport in Switzerland. The calculation also takes into account costs that may not arise until after 2005 (e.g. costs of medical treatment, loss of production), but which were caused by transport in 2005.

In this summary, the **external costs are shown from the perspective of the transport system**, i.e. the calculated costs are those that are borne by the **general public** rather than by the responsible party. From a transport participant perspective, the external costs would be higher, because they would include costs borne by other transport participants (not the responsible party, e.g. innocent accident victims).

The calculations are based on the “**at least**” **approach**, i.e. wherever assumptions and simplifications are made they are made to be “as realistic as possible but, if in doubt, conservative”. In practice this means that wherever uncertainties exist, the assumptions made are

cautious and will tend to result in an underestimate, rather than an overestimate of the actual costs. The uncertainties are quantified by means of bandwidths.

Update approach

For the update of the calculations almost all the underlying statistical bases from 2000 were replaced with new values for the year 2005. Only a few data could not be updated because of the amount of work involved and the limited resources available. New research findings (e.g. the EU projects IMPACT, HEATCO and CAFE CBA) were also evaluated and new data sources were used. The most important updates can be summarised as follows:

- General: Adjustments to the 2005 price level, provision for population growth and increased life expectancy.
- Accidents: A study for the Swiss Council for Accident Prevention (bfu) made advances in grading injury severity and the value structure was revised. For rail transport, the Federal Office of Transport has built up a new database on accident events. This records property damage in a more comprehensive form than before and also provides information about assignment to the responsible party.
- Noise: The Swiss noise database "SonBase" provides a new calculation tool which can be used to map noise pollution throughout Switzerland for the first time. For the assessment of loss of rent caused by noise, various studies on Switzerland have appeared over recent years which provide new findings on the impact of noise on rent.
- Air pollution: The latest emission and atmospheric pollution calculations for 2005 were used for all calculations.
- Climate: As a result of more up-to-date findings from international studies, the costs per tonne of CO₂ have been adjusted. In line with EU recommendations, the study differentiates between a short-term perspective (with lower estimates) and a long-term perspective (with higher estimates). Since there are arguments in favour of both approaches, an average value (CHF 90 per tonne of CO₂) is used for the calculations.
- Costs of up- and downstream processes: In this area it was possible to use Ecoinvent's updated ecobalance database, which contains some very different emissions for various transport-related processes. Ecoinvent has also updated the emission data for railway power generation.

Findings

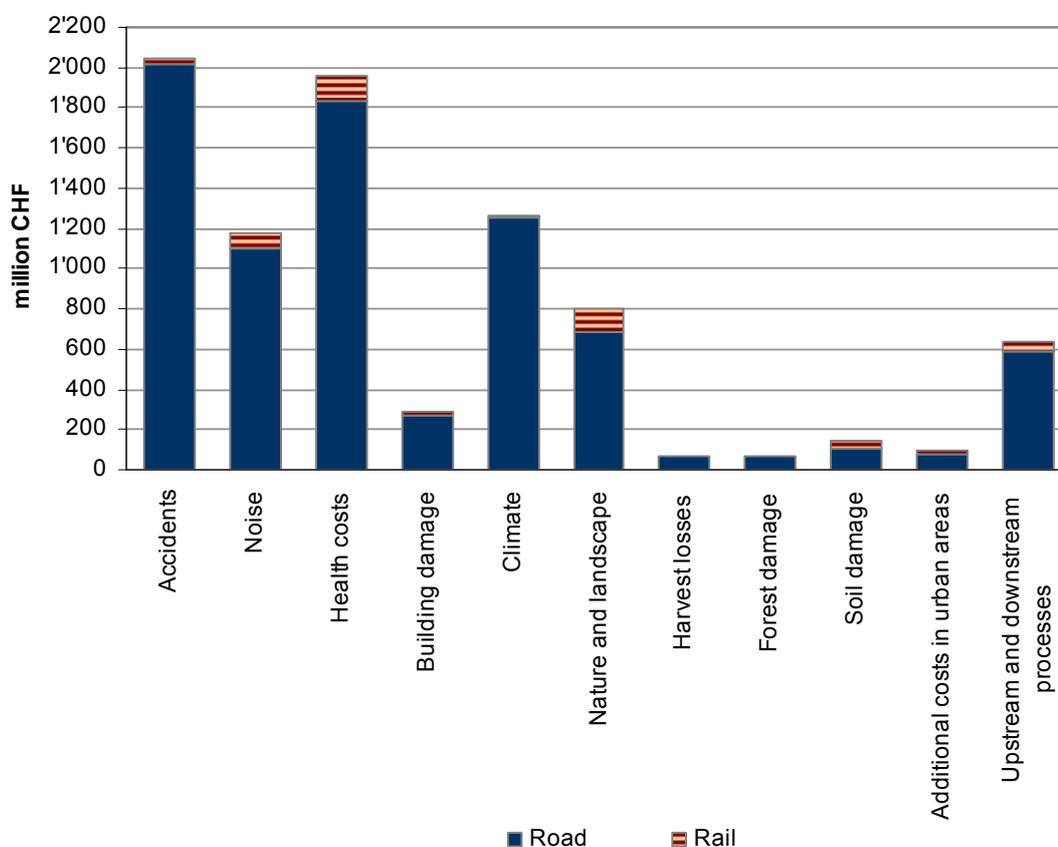
Total transport

Table 1 and figure 2 show the key results (basic calculation). In total transport, external costs amount to CHF 8.53 billion. Around 95% of these costs are caused by road transport, with only 5% generated by rail transport.

Table 1: External costs of transport in 2005 in million CHF (basic calculation)

	Road	Rail	Total	Total in %
Accidents (view of transport carriers)	2'017	30	2,047	24.0%
Noise	1,101	74	1,174	13.8%
Health costs of air pollution	1,834	120	1,954	22.9%
Building damage	274	15	289	3.4%
Climate	1,256	7	1,264	14.8%
Nature and landscape	687	110	797	9.3%
Harvest losses	63	2	65	0.8%
Damage to forests	64	2	66	0.8%
Soil contamination	107	33	140	1.6%
Additional costs in urban areas	78	20	99	1.2%
Up- and downstream processes	593	41	634	7.4%
Total	8,074	455	8,529	100.0%
Percentage	94.7%	5.3%	100.0%	

In terms of the relative importance of the different areas, accident costs and health costs of air pollution are the most significant, together accounting for 47% of costs (CHF 4.0 billion). Climate and noise each account for 14% (CHF 1.2 billion).

Figure 2: External costs of transport in 2005 in million CHF

Road transport

In table 2 the road transport results are split according to the individual vehicle categories. Passenger transport accounts for 76% of the costs, or CHF 6,134 million, while freight transport accounts for 24% or CHF 1,941 million. In terms of individual vehicle categories, cars are the most significant category, accounting for 57% of costs, followed by heavy goods vehicles with 10%, motorised two-wheel vehicles (motorbikes and mopeds) with 9%, delivery vans with 8% and bicycles and articulated lorries with 6% each.

Table 2: External costs of road transport in 2005 in million CHF

Passenger transport	Car	Bus	Trolley	Tram	Coach	MB	Mo-ped	Cycle	Pede-strian	Total
Accidents (view of transport system)	884		8		19	271	128	476	106	1'893
Noise	501	25	0.3	1	12	227	1	0	0	768
Health costs of air pollution	922	66	6	n.a.	16	38		n.a.	0	1'047
Building damage	127	9	n.a.	n.a.	2	5		n.a.	0	144
Climate	981	23	n.a.	n.a.	8	19		0	0	1'030
Nature and landscape	575	5	0	0	2	9		0	0	592
Harvest losses	26	4	n.a.	n.a.	1	1		0	0	33
Forest damage	27	4	n.a.	n.a.	1	1		0	0	34
Soil damage	54	4	n.a.	n.a.	2	1		0	0	61
Additional costs in urban areas	65	1	n.a.	n.a.	0.2	2		0	0	68
Up- and downstream processes	438	8	n.a.	n.a.	3	17		n.a.	0	466
Total	4'599		164.8		67	721		476	106	6'134
Percentage of road total	57.0%		2.0%		0.8%	8.9%		5.9%	1.3%	76.0%

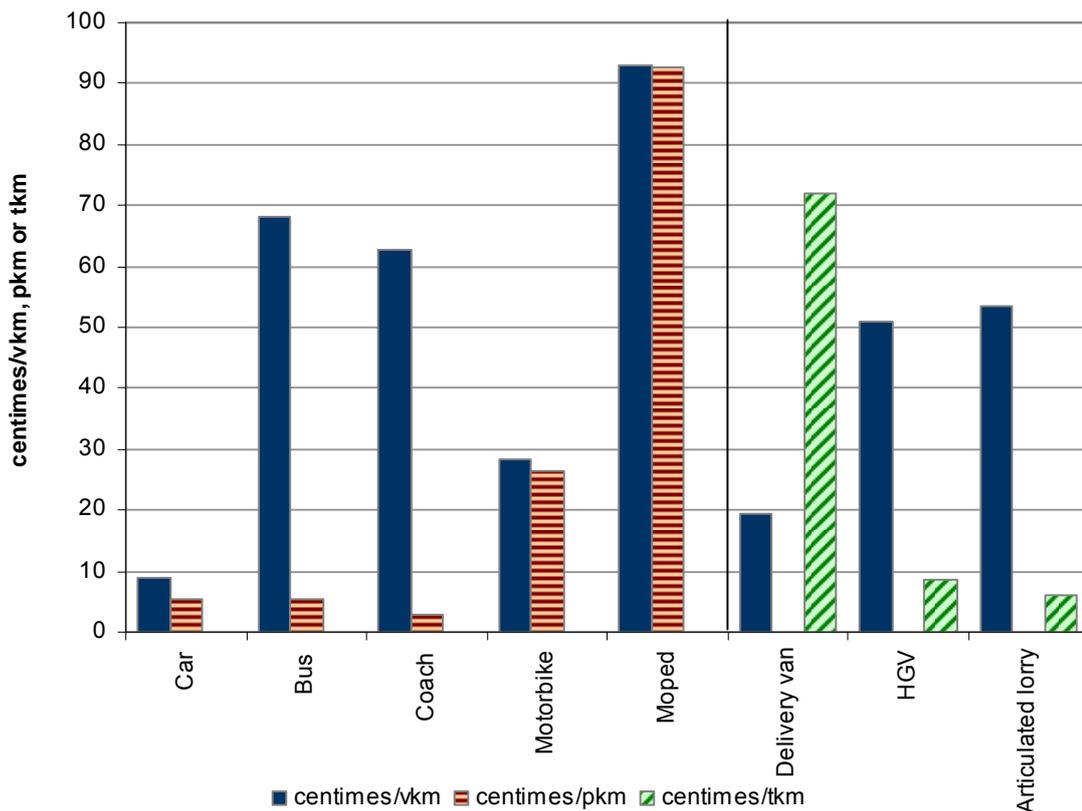
Freight transport	DV	HGV	AL	Tractor, mach.	Total	Total (PT + FT)
Accidents (view of transport system)	63	30	16	16	124	2'017
Noise	98	157	78	~0	333	1'101
Health costs of air pollution	252	353	182	n.a.	787	1'834
Building damage	42	58	30	n.a.	130	274
Climate	81	95	50	n.a.	226	1'256
Nature and landscape	39	35	22	n.a.	95	687
Harvest losses	6	17	8	n.a.	31	63
Forest damage	6	17	8	n.a.	31	64
Soil damage	9	24	13	n.a.	46	107
Additional costs in urban areas	6	3	2	n.a.	10	78
Up- and downstream processes	40	53	34	n.a.	127	593
Total	642	840	443	16	1'941	8'074
Percentage of road total	8.0%	10.4%	5.5%	0.2%	24.0%	100%

n.a.= not available, bus = public bus, coach = private coach, MB = motorbike, DV = delivery van, HGV = heavy goods vehicle, AL = articulated lorry, PT = passenger transport, FT= freight transport.

The following figure shows the costs per vehicle kilometre (vkm) and tonne-kilometre (tkm). Cars have the lowest cost per vkm at 9 centimes/vkm, followed by delivery vans with 19 centimes/vkm. Motorbikes and mopeds generate much higher costs, at 28 and 93 centimes/vkm respectively, which can be ascribed to the much higher accident costs (especially for mopeds) and the high noise costs associated with motorbikes. The larger vehicles – buses, coaches, HGVs and articulated lorries – generate costs of between 51 and 68 centimes/vkm.

Figure 3 also shows that, in terms of passenger-kilometres (pkm), coaches have the lowest costs at 3.0 centimes/pkm, followed by buses and cars, each with 5.5 centimes/pkm. Motorbikes (26 centimes/pkm) and particularly mopeds (93 centimes/pkm) generate much higher external costs, again largely because of the high accident and noise costs. In freight transport the costs are calculated based on tonne-kilometres. The HGVs and articulated lorries used for freight transport generate much lower costs (9 and 6 centimes/tkm respectively) than the delivery vans (72 centimes/tkm).

Figure 3: External costs of road transport in centimes per vkm, pkm and tkm



Rail transport

Table 3 shows the results for rail transport. Overall, this sector generates external costs of CHF 455 million. Of this, 56% or CHF 254 million is attributable to passenger transport, 39%

or CHF 176 million to freight transport and 6% or CHF 26 million to accidents caused by third parties (e.g. passengers).

Table 3: External costs of rail transport in 2005 in million CHF

	Passenger transport	Freight transport	Third-party	Total
Accidents (view of transport system)	2	3	26	30
Noise	53	20	-	74
Health costs of air pollution	55	65	-	120
Building damage	8	7	-	15
Climate	1	6	-	7
Nature and landscape	73	37	-	110
Harvest losses	0	2	-	2
Forest damage	0	2	-	2
Soil damage	21	12	-	33
Additional costs in urban areas	17	4	-	20
Up- and downstream processes	23	18	-	41
Total	254	176	26	455
Percentage of total	55.7%	38.6%	5.6%	100.0%

In the area of rail transport, the most significant costs are the health costs associated with air pollution, at 27%, and the nature and landscape costs, at 24%. Noise is another significant cost component, at 16%.

Based on train kilometres, costs for passenger transport amount to 155 centimes/train km, which is 3.3 times more than the 505 centimes/train km for freight transport.

A **comparison of road and rail transport** shows that in passenger transport the costs per pkm on the road are 3.8 times higher than for rail transport. In freight transport, the road generates costs per tkm that are seven times higher (only the tonnes actually transported are taken into account).

Bandwidths

This is the first time that uncertainties in calculating external costs of transport have been taken into account in such an explicit and systematic manner. The uncertainties are quantified as far as possible. A Monte Carlo simulation (with one million simulations) is used to determine the 95% confidence interval in each case (95% probability that the true result lies within this interval). The main uncertainties are:

- The VOSL (value of statistical life), which is a factor in the areas of accidents, noise and health costs, could be 50% lower or 100% higher.
- Noise: Noise pollution can be estimated only with a high level of uncertainty (approx. -60% to +100% or more). Moreover, the reduction in rent could be 67% lower or 50% higher.

- Health costs of noise and air pollution: The pollution-effect relationships of the nine disease patterns fluctuate by $\pm 15\%$ to -100% and $+196\%$. The lost years of life, which dominate these costs, fluctuate by $\pm 47\%$.
- Climate costs and up- and downstream processes: The calculable damage resulting from one tonne of CO₂ could also be 56% lower or higher. The short-term view gives the lower value, while the long-term view gives the higher value.

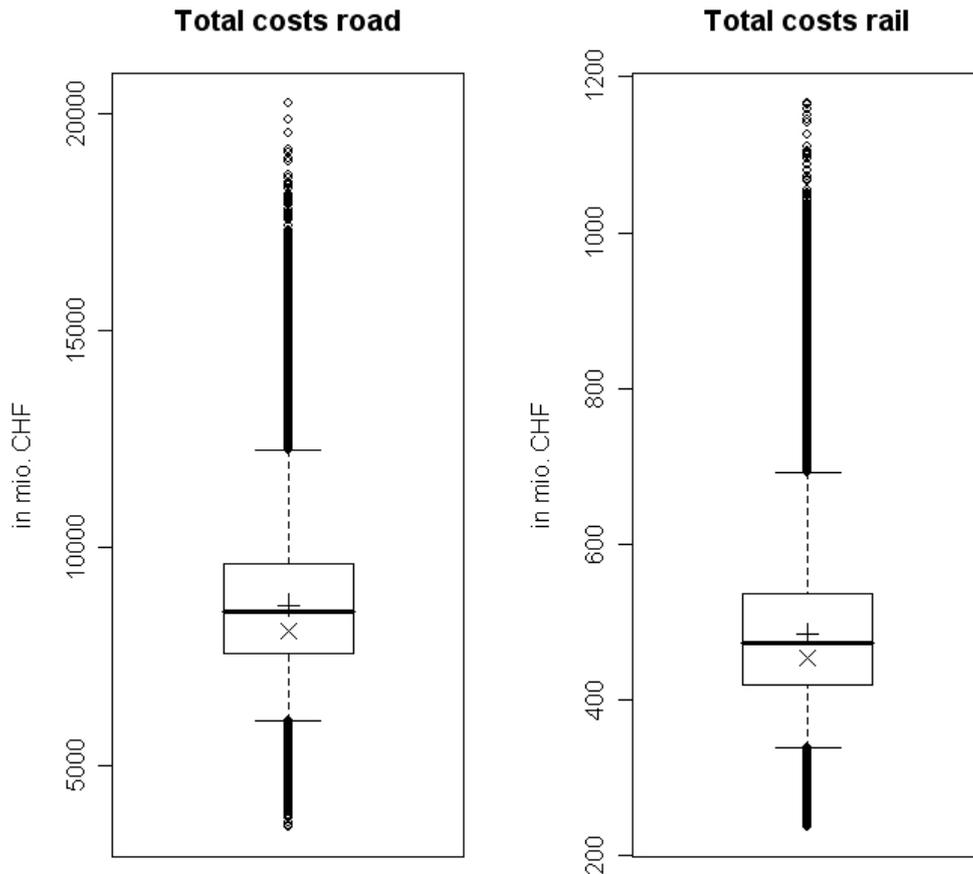
As the following table shows, the 95% confidence interval for **road transport is between CHF 6.0 billion and CHF 12.2 billion** (fluctuation range -25% and $+52\%$). In **rail transport** the external costs are between **CHF 329 million and 708 million** (fluctuation range -28% and $+56\%$). The external costs of total transport are therefore between CHF 6.4 billion and 12.9 billion (fluctuation range -25% and $+52\%$). This means that the fluctuation ranges in road and rail transport are smaller than in most individual areas because high results in one external effect are balanced out somewhat by low results for another.

Table 4: Results of the Monte Carlo simulations for external costs in million CHF

	Basic calculation	95% confidence interval	95% confidence interval
Road transport			
Accidents (view of transport system)	2'017	1'271 - 3'592	-37% - 78%
Noise	1'101	367 - 2'587	-67% - 135%
Health costs of air pollution	1'834	885 - 3'974	-52% - 117%
Air pollution damage to buildings	274	169 - 391	-38% - 43%
Climate	1'256	558 - 1'963	-56% - 56%
Nature and landscape	687	483 - 891	-30% - 30%
Harvest losses	63	45 - 83	-29% - 32%
Forest damage	64	41 - 95	-37% - 48%
Soil damage	107	47 - 225	-56% - 110%
Additional costs in urban areas	78	35 - 132	-55% - 69%
Up- and downstream processes	593	262 - 934	-56% - 58%
Total	8'074	6'021 - 12'247	-25% - 52%
Rail transport			
Accidents (view of transport system)	30	20 - 49	-31% - 65%
Noise	74	31 - 160	-58% - 117%
Health costs of air pollution	120	58 - 261	-52% - 117%
Air pollution damage to buildings	15	9 - 22	-39% - 43%
Climate	7	3 - 11	-56% - 56%
Nature and landscape	110	78 - 142	-29% - 29%
Harvest losses	1.8	1.3 - 2.3	-29% - 32%
Forest damage	1.8	1.1 - 2.6	-36% - 48%
Soil damage	33	12 - 74	-65% - 124%
Additional costs in urban areas	20	9 - 34	-55% - 69%
Up- and downstream processes	41	18 - 66	-56% - 60%
Total	455	329 - 708	-28% - 56%
Total transport	8'529	6'378 - 12'934	-25% - 52%

Figure 4 shows that the distribution of costs is positively skewed; the fluctuation range is greater towards the top than towards the bottom. This applies not only to the 95% confidence interval, but also to the outliers outside this interval – these are close to the interval boundary at the bottom, but some of the outliers at the top end are significantly above the interval. The figure also shows that the basic calculation in road and rail transport is lower than the median and the mean of the distribution and therefore represents a cautious estimate.

Figure 4: Results of the Monte Carlo simulations for external costs in million CHF



Explanation: The border of the rectangular box represents the 25%/75% quantile, i.e. 50% of all simulations fall within the box. The line within the box is the median (=50% quantile), the '+' sign shows the mean value and the 'x' sign shows the result of the basic calculation. The lower/upper horizontal lines either end of the dotted line ('whiskers') are the 2.5% and 97.5% quantiles – so 95% of simulations lie between these values. The circles outside the horizontal lines represent outliers (since one million simulations were carried out, there is a relatively high number of outliers).

Additional underestimates

Not all uncertainties can be quantified and integrated into the Monte Carlo simulation. The values and bandwidths shown above **underestimate the true costs** for the following reasons:

- General: In many areas, **cautious** estimates were used in line with the “at least” approach when **selecting cost rates**, even though much higher cost rates could be justified in some cases.
- Accidents: In **rail transport** the accident event (especially the **property damage**) is still not fully recorded.
- Noise: The study looked **only** at the effects of **noise at the place of residence**. Other noise costs were not taken into account (impact of noise in nature reserves and recreational areas, at places of work and at school, losses arising from the exclusion or non-inclusion of land in zoning plans, costs of noise protection measures, costs of attempts to escape noise, and construction noise).
- Noise: If the **minimum noise level**, below which no rent losses occur, were to be reduced from 55 dB(A) to 50 dB(A) – which is sometimes recommended – the noise costs would just about double.
- Air: The health impacts of **ozone** are not quantified in this study, since the ozone exposure data required to calculate the health impacts are not available. Including these effects would probably increase the health costs by around 10%.
- Climate: Imponderable **major risks** (e.g. irreversible climate shocks, such as a redirection of the Gulf Stream) are not taken into account in the calculations.
- **Up- and downstream processes**: In the case of up- and downstream processes, only emissions of greenhouse gases are taken into account. Emissions of other air pollutants and any damage caused to waterbodies or the soil cannot be quantified on the basis of the data available.

Comparison with previous results for the year 2000

As the following table shows, the calculations of external costs of **road transport** have **increased by 25%** between 2000 and 2005 (from CHF 6,451 million to 8,074 million), while the calculated external costs of **rail transport** have gone up by only **9%** (from CHF 417 million to 455 million). However, it should be stressed that these increases reflect both real changes (e.g. prices, population growth) and methodological adjustments (e.g. Swiss noise database “SonBase”, adjustment of cost rate per tonne of CO₂ because of new research findings). This means that the increases should not simply be extrapolated into the future. The most important reasons for the increase in the external costs can be summarised as follows:

Table 5: Comparison of external costs in 2000 and 2005 in million CHF

	2000	2005	Change
Road transport	6'451.1	8'074.3	25.2%
Rail transport	417.3	455.0	9.0%

- General: The prices adjustments between 2000 and 2005 lead to approx. 8% higher costs. Adjusted for price increases, the costs for rail transport have remained about constant. The net loss of production (as a component of accident costs, noise costs and health costs) increase by an additional 18%, since the Swiss Federal Statistical Office now takes into account company pension claims as well.
- Accidents: Property damage in rail transport is now recorded in much greater detail.
- Noise: The Swiss noise database "SonBase" shows much higher noise pollution levels for road transport than the previous projections, but much lower levels for rail transport. Moreover, based on new studies, the reduction in rent per dB(A) of noise has been reduced by 25%.
- Health costs: Population growth and higher life expectancy both lead to higher health costs from air pollution.
- Building damage: Increase in exposed facade area because of construction activity.
- Climate: Increase in cost rate per tonne of CO₂ based on recent international studies relating to damage scenarios (e.g. Stern Report and IPCC) and new calculations for avoidance scenarios for European climate policy.

In addition to the change in costs, the way in which environmental pollution has changed between 2000 and 2005 is also of interest. The following summary reflects only the real changes (methodological adjustments were not taken into account in this comparison):

- Accidents: The number of people injured or killed in road transport has fallen by 13% and 30% respectively. In rail transport the casualty figures fluctuated quite significantly over the years. In 2005 there were somewhat more fatalities, but far fewer cases of severe injury than in 2000.
- Noise: In the noise category, it is not possible to make any meaningful statements about the quantitative change in noise pollution because a completely new data base was used. In qualitative terms, on the one hand a reduction in noise pollution in road transport is to be expected because of noise remediation (noise barriers and low-noise surfaces). On the other hand, increases in traffic volumes and population size and larger, noisier cars are raising the general level of noise. Additional surveys would have to be conducted to determine which effect is stronger. By contrast, noise emissions in rail transport have declined in spite of higher traffic levels. This is due to the noise remediation of train carriages (especially in passenger services, but also in freight transportation) and to the construction of noise barriers.
- Health impacts and building damage through air pollution: Despite a slight reduction in PM10 emissions, atmospheric pollution shows a slight increase between 2000 and 2005

as a result of weather conditions and probably also because the actual reduction in emissions was overestimated. In addition, more people/buildings are now exposed to the pollution.

- Climate: Greenhouse gas emissions in road transport fell by 2.8% between 2000 and 2005, but rose by 5.8% in rail transport.
- Nature and landscape: Because of new infrastructure, pollution of nature and landscape has increased slightly.
- Harvest losses and forest damage: NO_x emissions in road and rail transport have fallen by 25% and 10% respectively.
- Soil damage: Heavy metal emissions have decreased by 2% in road transport, but increased by 15% in rail transport.
- Additional costs in urban areas: The number of people affected has increased by 3%.
- Up- and downstream processes: Greenhouse gas emissions of up- and downstream processes have remained constant in the area of road transport, and reduced by 23% in rail transport.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Gemäss Artikel 7 des Gesetzes über die leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe vom 19. Dezember 1997 sind die externen Kosten und Nutzen des Verkehrs regelmässig aufzudatieren. Die Methodik der Aufdatierung muss dem jeweiligen Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse entsprechen.

Ausserdem haben die Bundesämter für Statistik und Raumentwicklung im Herbst 2006 erstmals eine integrale Transportrechnung für die Verkehrsträger Strasse und Schiene für das Jahr 2003 erstellt. Aufgrund des grossen Interesses an dieser Verkehrsträgerrechnung soll diese Rechnung, die neben den externen Kosten auch Betriebs- und Infrastrukturkosten enthält, für das Stichjahr 2005 aufdatiert werden (die Publikation der Transportkostenrechnung 2005 ist Ende 2008 vorgesehen).

Aus diesen beiden Gründen sind die bisherigen Berechnungen zu den externen Kosten des Verkehrs zu aktualisieren.

1.2 Zielsetzung

Das **Ziel** der vorliegenden Arbeit ist es, die vorhandenen Studien¹ zu den **externen Kosten des Verkehrs** des Jahres 2000 (Ausnahme Unfälle 1998) **auf das Jahr 2005 aufzudatieren**. Dabei sind folgende Bereiche zu aktualisieren:²

- Unfälle
- Lärm
- Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung
- Gebäudeschäden durch Luftverschmutzung
- Klima
- Natur und Landschaft
- Weitere externe Kosten (Ernteauffälle, Waldschäden, Bodenschäden, Zusatzkosten in städtischen Räumen, Kosten in vor- und nachgelagerten Prozessen)

¹ Ecoplan (2002), Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr der Schweiz 1998, Ecoplan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz, Infrac und Wüest & Partner (2004), Verkehrsbedingte Gebäudeschäden, Infrac (2006), Externe Kosten des Strassen und Schienenverkehrs 2000. Klima und nicht erfasste Umweltbereiche sowie vor- und nachgelagerte Prozesse sowie Econcept, Nateco (2004), Externe Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft.

² Nicht zu berücksichtigen sind hingegen die Staukosten, da diese für das Jahr 2005 bereits vorliegen (Infrac 2007, Staukosten des Strassenverkehrs in der Schweiz).

Die Aufdatierung der externen Kosten auf das Jahr 2005 erfolgt für die Verkehrsträger **Strasse** und **Schiene** separat. Die Kosten werden **differenziert nach Personen- und Güterverkehr** dargestellt. Für den Strassenverkehr wird zusätzlich eine Aufteilung der Kosten für verschiedene Fahrzeugkategorien vorgenommen.

Aufgrund der beschränkten finanziellen Ressourcen ist die Aufdatierung in vereinfachter Form durchzuführen. Aus diesem Grund muss auf verschiedene umfangreiche empirische Analysen, wie sie in den Studien für das Stichjahr 2000 durchgeführt wurden, verzichtet werden. Der Schwerpunkt wird vielmehr auf eine transparente Methodik für die Aktualisierung der wichtigsten Kostentreiber gelegt. Zudem gilt es neuste Forschungsergebnisse auszuwerten und neue Datenquellen zu nutzen.

Ein weiterer Schwerpunkt dieses Projektes liegt auf dem Ausweis von **Bandbreiten**. Bei den Basisberechnungen für das Jahr 2000 wurden die Ergebnisse meist als Punktschätzung ausgewiesen und die Unsicherheiten im Rahmen von Sensitivitätsanalysen diskutiert. Im Rahmen der Aktualisierung wird nun die Thematik der Bandbreiten vertieft angegangen. Ziel ist es, für jeden Kostenbereich einzeln und für das Gesamttotal der Berechnungen die Bandbreiten der Schätzungen soweit wie möglich quantitativ auszuweisen. Dazu wird eine Monte-Carlo-Simulation eingesetzt (vgl. Kapitel 2.5). Zudem werden auch zusätzliche potenzielle Unter- und Überschätzungen qualitativ erläutert, welche nicht Eingang in die Ermittlung der Bandbreiten finden (z.B. Vernachlässigung der Gesundheitsschäden durch Ozon).

1.3 Aufbau des Berichtes

Im Kapitel 2 wird das grundsätzliche methodische Vorgehen erläutert. Dabei wird auf die Methodik bei der Berechnung und Aktualisierung der externen Kosten eingegangen. Ausführlich wird auch der Umgang mit den Unsicherheiten diskutiert und aufgezeigt, wie die Bandbreiten der Resultate mittels einer Monte-Carlo-Simulation berechnet werden.

In den Kapiteln 1 bis 9 werden die Berechnungen bzw. Aktualisierungen zu den einzelnen Kostenbereichen durchgeführt (Unfälle, Lärm, Luftverschmutzung (Gesundheitskosten und Gebäudeschäden), Klima, Natur und Landschaft sowie weitere externe Kosten). Die Erläuterungen erfolgen für jeden Bereich nach folgender Struktur: Im Kapitel X.1 wird die Bewertungsmethodik kurz beschrieben. Im Kapitel X.2 werden die wichtigsten Erkenntnisse aus der nationalen und internationalen Forschung zusammengefasst. Dann folgt in den Kapiteln X.3 und X.4 die Beschreibung des aktualisierten Mengen- und Wertgerüsts. Die Ergebnisse der Aufdatierung werden im Kapitel X.5 dargestellt und in Kapitel X.6 werden die dazugehörigen Bandbreiten ermittelt sowie weitere Unsicherheiten diskutiert. Im Kapitel X.7 folgt abschliessend ein Vergleich mit der Schätzung für das Jahr 2000.

Schliesslich werden im Kapitel 10 die Ergebnisse aus den verschiedenen Bereichen zusammenfassend dargestellt. Die für den Strassen- und Schienenverkehr ausgewiesenen Gesamtkosten werden mit einer detaillierten Darstellung der Bandbreiten ergänzt. Ausserdem werden die Resultate auch in Kosten pro Kilometer ausgewiesen.

1.4 Dank

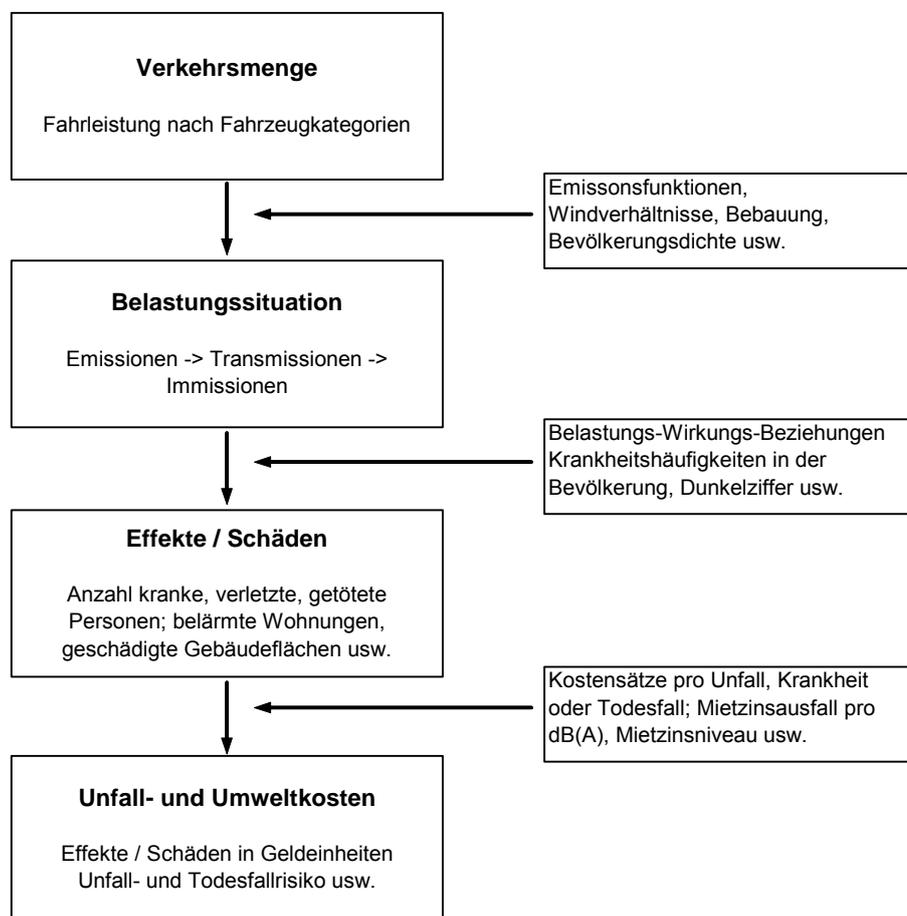
Allen Personen und Institutionen, welche die Untersuchungen in irgendeiner Form unterstützt haben, danken wir an dieser Stelle bestens. Zu besonderem Dank verpflichtet sind wir Prof. Andrea Baranzini (Haute école de gestion, Genf), sowie diversen Datenlieferanten des BFS, BAV und BAFU.

2 Methodisches Vorgehen

2.1 Methodisches Vorgehen bei der Berechnung der Kosten

Die Methodik zur Aktualisierung der externen Kosten des Verkehrs orientiert sich an den Vorgehensweisen, wie sie in den bisherigen Studien für das Jahr 2000 verwendet wurden. Die allgemeine Systematik zur Berechnung der externen Kosten wird in der folgenden Grafik dargestellt:

Grafik 2-1: Allgemeine Systematik zur Berechnung von Unfall- und Umweltkosten



- Ausgangslage bildet die Verkehrsmenge bzw. die Fahrleistungen im Strassen- und Schienenverkehr.
- Daraus wird die Belastungssituation abgeschätzt. Je nach Kostenbereich sind für diese Schätzungen Emissionsfunktionen, Windverhältnisse, Bevölkerungsdichte, Bebauung, Lärmschutzwände, Aufteilungen nach Verletzungsschwere etc. nötig.
- In einem nächsten Schritt werden die daraus resultierenden Effekte bzw. Schäden ermittelt. Dabei handelt es sich je nach Kostenbereich z.B. um die Zahl der zusätzlichen kran-

ken, verletzten oder getöteten Personen, um die Anzahl belärmter Wohnungen oder um das Ausmass geschädigter Gebäudeflächen. Um diese Effekte bestimmen zu können, werden Belastungs-Wirkungs-Beziehungen, Krankheitshäufigkeiten in der Bevölkerung, Dunkelziffern, Überlebenswahrscheinlichkeiten und weitere Grundlagen verwendet.

- Schliesslich werden die Schäden in Geldeinheiten quantifiziert. Dazu werden je nach Kostenbereich spezifische Kostensätze pro Unfall, Verletzten, Getöteten, Krankheitsfall, verlorenes Lebensjahr oder Mietzinsausfälle ermittelt und mit den ermittelten Schäden verknüpft.

2.2 Allgemeine Festlegungen

Einige grundlegende Vorgaben, die für alle Kostenbereiche gelten, werden aus den bisherigen Studien für das Jahr 2000 übernommen:

- Für die internationale Vergleichbarkeit der Ergebnisse werden sämtliche Kostenberechnungen auf der Basis von **Faktorkosten** vorgenommen. Als Faktorkosten werden die Kosten ohne indirekte Steuern (z.B. MWST) bezeichnet. Die Faktorkosten liegen durchschnittlich 7.7% unter den Marktpreisen.
- Die Berechnung der Kosten erfolgt in allen Bereichen nach dem **Territorialprinzip**: Es werden die Kosten in der Schweiz ermittelt, welche durch den Strassen- und Schienenverkehr verursacht werden. Es wird also untersucht, wie stark in der Schweiz die Lebensqualität durch den Strassen- und Schienenverkehr beeinträchtigt wird. Im Bereich der Klimakosten werden die Treibhausgasemissionen nach dem Territorialprinzip bestimmt, die Klimafolgeschäden, die sich in den Kostensätzen widerspiegeln, umfassen jedoch nicht ausschliesslich Schäden, die in der Schweiz auftreten werden.
- Bei der Berechnungen der Kosten des Jahres 2005 werden auch jene Kosten berücksichtigt, welche erst nach dem Jahr 2005 anfallen (z.B. medizinische Behandlungskosten, Produktionsausfall usw.). Wenn im Folgenden also von Kosten gesprochen wird, dann sind damit immer alle **Folgekosten** (auch die zukünftigen) der Belastungen des Jahres 2005 gemeint.
- Bei den in diesem Bericht hergeleiteten Kosten handelt es sich um sogenannte **externe Kosten**: Als externe Kosten wird jener Teil der Kosten bezeichnet, der nicht von den Verursachenden, sondern von anderen getragen wird.³ Die Lärmbelastung und Luftverschmutzung gelten als typische Beispiele für externe Kosten: Sie werden durch die Verkehrsteilnehmenden verursacht, belasten aber die AnwohnerInnen (Lärm) bzw. die gesamte Gesellschaft (Luftverschmutzung). Somit werden die Kosten nicht von den Verkehrsteilnehmenden bezahlt.⁴

³ Im Gegensatz zu den externen Kosten werden die internen Kosten von den Verkehrsteilnehmenden selbst bezahlt (z.B. Benzinkosten, Zeitaufwand etc.).

⁴ Erst ansatzweise werden die externen Kosten internalisiert wie z.B. mit der LSVA (leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe).

2.3 Methodisches Vorgehen bei der Aktualisierung der Kosten

Bei der Aktualisierung der Berechnungen für das Jahr 2000 auf 2005 werden prinzipiell die Berechnungen für das Jahr 2000 wiederverwendet und so weit als möglich alle Grundlagen aktualisiert. Bei einigen wenigen Daten wird jedoch aufgrund des sehr grossen Aufwandes und der beschränkten Ressourcen auf eine Aktualisierung verzichtet.

Schwerpunkt der Aufdatierung sind die verschiedenen Mengen- und Wertgerüste der jeweiligen Kostenkategorien. Dies wird in den folgenden Kapiteln 1 – 9 jeweils einzeln erläutert.

2.4 Neue Erkenntnisse aus der nationalen und internationalen Forschung

Im Rahmen der Aktualisierung gilt es auch die neuen Erkenntnisse auf nationaler und internationaler Ebene zu berücksichtigen. Auf EU-Ebene wurden in der Zwischenzeit verschiedene Forschungsprojekte im Bereich externe Kosten des Verkehrs durchgeführt. Hierbei sind vor allem folgende Projekte zu nennen:

- IMPACT⁵: Ziel des Projekts ist die Entwicklung eines Handbuchs für die Kostenberechnung basierend auf aktuellen Forschungsergebnissen und die Evaluation der Auswirkungen verschiedener Internalisierungsstrategien. Im Handbuch für die Quantifizierung der wichtigsten externen Kostenbereiche werden die aktuellen Forschungsergebnisse insbesondere im Bereich der Klimakosten wie auch der Gesundheitskosten zusammengefasst und Kostensätze für 27 EU-Länder abgeleitet. Der Fokus der Arbeiten liegt dabei auf den Grenzkosten pro zusätzlichen Fahrzeugkilometer und nicht – wie in dieser Studie – auf den gesamten Kosten in einem Land.
- HEATCO⁶: Im HEATCO-Projekt liegt der Fokus auf harmonisierten Richtlinien für die Kostenberechnung sowie auf der Schaffung von Grundlagen und Kostenindikatoren für die Kosten-Nutzen-Analyse von Infrastrukturprojekten.
- CAFE CBA⁷: Im Rahmen des Programms 'Clean Air for Europe (CAFE)' wurde der aktuelle Stand der Forschung bei den Gesundheitskosten durch Luftschadstoffe aufgearbeitet und Schadenskostensätze für verschiedene Luftschadstoffe abgeleitet. Der Schwerpunkt des Projekts lag v.a. auf dem Einbezug der neuen epidemiologischen Erkenntnisse sowie neuerer Resultate für die Bewertung des Value of statistical Life (VOSL).

In der nationalen Forschung konnten in verschiedenen Bereichen gegenüber dem Stand 2000 wesentliche Fortschritte erzielt werden, die für die Aktualisierung der Berechnungen vollumfänglich genutzt werden. Besonders zu erwähnen sind folgende Punkte:

⁵ Infrac / CE Delft et al. (2007), IMPACT: Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport.

⁶ HEATCO: Developing Harmonised European Approaches for Transport costing and Project Assessment, insbesondere Bickel et al. (2006), HEATCO D5: Proposal for Harmonized Guidelines.

⁷ AEA (2005), Methodology for the Cost-Benefit analysis for CAFE. Volume 1 und Volume 2.

- Im Bereich Lärm steht mit SonBase ein neues Berechnungstool zur Verfügung, mit dem erstmals die verkehrliche Lärmbelastung in der Schweiz umfassend abgebildet werden kann.
- Das BAV hat eine Datenbank zum Unfallgeschehen im Schienenverkehr aufgebaut. Während bisher mit aggregierten Zahlen gerechnet werden musste, liegen nun viel genauere Daten vor. Zudem werden neu auch Leichtverletzte ausgewiesen und die Sachschäden werden umfassender erfasst als bisher.
- Im Bereich der Bewertung der Mietzinsverluste durch den Lärm sind in den vergangenen Jahren diverse Studien für die Schweiz erschienen, die neue Erkenntnisse zum Einfluss des Lärms auf die Mietzins ermöglichen.
- Die volkswirtschaftlichen Kosten von Strassenverkehrs-, Sport-, Haus- und Freizeitunfällen in der Schweiz im Jahr 2003 wurden im Rahmen einer Studie für die Beratungsstelle für Unfallverhütung (bfu) ermittelt.⁸ Dabei wurden vor allem Fortschritte in der Abstufung der Verletzungsschwere gemacht und das Wertgerüst wurde überarbeitet.
- Für die Klimakosten wurden neben dem 4. Sachstandsbericht des IPCC sowie des Stern Reviews zahlreiche neue Resultate zu Schadens- und Vermeidungskosten publiziert sowie Reduktionsziele für den Post-Kyoto-Prozess definiert und diskutiert.
- Im Bereich der Schwermetallemissionen der Bahnen wurde durch die EAWAG eine aktuelle Studie mit den Gesamtemissionen publiziert.⁹

2.5 Umgang mit Unsicherheiten und Ausweis von Bandbreiten

2.5.1 Einleitung

Wie in Kapitel 1.1 erwähnt ist ein Ziel der vorliegenden Aktualisierung, Bandbreiten für die Kostenschätzungen auszuweisen. Wie dies geschehen soll, wird im Folgenden erläutert.

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

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

⁸⁸ Ecoplan (2007), Volkswirtschaftliche Kosten der Nichtberufsunfälle in der Schweiz in der Schweiz: Strassenverkehr, Sport, Haus und Freizeit.

⁹ Burkhardt et al. (2008), Diffuse release of environmental hazards by railways.

Je nach Wissenstand stehen verschiedene Möglichkeiten zum Umgang mit Unsicherheiten zur Verfügung, welche in Tabelle 2-1 im Überblick dargestellt sind und im Folgenden erläutert werden.

Tabelle 2-1: Wissenstand und Umgang mit Unsicherheiten

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

a) Gesichertes Wissen

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

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

b) Wissen mit Unsicherheiten

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

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

- **Best guess Ansatz:** Bei diesem Ansatz wird für die weiteren Berechnungsschritte ein Punktwert verwendet, welcher auf einem „best guess“ Vorgehen beruht. Für die Ermittlung des „best guess“ können unterschiedliche Methoden verwendet werden, so z.B. eine qualitative Einschätzung der vorliegenden Arbeiten, eine mit statistischen Verfahren durchgeführte Meta-Analyse oder eine Abstützung auf bestimmte Autoren oder Studien, die als

wissenschaftlich besonders gut angesehen werden und / oder sich genau auf den untersuchten Kontext beziehen.

- **At least Ansatz:** Alternativ kann ein Wert gewählt werden, der im unteren Bandbereich der bekannten Ergebnisse liegt. Mit diesem Vorgehen soll sichergestellt werden, dass die tatsächlichen Kosten nicht überschätzt werden, sondern die ausgewiesenen Ergebnisse vielmehr als „mindestens zu erwartende“ Kosten interpretiert werden können. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von einem „at least Ansatz“.
- **Bandbreiten (oder Konfidenzintervalle):** Bei diesem Ansatz werden die bestehenden Unsicherheiten in den Berechnungen ausgewiesen. Konkret bedeutet dies, dass die Berechnungen nicht für einen einzelnen Wert, sondern für eine Unter- und Obergrenze durchgeführt werden. Die Wahl der Unter- und Obergrenze erfolgt entweder abgestützt auf Verteilungsfunktionen (z.B. auf dem 95%-Konfidenzintervall) oder wenn diese nicht vorhanden sind bzw. deren Herleitung schwierig ist, ad hoc aufgrund der vorliegenden Studienergebnisse.

c) Geringes oder fehlendes Wissen

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

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

2.5.2 Vorgehenskonzept zum Ausweis der Unsicherheiten pro Kostenbereich

a) Basisrechnung

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

b) Berechnung von Bandbreiten

Die in den Basisberechnungen enthaltenen Unsicherheiten werden im Rahmen dieser Aktualisierung durch Bandbreiten ausgewiesen. Dazu wird wie folgt vorgegangen:

- Für jeden Kostenbereich werden alle wesentlichen Inputdaten für die Basisrechnung aufgeführt und es wird deren Wissenstand (gesichertes Wissen oder Wissen mit Unsicherheiten)

ten) untersucht und tabellarisch dargestellt (vgl. z.B. für den Unfallbereich die Tabelle 3-14 auf Seite 103). Anhand dieser Übersicht werden die wesentlichen Unsicherheiten im jeweiligen Kostenbereich ermittelt.

- Pro Kostenbereich wird anschliessend für die identifizierten Unsicherheiten das Ausmass der Unsicherheit bzw. das 95%-Konfidenzintervall und die dazugehörige Verteilungsfunktion festgelegt. Sind bei einem Parameter keine statistischen Verteilungen bekannt, wird eine Verteilung angenommen (z.B. Normalverteilung). Es ist klar, dass man sich im Rahmen dieses Arbeitsschritts auf jene Unsicherheiten / Annahmen beschränken muss, welche für das Gesamtergebnis im jeweiligen Kostenbereich bedeutend sind (z.B. Unsicherheit grösser als $\pm 15\%$).
- Basierend darauf wird für jeden Kostenbereich eine **Monte-Carlo-Simulation** durchgeführt. Damit wird das **95%-Konfidenzintervall** der Verteilung des Ergebnisses berechnet. Die Monte-Carlo-Simulation wird im anschliessenden Kapitel 2.5.3 genauer erläutert.

Damit wird ein wesentlicher methodischer Fortschritt erzielt. Bisher wurden die Bandbreiten der externen Kosten noch nie ausgewiesen.

c) Ausweis möglicher Über- und Unterschätzungen

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

2.5.3 Die Monte-Carlo-Simulation

Das Kernstück der Berechnung der Bandbreiten ist eine Monte-Carlo-Simulation. Die Monte-Carlo-Simulation ist ein probabilistisches (wahrscheinlichkeitstheoretisches) Verfahren zur quantitativen Risikoabschätzung und wird in der Versicherungsindustrie und oft auch in der Medizin und zur Messung von Umweltbelastungen verwendet. Auch in ähnlichen Arbeiten wie der Vorliegenden wird die Monte-Carlo-Simulation vermehrt eingesetzt.¹⁰

Bei der Berechnung der Monte-Carlo-Analyse wird wie folgt vorgegangen: Die Ausgangslage bilden wie oben beschrieben die Verteilungsfunktionen mehrerer unsicherer Parameter bei der Berechnung der externen Kosten. Für jeden dieser unsicheren Parameter wird eine grosse Anzahl von zufälligen Zahlen aus der jeweiligen Verteilungsfunktion gezogen (Computersimulation). Aus den zufälligen Ergebnissen für die einzelnen Parameter werden in der Folge die sich daraus ergebenden externen Kosten berechnet. Mit zunehmendem Stichprobenumfang konvergieren die Simulationsergebnisse schliesslich gegen die gesuchte Verteilung der externen Kosten (Gesetz der grossen Zahlen). Für diesen Bericht führen wir jeweils **eine**

¹⁰ Siehe z.B. Hubbell et al. (2005), Health-Related Benefits of Attaining the 8-hr Ozone Standard und Vassanadumrongdee und Matsuoka (2005), Risk perceptions and Value of a Statistical Life for Air Pollution and Traffic Accidents, S. 275.

Million Simulationen für jeden unsicheren Parameter durch. Mit dieser sehr grossen Anzahl an Simulationen kann die Verteilung des Endergebnisses relativ genau abgebildet werden. Trotzdem zeigen wiederholte Berechnungen mit je einer Million Simulationen, dass die Ergebnisse sich im Promillebereich verändern. Die Berechnungen werden mit dem Computerprogramm R durchgeführt, das für statistische Berechnungen entwickelt wurde.¹¹ Die Monte-Carlo-Simulation weist einige Vorteile gegenüber alternativen Methoden auf:

- Verknüpfte Wahrscheinlichkeiten führen in einer Monte-Carlo-Simulation nicht dazu, dass das Ergebnis zu grosse Bandbreiten aufweist: Würden einfach alle Unter- und Obergrenzen der unsicheren Parameter miteinander verknüpft, würden sich deutlich grössere Bandbreiten ergeben wie das folgende theoretische Beispiel zeigt: Bei einer einfachen Multiplikation von vier unabhängigen Parametern mit jeweils einer Bandbreite von je $\pm 25\%$ (95%-Konfidenzintervall) würde das Endergebnis bereits in einer Spanne von -68% bis $+144\%$ liegen. Wird hingegen eine Monte-Carlo-Analyse durchgeführt, zeigt sich, dass das 95%-Konfidenzintervall lediglich im Bereich -43% bis $+56\%$ liegt. Der Grund dafür ist, dass sich hohe Ergebnisse beim einen Parameter und tiefe Ergebnisse beim anderen gegenseitig etwas ausgleichen.
- Zudem können mit der Monte-Carlo-Analyse beliebige Verteilungen der Parameter zugrunde gelegt werden. So sind auch rechts- oder linksschiefe Verteilungen (d.h. Verteilungen, deren Unsicherheit gegen oben oder unten grösser ist als in die andere Richtung) möglich. Für eine der wichtigsten Unsicherheiten – den Wert des Value of statistical life (VOSL, vgl. Kapitel 3.6) – benötigen wir eine schiefe Verteilung. Dies wäre mit einer Gauss'sche Fehlerrechnung zwar grundsätzlich auch möglich, aber sehr aufwendig, weil in der Gauss'sche Fehlerrechnung meist mit Normalverteilungen gerechnet wird.

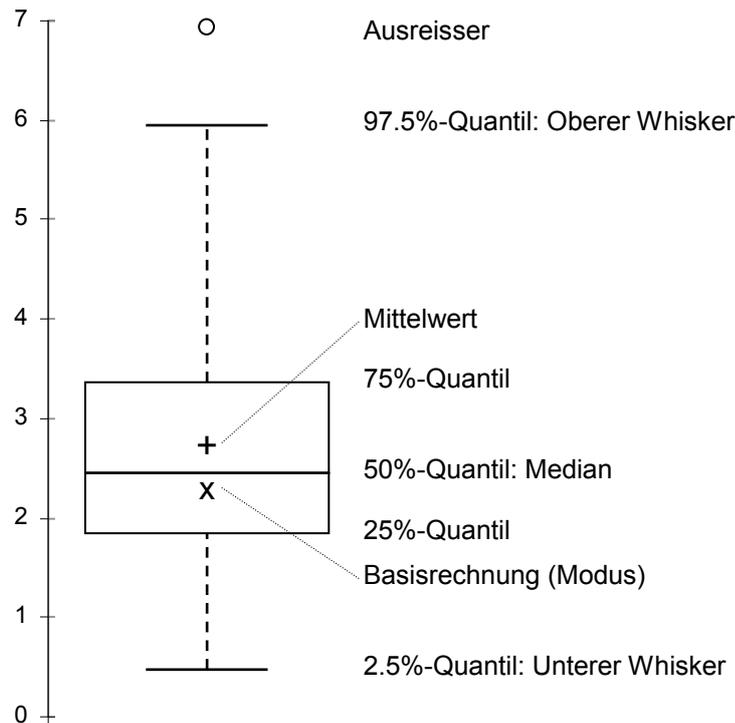
Die Teilergebnisse pro Kostenbereich werden abschliessend im Rahmen einer Monte-Carlo-Simulation zu einem Gesamtergebnis zusammengefasst (vgl. Kapitel 10.5). Mit der Monte-Carlo-Simulation kann dabei insbesondere berücksichtigt werden, dass nicht alle Bestandteile der Kostenberechnungen voneinander unabhängig sind, beispielsweise fliesst der VOSL in die Bereiche Unfälle, Gesundheitsschäden und Lärm ein. Zudem führt die Monte-Carlo-Simulation über alle Kostenbereiche dazu, dass die Bandbreite des Gesamtergebnisses kleiner ist als wenn die Bandbreiten der einzelnen Bereiche miteinander verknüpft würden (analog dazu, dass die Bandbreite der externen Kosten eines Bereiches kleiner ist als die Verbindung der Bandbreiten der einzelnen unsicheren Parameter).

Die Ergebnisse der Monte-Carlo-Analyse werden jeweils tabellarisch dargestellt (vgl. z.B. für den Unfallbereich Tabelle 3-15 auf Seite 106). Ergänzend werden die Ergebnisse auch mit einem **Box-Plot** grafisch dargestellt. Diese Darstellung wird in der folgenden Grafik abgebildet und kann wie folgt erläutert werden:

¹¹ Das Softwarepaket R wurde im Rahmen der Open-Source-Lizenzierung entwickelt. Es wird an vielen Universitäten und Instituten eingesetzt. R wird ständig weiter entwickelt und die aktuelle Version 2.6.1 kann gratis von der Homepage des „R Project for Statistical Computing“ heruntergeladen werden (www.r-project.org 4.2.2008).

- 50% der Werte der Verteilung werden mit einer Box (einem Rechteck) dargestellt. Die Box wird begrenzt durch das 25%- und 75%-Quantil (oder das untere und obere Quartil). Das X%-Quantil zeigt jeweils an, dass X% der Werte der Verteilung unter diesem Wert liegen. In der Grafik 2-2 liegen 50% der Verteilung zwischen 1.8 und 3.3.

Grafik 2-2: Box Plot zur Darstellung der Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation



- In die Box hinein wird der Median abgetragen, der dem 50%-Quantil entspricht. Durch seine Lage innerhalb der Box vermittelt der Median einen Eindruck von der Schiefe der Verteilung. In der Grafik 2-2 wurde eine rechtsschiefe Verteilung dargestellt, in welcher der Median unterhalb der Mitte zwischen dem 25%- und 75%-Quantil liegt.
- Zudem wird auch der Mittelwert der Verteilung als „+“-Zeichen in der Box dargestellt. Bei der rechtsschiefen Verteilung in Grafik 2-2 ist der Mittelwert grösser als der Median.
- Ebenfalls dargestellt wird das Ergebnis der Basisrechnung und zwar als „x“-Zeichen. Dieser Wert entspricht dem Modus (häufigsten Wert) der Verteilung, der bei rechtsschiefen Verteilungen etwas tiefer als Mittelwert und Median ist (at least Ansatz).
- Unterhalb bzw. oberhalb der Box wird noch das 2.5%- und 97.5%-Quantil eingezeichnet. Diese beiden Werte umfassen also das 95%-Konfidenzintervall. Die beiden Quantile werden mit einer gestrichelten Linie mit der Box verbunden. Deshalb nennt man diese grafische Darstellung auch unterer und oberer „Whisker“ (engl. für Barthaar, auch bei Katzen).
- Mit kleinen Kreisen ausserhalb dieser Bandbreiten werden Ausreisser dargestellt, d.h. Werte, die unter dem 2.5% Quantil liegen bzw. über dem 97.5%-Quantil.

3 Unfälle

3.1 Bewertungsmethodik

Ziel im Bereich Unfälle ist es, sowohl die **externen Kosten sämtlicher Strassen- und Schienenverkehrsunfälle im Jahr 2005** zu bestimmen, als auch die **sozialen (volkswirtschaftlichen) Unfallkosten** zu berechnen. Die externen Unfallkosten werden nicht von den Unfallverursachenden, sondern von Dritten getragen (z.B. erhöhte Spitaldefizite durch Behandlungskosten). Die sozialen Kosten umfassen sowohl die externen Kosten als auch die internen Kosten, die vom Unfallverursacher selbst getragen werden (z.B. Sachschäden am eigenen Fahrzeug). Die Basis für die Aktualisierung bilden die Berechnungen von Ecoplan (2004 und 2007)¹² für das Jahr 1998 bzw. 2003.

Als **Verkehrsunfall** wird ein plötzlich auftretendes Ereignis verstanden, "bei dem mindestens ein in Bewegung befindliches Verkehrsmittel beteiligt ist, und das zur Tötung oder Verletzung eines Menschen oder zu einer nicht völlig belanglosen Sachbeschädigung führt".¹³

Für die räumliche Abgrenzung wird grundsätzlich vom **Territorialprinzip** ausgegangen. Berücksichtigt werden dementsprechend alle Verkehrsunfälle in der Schweiz. Es werden nicht nur die Kosten im Jahr 2005 betrachtet, sondern auch alle Folgekosten, die in den Jahren danach anfallen (z.B. Produktionsausfall bei Invaliditätsfall).

Die **Bewertungsmethodik** wird in der folgenden Grafik 3-1 dargestellt. Für die Bewertung wird zuerst das sogenannte **Mengengerüst** erhoben, d.h. es wird untersucht, wie viele Unfälle im Jahr 2005 stattfanden und wie viele Personen dabei verletzt oder getötet wurden. Beim Strassenverkehr ist dabei insbesondere auch der Dunkelziffer Rechnung zu tragen: Nicht alle Unfälle werden polizeilich erfasst. Bei der Bewertung sind aber auch die polizeilich nicht erfassten Unfallopfer mit einzubeziehen.

In einem zweiten Schritt wird das **Wertgerüst** bestimmt, d.h. es werden Kostensätze pro Unfall, Verletzten oder Getöteten ermittelt. Dabei werden folgende Kostenbestandteile berücksichtigt:

- Die **medizinischen Heilungskosten** umfassen die Kosten des Ressourcenaufwands für Pflege und Wiedergenesung (stationäre und ambulante Behandlung, Arzneimittel und Analysen, ärztlich verordneten Nach- und Badekuren, Hilfsmittel und Gegenstände, welche der Heilung dienen).
- Der **Produktionsausfall** entsteht infolge von dauerhafter oder vorübergehender Arbeitsunfähigkeit der Unfallopfer. Zur Bestimmung der volkswirtschaftlichen Kosten wird der Nettoproduktionsausfall (Bruttoproduktionsausfall abzüglich Eigenkonsum) ermittelt. Der

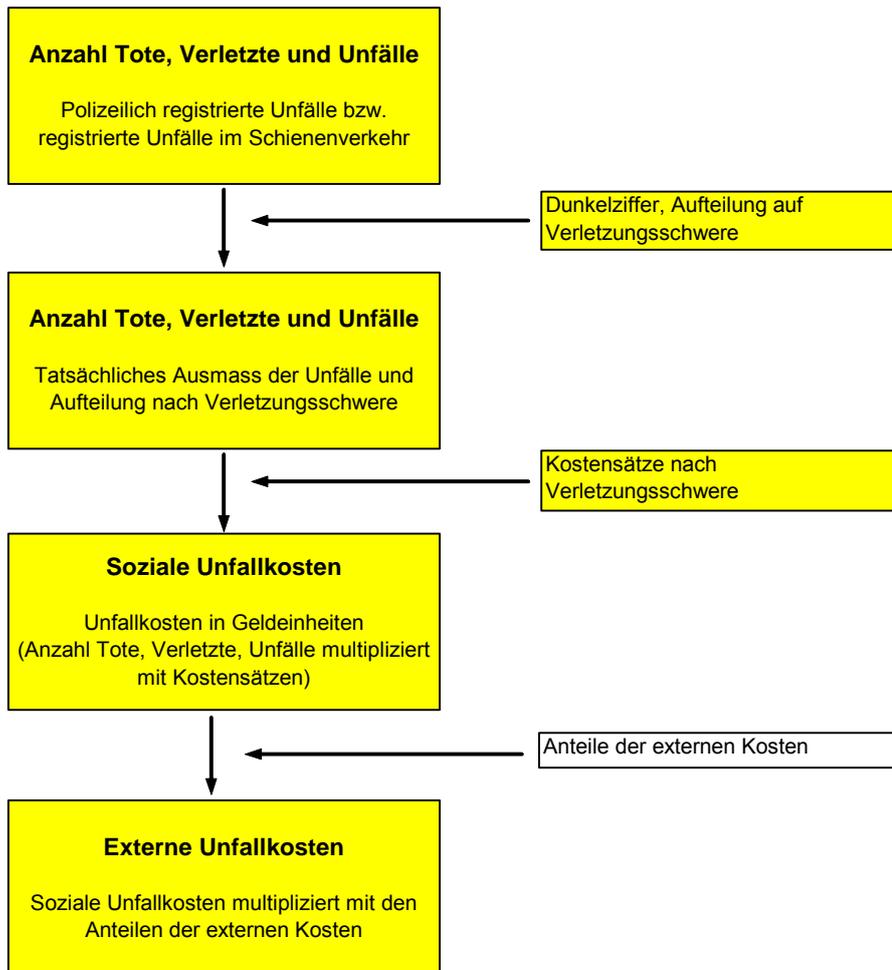
¹² Ecoplan (2002), Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr der Schweiz 1998 und Ecoplan (2007), Volkswirtschaftliche Kosten der Nichtberufsunfälle in der Schweiz in der Schweiz: Strassenverkehr, Sport, Haus und Freizeit.

¹³ Ecoplan (2002), Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr der Schweiz 1998, S. 5.

mit der Produktionseinbusse einhergehende Verzicht auf Konsummöglichkeiten wird bei der Bestimmung der immateriellen Kosten berücksichtigt (vgl. Kapitel 3.4.1).

- **Wiederbesetzungskosten** werden dadurch verursacht, dass bei einem dauerhaften Ausfall einer Arbeitskraft die Stelle neu besetzt werden muss.

Grafik 3-1: Methodik zur Berechnung der Unfallkosten (Aktualisierungen hervorgehoben)



- Die **immaterielle Kosten** umfassen die Kosten von Leid, Schmerz, Schock und Verlust an Lebensfreude. Diese Kosten werden mit Hilfe von Zahlungsbereitschaften ermittelt.
- Zu den **administrativen Kosten** der Versicherungen bei Personenschäden zählen sämtliche Kosten für die Abwicklung der Unfälle (Prüfung des Versicherungsanspruchs, Auszahlung etc.).
- Die **Sachschäden, Polizei- und Rechtsfolgekosten** umfassen die Kosten von Schäden an Fahrzeugen, Immobilien, Verkehrsinfrastruktur und transportierten Gütern bzw. die Kosten der Polizei (Personal-, Material- und Fahrzeugkosten für Unfallaufnahme, Verkehrsregelung, Rapporte, Zeugenbefragungen etc.) und allfälliger Rechtstreitigkeiten (Ge-

richtskosten, Anwaltskosten, Kosten für Expertisen). Zudem werden hier auch die Administrativkosten der Versicherungen bei Unfällen mit Sachschäden bzw. bei Verkehrs-Rechtsschutzversicherungen und Motorfahrzeug-Haftpflichtversicherungen mit einbezogen.

Aus der Zusammenführung von Mengen- und Wertgerüst ergeben sich die sozialen Kosten der Verkehrsunfälle. Die externen Kosten werden für die Aktualisierung als Anteil der sozialen Kosten ermittelt, wobei differenzierte Anteile nach verschiedenen Kostenkategorien verwendet werden.

Wie Grafik 3-1 zeigt, wird die Berechnung der sozialen Unfallkosten umfassend aktualisiert. Alle wesentlichen Inputdaten – die polizeilich registrierten Unfälle, die Dunkelziffer und die Kostensätze – werden neu erhoben oder überarbeitet. Damit sind auch die sozialen Unfallkosten umfassend aktualisiert. Einzig für die externen Unfallkosten wird ein vereinfachtes Verfahren gemäss den Kostenanteilen aus den Berechnungen im Jahr 2002¹⁴ gewählt. Eine umfassend bottom-up Ermittlung der externen Kosten wäre im Rahmen dieser Aktualisierung zu aufwändig.

Die **Berechnungen** können als **umfassendes** Abbild der Kosten durch Unfälle betrachtet werden, auch wenn einige unbedeutende Kostenbestandteile **nicht berücksichtigt** werden. Dazu zählen insbesondere die folgenden Bereiche:

- Kosten durch gesundheitliche Spätschäden: Verletzungen können zu gesundheitlichen Spätschäden führen, die erst viele Jahre nach dem Unfallereignis auftreten. Diese Kosten dürften aber vergleichsweise gering sein.¹⁵
- Kosten der Feuerwehr, falls durch den Unfall ein Brand entsteht (0.97% der Kosten von Unfällen in Belgien).¹⁶
- Kosten der Besucher, die ihre Angehörigen oder Freunde im Spital besuchen (0.08% der Kosten von Unfällen in Belgien).¹⁷

Nicht mit einbezogen sind auch die Kosten von Staus, die durch Unfälle verursacht werden. Dabei handelt es sich um Zeitverluste sowie um höhere Betriebs- und Umweltkosten aufgrund kleinerer Geschwindigkeiten bzw. Stop-and-go-Verhältnissen (erhöhter Treibstoffverbrauch und damit höhere Luftverschmutzung und erhöhte Treibhausgasemissionen). Diese Kosten werden in Infrac (2007)¹⁸ ausgewiesen.

¹⁴ Ecoplan (2002), Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr der Schweiz 1998.

¹⁵ Ecoplan (2007), Volkswirtschaftliche Kosten der Nichtberufsunfälle in der Schweiz in der Schweiz: Strassenverkehr, Sport, Haus und Freizeit, Anhang B.

¹⁶ De Brabander und Vereeck (2007), Valuing the Prevention of Road Accidents in Belgium, S. 720 und 728.

¹⁷ De Brabander und Vereeck (2007), Valuing the Prevention of Road Accidents in Belgium, S. 719 und 728.

¹⁸ Infrac (2007), Staukosten des Strassenverkehrs in der Schweiz.

3.2 Neue Erkenntnisse aus der nationalen und internationalen Forschung

Seit der Ermittlung der Unfallkosten im Jahr 2002 sind auf nationaler und internationaler Ebene verschieden Arbeiten publiziert worden mit zum Teil neuen Erkenntnissen für die Aktualisierung der Unfallkosten. Auf die wichtigsten Arbeiten bzw. Erkenntnisse wollen wir im Folgenden kurz eingehen.

a) Unfallkosten der Nichtberufsunfälle in der Schweiz 2003¹⁹

In dieser Studie wurden die volkswirtschaftlichen Kosten der Strassenverkehrs-, Sport-, Haus- und Freizeitunfälle für das Jahr 2003 ermittelt. Als Grundlage dazu hat die bfu die Zahl der verunfallten Personen sehr umfassend aufgearbeitet. Fortschritte wurden dabei vor allem bei der Abstufung der Verletzungsschwere erzielt (neu fünf Stufen statt bisher vier).

Auch das Wertgerüst wurde für die Studie für das bfu umfassend aktualisiert. Sowohl die verfeinerte Differenzierung der Verletzungsschwere als auch die neuen Kostensätze werden für die nachstehende Aktualisierung der Unfallkosten genutzt.

b) Datenbank für die Unfälle im Schienenverkehr

Das BAV hat in der Zwischenzeit eine **Datenbank über die Unfälle im Schienenverkehr** eingeführt, in der deutlich mehr Informationen verfügbar sind als bisher: Während für die Studie für das Jahr 1998 nur aggregierte Zahlen vorlagen, sind die neuen Daten differenziert (jeder Unfall einzeln) erfasst. Neu liegen damit auch Zahlen zu den Leichtverletzten vor (1998 gab es dazu noch keine Angaben). Auch die Sachschäden sind viel besser erfasst als bisher. Ausserdem erlaubt die neue Datenbank auch eine Zuteilung auf die Verursacher. Diese Zuteilung musste für 1998 sehr grob vorgenommen werden.

c) Immaterielle Kosten

Der wichtigste Kostensatz bei der Bewertung ist derjenige für die immateriellen Kosten eines Todesfalles. Die internationale Literatur zeigt, dass der bereits für das Jahr 1998 verwendete Kostensatz sich in der Zwischenzeit durchgesetzt zu haben scheint. Somit ist hier keine grundlegende Anpassung nötig (nur ein Anpassung an das Preisniveau, vgl. Kapitel 3.4.2).

¹⁹ Ecoplan (2007), Volkswirtschaftliche Kosten der Nichtberufsunfälle in der Schweiz: Strassenverkehr, Sport, Haus und Freizeit.

3.3 Mengengerüst

3.3.1 Strassenverkehr

Die Ermittlung des Mengengerüsts folgt im Wesentlichen den Berechnungen in Ecoplan (2002).²⁰ Die Ausgangslage bildet somit die vom Bundesamt für Statistik gesammelten Daten zu den **polizeilich registrierten Verkehrsunfällen** in der Schweiz, die in der folgenden Tabelle dargestellt sind. Gemäss dieser Zusammenstellung wurden im Jahr 2005 auf dem schweizerischen Strassennetz insgesamt 64'988 Unfälle erfasst. Dabei verloren 409 Personen ihr Leben, 26'754 Personen wurden verletzt. Die grösste Zahl der Todesopfer und Verletzten entfällt auf Kollisionen zwischen zwei Fahrzeugen (Unfälle mit zwei Beteiligten) und Selbstunfälle (Unfälle mit einem Beteiligten). Unfälle mit drei oder mehr Beteiligten sind jedoch relativ selten.

Tabelle 3-1: Polizeilich registrierte Unfälle und Unfallopfer im Schweizer Strassenverkehr 2005

	Unfälle						Angabe Mängel/Einflüsse		
	Total	mit Toten	mit Verletzten	nur Sachschaden	Tote	Verletzte	beim 1. Objekt	beim 2. Objekt	bei beiden Obj.
Unfälle mit 1 Beteiligten	24'470	152	4'906	19'412	177	5'787	24'470		
Unfälle mit 2 Beteiligten	36'237	188	14'128	21'921	194	17'177	22'459	9'544	4'234
Unfälle mit 3 Beteiligten	3'505	27	1'826	1'652	30	2'847			
Unfälle mit 4 Beteiligten	617	4	363	250	6	686			
Unfälle mit 5 Beteiligten	159	2	110	47	2	257			
Total	64'988	373	21'333	43'282	409	26'754			

Quelle: Daten BFS (Mail vom 12.11.2007).

Die umfangreichen Berechnungen im Rahmen der Studie Ecoplan (2002) zur Aufteilung der Unfälle nach dem Verursacherprinzip²¹ wurden aufgrund der neuen Daten für das Jahr 2005 aktualisiert.²² Die Aufteilung der polizeilich registrierten Unfälle und Unfallopfer auf die verursachenden Fahrzeugkategorien wird im unteren Teil der Tabelle 3-2 dargestellt (dabei werden dieselben Fahrzeugkategorien verwendet wie in Ecoplan (2002, S. 10)).

Am meisten Unfälle (77%), Getötete (55%) und Verletzte (66%) werden durch Personenwagen verursacht. An zweiter Stelle folgen die Motorräder mit 5% (Unfälle), 13% (Getötete) und

²⁰ Ecoplan (2002), Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr der Schweiz 1998.

²¹ Gemäss dem Verursacherprinzip werden die Unfallfolgen jener Fahrzeugkategorie belastet, welche gemäss den statistischen Angaben für den Unfall verantwortlich ist. Es spielt dabei keine Rolle, bei welcher Fahrzeugkategorie die Unfallfolgen (Sachschäden, Opfer) tatsächlich anfallen. Wir verzichten jedoch im Rahmen dieser Aufdatierung auf die Ausweisung der Kosten nach dem Monitoring-Prinzip. Bei diesem Zuordnungsprinzip interessiert nur die Frage, wo die Kosten tatsächlich anfallen (wer den Unfall verursacht hat, ist bei dieser Zuordnung nicht von Bedeutung).

²² Siehe Ecoplan (2002), Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr der Schweiz 1998, S. 15 – 18.

10% (Verletzte). Weitere bedeutende Kategorien sind auch Fahrradfahrende, Fussgänger und Lieferwagen.

Die offiziellen Unfallzahlen im Strassenverkehr berücksichtigen jedoch die **Dunkelziffer** nicht: Viele Unfälle werden polizeilich nicht registriert, weil die Verletzung nicht erkannt wird (z.B. Schleudertrauma), weil es sich um eine Bagatellverletzung handelt (oder man am Unfallort noch davon ausgeht) oder weil eine Busse oder ein Ausweisentzug vermieden werden soll (Verletzung rechtlicher Vorschriften bezüglich Geschwindigkeit, Fahrtauglichkeit, Zustand des Fahrzeuges etc.).

Tabelle 3-2: Unfallgeschehen im Strassenverkehr in der Schweiz im Jahr 2005 nach Verursacher

Verursachende Kategorie Unfallarten	Alle Kategorien	Unfallverursachende Kategorien											
		Pers.-wagen	Car	ÖV	Lieferwagen	Lastwagen	S. Sattelschl.	Traktor, Arb.m.	Fahrrad	Mofa	Motorrad	Bahn	Fussgänger
Alle Unfälle													
Tote	415	226	14	1	16	21	7	9	27	10	54	0	29
Verletzte	94'000	42'930	1'137	690	2'909	815	504	612	22'872	5'713	10'896	4	4'918
Nicht erfasste Unfälle													
Tote	6	3	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
Verletzte	67'246	25'218	989	559	1'900	496	307	443	20'756	4'521	8'356	1	3'700
Registrierte Unfälle													
Unfälle	64'988	50'250	356	305	3'262	1'405	1'063	396	2'297	1'381	3'024	11	1'239
Tote	409	223	14	1	16	21	7	9	26	10	53	0	28
Verletzte	26'754	17'711	148	131	1'009	320	196	169	2'116	1'192	2'540	3	1'218
Selbstunfall													
Unfälle	24'470	19'680	111	49	1'059	428	374	144	821	433	1'282	2	87
Tote	177	104	13	-	4	3	1	6	12	3	28	-	3
Verletzte	5'787	3'472	51	14	151	22	20	46	648	332	983	-	48
Unfall mit zwei Objekten													
Unfälle	36'237	27'340	219	229	1'970	873	616	225	1'319	848	1'558	7	1'031
Tote	194	100	1	1	10	15	5	2	12	6	21	0	21
Verletzte	17'177	11'666	79	96	703	244	145	101	1'203	705	1'276	2	958
Unfall mit mehreren Objekten													
Unfälle	4'281	3'230	26	27	233	103	73	27	156	100	184	1	122
Tote	38	20	0	0	2	3	1	0	2	1	4	0	4
Verletzte	3'790	2'574	17	21	155	54	32	22	265	156	281	1	211
Alle Unfälle													
Anteil Tote	100%	54.4%	3.5%	0.3%	3.9%	5.1%	1.7%	2.1%	6.5%	2.4%	12.9%	0.1%	7.1%
Anteil Verletzte	100%	45.7%	1.2%	0.7%	3.1%	0.9%	0.5%	0.7%	24.3%	6.1%	11.6%	0.0%	5.2%
Registrierte Unfälle													
Anteil Unfälle	100%	77.3%	0.5%	0.5%	5.0%	2.2%	1.6%	0.6%	3.5%	2.1%	4.7%	0.0%	1.9%
Anteil Tote	100%	54.6%	3.5%	0.3%	3.9%	5.1%	1.7%	2.1%	6.4%	2.4%	12.9%	0.1%	6.9%
Anteil Verletzte	100%	66.2%	0.6%	0.5%	3.8%	1.2%	0.7%	0.6%	7.9%	4.5%	9.5%	0.0%	4.6%

Car = privater Bus. Quelle: Eigene Berechnungen basierend auf BFS-Daten.

Das gesamte Ausmass der Verletzten durch das Unfallgeschehens im Jahr 2005 wurde von der bfu abgeschätzt.²³ Die Berechnungen zeigen, dass insgesamt 94'000 Verletzte zu beklagen sind, folglich sind 67'246 Verletzte polizeilich nicht registriert. Diese wurden dann auf die

²³ Bfu (2007), Unfallgeschehen in der Schweiz: bfu-Statistik 2007, S. 7.

12 Fahrzeugkategorien aufgeteilt.²⁴ Bei den Todesfällen wird eine Dunkelziffer von 1.016 berücksichtigt²⁵, so dass insgesamt 415 Todesfälle zu verzeichnen sind.²⁶

In der Studie für das bfu (Ecoplan 2007) wurden die Unsicherheiten beim Mengengerüst genauer untersucht. Dabei zeigte sich, dass die Abschätzung bei den Erwerbstätigen aufgrund der Angaben aus der Statistik der Unfallversicherer (SSUV) als sehr zuverlässig angesehen werden kann, während für die Zahl der verletzten Kinder und Senioren eine Unsicherheit von $\pm 20\%$ veranschlagt werden muss. Dies wird im Rahmen der Monte-Carlo-Simulation berücksichtigt (vgl. Kapitel 3.6).

Das Gesamtergebnis unter Einschluss der Dunkelziffer wird im oberen Teil von Tabelle 3-2 dargestellt.²⁷ Bei den Todesfällen verändert sich die Verteilung auf die Fahrzeugkategorien durch die Berücksichtigung der Dunkelziffer praktisch nicht. Bei den Verletzten hingegen sind teilweise deutliche Unterschiede zu erkennen, da die Dunkelziffer je nach Fahrzeugkategorie unterschiedlich hoch ist: Die Personenwagen sind immer noch die dominante Kategorie, doch ist ihr Anteil mit 46% deutlich geringer als bei den registrierten Unfällen mit 66%. Dafür nimmt insbesondere der Anteil der Fahrradfahrenden zu (von 8% auf 24%). Auch die Anteile der Motorradfahrenden (12%), Mofafahrenden (6%) und Fussgänger (5%) sind bei den gesamten Unfällen höher als bei den registrierten.

Als letzter Schritt für die Bestimmung des Mengengerüsts sollen schliesslich noch die Verletzten auf die **Verletzungsschweren** aufgeteilt werden. Dazu wird die neue Aufteilung aus der Studie für die bfu verwendet:²⁸ Basierend insbesondere auf Auswertungen der SSUV-Statistik (Sammelstelle für die Statistik der Unfallversicherungen) sowie mit Hilfe weiterer

²⁴ Dabei wird wie folgt vorgegangen:

- Zuerst werden die umfangreichen Berechnungen für die polizeilich registrierten Verletzten basierend auf den Daten des BFS nochmals durchgeführt, diesmal aber nach dem Monitoring-Prinzip, nicht nach dem Verursacherprinzip.
- Aus dem Ergebnis und der gesamten Zahl der Verletzten nach Fahrzeugkategorien (inkl. Dunkelziffer, aus der bfu-Statistik) wird dann das Ausmass der nicht registrierten Unfälle nach Fahrzeugkategorien bestimmt.
- Für die Aufteilung nach dem Verursacherprinzip wird dann – wie für die Berechnungen für das Jahr 1998 (Ecoplan 2002, S. 21) – angenommen, dass der Grossteil (90%) der Opfer aus Selbstunfällen stammt. Somit können die nach dem Monitoring-Prinzip bestimmten nicht registrierten Unfälle zu 90% direkt auf das Verursacherprinzip übertragen werden. Für die verbleibenden 10% Verletzten aus nicht gemeldeten Kollisionen verwenden wir den Verteilungsschlüssel gemäss den Ergebnissen bei den offiziell erfassten Unfallopfern aus Kollisionen mit zwei Fahrzeugen.

²⁵ In der offiziellen BFS-Statistik werden als „getötet“ jene Personen angeführt, welche an der Unfallstelle ihr Leben verloren haben oder innert 30 Tagen nach dem Unfall an den Unfallfolgen gestorben sind. In der UVG-Statistik werden demgegenüber auch Todesfälle erfasst, deren Unfallursache schon mehr als 30 Tage zurückliegt. Wiederum erfolgt die Zuteilung auf die Fahrzeugkategorien über das Monitoring-Prinzip.

²⁶ Berechnungen für Ecoplan (2002), Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr der Schweiz 1998.

²⁷ Bei der Anzahl Unfälle (viele davon nur mit Sachschaden) liegen keine Angaben zur Dunkelziffer vor, so dass auf eine Abschätzung zur Gesamtzahl der Unfälle verzichtet wird.

²⁸ Ecoplan (2007), Volkswirtschaftliche Kosten der Nichtberufsunfälle in der Schweiz: Strassenverkehr, Sport, Haus und Freizeit, Anhang F.

Unterlagen (Todesursachenstatistik des BFS, Kinderunfallstudie und Seniorenunfallstudie²⁹) wurden in dieser Studie erstmals fünf verschiedene Verletzungsschweren differenziert wurden (vgl. folgende Tabelle).

Tabelle 3-3: Differenzierung nach der Verletzungsschwere

Todesfall	Die Unfallopfer sterben am Unfallort oder an den Unfallfolgen.
Invaliditätsfall	Unfall mit bleibenden körperlichen Schäden, die zu einer Invaliditätsrente führen.
Schwerverletzt	Unfall mit einem Spitalaufenthalt von mindestens 7 Tagen.
Mittelschwerverletzt	Unfall mit einem Spitalaufenthalt von 1 bis 6 Tagen.
Leichtverletzt	Unfall ohne bleibende körperliche Schäden und Spitalaufenthalt kürzer als 24h.

Aus der Studie für die bfu³⁰ geht hervor, dass 1.6% aller Verletzten Invaliditätsfälle sind, 6.6% schwerverletzt, 3.9% mittelschwerverletzt und 87.9% leichtverletzt.³¹ Werden diese Prozentsätze auf alle Fahrzeugkategorien angewendet, ergibt sich das in der folgenden Tabelle dargestellte definitive Mengengerüst für die verunfallten Personen.

Tabelle 3-4: Verunfallte Personen im Strassenverkehr Schweiz 2005 nach Verletzungsschwere und Fahrzeugkategorie

Verletzungsschwere \ Verursachende Kategorie	Alle Kategorien	Unfallverursachende Kategorien										
		Pers.-wagen	Car	ÖV	Lieferwagen	Lastwagen	S. Sattel-schl.	Traktor, Arb.m.	Fahrrad	Mofa	Motorrad	Fussgänger
Tote	415	226	14	1	16	21	7	9	27	10	54	29
Invaliditätsfälle	1'549	707	19	11	48	13	8	10	377	94	180	81
Schwerverletzte	6'169	2'817	75	45	191	54	33	40	1'501	375	715	323
Mittelschwerverletzte	3'669	1'676	44	27	114	32	20	24	893	223	425	192
Leichtverletzte	82'609	37'729	999	607	2'557	717	443	538	20'101	5'021	9'576	4'322

Allfällige Doppelzählungen bei Unfällen an Bahnübergängen zwischen dem Strassen- und Schienenverkehr werden ausgeschieden. Die in Tabelle 3-2 ausgewiesenen Bahnunfälle werden daher ins Mengengerüst zum Schienenverkehr (vgl. folgenden Abschnitt) transferiert.³² Entsprechend entfällt in der Tabelle 3-4 die Kategorie Bahn.

²⁹ Hubacher (1994), Das Unfallgeschehen bei Kindern im Alter von 0 bis 16 Jahren und Hubacher und Ewert (1997), Das Unfallgeschehen bei Senioren ab 65 Jahren.

³⁰ Ecoplan (2007), Volkswirtschaftliche Kosten der Nichtberufsunfälle in der Schweiz: Strassenverkehr, Sport, Haus und Freizeit, Anhang F.

³¹ Dabei wurde ein Durchschnitt über alle Fahrzeugkategorien übernommen. Auf eine Verwendung der nach Fahrzeugkategorien differenzierten Aufteilungen wurde verzichtet, da die Differenzierung in der Studie für die bfu auf dem Monitoring-Prinzip, nicht dem Verursacherprinzip beruht. Dadurch werden die Kosten bei den schweren Fahrzeugkategorien wie Lastwagen eher unterschätzt, da davon auszugehen ist, dass von Lastwagen verursachte Unfälle eher zu einer höheren Verletzungsschwere führen.

³² Weil fast alle Unfälle auf Bahnübergängen vom Strassenverkehr verursacht werden, werden die Unfälle zwischen Strassen- und Schienenverkehr mit den Daten zum Strassenverkehr berücksichtigt, weil diese eine direkte Zutei-

3.3.2 Schienenverkehr

Ausgangspunkt sind die Unfallzahlen für das Jahr 2005 aus der neuen Datenbank des BAV. Damit stehen viel bessere Daten zur Verfügung als früher. Diese Datenbank wurde uns vom BAV für diese Studie zur Verfügung gestellt,³³ so dass wir sie selbst auswerten konnten.³⁴

Bei der Aufteilung der Unfälle nach dem Verursacherprinzip wird wie folgt vorgegangen: Unfälle mit Kennzeichnung „Dritte“ werden direkt den Dritten zugewiesen. Die übrigen Unfälle werden wie folgt auf den Personen- und Güterverkehr zugewiesen:

- Alle Unfälle die mit dem Rangieren zu tun haben, werden als Güterverkehrsunfälle verstanden.
- Alle Unfälle, die von Reisenden ausgelöst wurden, werden als von Dritten verursacht betrachtet.
- Unfälle, die der Natur oder Infrastruktur zugeschrieben werden müssen, wurden mit den Zugkilometern im Jahr 2005 auf den Personen- und Güterverkehr aufgeteilt.³⁵ Dies bedeutet, dass 82% dem Personenverkehr zugewiesen werden.

Am Schluss werden die oben mit den Daten des BFS zum Strassenverkehr ermittelten 11 Unfälle mit 4 Verletzten (vgl. Tabelle 3-2) hier hinzugefügt.³⁶

Die Datenbank des BAV unterscheidet nicht zwischen Invaliditätsfällen, Schwerverletzten und Mittelschwerverletzten (vgl. Tabelle 3-3). All diese Verletzungen werden in der BAV-Datenbank in der Kategorie „Schwerverletzt“ zusammengefasst. Um diese Kategorie von den Schwerverletzten im Strassenverkehr zu differenzieren schreiben wir im Folgenden jeweils „**schwerverletzt (Bahn)**“. Es wäre wünschenswert, die Schwerverletzten (Bahn) aufzuteilen in Invaliditätsfälle, Schwerverletzte und Mittelschwerverletzte, doch dazu stehen keine Daten zur Verfügung (denn die Daten aus dem Strassenverkehr dürften kaum auf den Schienenverkehr übertragbar sein), so dass darauf verzichtet wird.

Das Ergebnis dieser Auswertungen wird in der folgenden Tabelle dargestellt:

lung der Verursacher auf die Fahrzeugkategorien des Strassenverkehrs zulassen. Hingegen werden in den Daten zum Schienenverkehr die Unfälle bei Bahnübergängen nicht berücksichtigt (vgl. unten).

³³ Mail des BAV vom 19.11.2007.

³⁴ Bei der Auswertung der Datenbank des BAV werden zunächst Suizide und Gefährdungen (Ereignisse, die auf Fehler zurückzuführen sind, die zu einem Unfall hätten führen können, aber nicht dazu führten) ausgeschlossen, da es sich dabei nicht um Unfälle handelt. Zudem werden Unfälle bei Bahnübergängen eliminiert, da diese bereits in den Daten zu den Strassenverkehrsunfällen enthalten sind (vgl. oben). In den Resultaten werden jedoch die von der Bahn verursachten Ergebnisse aus den Berechnungen zum Strassenverkehr wieder hier eingefügt (vgl. unten).

³⁵ Die Daten zu den Zugkm wurden auf der BFS-Homepage heruntergeladen.

³⁶ Für die Verteilung auf den Personen- und Güterverkehr werden wiederum die Zugkm verwendet. Die Sachschäden der Unfälle werden mit dem durchschnittlichen Kostensatz pro Unfall von 80'500 CHF (gemäss BAV-Datenbank) monetarisiert.

Tabelle 3-5: Mengengerüst Schienenverkehrsunfälle 2005: Anzahl Getötete und Verletzte sowie Sachschäden³⁷

		Verursacher			Total
		Personenverkehr	Güterverkehr	Dritte	
Getötete	Reisende	-	-	5	5
	Bedienstete	1	1	-	2
	Dritte	0	0	24	24
	Total	1	1	29	31
Schwerverletzte (Bahn)	Reisende	-	-	4	4
	Bedienstete	4	8	-	12
	Dritte	3	3	16	21
	Total	7	10	20	37
Leichtverletzte	Reisende	3	2	21	26
	Bedienstete	6	20	2	28
	Dritte	2	2	12	17
	Total	11	25	35	71
Sachschäden in Mio. CHF	Infrastrukturbesitzer	28.8	10.8	0.5	40.2
	Bahnunternehmen	3.6	8.7	0.4	12.7
	Dritte	0.7	1.4	0.2	2.3
	Total	33.2	20.9	1.1	55.2

Quelle: Eigene Berechnung basierend auf BAV- und BFS-Datenbank.

- Im Jahr 2005 waren im Schienenverkehr 31 Getötete, 37 Schwerverletzte (Bahn) und 71 Leichtverletzte zu beklagen. Der Anteil der Todesfälle an den gesamten Unfallopfern ist also im Vergleich zum Strassenverkehr sehr hoch.
- Die Sachschäden belaufen sich auf gut 55 Mio. CHF. Es ist allerdings zu betonen, dass diese Zahl das wahre Ausmass der Sachschäden unterschätzt, weil nach Auskunft des BAV die in der Datenbank enthaltenen Sachschäden meist zu tief sind. Bessere Zahlen stehen jedoch nicht zur Verfügung.
- Wie die Tabelle zeigt, unterscheidet die Datenbank bei den verunfallten Personen zwischen Reisenden, Bediensteten und Dritten:

Die Bahn verursachte nur leichtverletzte Reisende. Schwerverletzte oder gar Todesfälle bei den Reisenden wurden nur durch Dritte verursacht. Tatsächlich sind dies alles selbstverursachte Unfälle (wie die detaillierte Untersuchung der einzelnen Unfälle zeigt). Die Bahn stellt somit für ihre Reisenden ein sehr sicheres Verkehrsmittel dar.

Auch bei den Bediensteten sind nur 2 Todesfälle und 12 Schwerverletzte zu beklagen.

Die meisten Todesfälle und Schwerverletzte ereignen sich deshalb bei den Dritten – und sind meist auch durch Dritte verursacht. Dabei handelt es sich um selbstverursachte Unfälle (detaillierte Untersuchung der einzelnen Unfälle).

Eine Abschätzung der **Dunkelziffer** im Schienenverkehr ist mangels entsprechender Daten nicht möglich. Es gilt zu beachten, dass im Vergleich zum Strassenverkehr die betrieblichen

³⁷ Die Tabelle stimmt nicht mit den veröffentlichten Daten des BFS überein, weil hier Unfälle bei Bahnübergängen, die häufig von Dritten verursacht werden, beim Strassenverkehr enthalten sind und nicht hier. Damit werden Doppelzählungen vermieden.

Voraussetzungen und die durchschnittliche Verletzungsschwere pro Unfall völlig unterschiedlich sind: Im Schienenverkehr ist bei Unfällen meist mit Betriebsunterbrüchen und einem grossen öffentlichen Interesse zu rechnen, so dass meldepflichtige Unfälle praktisch nicht verschwiegen werden können. Aufgrund dieser Überlegungen gehen wir davon aus, dass die Dunkelziffer im Schienenverkehr wesentlich geringer ist als im Strassenverkehr. Trotzdem bleibt festzuhalten, dass mit den offiziell ausgewiesenen Zahlen des BAV die tatsächliche Unfallhäufigkeit im Schienenverkehr tendenziell unterschätzt wird.

In der Studie für das Jahr 2000 wurde das Mengengerüst zusätzlich noch dahingehend differenziert, ob das Opfer des Unfalls diesen selbst verursacht hat oder nicht. Diese Aufteilung wird einzig für die Berechnung der externen Kosten benötigt. Da beim Strassenverkehr nicht davon auszugehen ist, dass sich diese Verteilung über die Zeit deutlich verändert, wurde im Strassenverkehr darauf verzichtet, die umfangreichen Berechnungen zu aktualisieren. Im Schienenverkehr hingegen konnten bisher aufgrund mangelnder Daten nur grobe Abschätzungen vorgenommen werden. Die neue Datenbank des BAV erlaubt jedoch eine differenzierte Analyse. Deshalb werden die Personenschäden nach **Verursacher und Nicht-Verursacher** differenziert.³⁸ Das Ergebnis zeigt, dass praktisch alle Todesopfer selbst für ihren Unfall verantwortlich (29 von 31) sind. Bei den Schwerverletzten (Bahn) und Leichtverletzten ist je etwa die Hälfte der Opfer selbst auch Unfallverursacher.

3.4 Wertgerüst

3.4.1 Einleitung

Die verschiedenen Kostenbestandteile wurden bereits in Kapitel 3.1 aufgezählt und werden in der folgenden Grafik nochmals übersichtsartig dargestellt.

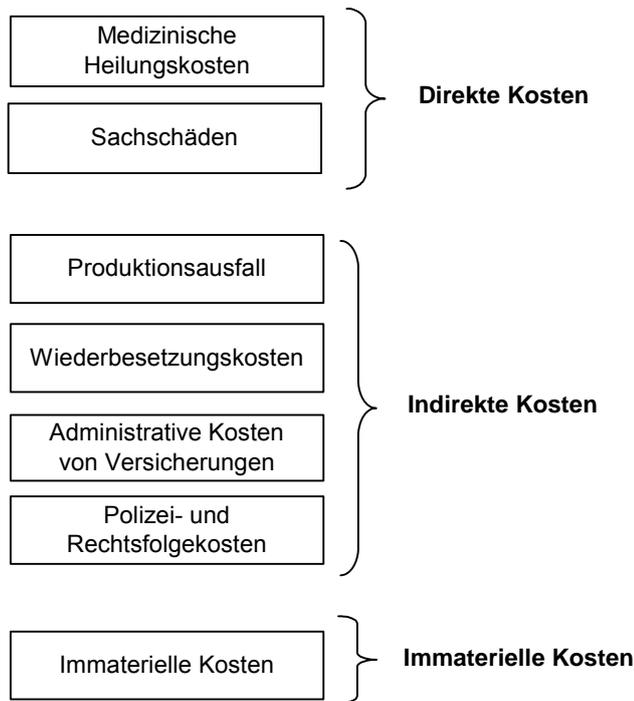
In der internationalen Literatur und in einzelnen Schweizer Studien wird oft zwischen so genannten direkten und indirekten Kosten unterschieden. Zu den direkten Kosten werden dabei meist die medizinischen Heilungskosten gezählt und zu den indirekten Kosten die Produktionsausfälle. Diese Unterscheidung wird im Grundsatz übernommen, zusätzlich werden wie in Grafik 3-2 dargestellt die Sachschäden bei den direkten Kosten integriert und zu den indirekten Kosten werden auch die Kosten für Wiederbesetzung, administrative Aufwendungen der Versicherungen sowie Polizei- und Rechtsfolgekosten gezählt. Zudem werden die immateriellen Kosten als weiterer Kostenblock geführt.

Die Methode zur Ermittlung des Produktionsausfalls kann nicht losgelöst von der Berechnung der gesamten Personenkosten (vgl. Grafik 3-3) bestimmt werden: Die gesamten Personen-

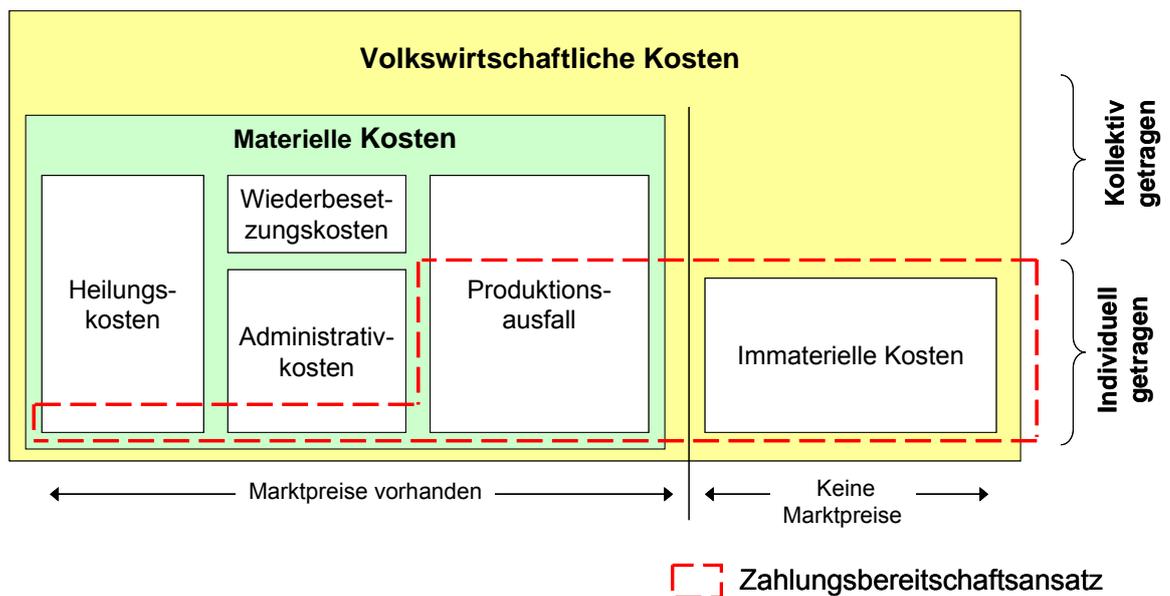
³⁸ Die vom Personen- und Güterverkehr verursachten Unfälle betreffen meist andere Personen und sind deshalb nicht selbst verursacht, genauso wie die von Dritten verursachten Unfälle von Bediensteten. Bei den von Dritten verursachten Unfällen von Reisenden und Dritten handelt es sich um selbst verursachte Unfälle (vgl. oben). Die Sachschäden werden nicht aufgeteilt, da dies nicht nötig ist, da die gesamten Sachschäden als interne Kosten gelten (vgl. Kapitel 3.4.4).

Kosten setzen sich zusammen aus den materiellen Kosten, für die Marktpreise vorliegen, und aus den immateriellen Kosten, für die keine Marktpreise vorhanden sind. Die materiellen Kosten umfassen die medizinischen Heilungskosten, den Produktionsausfall, die Administrativkosten und die Wiederbesetzungskosten.

Grafik 3-2: Unfallfolgekosten im Überblick



Grafik 3-3: Übersicht über die Bestandteile der Personenkosten



In den letzten Jahren hat sich national und international folgendes Konzept zur Berechnung der **volkswirtschaftlichen Kosten** – bestehend aus den materiellen und immateriellen Kosten – durchgesetzt:³⁹

- Die immateriellen Kosten werden mit einem Zahlungsbereitschafts-Ansatz berechnet (alle anderen Kostenbestandteile werden über tatsächliche Marktpreise bestimmt). Die Zahlungsbereitschaft für eine Verminderung des Unfallrisikos entspricht dabei dem Nutzen Gewinn der einzelnen Individuen, wenn Schmerz und Leid als Folge des geringeren Unfallrisikos abnehmen. Darin enthalten sind auch die individuell getragenen materiellen Kosten, insbesondere der Nutzenverlust aus den eingeschränkten Konsummöglichkeiten (vgl. Grafik 3-3).
- Beim Produktionsausfall darf also nur noch der kollektiv getragene Ausfall berücksichtigt werden. Dieser kollektiv getragene Anteil entspricht dem **Nettoproduktionsausfall**, der sich aus dem Bruttoproduktionsausfall abzüglich des Eigenkonsums der Unfallopfer (dem individuell getragenen Produktionsausfall) ergibt. Er widerspiegelt die verminderte Kapitalbildung, welche der Volkswirtschaft durch den Verlust des Produktionspotentials entsteht.
- Die übrigen materiellen Kosten wie medizinische Heilungskosten, Wiederbesetzungskosten und Administrativkosten werden anhand von Marktpreisen bestimmt.

Die Kostensätze für den **Strassenverkehr** basieren auf der eben abgeschlossenen bfu-Studie zu den Nichtberufsunfällen im Jahr 2003. Die entsprechenden Durchschnittskosten differenziert nach der Schwere der Verletzung werden auf das Jahr 2005 hochgerechnet.⁴⁰

Im **Schieneverkehr** stehen keine so fundierten Kostensätze zur Verfügung wie im Strassenverkehr. Wir müssen deshalb mangels besserer Datenquellen die für den Strassenverkehr hergeleiteten Kostensätze auch für den Schieneverkehr verwenden.⁴¹ In der Tendenz führt dies zu einer Unterschätzung der Unfallkosten im Schieneverkehr.⁴²

³⁹ Siehe z.B. Ecoplan (2002), Unfallkosten im Strassen und Schieneverkehr der Schweiz 1998, S. 40 und Bickel et al. (2006), HEATCO D5: Proposal for Harmonized Guidelines, chapter 5 und Ecoplan (2007), Volkswirtschaftliche Kosten der Nichtberufsunfälle in der Schweiz: Strassenverkehr, Sport, Haus und Freizeit, Kapitel V.3.2.

⁴⁰ In der bfu-Studie wurden die Kostensätze zusätzlich nach Fahrzeugkategorien, Altersklassen und Geschlecht differenziert. Für die vorliegende Aktualisierung müssen jedoch Durchschnittskostensätze verwendet werden, da insbesondere das in der bfu-Studie verwendete Mengengerüst nicht nach dem Verursacher- sondern nach dem Monitoring-Prinzip aufgebaut ist (zur Unterscheidung zwischen Monitoring- und Verursacherprinzip vgl. Fussnote 21). Deshalb werden die in der Studie für das bfu ermittelten sehr differenzierten Kostensätze so aggregiert, dass sie auf das zur Verfügung stehende Mengengerüst passen.

⁴¹ Wie wir gesehen haben wird im Schieneverkehr bei den Opfern zwischen Reisenden, Bediensteten und Dritten unterschieden. Für die Bediensteten werden die Kostensätze für Erwerbstätige aus der Studie für die bfu verwendet, für die Reisenden und Dritten ein Durchschnitt über alle Altersklassen.

⁴² Die Unterschätzung ergibt sich vor allem aus dem Problembereich „Schwerverletzte“. Für die Abschätzung der Kosten bei den Schwerverletzten (Bahn) muss vereinfachend die Annahme getroffen werden, dass sie sich gleich wie im Strassenverkehr auf Invaliditätsfälle, Schwerverletzte und Mittelschwerverletzte verteilen (vgl. Kapitel 3.3.2). Da im Schieneverkehr aber viel mehr Todesfälle pro Unfallopfer zu verzeichnen sind als im Strassenverkehr, ist zu vermuten, dass es im Schieneverkehr auch mehr Invaliditätsfälle gibt. Die Kosten im Schieneverkehr dürften also etwas unterschätzt werden.

Im Folgenden wird erläutert, wie die Kostensätze aktualisiert werden (Kapitel 3.4.2), welche Kostensätze zur Anwendung kommen (Kapitel 3.4.3) und wie daraus die Kostensätze für die externen Kosten abgeleitet werden (Kapitel 3.4.4).

3.4.2 Aktualisierung

Alle Kostensätze werden aus der Studie für das bfu übernommen.⁴³ Da diese Studie jedoch für das Jahr 2003 erstellt wurde, müssen folgende Anpassungen auf das Jahr 2005 vorgenommen werden:⁴⁴

- Die **medizinischen Heilungskosten** werden mit der Kostenentwicklung im Gesundheitswesen aktualisiert.⁴⁵ Zudem wird berücksichtigt, dass der Anteil des Staates an den Spitalkosten im Jahr 2005 höher ist.⁴⁶
- Der **Nettoproduktionsausfall** pro Tag oder Jahr wird vollständig überarbeitet, d.h. es werden die neuen Daten des BFS verwendet.⁴⁷ Daraus ergibt sich ein Nettoproduktionsausfall von 26'300 CHF pro Jahr (oder 72.0 CHF pro Tag).
- Die **Wiederbesetzungskosten** werden mit dem Nominallohnwachstum aktualisiert, wobei zudem die Veränderung der Erwerbsquote berücksichtigt wird.⁴⁸
- Die **administrativen Kosten** werden meist mit dem Nominallohnwachstum an das Preisniveau 2005 angepasst.
- Die **Sachschäden** werden mit dem Konsumentenpreisindex fortgeschrieben.
- Die **Polizei- und Rechtsfolgekosten** werden mit dem Nominallohnwachstum aktualisiert.
- Die **immateriellen Kosten** werden mit dem Nominallohnwachstum auf Preise 2005 aktualisiert. Daraus ergibt sich ein Wert pro Todesfall (**VOSL** = value of statistical life) von **3.147 Mio. CHF**. Umgerechnet auf einen Wert pro verlorenes Lebensjahr (**VLYL** = value of life year lost) ergibt sich **92'500 CHF**.⁴⁹ Es ist jedoch keine grundlegende Anpassung nötig:

⁴³ Ecoplan (2007), Volkswirtschaftliche Kosten der Nichtberufsunfälle in der Schweiz: Strassenverkehr, Sport, Haus und Freizeit.

⁴⁴ Alle Anpassungen erfolgen analog zu Ecoplan (2007), Volkswirtschaftliche Kosten der Nichtberufsunfälle in der Schweiz: Strassenverkehr, Sport, Haus und Freizeit und Ecoplan (2006), Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr. Aktualisierung für die Jahre 1999 bis 2004.

⁴⁵ BAG (2007), Statistik der obligatorischen Krankenversicherer 2005, Tabelle 9.12, S. 160.

⁴⁶ BFS (2007), Die Kosten und Finanzierung des Gesundheitswesens 2005.

⁴⁷ BFS (2007), Ständige Wohnbevölkerung nach Alter und Geschlecht und Mail des BFS vom 18. Dezember 2007.

⁴⁸ BFS (2007), Statistisches Jahrbuch der Schweiz 2007, S. 195. Nicht alle Unfallopfer im erwerbsfähigen Alter sind tatsächlich erwerbstätig. Deshalb wird die Erwerbsquote berücksichtigt.

⁴⁹ Für die Umrechnung des VOSL in den VLYL wird dieselbe Methode verwendet wie in Ecoplan (2007), Volkswirtschaftliche Kosten der Nichtberufsunfälle in der Schweiz: Strassenverkehr, Sport, Haus und Freizeit, Anhang C bzw. wie in Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz, Anhang E. In Ecoplan (2007) werden etwas aktuellere Daten verwendet, weshalb wir das Ergebnis aus dieser Studie verwenden.

In der Studie für das Jahr 1998⁵⁰ wurde von einem Wert pro Todesfall (VOSL = value of statistical life) von 1.5 Mio. € (1998er Marktpreise) ausgegangen, der aus dem EU-Projekt UNITE übernommen wurde.⁵¹ Dieser VOSL bildete auch die Basis in den übrigen Studien zu Lärm und Luftverschmutzung für das ARE.⁵² Dieser Wert kann auch weiterhin verwendet werden:

- Im aktuellen EU-Projekt HEATCO wird bei der Bewertung von Verkehrsunfällen auf den UNITE Wert von 1.5 Mio. € abgestellt.⁵³
- In der Berechnung der Unfallkosten für das bfu wurde ebenfalls dieser Wert verwendet.
- In einer aktuellen Studie für Belgien wird gleichfalls von diesem Wert ausgegangen.⁵⁴
- Im EU-Projekt GRACE wird ebenfalls von diesen 1.5 Mio. € ausgegangen und gleichzeitig gefolgert, dass sich ein Konsens über den VOSL zu bilden scheint.⁵⁵
- So wird auch im EU-Projekt IMPACT ein VOSL von 1.5 Mio. € empfohlen.⁵⁶
- Im Projekt CAFE wird ein Wert von 980'000 € bis 2 Mio. € (Preise 2000) vorgeschlagen.⁵⁷ Diese Werte wurden im EU-Projekt NewExt hergeleitet.⁵⁸

Die immateriellen Kosten von Invaliditätsfällen werden mit 32% der Kosten von Todesfällen bewertet, Schwerverletzte, Mittelschwerverletzte und Leichtverletzte mit 15%, 3.5% und 1%. Diese Prozentzahlen wurden aus der internationalen Literatur und aus den ausfallenden Arbeitstagen hergeleitet.⁵⁹

Es ist jedoch zu betonen, dass der Wert des VOSL – und auch die Prozentsätze für die Berechnung der immateriellen Kosten von Verletzten – mit grossen Unsicherheiten behaftet ist. Dies ist eine der wichtigsten Unsicherheiten, die es bei der Bestimmung der Bandbreiten zu beachten gilt (vgl. Kapitel 3.6.1).

⁵⁰ Ecoplan (2002), Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr der Schweiz 1998, S. 46.

⁵¹ Nellthorp et al. (2001), Valuation Conventions for UNITE, S. 6.

⁵² Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz, S. 84-87 und Ecoplan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, S. 101-103.

⁵³ Bickel et al. (2006), HEATCO D5: Proposal for Harmonized Guidelines, S. 127.

⁵⁴ De Brabander und Vereeck (2007), Valuing the Prevention of Road Accidents in Belgium, S. 721.

⁵⁵ Lindberg Gunnar (2006), Marginal cost case studies for road and rail transport, S. 55 und 58.

⁵⁶ Infras / CE Delft et al. (2007), IMPACT: Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport, S. 41.

⁵⁷ AEA (2005), Methodology for the Cost-Benefit analysis for CAFE. Volume 1, S. 31 und AEA (2005), Methodology for the Cost-Benefit analysis for CAFE. Volume 2, S. iv.

⁵⁸ IER et al. (2004), NewExt: New Elements for the Assessment of External Costs from Energy Technologies.

⁵⁹ Ecoplan (2007), Volkswirtschaftliche Kosten der Nichtberufsunfälle in der Schweiz: Strassenverkehr, Sport, Haus und Freizeit, Kapitel V.6.2.8.

Im Vergleich zu den im ARE-Bericht verwendeten Kostensätzen ergeben sich also durch die Verwendung der Kostensätze aus der bfu-Studie folgende Anpassungen:⁶⁰

- Im Rahmen der Arbeiten für das bfu wurde die SUVA-Datenbank neu ausgewertet. Somit wurden **aktualisierte, detaillierte Datensätze** neu aufbereitet. Die neuen Daten wurden für die Bestimmung der medizinischen Heilungskosten, der Anzahl ausfallender Tage (für den Produktionsausfall), des Alters der Invaliditäts- und Todesopfer (für den Produktionsausfall und die immateriellen Kosten) und der Administrativkosten verwendet.
- **Produktionsausfall:** Bei der Bestimmung des Produktionsausfalles wurden neu auch die **betrieblichen Vorsorgeansprüche** miteinbezogen, da diese neuerdings vom BFS mit ausgewiesen werden. In der Studie für das bfu wurde berechnet, dass der Nettoproduktionsausfall um 17% tiefer ausfallen würde, wenn die Vorsorgeansprüche wie in der Studie für das ARE ausgeschlossen würden. Auf das Gesamtergebnis wäre dies jedoch nur eine Reduktion von 1.0% gewesen.
- **Immaterielle Kosten:** Bei Invaliditäts- und Todesfall gehen beide Studien vom gleichen VOSL aus. Doch wird in der Studie für das ARE direkt mit dem **VOSL** gerechnet, während in der Studie für das bfu der VOSL in den **VLYL** umgerechnet wird, um das unterschiedliche Alter der Opfer mit zu berücksichtigen (was vor allem aufgrund der deutlich älteren Opfer der Haus- und Freizeitunfälle nötig ist). Damit wird neu die Zahl der verlorenen Lebensjahre bewertet, nicht die Zahl der Todesfälle.
- Neu werden die „Schwerverletzten“ aufgeteilt in Mittelschwerverletzte und Schwerverletzte. Entsprechend werden auch differenziertere Kostensätze verwendet.

Wie in der Studie für die bfu gezeigt (Anhang E) fallen dadurch die Kosten pro Todesfall etwas tiefer aus als in der Studie für das ARE, die Kosten pro Invaliditätsfall und Schwerverletzten (inkl. Mittelschwerverletzten) sind jedoch höher. Die Kosten pro Leichtverletzten sind in den beiden Studien praktisch identisch. Der Gesamtdurchschnitt pro Opfer ist ebenfalls in der Studie für das bfu etwas höher.

3.4.3 Verwendete Kostensätze

In der folgenden Tabelle werden die Kostensätze pro verunfallte Person angegeben. Wie zu erwarten ist, nehmen die Kosten mit der Verletzungsschwere zu. Für eine leichtverletzte Person betragen die Kosten 33'500 CHF, für eine Mittelschwerverletzte bereits gut 120'000 CHF und für einen Schwerverletzten muss mit Kosten von 528'000 CHF gerechnet werden. Die entsprechenden Werte für Invaliditäts- und Todesfälle belaufen sich auf 1.279 Mio. CHF bzw. 3.191 Mio. CHF.

Auf die immateriellen Kosten entfällt der Grossteil der Kosten. Je nach Verletzungsschwere sind sie für 66% bis 92% der Kosten verantwortlich. Die Nettoproduktionsausfälle sind vor allem bei Invaliden und Getöteten relevant (21% bzw. 15%). Die Heilungskosten betragen 4 –

⁶⁰ Ecoplan (2007), Volkswirtschaftliche Kosten der Nichtberufsunfälle in der Schweiz: Strassenverkehr, Sport, Haus und Freizeit, Anhang E.

9% der Kosten (ausser bei den Todesfällen). Die übrigen Kosten (Wiederbesetzungskosten und administrative Kosten) sind wenig relevant.

Die Zeile Schwerverletzte (Bahn) ist ein Durchschnitt aus Invaliditätsfällen, Schwerverletzten und Mittelschwerverletzten und wird nur für die Bewertung der Schienenverkehrsunfälle benötigt. Dies gilt auch für den mittleren Teil der Tabelle 3-6 mit den Kostensätzen für die Erwerbstätigen, die nur für die Bewertung der Personenschäden bei den Bediensteten der Bahn benötigt werden.

Im untersten Teil der Tabelle 3-6 werden schliesslich noch Durchschnittswerte für Verletzte bzw. Opfer (inkl. Getötete) ermittelt, wobei mit dem Mengengerüst aus Kapitel 3.3 gewichtet wird. Es fällt sofort auf, dass die Kosten im Schienenverkehr deutlich höher sind als im Strassenverkehr. Dies ist darauf zurückzuführen, dass im Schienenverkehr die durchschnittliche Verletzungsschwere deutlich höher ist. So werden im Schienenverkehr 22% aller Unfallopfer getötet und 27% schwer verletzt, während es im Strassenverkehr nur 0.4% bzw. 12% (Invaliditätsfälle, Schwerverletzte und Mittelschwerverletzte) sind. Dies erklärt auch, warum die Unterschiede zwischen Strassen- und Schienenverkehr bei allen Opfern (inkl. Tote) grösser sind als bei den Verletzten.

Tabelle 3-6: Kosten in CHF pro verunfallte Person nach Kostenart und Verletzungsschwere

	Medizinische Heilungs- kosten	Netto- produktions- ausfall	Wieder- besetzungs- kosten	Admini- strative Kosten	Immaterielle Kosten	Total
Alle Altersklassen						
Tote	23'964	473'789	20'859	14'931	2'657'878	3'191'421
Invaliditätsfälle	101'370	270'368	20'182	37'578	849'546	1'279'044
Schwerverletzte	47'080	13'851	-	3'764	463'310	528'003
Mittelschwerverletzte	8'371	3'423	-	722	108'106	120'622
Leichtverletzte	1'491	926	-	167	30'887	33'471
Schwerverletzte (Bahn)	41'988	45'378	2'745	7'244	401'376	498'732
Erwerbstätige						
Tote	23'964	606'170	29'920	20'887	3'139'719	3'820'660
Invaliditätsfälle	101'370	295'126	26'899	44'810	886'909	1'355'114
Schwerverletzte	47'080	18'458	-	4'218	463'310	533'065
Mittelschwerverletzte	8'371	4'240	-	808	108'106	121'525
Leichtverletzte	1'491	1'140	-	187	30'887	33'705
Schwerverletzte (Bahn)	41'988	50'373	3'571	8'453	399'336	503'720
Ergebnisse Strasse						
Durchschnitt Verletzte	6'397	6'311	333	1'042	75'769	89'851
Durchschnitt Opfer (inkl. Tote)	6'474	8'366	423	1'103	87'122	103'488
Ergebnisse Schiene						
Durchschnitt Verletzte	15'449	16'857	1'038	2'746	158'351	194'441
Durchschnitt Opfer (inkl. Tote)	17'361	121'354	5'618	5'567	726'492	876'393

Quelle: Alle Werte werden aus Ecoplan (2007, Volkswirtschaftliche Kosten der Nichtberufsunfälle in der Schweiz: Strassenverkehr, Sport, Haus und Freizeit) übernommen und aktualisiert. Ausnahme: Die Ergebnisse für Strasse und Schiene im unteren Teil der Tabelle werden mit dem aktuellen Mengengerüst berechnet.

Nach den Personenschäden in der vorangehenden Tabelle folgen in der Tabelle 3-7 die Sachschäden, Polizei und Rechtsfolgekosten nach Fahrzeugkategorien pro erfassten Unfall. Die Sachschäden (sowie die dazugehörigen Administrativkosten von jeweils 20%) schwan-

ken jedoch je nach Fahrzeugkategorie. Grössere Fahrzeugtypen führen tendenziell zu grösseren Sachschäden (weil sie selbst teurer sind und einen grösseren Schaden verursachen können). Im Strassenverkehr ist durchschnittlich mit Kosten von knapp 45'000 CHF pro polizeilich registrierten Unfall zu rechnen.

Es ist zu beachten, dass in der Tabelle 3-6 die Kosten pro tatsächliches Unfallopfer aufgeführt sind, d.h. auch die polizeilich nicht registrierten Unfallopfer sind mit den entsprechenden Kostensätzen zu multiplizieren. Im Gegensatz dazu gelten die Werte in Tabelle 3-7 pro polizeilich registrierten Unfall, d.h. die wahren Kosten pro Unfall sind eigentlich tiefer, aber da die Kosten der nicht registrierten Unfälle ebenfalls in den Zahlen enthalten sind, mögen die Kosten pro Unfall relativ hoch erscheinen. Die Personenschäden ergeben sich also aus der Multiplikation des Mengengerüsts inkl. Dunkelziffer mit der Tabelle 3-6, während die Sachschäden, Polizei und Rechtsfolgekosten sich aus der Multiplikation der polizeilich registrierten Unfälle (exkl. Dunkelziffer) mit der Tabelle 3-7 errechnen.

Tabelle 3-7: Sachschäden, Polizei- und Rechtsfolgekosten nach Fahrzeugkategorien in CHF pro polizeilich registrierter Unfall

	Pers.- wagen	Car	ÖV	Liefer- wagen	Last- wagen	S. Sat- telschl.	Traktor, Arb.m.	Fahrrad	Mofa	Motorrad	Fuss- gänger	Durchschnitt Strasse	Bahn
Sachschäden	34'642	113'425	245'738	48'927	47'345	49'617	111'273	4'282	105'571	23'095	6'124	37'215	96'550
Sachschäden	28'868	94'521	204'781	40'772	39'455	41'347	92'728	3'569	87'976	19'246	5'103	31'012	80'458
Administrativk.	5'774	18'904	40'956	8'154	7'891	8'269	18'546	714	17'595	3'849	1'021	6'202	16'092
Polizei- u. Rechtsfolgekosten	7'610	7'610	7'610	7'610	7'610	7'610	7'610	7'610	7'610	7'610	7'610	7'610	7'610
Polizeikosten	723	723	723	723	723	723	723	723	723	723	723	723	723
Rechtsfolgekosten	6'135	6'135	6'135	6'135	6'135	6'135	6'135	6'135	6'135	6'135	6'135	6'135	6'135
Administrativk.	752	752	752	752	752	752	752	752	752	752	752	752	752
Total	42'251	121'034	253'347	56'536	54'955	57'226	118'883	11'892	113'181	30'705	13'734	44'824	104'160

Im Schienenverkehr liegen vom BAV Daten zu den Sachschäden vor. Pro Unfall belaufen sich diese auf 80'500 CHF (vgl. Spalte ganz rechts in Tabelle 3-7). Zu diesem Kostensatz werden wie im Strassenverkehr 20% Administrativkosten gezählt. Ausserdem wird pro Unfall im Schienenverkehr mit denselben Polizei- und Rechtsfolgekosten gerechnet wie im Strassenverkehr (mangels besserer Daten und wie in der Studie für das Jahr 1998). Damit betragen die Sachschäden, Polizei- und Rechtsfolgekosten insgesamt gut 104'000 CHF pro registrierten Unfall.

3.4.4 Externe Kosten

Die Höhe der externen Unfallkosten hängt wesentlich davon ab, ob diese aus der Sicht Verkehrsträger oder Verkehrsteilnehmende berechnet werden:

- Bei der **Sicht Verkehrsträger** sind nur jene Kosten extern, die von der Allgemeinheit getragen werden. Kosten, die das unschuldige Unfallopfer trägt, werden demgegenüber als intern betrachtet, weil es selbst zu den Verkehrsteilnehmenden zählt (auch wenn die Un-

fallverursachenden für diese Schäden nicht aufkommen). Diese Sicht zeigt auf, mit welchen Unfallkosten die Allgemeinheit belastet wird.

- Bei der **Sicht Verkehrsteilnehmende** sind alle Kosten extern, die nicht durch die Unfallverursachenden gedeckt werden (unabhängig davon, ob sie vom unschuldigen Opfer oder von der Allgemeinheit getragen werden). Diese Sicht eignet sich, wenn es um Fragen der Internalisierung der externen Kosten geht.

Im Folgenden berechnen wir jeweils die Ergebnisse für beide Varianten. Im EU-Projekt IMPACT wird die Sicht Verkehrsteilnehmende empfohlen.⁶¹

Ausgehend von den aktualisierten sozialen Kosten und dem Verhältnis zwischen externen und sozialen Kosten in der ARE-Studie können die aktualisierten externen Kosten für das Jahr 2005 abgeschätzt werden. Dabei werden die Anteile der externen an den sozialen Kosten differenziert nach den einzelnen Kostenkategorien verwendet, im Schienenverkehr auch differenziert nach Verursacher und Nicht-Verursacher (vgl. Kapitel 3.3.2).⁶² Eine Neuberechnung der externen Kosten würde einen sehr grossen Aufwand verursachen, da dazu sehr viele verschiedene Daten gesammelt und verarbeitet werden müssten, was im Rahmen dieses Auftrages nicht möglich ist.

Der Anteil der externen Kosten an den sozialen Kosten ist für die verschiedenen Fahrzeugkategorien des Strassenverkehrs unterschiedlich gross. Dies hängt damit zusammen, wie gross der Anteil der verursachenden Opfer an der Zahl der gesamten Opfer ist. Je grösser der Anteil der verursachenden Opfer, desto höher die externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger, denn es werden weniger Kosten durch die Haftpflichtversicherung des Verursachers getragen und somit mehr Kosten externalisiert. Aus Sicht Verkehrsteilnehmende sind die externen Kosten für diejenigen Fahrzeugkategorien besonders hoch, die – obwohl Verursacher – meist nicht selbst Opfer des Unfalls sind wie z.B. Lastwagen und Busse.

Die Kostensätze für die externen Kosten werden im Anhang A dargestellt. Im Strassenverkehr liegen die externen Kosten je nach Verletzungsschwere aus Sicht Verkehrsträger zwischen 3'900 und 673'000 CHF pro Opfer bzw. aus Sicht Verkehrsteilnehmende zwischen 11'900 CHF und 1.363 Mio. CHF. Im Schienenverkehr schwanken die externen Kosten pro Unfallopfer aus Sicht Verkehrsträger zwischen 1'400 CHF und 766'000 CHF, aus Sicht Verkehrsteilnehmende zwischen 5'300 CHF und 2.659 Mio. CHF (vgl. Anhang A).

Die externen Polizei- und Rechtsfolgekosten betragen im Strassenverkehr 3'100 CHF pro polizeilich registrierten Unfall und im Schienenverkehr 3'200 CHF pro registrierten Unfall (vgl. Anhang A).

⁶¹ Infrac / CE Delft et al. (2007), IMPACT: Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport, S. 39, 44, 168 und insbesondere 176.

⁶² Im Strassenverkehr beruhen die verwendeten Prozentzahlen auf den Tabellen 5-9, 5-13 und 5-16 im Schienenverkehr auf den Tabellen 4-5, 4-7, 4-16, 4-28, 4-30, 4-39, 4-41, 4-45 und 4-47 (vgl. Ecoplan (2002), Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr der Schweiz 1998).

3.5 Ergebnisse

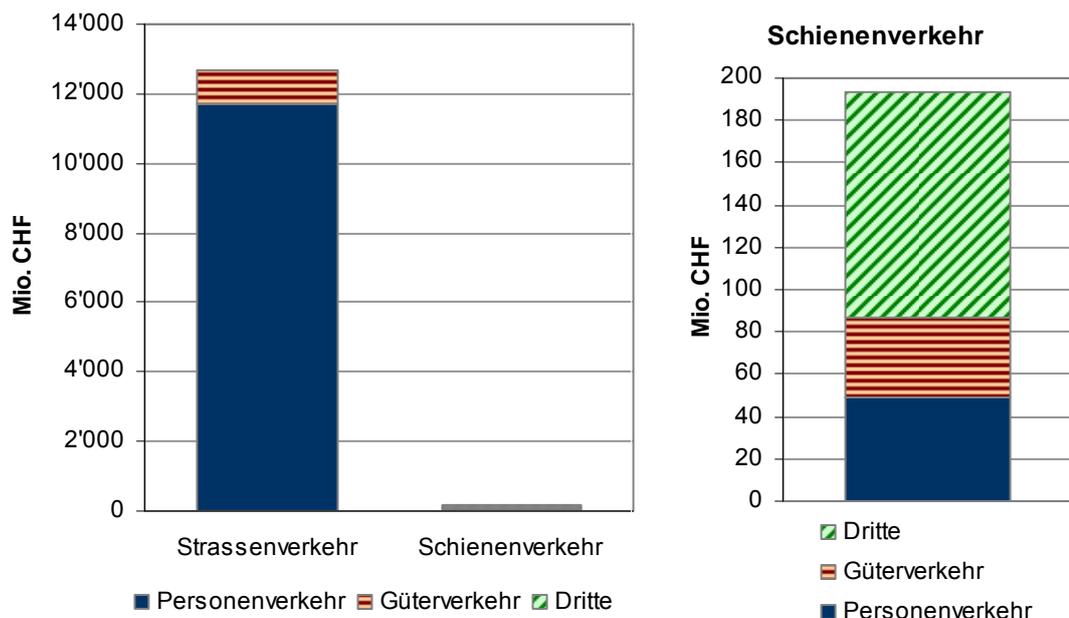
3.5.1 Gesamtverkehr

Die folgende Tabelle und Grafik zeigen, dass der Schienenverkehr im Vergleich zum Strassenverkehr bei den Unfallkosten des Jahres 2005 praktisch unbedeutend ist: Der Strassenverkehr verursacht Kosten von 12'660 Mio. CHF, der Schienenverkehr lediglich Kosten von 193 Mio. CHF – d.h. 65-mal tiefere Kosten. Während im Strassenverkehr 92% der Kosten durch den Personenverkehr verursacht werden und die restlichen 8% durch den Güterverkehr, ist dieses Verhältnis im Schienenverkehr viel ausgeglichener – der Personenverkehr verursacht 25% der Kosten und der Güterverkehr 20%; Die Hauptverursacher im Schienenverkehr sind aber Dritte, die für 55% der Unfallkosten verantwortlich sind.

Tabelle 3-8: Soziale Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr (in Mio. CHF)

	Personenverkehr	Güterverkehr	Dritte	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	11'686	974	-	12'660	98.5%
Schienenverkehr	49	38	106	193	1.5%
Total	11'735	1'012	106	12'853	100.0%
in % des Totals	91.3%	7.9%	0.8%	100.0%	

Grafik 3-4: Soziale Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr (in Mio. CHF)



Die externen Kosten fallen deutlich geringer aus (vgl. folgende Tabelle): Aus Sicht Verkehrsträger betragen die gesamten externen Unfallkosten gut 2.0 Mrd. CHF, aus Sicht Verkehrsteilnehmende gut 4.1 Mrd. CHF. Die prozentuale Aufteilung auf den Strassen- und Schienenverkehr bzw. auf Personen- und Güterverkehr bleibt dabei etwa gleich. Im Schienenverkehr sind die Kosten Dritter jedoch dominanter – insbesondere aus der Sicht Verkehrsträger, gemäss der sie 86% der Kosten ausmachen. Zudem verursacht im Schienenverkehr der Güterverkehr zwar tiefere soziale Kosten als der Personenverkehr, aber höhere externe Kosten. Der Grund dafür ist, dass der Personenverkehr höhere Sachschäden verursacht, aber tiefere Personenschäden. Da die Sachschäden interne Kosten darstellen, sind bei den externen Kosten nur noch die Unterschiede bei den Personenschäden erkennbar.

Tabelle 3-9: Externe Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr (in Mio. CHF)

Sicht Verkehrsträger	Personenverkehr	Güterverkehr	Dritte	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	1'893	124	-	2'017	98.5%
Schienenverkehr	2	3	26	30	1.5%
Total	1'894	127	26	2'047	100.0%
in % des Totals	92.5%	6.2%	1.3%	100.0%	
Sicht Verkehrsteilnehmende	Personenverkehr	Güterverkehr	Dritte	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	3'738	360	-	4'098	99.0%
Schienenverkehr	7	9	26	42	1.0%
Total	3'744	369	26	4'140	100.0%
in % des Totals	90.5%	8.9%	0.6%	100.0%	

3.5.2 Strassenverkehr

In der folgenden Tabelle und Grafik werden die sozialen Unfallkosten im Strassenverkehr detailliert ausgewiesen. Insgesamt fallen Kosten von 12'660 Mio. CHF an. Bei der Aufteilung auf die verursachenden Fahrzeugkategorien fällt auf, dass Personenwagen für mehr als die Hälfte der Kosten (53%) verantwortlich sind. Dahinter folgen die Fahrräder (17%), Motorräder (10%), Motorfahrräder (6%) und Fussgänger (4%). Die vier Fahrzeugkategorien des Güterverkehrs (Lieferwagen, Lastwagen, Schwere Sattelschlepper, Traktoren und Arbeitsmaschinen) sind zusammen nur für 7.7% der Unfallkosten verantwortlich, davon wird gut die Hälfte durch Lieferwagen verursacht.

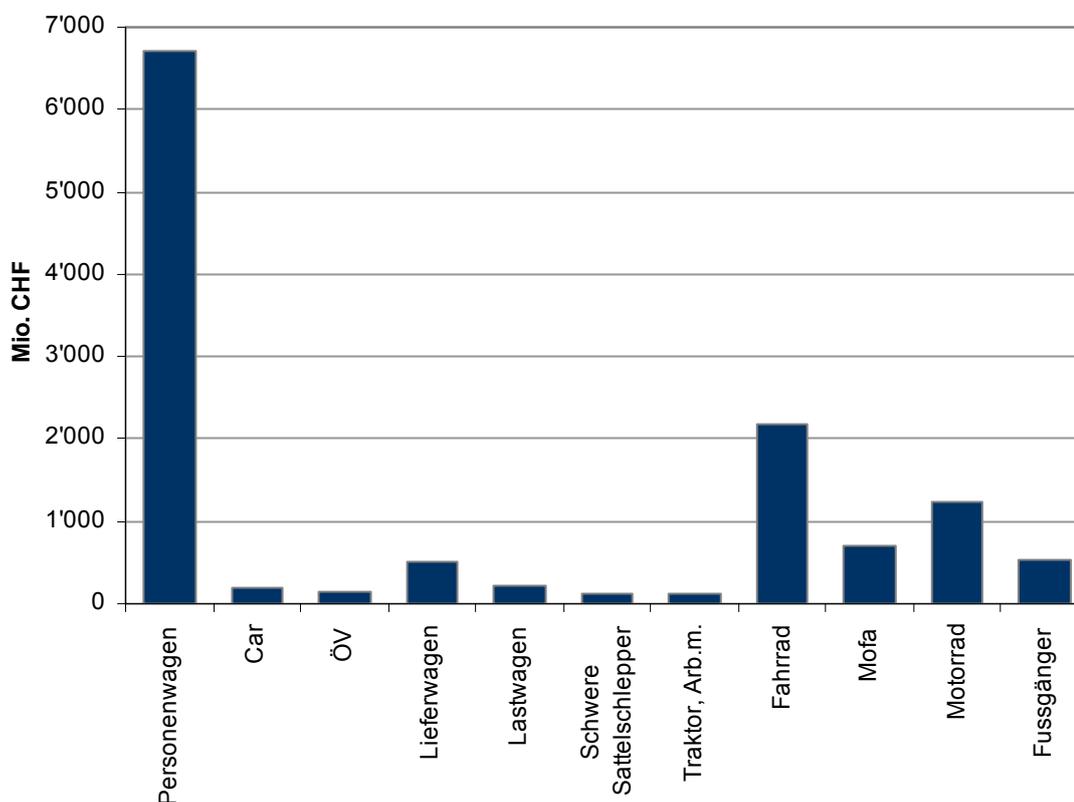
Die Tabelle 3-10 zeigt auch die Aufteilung auf die Kostenbestandteile, die auch in der Grafik 3-6 veranschaulicht wird. Die meisten Kosten (77%) werden durch Personenschäden verursacht. Der Prozentsatz schwankt jedoch zwischen den Fahrzeugkategorien zwischen 46% (ÖV) und fast 100% (99.97% bei den Fussgängern). Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass die Sachschäden bei grösseren Fahrzeugkategorien höher sind: Durchschnittlich betragen die Sachschäden 19% der Kosten, schwanken aber zwischen 52% (ÖV) und 0%

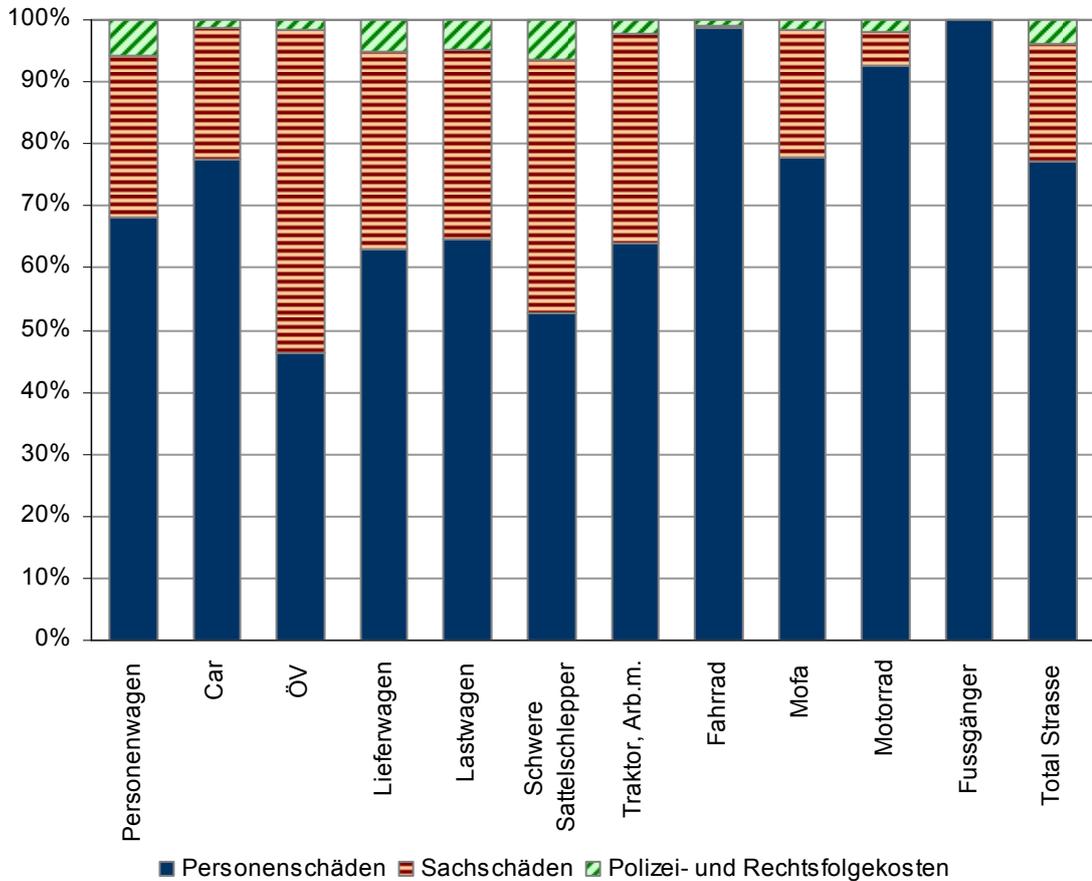
(Fussgänger und Fahrrad). Die Polizei- und Rechtsfolgekosten machen nur 4% der Kosten aus.

Tabelle 3-10: Soziale Unfallkosten im Strassenverkehr in Mio. CHF nach Verursacher und Kostenkategorie

	Pers.- wagen	Car	ÖV	Liefer- wagen	Last- wagen	S. Sat- telschl.	Traktor, Arb.m.	Fahrrad	Mofa	Motor- rad	Fuss- gänger	Total Strasse
Personenschäden	4'579.0	147.9	66.2	313.0	140.7	67.8	83.1	2'141.1	545.4	1'150.7	535.5	9'770.4
Med. Heilungsk.	280.1	7.6	4.4	19.0	5.7	3.4	4.1	147.0	36.8	71.0	32.2	611.3
Nettoprod.ausfall	378.1	14.0	5.0	26.0	15.2	6.5	8.0	157.1	40.8	94.2	44.9	789.8
Wiederbesetzung	19.0	0.7	0.3	1.3	0.7	0.3	0.4	8.2	2.1	4.7	2.2	39.9
Administrativk.	48.1	1.4	0.7	3.3	1.2	0.6	0.8	24.2	6.1	12.2	5.6	104.1
Immaterielle K.	3'853.8	124.3	55.8	263.4	117.9	56.9	69.8	1'804.6	459.6	968.5	450.6	8'225.3
Sachschäden	1'740.7	40.3	74.9	159.6	66.5	52.8	44.1	9.8	145.8	69.8	0.1	2'404.5
Sachschäden	1'450.6	33.6	62.5	133.0	55.4	44.0	36.7	8.2	121.5	58.2	0.1	2'003.8
Administrativk.	290.1	6.7	12.5	26.6	11.1	8.8	7.3	1.6	24.3	11.6	0.0	400.8
Polizei- u. Rechts- folgekosten	382.4	2.7	2.3	24.8	10.7	8.1	3.0	17.5	10.5	23.0	0.1	485.1
Polizeikosten	36.3	0.3	0.2	2.4	1.0	0.8	0.3	1.7	1.0	2.2	0.0	46.1
Rechtsfolgekosten	308.3	2.2	1.9	20.0	8.6	6.5	2.4	14.1	8.5	18.6	0.1	391.1
Administrativk.	37.8	0.3	0.2	2.5	1.1	0.8	0.3	1.7	1.0	2.3	0.0	47.9
Total	6'702.1	191.0	143.5	497.5	217.9	128.6	130.2	2'168.4	701.7	1'243.5	535.7	12'660.1
Anteil in %	52.9%	1.5%	1.1%	3.9%	1.7%	1.0%	1.0%	17.1%	5.5%	9.8%	4.2%	100%

Grafik 3-5: Soziale Unfallkosten im Strassenverkehr in Mio. CHF nach Verursacher



Grafik 3-6: Soziale Unfallkosten im Strassenverkehr in Mio. CHF nach Kostenkategorien

Eine genauere Aufteilung in die Kostenbestandteile ist der Tabelle 3-10 bzw. der folgenden Grafik (linke Säule) zu entnehmen: Der Grossteil der Kosten sind die immateriellen Kosten mit 65%, gefolgt von den Sachschäden (16% exkl. Administrativkosten), Nettoproduktionsausfall (6%), medizinischen Heilungskosten (5%), Administrativkosten (4% in allen drei Bereichen) und Rechtsfolgekosten (3%). Polizei- und Wiederbesetzungskosten sind jedoch unbedeutend (je unter 0.5%).

Die Grafik 3-7 zeigt auch, dass die externen Unfallkosten deutlich geringer sind als die sozialen Unfallkosten. Aus Sicht Verkehrsträger betragen sie lediglich 16% der sozialen Kosten, aus Sicht Verkehrsteilnehmende 32%. Die Ergebnisse werden in der folgenden Tabelle präsentiert. Der einzige Unterschied zwischen der Sicht Verkehrsträger und Verkehrsteilnehmende sind die immateriellen Kosten. Während bei den Nettoproduktionsausfällen die sozialen und externen Kosten identisch sind, sind die gesamten Sachschäden interne Kosten (bezahlt durch den Verursacher oder seine Haftpflichtversicherung). Vor allem die externen immateriellen Kosten fallen deutlich geringer aus als die sozialen immateriellen: Aus Sicht Verkehrsträger nehmen sie um den Faktor 17 ab, aus Sicht Verkehrsteilnehmende um den Faktor 3.2. Aus Sicht Verkehrsträger ist damit der Nettoproduktionsausfall mit 39% der grösste Kostenbestandteil, gefolgt von den immateriellen Kosten mit 24% und den medizinischen Heilungskosten mit 22%. Aus Sicht Verkehrsteilnehmende sind die immateriellen Kosten aber weiterhin für 63% der Kosten verantwortlich.

Grafik 3-7: Aufteilung der sozialen und externen Kosten auf die Kostenbestandteile

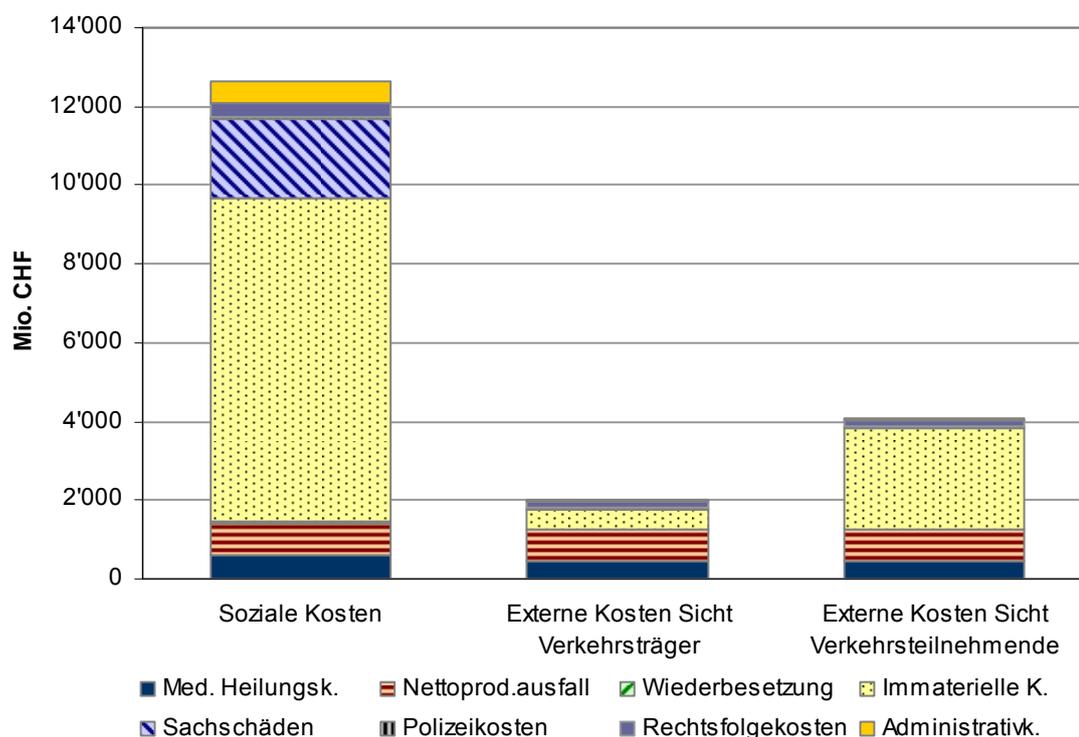


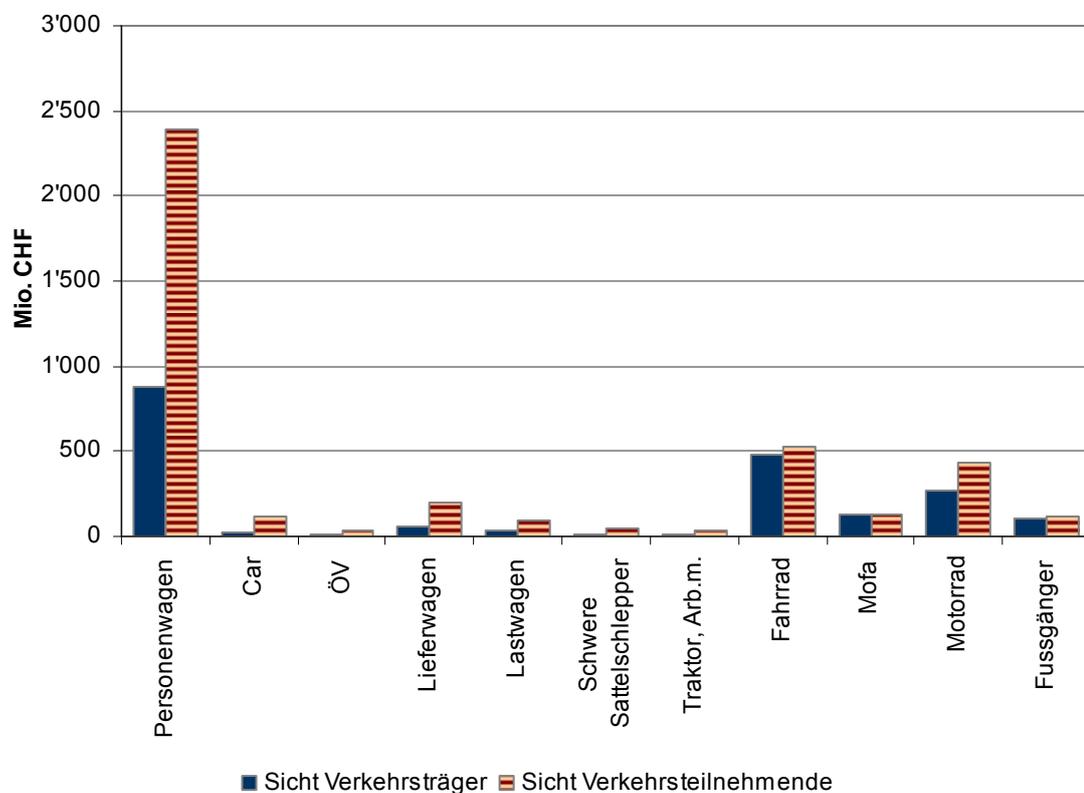
Tabelle 3-11: Externe Unfallkosten im Strassenverkehr in Mio. CHF nach Verursacher und Kostenkategorie

	Pers.- wagen	Car	ÖV	Liefer- wagen	Last- wagen	S. Sat- telschl.	Traktor, Arb.m.	Fahrrad	Mofa	Motor- rad	Fuss- gänger	Total Strasse
Personenschäden	728.2	18.2	6.9	53.0	25.6	12.2	14.5	468.8	124.0	261.6	106.1	1'819.2
Med. Heilungsk.	155.5	2.0	1.1	9.9	3.3	2.0	3.2	144.0	35.7	61.0	31.6	449.4
Nettoprod.ausfall	378.1	14.0	5.0	26.0	15.2	6.5	8.0	157.1	40.8	94.2	44.9	789.8
Wiederbesetzung	19.0	0.7	0.3	1.3	0.7	0.3	0.4	8.2	2.1	4.7	2.2	39.9
Administrativk.	11.4	0.3	0.1	1.0	0.3	0.2	0.1	23.0	2.8	9.0	4.5	52.7
Immaterielle K.	164.3	1.3	0.5	14.8	6.1	3.2	2.7	136.6	42.6	92.6	22.8	487.3
Sachschäden	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sachschäden	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Administrativk.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Polizei- u. Rechts- folgekosten	155.8	1.1	0.9	10.1	4.4	3.3	1.2	7.1	4.3	9.4	0.0	197.7
Polizeikosten	25.4	0.2	0.2	1.7	0.7	0.5	0.2	1.2	0.7	1.5	0.0	32.3
Rechtsfolgekosten	130.4	0.9	0.8	8.5	3.6	2.8	1.0	6.0	3.6	7.8	0.0	165.4
Administrativk.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total Sicht Verkehrsträger	884.0	19.3	7.8	63.2	29.9	15.5	15.7	475.9	128.3	271.0	106.1	2'016.8
Anteil in %	44%	1%	0%	3%	1%	1%	1%	24%	6%	13%	5%	100%
Total Sicht Ver- kehrsteilnehmende¹	2'385.2	114.6	37.6	193.9	89.1	42.5	34.5	524.3	128.3	430.5	117.2	4'097.6
Anteil in %	58%	3%	1%	5%	2%	1%	1%	13%	3%	11%	3%	100%

¹ Die Sicht Verkehrsteilnehmende unterscheidet sich nur durch höhere immaterielle Kosten von der Sicht Verkehrsträger.

Betrachtet man schliesslich noch die Aufteilung der externen Kosten auf die verursachenden Fahrzeugkategorien (vgl. folgenden Grafik und letzten Zeilen der Tabelle 3-11), so sieht man, dass sich die Verteilung im Vergleich zu den sozialen Kosten wenig verändert: Weiterhin sind die Personenwagen für den grössten Teil der externen bzw. sozialen Kosten verantwortlich, gefolgt von Fahrrädern und Motorrädern. Aus Sicht Verkehrsträger nimmt die Bedeutung der Personenwagen gegenüber den sozialen Kosten etwas ab (44% statt 53%), dafür sind Fahrräder (24% statt 17%) und Motorräder (13% statt 10%) bedeutender. Aus Sicht Verkehrsteilnehmende ist es umgekehrt, auf die Personenwagen entfällt ein grösserer Anteil (58% statt 53%), was auf Kosten der Anteile der Fahrräder (13% statt 17%) und Mofas (3% statt 6%) geht.

Grafik 3-8: Externe Unfallkosten im Strassenverkehr in Mio. CHF nach Verursacher



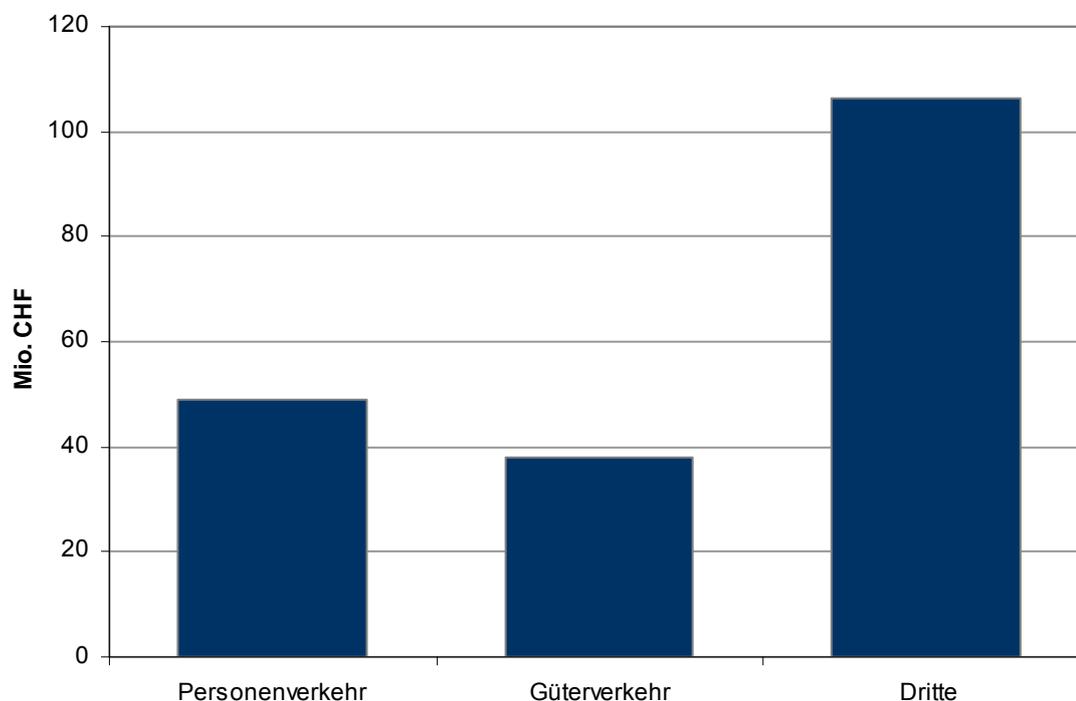
3.5.3 Schienenverkehr

Die Unfallkosten im Schienenverkehr sind deutlich geringer als im Strassenverkehr. Sie betragen im Jahr 2005 lediglich 193 Mio. CHF. Bei der Aufteilung auf die Verursacher fällt auf (vgl. folgenden Tabelle und Grafik), dass gut die Hälfte (55%) der Kosten durch Dritte verursacht werden. Der Personen- und Güterverkehr sind in etwa zu gleichen Teilen für die restlichen 45% verantwortlich (49 Mio. CHF oder 25% bzw. 38 Mio. CHF oder 20%).

Tabelle 3-12: Soziale Unfallkosten im Schienenverkehr in Mio. CHF nach Verursacher und Kostenkategorie

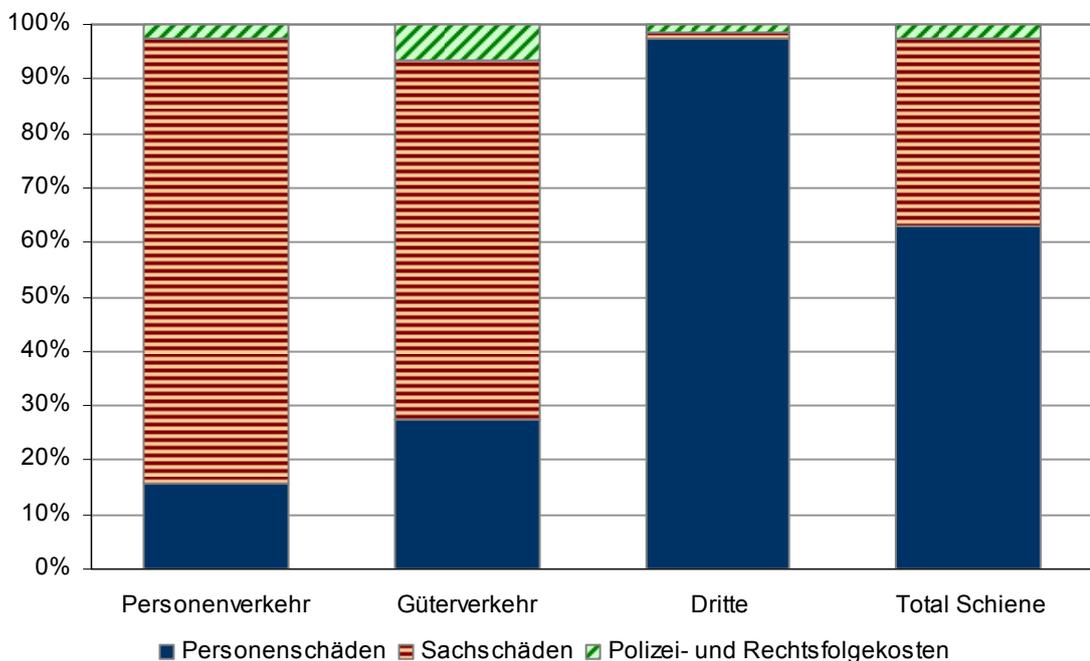
	Personenverkehr	Güterverkehr	Dritte	Total Schiene
Personenschäden	7.8	10.5	103.7	122.0
Med. Heilungsk.	0.3	0.5	1.6	2.4
Nettoprod.ausfall	1.0	1.3	14.7	16.9
Wiederbesetzung	0.1	0.1	0.7	0.8
Administrativk.	0.1	0.1	0.6	0.8
Immaterielle K.	6.3	8.6	86.2	101.1
Sachschäden	39.8	25.0	1.3	66.2
Sachschäden	33.2	20.9	1.1	55.2
Administrativk.	6.6	4.2	0.2	11.0
Polizei- u. Rechtsfolgekosten	1.2	2.5	1.4	5.2
Polizeikosten	0.1	0.2	0.1	0.5
Rechtsfolgekosten	1.0	2.0	1.2	4.2
Administrativk.	0.1	0.3	0.1	0.5
Total	48.8	38.1	106.5	193.4
Anteil in %	25.2%	19.7%	55.0%	100%

Grafik 3-9: Soziale Unfallkosten im Schienenverkehr in Mio. CHF nach Verursacher



Die Aufteilung auf die Kostenbestandteile zeigt (vgl. auch folgenden Grafik), dass 63% der Schäden Personenschäden sind, 34% Sachschäden und 3% Polizei- und Rechtsfolgekosten. Je nach Verursacher sind diese Anteile jedoch deutlich unterschiedlich. Bei den von Dritten verursachten Unfällen handelt es sich beinahe ausschliesslich um Personenschäden (97%). Bei den vom Personen- und Güterverkehr verursachten Unfällen entstehen jedoch vor allem Sachschäden (82% bzw. 66%), während Personenschäden weniger bedeutend sind (16% bzw. 28%). Dass es im Güterverkehr mehr Personenschäden gibt, dürfte vor allem darauf zurückzuführen sein, dass im Güterverkehr bei den Rangierbewegungen immer wieder Unfälle mit Verletzten auftreten.

Grafik 3-10: Soziale Unfallkosten im Schienenverkehr in Mio. CHF nach Kostenkategorien

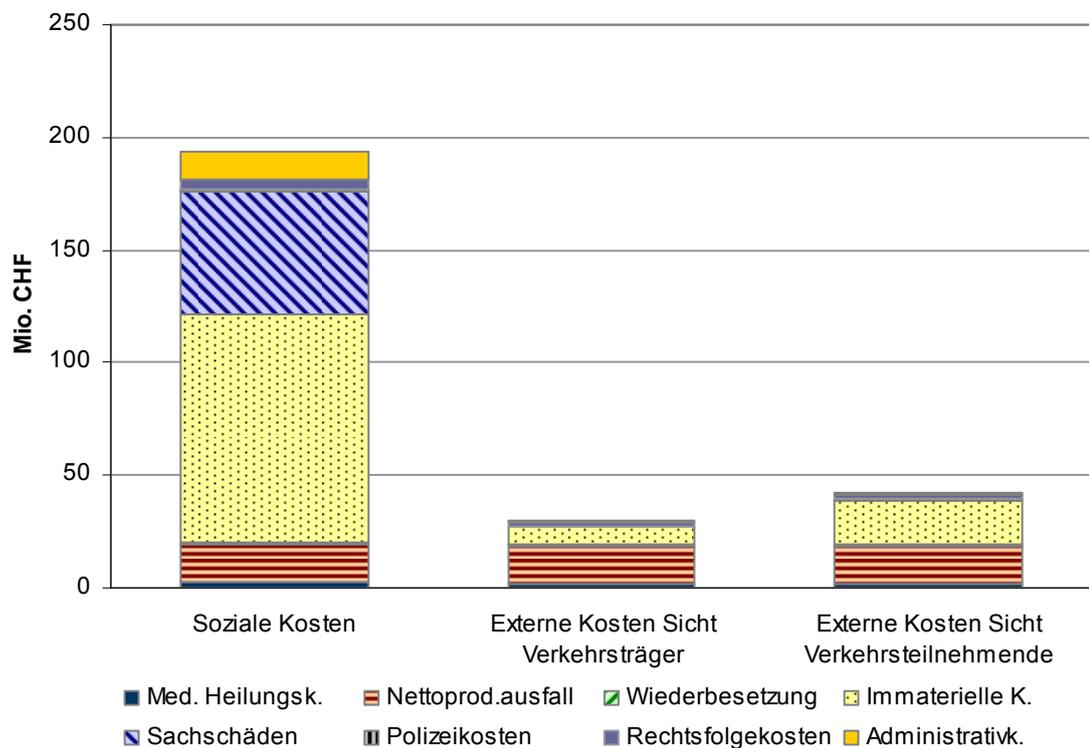


Eine detailliertere Aufteilung auf die Kostenbestandteile (vgl. Tabelle 3-12 und Balken links in Grafik 3-11) lässt erkennen, dass 52% der Kosten immaterielle Kosten sind und 9% Nettoproduktionsausfälle. Die übrigen Kostenbestandteile der Personenschäden (wie z.B. Wiederbesetzungskosten oder medizinische Heilungskosten) sind unbedeutend. Bei den medizinischen Heilungskosten ist dies darauf zurückzuführen, dass sehr viele Unfälle tödlich enden. Da die Sachschäden bedeutend sind (29%, exkl. Administrativkosten), sind auch die Administrativkosten relativ hoch (6%), da diese 20% der Sachschäden betragen.

Wie im Strassenverkehr sind die externen Kosten deutlich geringer als die sozialen Kosten der Verkehrsunfälle (vgl. Grafik 3-11). Aus Sicht Verkehrsträger belaufen sie sich auf 30 Mio. CHF oder 15% der sozialen Kosten, aus Sicht Verkehrsteilnehmende auf 42 Mio. CHF oder 22% (vgl. auch Tabelle 3-13). Wie im Strassenverkehr unterschieden sich die Sicht Verkehrs-

träger und Verkehrsteilnehmende nur durch die immateriellen Kosten. Ebenso sind die gesamten sozialen Nettoproduktionsausfälle externe Kosten, während die gesamten Sachschäden interne sind. Die immateriellen Kosten sind aus Sicht Verkehrsträger 13-mal geringer als die sozialen Kosten, aus Sicht Verkehrsteilnehmende 5-mal. Aus Sicht Verkehrsträger sind damit die Nettoproduktionsausfälle mit 57% und die immateriellen Kosten mit 25% die wichtigsten Kostenbestandteile. Aus Sicht Verkehrsteilnehmende ist die Reihenfolge umgekehrt (47% immaterielle Kosten, 40% Nettoproduktionsausfall).

Grafik 3-11: Aufteilung der sozialen und externen Kosten auf die Kostenbestandteile



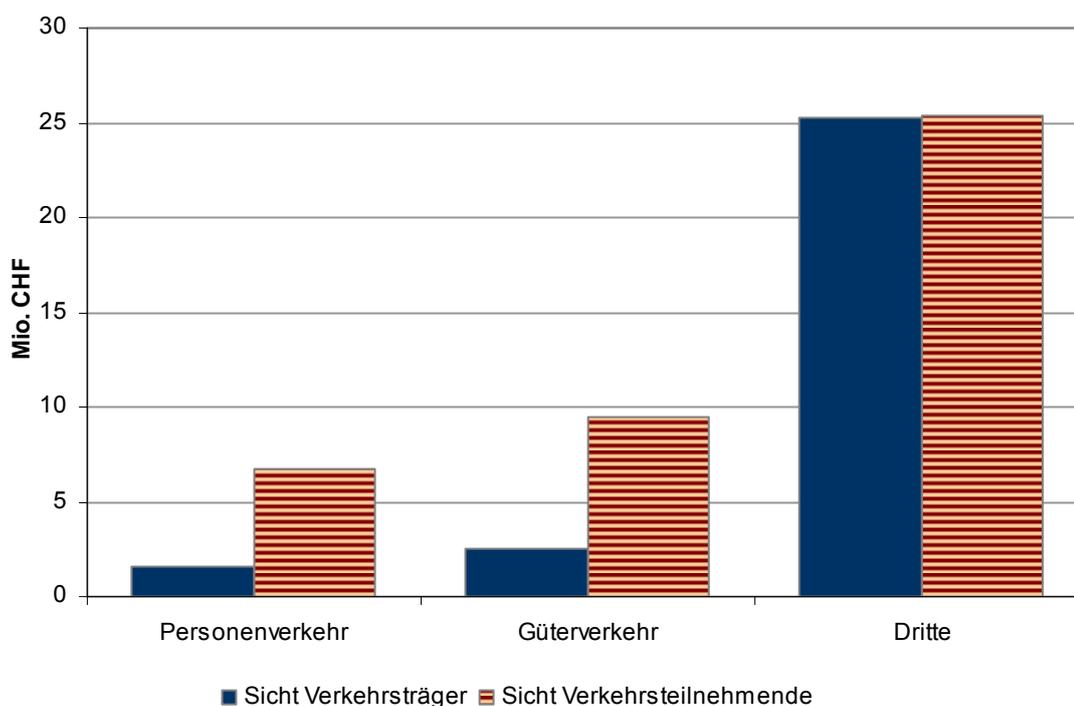
Schliesslich zeigt Grafik 3-12, dass ein Grossteil der externen Kosten durch Dritte verursacht wird. Die durch Dritte verursachten Kosten betragen 26 Mio. CHF und sind aus Sicht Verkehrsträger bzw. Verkehrsteilnehmende praktisch identisch. Da aber die externen Kosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende bei den Verursachern Personen- und Güterverkehr höher sind, ist der Anteil der Dritten an den externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger mit 86% höher als aus Sicht Verkehrsteilnehmende mit 61%. Während der Personenverkehr höhere soziale Unfallkosten verursacht als der Güterverkehr, ist der Güterverkehr für die höheren externen Kosten verantwortlich, da die hohen Sachschäden im Personenverkehr bei den externen Kosten wegfallen.

Tabelle 3-13: Externe Unfallkosten im Schienenverkehr in Mio. CHF nach Verursacher und Kostenkategorie

	Personenverkehr	Güterverkehr	Dritte	Total Schiene
Personenschäden	1.1	1.5	25.0	27.6
Med. Heilungsk.	0.1	0.1	1.6	1.8
Nettoprod.ausfall	1.0	1.3	14.7	16.9
Wiederbesetzung	0.1	0.1	0.7	0.8
Administrativk.	0.0	0.0	0.6	0.6
Immaterielle K.	0.0	0.0	7.5	7.6
Sachschäden	-	-	-	-
Sachschäden	-	-	-	-
Administrativk.	-	-	-	-
Polizei- u. Rechts- folgekosten	0.5	1.1	0.6	2.2
Polizeikosten	0.1	0.2	0.1	0.4
Rechtsfolgekosten	0.4	0.9	0.5	1.8
Administrativk.	-	-	-	-
Total Sicht Verkehrsträger	1.6	2.6	25.6	29.8
Anteil in %	5.5%	8.6%	85.9%	100.0%
Total Sicht Verkehrsteilnehmende¹	6.8	9.5	25.7	41.9
Anteil in %	16.1%	22.6%	61.3%	100.0%

¹ Die Sicht Verkehrsteilnehmende unterscheidet sich nur durch höhere immaterielle Kosten von der Sicht Verkehrsträger.

Grafik 3-12: Externe Unfallkosten im Schienenverkehr in Mio. CHF nach Verursacher



3.6 Bandbreiten

3.6.1 Zusammenfassung der Annahmen und Bandbreiten

Für die Ermittlung der Unfallkosten war es unumgänglich, bei verschiedenen Berechnungsschritten Annahmen zu treffen. Dies weil entweder die Datengrundlagen nicht in der gewünschten Weise zur Verfügung standen (z.B. Ausmass der polizeilich nicht erfassten Unfälle) oder weil die Erhebungen an und für sich mit Unsicherheiten verbunden sind (z.B. Höhe der Zahlungsbereitschaft für die Verminderung des Unfallrisikos).

Wo wenige empirische Erkenntnisse vorlagen, wurde zur Festlegung dieser Annahmen meist von einem at least Ansatz ausgegangen; also bei der Wahl von zwei oder mehreren möglichen Parametern jener gewählt, der in der Tendenz eher zu einer Unter- als Überschätzung der Unfallkosten führte. Sofern viele empirische Befunde vorlagen, aber diese eine grosse Bandbreite aufwiesen, wurden zum Teil auch best guess Annahmen getroffen.

Wie bei anderen Kostenschätzungen gilt auch bei den Unfallkosten, dass sie nie mit absoluter Sicherheit ermittelt werden können. Die erwähnten Unsicherheiten bringen es mit sich, dass die wahren Unfallkosten in einer Bandbreite um den ausgewiesenen Wert liegen. Für die praktische Verwendung der Ergebnisse, z.B. im Rahmen von verkehrspolitischen Entscheidungen, ist es selbstverständlich bedeutsam, wie grosse diese Bandbreiten sind und ob die bisher ausgewiesenen Ergebnisse zu den Unfallkosten eher am unteren oder oberen Ende der Bandbreite liegen. Dieser Fragestellung soll im Folgenden mittels einer Monte-Carlo-Simulation nachgegangen werden (vgl. Kapitel 2.5).

Als Grundlage dazu werden in der folgenden Tabelle 3-14 die für die Berechnung der Unfallkosten verwendeten Inputdaten und Annahmen nochmals übersichtlich dargestellt. Im Rahmen der Monte-Carlo-Simulation sind insbesondere die folgenden Unsicherheiten von Bedeutung (vgl. folgende Tabelle):

- Die Abschätzung des gesamten Ausmasses der Unfälle unter Einbezug der **Dunkelziffer** kann bei den Erwerbstätigen aufgrund der Daten aus den Unfallversicherungen als sehr zuverlässig bezeichnet werden. Bei den Kindern und Senioren sind jedoch Schätzungen nötig. In der Studie für die bfu (Ecoplan 2007) wird deshalb im Rahmen der Sensitivitätsanalyse mit einer um 20% höheren bzw. tieferen Zahl der Verletzten bei den Kindern und Senioren gerechnet. Umgelegt auf die Gesamtzahl der Unfallverletzten ergeben sich dadurch Veränderungen von $\pm 3.86\%$. Diese Eckwerte lassen sich für die Monte-Carlo-Simulation nutzen. Unterstellt man zudem mangels anderer Hinweise, dass die Schätzung der Unfallopfer normal verteilt ist, so ergibt sich für die Monte-Carlo-Simulation, dass die Gesamtzahl der verletzten Unfallopfer im Strassenverkehr in 95% aller Fälle innerhalb 96.14% und 103.86% liegt.

Tabelle 3-14: Übersicht über Inputdaten, Annahmen und Bandbreiten bei den Unfallkosten

Bereich / Annahme	Wissenstand	Vorgehen	Bandbreite
Unfallgeschehen Strasse			
Polizeilich registrierte Unfälle	Gesichertes Wissen	Datenauswertung	± 20%
Dunkelziffer Erwachsene	Gesichertes Wissen	Datenauswertung	
Dunkelziffer Kinder und Senioren	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	
Aufteilung auf Verletzungsschweren	Gesichertes Wissen	Datenauswertung	
Verteilung auf Fahrzeugkategorien	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	
Unfallgeschehen Schiene			
Registrierte Unfälle	Gesichertes Wissen	Datenauswertung	
Dunkelziffer (klein)	Keine quantitativen Kenntnisse	Vernachlässigung	
Aufteilung auf Verletzungsschweren	Gesichertes Wissen	Datenauswertung	
Verteilung auf Fahrzeugkategorien	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	
Wertgerüst			
Immaterielle Kosten (VOSL)	Wissen mit Unsicherheiten	at least	-50% / +100%
Medizinische Behandlungskosten	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 15%
Übriges Wertgerüst	Gesichertes Wissen	Datenauswertung	± 20%
Anteil externe Kosten	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	

- Die grösste Unsicherheit betrifft die Festlegung des **VOSL** (value of statistical life bzw. immaterielle Kosten eines Todesfalles). Da die immateriellen Kosten der Verletzten als Prozentsätze des VOSL berechnet werden, hat die Festlegung des VOSL Auswirkungen auf die gesamten **immateriellen Kosten**. Der Wert des VOSL wurde aus diversen internationalen Studien hergeleitet. Verschiedene Studien kommen dabei zu unterschiedlichen Resultaten. Wie oben erläutert, scheint sich jedoch der verwendete Wert von 1.5 Mio. € (zu 1998 Marktpreisen bzw. 3.147 Mio. CHF zu 2005er Faktorpreisen) als Basiswert durchgesetzt zu haben.

Für die Monte-Carlo-Simulation ist es notwendig eine Bandbreite festzulegen, innerhalb derer der wahre Wert des VOSL mit grösster Wahrscheinlichkeit liegt.⁶³ Dazu untersuchen wir, mit welchen Bandbreiten in anderen Studien im Rahmen der Sensitivitätsanalysen gearbeitet wurde. Die nachstehende Zusammenstellung gibt dazu einen Überblick:

In der Studie für das ARE über die Unfallkosten wurde der Wert um 30% reduziert.

In späteren Studien für das ARE in den Bereichen Lärm und Luftverschmutzung wurde der VOSL halbiert bzw. verdoppelt.⁶⁴

Dieselbe Schwankungsbreite wurde auch in der Studie für das bfu verwendet.⁶⁵

International wurde in den EU-Projekten UNITE und IMPACT je eine etwas kleinere Schwankungsbreite mit den Faktoren 1.67 und 0.5 bzw. 2 und 0.67 vorgeschlagen.⁶⁶

⁶³ Optimal wäre es, wenn eine Meta-Analyse verschiedener empirischer Studien zur Schätzung des VOSL durchgeführt werden könnte. Dies ist im Rahmen dieses Projektes jedoch nicht machbar.

⁶⁴ Ecoplan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz und Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz.

⁶⁵ Ecoplan (2007), Volkswirtschaftliche Kosten der Nichtberufsunfälle in der Schweiz: Strassenverkehr, Sport, Haus und Freizeit.

Im neueren EU-Projekt HEATCO wird jedoch eine grössere Schwankungsbreite empfohlen: Der VOSL soll um den Faktor 3 erhöht bzw. reduziert werden.⁶⁷ Die Grundlage für diese Schwankungsbreite bildet die Empfehlung aus dem EU-Projekt ExternE.⁶⁸

Es wird also teilweise ein Faktor 2 bzw. 3 verwendet, so dass der VOSL zwischen 1.57 und 6.29 bzw. zwischen 1.05 und 9.44 Mio. CHF schwankt. Die grösste Schwankung wird im EU-Projekt ExternE vorgeschlagen, in dem die Werte aber etwas tiefer zwischen 0.80 und 6.64 Mio. CHF lagen.⁶⁹ In einer Literaturübersicht für die Luftverschmutzungsstudie für das ARE wurden Werte für einen Verkehrsunfall zwischen 1.48 und 8.65 Mio. CHF gefunden.⁷⁰

Basierend auf diesen Ausführungen wird für die Monte-Carlo-Simulation eine rechtsschiefe Verteilung (mit einer grösseren Schwankungsbreite gegen oben als gegen unten) verwendet. Bei rechtsschiefen Verteilungen sind Werte, die kleiner sind als der Mittelwert, häufiger zu beobachten, so dass sich der Modus (häufigster Wert) links vom Mittelwert befindet, der rechte Teil des Graphs ist flacher als der linke, vgl. folgende Grafik).

Für die Monte-Carlo-Simulation wählen wir eine Chi-Quadrat-Verteilung mit 15 Freiheitsgraden. Diese Verteilung wird so umskaliert, dass der Modus (d.h. der wahrscheinlichste Wert) genau auf den von uns verwendeten Wert von 3.147 Mio. CHF fällt.⁷¹ Der häufigste Wert wird also in der Hauptrechnung verwendet. Diese Verteilung wird in Grafik 3-13 abgebildet und hat folgende Eigenschaften:

Der Mittelwert dieser Verteilung liegt bei 3.63 Mio. CHF. Deshalb ist der gewählte Ansatz at least. Zudem wird in UNITE betont, dass der verwendete VOSL eine vorsichtige Schätzung ist.⁷²

Das 95%-Prozent-Intervall dieser Verteilung liegt zwischen 1.52 und 6.65 Mio. CHF. Der untere Wert entspricht knapp der Hälfte des Hauptwertes bzw. dem unteren Wert aus der Literaturübersicht aus der Luftverschmutzungsstudie. Der obere Wert ist gut das doppelte des Hauptwertes bzw. entspricht dem Ergebnis aus der ExternE-Studie.

⁶⁶ Nellthorp et al. (2001), Valuation Conventions for UNITE, S. 6 und Infras / CE Delft et al. (2007), IMPACT: Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport, S. 41.

⁶⁷ Bickel et al. (2006), HEATCO D5: Proposal for Harmonized Guidelines, S. 126.

⁶⁸ European Commission (2005), ExternE - Externalities of Energy – Methodology 2005 Update, S.147: Der Faktor 3 wird damit begründet, dass die Zahlungsbereitschaft für eine Risikoreduktion um 0.1% nicht 5-mal kleiner ist als diejenige für eine Risikoreduktion um 0.5%, sondern in den empirischen Ergebnissen nur 1.6-mal kleiner. Entsprechend ergibt sich ein 3-mal höherer VOSL wenn von der 0.1%-Veränderung hochgerechnet wird als von der 0.5% Veränderung. Der Faktor 1/3 stammt aus einem Teilergebnis der Studie in Frankreich.

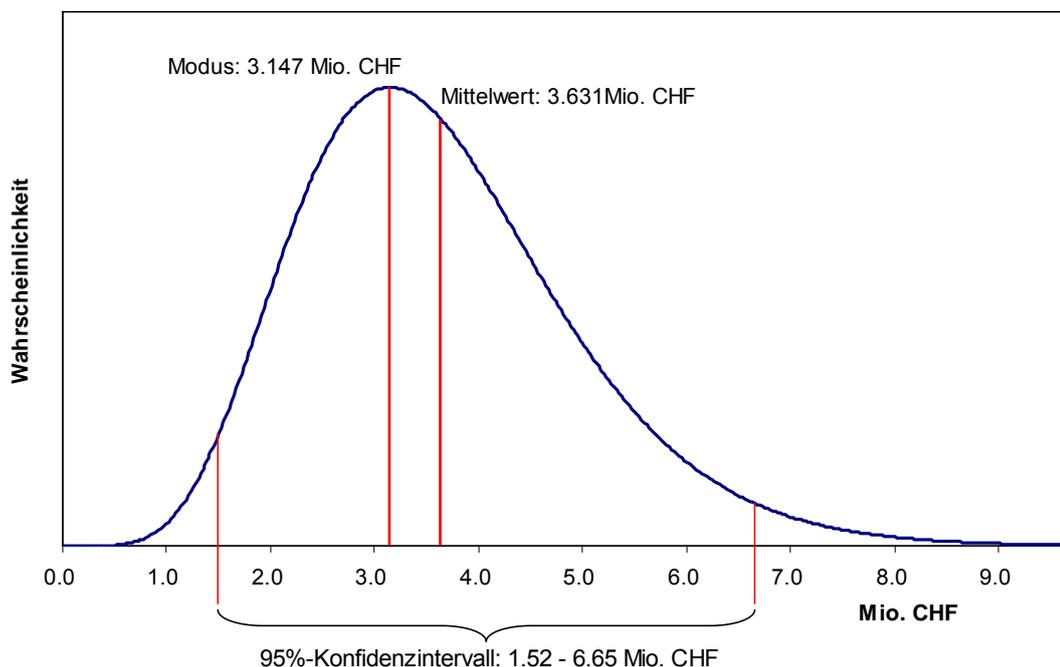
⁶⁹ Umrechnung der Werte von 0.40 und 3.31 Mio. € (2002) gemäss Bickel et al. (2006), HEATCO D5: Proposal for Harmonized Guidelines, Annex B, S. 21.

⁷⁰ Die Werte von 1.37 und 8.03 Mio. CHF zu Preisen 2000 wurden mit dem Nominallohnwachstum auf Preise 2005 angepasst (Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz, S. 87).

⁷¹ Da der Modus der Chi-Quadrat-Verteilung mit 15 Freiheitsgraden bei 13 liegt, wird also das Ergebnis der Verteilung mit 3.147 Mio. / 13 multipliziert.

⁷² Nellthorp et al. (2001), Valuation Conventions for UNITE, S. 6.

Grafik 3-13: Verwendete Verteilung für den VOSL (umskalierte Chi-Quadrat-Verteilung mit 15 Freiheitsgraden)



- Die Bestimmung der **medizinischen Heilungskosten** ist ebenfalls mit gewissen Unsicherheiten behaftet, weil die Kosten der Unfallversicherungen um die staatlichen Beiträge an die Spitalkosten ergänzt werden müssen. In den bisherigen Studien (Ecoplan 2002 und Ecoplan 2007) wurde deshalb im Rahmen der Sensitivitätsanalyse mit 15% höheren und tieferen Kosten gerechnet. Ausgehend von dieser Bandbreite verwenden wir im Rahmen der Monte-Carlo-Simulation eine Normalverteilung, in der 95% der Fälle innerhalb des Bereichs 85% bis 115% liegen.
- Die **externen Kosten** wurden als Anteile der sozialen Kosten bestimmt. Aufgrund der komplexen Herleitung musste auf eine Aktualisierung dieser Prozentsätze verzichtet werden. Zudem waren in der Studie für das ARE einige Annahmen nötig, die mit Unsicherheiten behaftet sind. Eine genaue Quantifizierung dieser Unsicherheiten ist ohne grossen Aufwand nicht möglich, wir gehen jedoch davon aus, dass die Unsicherheit etwa $\pm 20\%$ betragen dürfte. Wir unterstellen deshalb in der Monte-Carlo-Simulation, dass der Prozentsatz der externen Kosten (aus Sicht Verkehrsträger und aus Sicht Verkehrsteilnehmende) normalverteilt ist und mit 95% innerhalb von 80% und 120% des durchschnittlichen Prozentsatzes liegt.

In der Monte-Carlo-Simulation nicht berücksichtigt werden einige weitere Unsicherheiten (z.B. bei den Polizeikosten oder den Rechtsfolgekosten), die für das Gesamtergebnis von marginaler Bedeutung sind, so dass sich ein Einbezug in die Monte-Carlo-Simulation nicht lohnen würde.

3.6.2 Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation

Wie in Kapitel 2.5.3 erwähnt, wurden eine Million Simulationen durchgeführt, um die Monte-Carlo-Simulation zu berechnen. Die Ergebnisse werden in der folgenden Tabelle und Grafik dargestellt.

Die Ergebnisse für den **Strassenverkehr** zeigen, dass das 95%-Konfidenzintervall der sozialen Kosten **zwischen 8'400 und 21'900 Mio. CHF** liegt. Das oben ermittelte Ergebnis aus der Basisrechnung von 12'660 Mio. CHF wird also um 34% unter- bzw. um 73% überschritten. Praktisch die gesamte Schwankungsbreite wird nur von der Unsicherheit beim VOSL ausgelöst: Würde nur der VOSL variiert, wäre das 95%-Konfidenzintervall 8'398 bis 21'827 statt dem geringfügig grösseren Intervall 8'397 bis 21'872 Mio. CHF.

Da der Anteil der externen Kosten unsicher ist, fällt das 95%-Konfidenzintervall bei den externen Kosten mit –37% bis 78% grösser aus als bei den sozialen Kosten (Sicht Verkehrsträger 1'271 – 3'592 Mio. CHF bzw. Sicht Verkehrsteilnehmende 2'591 – 7'320 Mio. CHF). Wiederum wird der Grossteil dieser Schwankungsbreite nur durch den VOSL ausgelöst (–34% bis 72%).

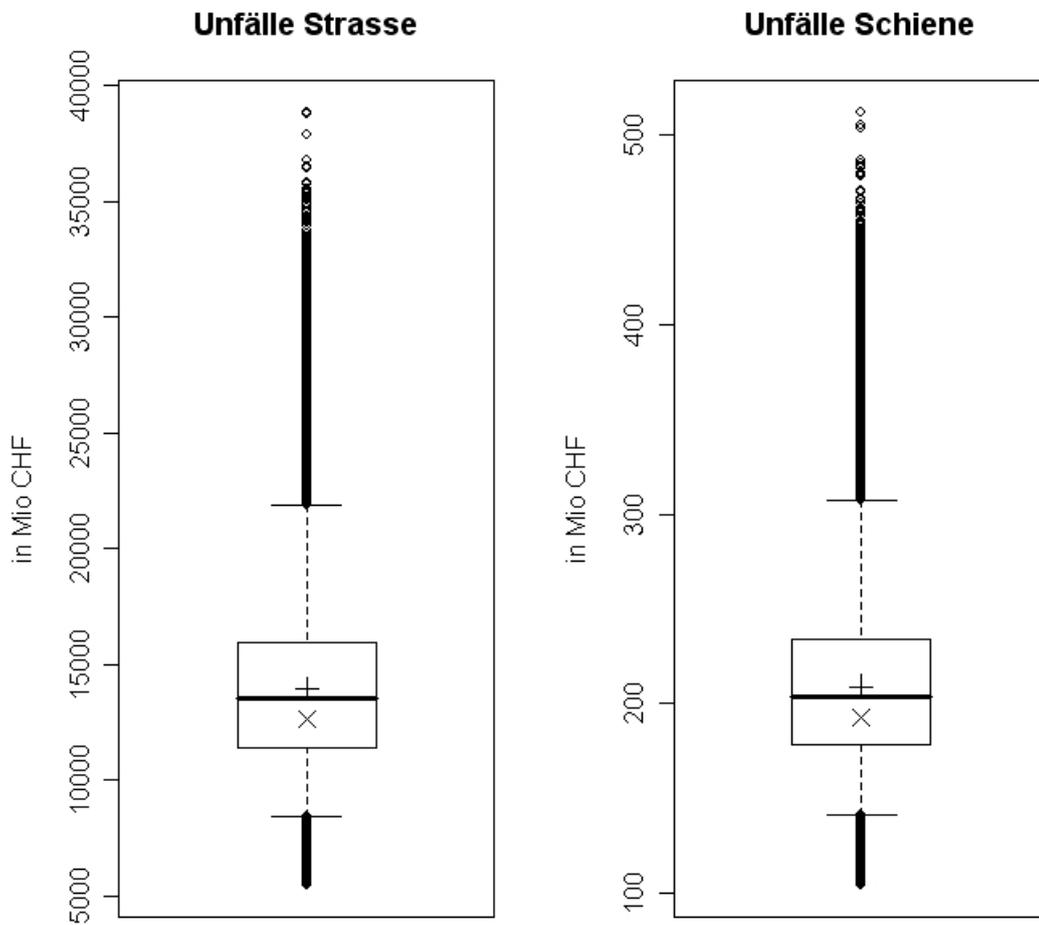
Im **Schieneverkehr** schwanken die Werte **zwischen 141 und 306 Mio. CHF**. Die Schwankungsbreite ist hier mit –27% bis 58% kleiner, weil einerseits Unsicherheit bei der Dunkelziffer bei Kindern und Senioren auf der Strasse entfällt (vgl. Tabelle 3-14) und weil andererseits – und dies ist bedeutender – ein grösserer Teil der Kosten nicht in die Monte-Carlo-Analyse eingeht (46% im Schienenverkehr bzw. 23% im Strassenverkehr): Insbesondere sind die Sachschäden im Schienenverkehr anteilmässig höher (vgl. aber Kapitel 3.6.3). Auch hier wird praktisch die ganze Schwankungsbreite vom VOSL bestimmt.

Wiederum ist das 95%-Konfidenzintervall für die externen Kosten mit –31 bis 65% etwas grösser als für die sozialen Kosten (Sicht Verkehrsträger 20 – 49 Mio. CHF, Sicht Verkehrsteilnehmende 29 – 69 Mio. CHF). Davon wird allein durch die Unsicherheit beim VOSL eine Schwankungsbreite von –27 bis 58% hervorgerufen.

Tabelle 3-15: Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation für die Unfälle in Mio. CHF

		Basisrechnung	95%-Konfidenzintervall	95%-Konfidenzintervall
Strasse	Soziale Kosten	12'660	8'397 - 21'872	-34% - 73%
	Externe Kosten			
	Sicht Verkehrsträger	2'017	1'271 - 3'592	-37% - 78%
	Sicht Verkehrsteilnehmende	4'098	2'591 - 7'320	-37% - 78%
Schiene	Soziale Kosten	193	141 - 306	-27% - 58%
	Externe Kosten			
	Sicht Verkehrsträger	30	20 - 49	-31% - 65%
	Sicht Verkehrsteilnehmende	42	29 - 69	-31% - 65%
Total	Soziale Kosten	12'853	8'538 - 22'178	-34% - 73%
	Externe Kosten			
	Sicht Verkehrsträger	2'047	1'292 - 3'642	-37% - 78%
	Sicht Verkehrsteilnehmende	4'140	2'620 - 7'389	-37% - 78%

Grafik 3-14: Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation für die sozialen Unfallkosten



Erläuterung: Die Begrenzung der rechteckigen Box entspricht dem 25%- bzw. 75%-Quantil, d.h. 50% aller Simulationen liegen innerhalb der Box. Der Strich in der Box ist der Median (=50%-Quantil), das „+“-Zeichen der Mittelwert und das „x“-Zeichen das Ergebnis aus der Basisrechnung. Der untere bzw. obere Querstrich nach der gestrichelten Linie („Whisker“) ist das 2.5%- bzw. 97.5%-Quantil, so dass 95% innerhalb dieser Werte liegen. Die Kreise ausserhalb dieser Querstriche zeigen Ausreisser (da eine Million Simulationen durchgeführt wurden, gibt es relativ viele Ausreisser).

Das Ergebnis für den gesamten Verkehr wird durch den Strassenverkehr dominiert, der die viel höheren Kosten ausweist. Entsprechend sind auch die Schwankungsbreiten des Gesamtergebnisses prozentual gleich gross wie bei der Strasse. Die sozialen Kosten schwanken zwischen 8'500 und 22'200 Mio. CHF.

Schliesslich ist noch zu erwähnen, dass der Mittelwert der Verteilung um 10% bzw. 8% (Strasse bzw. Schiene) höher als ist die Basisrechnung. Auch der Median der Verteilung ist um 6% bzw. 5% höher als die Basisrechnung. Dies ist darauf zurückzuführen, dass wir wie bereits erläutert in der Basisrechnung einen at least Ansatz verwenden.

Wird Grafik 3-14 betrachtet, so fällt sofort die grosse Zahl der Ausreisser auf (die einzelnen Kreise überlagern sich so stark, dass sie meist nicht mehr einzeln sichtbar sind). Dies ist in

Anbetracht der hohen Zahl der Simulationen (eine Million) nicht überraschend. Die Ausreisser zeigen, dass die Schwankungsbreite nach oben sehr viel grösser ist als die Schwankungsbreite nach unten. Dies gilt für Strasse und Schiene.

3.6.3 Zusätzliche Unter- oder Überschätzungen

Verschiedene (meist kleinere) Bestandteile der Unfallkosten konnten im Rahmen der Basisrechnung nicht berücksichtigt werden und mussten in der Folge auch für die Monte-Carlo-Simulation ausgeschlossen werden:

- Kosten durch gesundheitlichen Spätschäden: Verletzungen können zu gesundheitlichen Spätschäden führen, die erst viele Jahre nach dem Unfallereignis auftreten. Diese Kosten dürften aber vergleichsweise gering sein.
- Die Kosten der Feuerwehr, falls durch den Unfall ein Brand entsteht (0.97% der Kosten von Unfällen in Belgien), werden vernachlässigt.
- Die Kosten der Besucher, die ihre Angehörigen oder Freunde im Spital besuchen (0.08% der Kosten von Unfällen in Belgien), sind nicht berücksichtigt.
- Im Schienenverkehr gibt es keine Abschätzungen zur Dunkelziffer. Wie in Kapitel 3.3.2 erläutert dürfte die Dunkelziffer im Schienenverkehr klein sein, trotzdem dürften die wahren Kosten etwas höher ausfallen als dargestellt.
- Die Sachschäden im Schienenverkehr sind nicht vollständig erfasst und werden deshalb zu tief ausgewiesen.
- Im Schienenverkehr muss auf eine Aufteilung der Schwerverletzten (Bahn) auf Invaliditätsfälle, Schwerverletzte und Mittelschwerverletzte verzichtet werden. Die Schwerverletzten (Bahn) werden aber mit einem durchschnittlichen Kostensatz bewertet, wobei der Durchschnitt mangels besserer Daten über die Anzahl der Invaliditätsfälle, Schwerverletzte und Mittelschwerverletzte im Strassenverkehr gebildet wurde. Da im Schienenverkehr ein sehr hoher Anteil von Toten beobachtet wird (gemessen an der Gesamtzahl der Opfer), dürfte im Schienenverkehr auch mit mehr Invaliditätsfällen zu rechnen sein. Die wahren Kosten dürften also höher liegen als hier berechnet.
- Im Strassenverkehr erfolgt die Aufteilung auf die Verletzungsschweren für alle Fahrzeugkategorien gleich. Das Gesamtergebnis stimmt somit, doch dürften die Kosten der schweren Fahrzeugkategorien (z.B. Lastwagen) damit unterschätzt werden, diejenigen der leichten Kategorien (z.B. Fahrrad) überschätzt.

Der Einbezug dieser Kosten dürfte also **nur** zu einer **geringfügigen Erhöhung der Unfallkosten** führen. Im **Schienenverkehr** dürfte die **Unterschätzung** absolut klein sein, aber prozentual könnte sie durchaus **nicht vernachlässigbar** sein.

Nicht mit einbezogen sind auch die Kosten aufgrund von Staus, die durch Unfälle verursacht werden. Dabei handelt es sich um Zeitverluste sowie um höhere Betriebs- und Umweltkosten

aufgrund kleinerer Geschwindigkeiten bzw. Stop-and-go-Verhältnissen. Diese Kosten werden in Infrac (2007)⁷³ ausgewiesen.

3.7 Vergleich mit den bisherigen Ergebnissen für das Jahr 2000

Im Folgenden nehmen wir einen Vergleich der Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr für das Jahr 2005 mit jenen für das Jahr 2000 vor.⁷⁴ Wir verzichten dabei auf eine Inflationsaufrechnung für die Kostenangaben aus dem Jahr 2000: Streng genommen müssten bei einem Vergleich zwischen zwei unterschiedlichen Zeitpunkten die Werte für die beiden Zeitpunkte um die Inflation bzw. das Nominallohnwachstum bereinigt werden.⁷⁵

Die Gegenüberstellung in Tabelle 3-16 zeigt, dass die sozialen Unfallkosten zwischen 2000 und 2005 abgenommen haben, nämlich von 13'149 Mio. CHF auf 12'853 Mio. CHF. Die Abnahme von 2.2% lässt sich vor allem auf folgende Gründe zurückführen.

- **Strassenverkehr** (vgl. auch linker Teil von Grafik 3-15):

Die **Zahl der Unfallopfer hat abgenommen**. Mussten im Jahr 2000 noch 592 Tote und beinahe 109'000 Verletzte hingenommen werden, sind es im Jahr 2005 nur noch 415 Tote und 94'000 Verletzte. Diese Abnahme um 30% bzw. 13% führt natürlich auch zu geringeren Kosten.

Die Anpassungen im Wertgerüst führen insgesamt zu etwa 6% höheren Kosten als in der alten Studie (vgl. auch Kapitel 3.4.2).⁷⁶ Aufgrund der Preisanpassung nehmen die Kosten zudem zwischen 2000 und 2005 um ca. 7.7% zu.⁷⁷

Gesamthaft ist im Strassenverkehr eine Abnahme um 2.7% zu erkennen. Im Güterverkehr ist die Reduktion mit 10.8% wesentlich höher als im Personenverkehr mit 2.0%. Dies ist darauf zurückzuführen, dass im Güterverkehr die Abnahme der Toten, Invaliden und Schwerverletzten mit 33%, 53% und 19% deutlich höher ist als im Personenverkehr mit 29%, 5% und 10%.

⁷³ Infrac (2007), Staukosten des Strassenverkehrs in der Schweiz. Etwa 70% der Staukosten im Strassenverkehr sind auf Überlastung und Unfälle zurückzuführen (der Rest auf Baustellen, Unwetter etc., Infrac 2007, S. 121). Der Anteil der Unfälle allein wird nicht angegeben.

⁷⁴ Für die Unfallkosten im Jahr 2000 sind wir von der ARE-Studie für die Unfälle im Jahr 1998 ausgegangen. Die Aktualisierung dieser Werte für die Unfälle im Jahr 2000 erfolgte in einer separaten Studie (vgl. dazu Ecoplan (2006), Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr. Aktualisierung für die Jahre 1999 bis 2004).

⁷⁵ Aufgrund der geringen Veränderungen zwischen den beiden Vergleichszeitpunkten 2000 und 2005 (der Konsumentenpreisindex stieg über diese Zeitperiode um insgesamt 4.4%, das Nominallohnwachstum um 7.7%) verzichten wir auf diese Bereinigung. Zudem hat dies den Vorteil, dass hier ausgewiesenen Werte für das Jahr 2000 identisch sind mit jener der verwendeten Grundlage (Ecoplan (2006), Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr. Aktualisierung für die Jahre 1999 bis 2004).

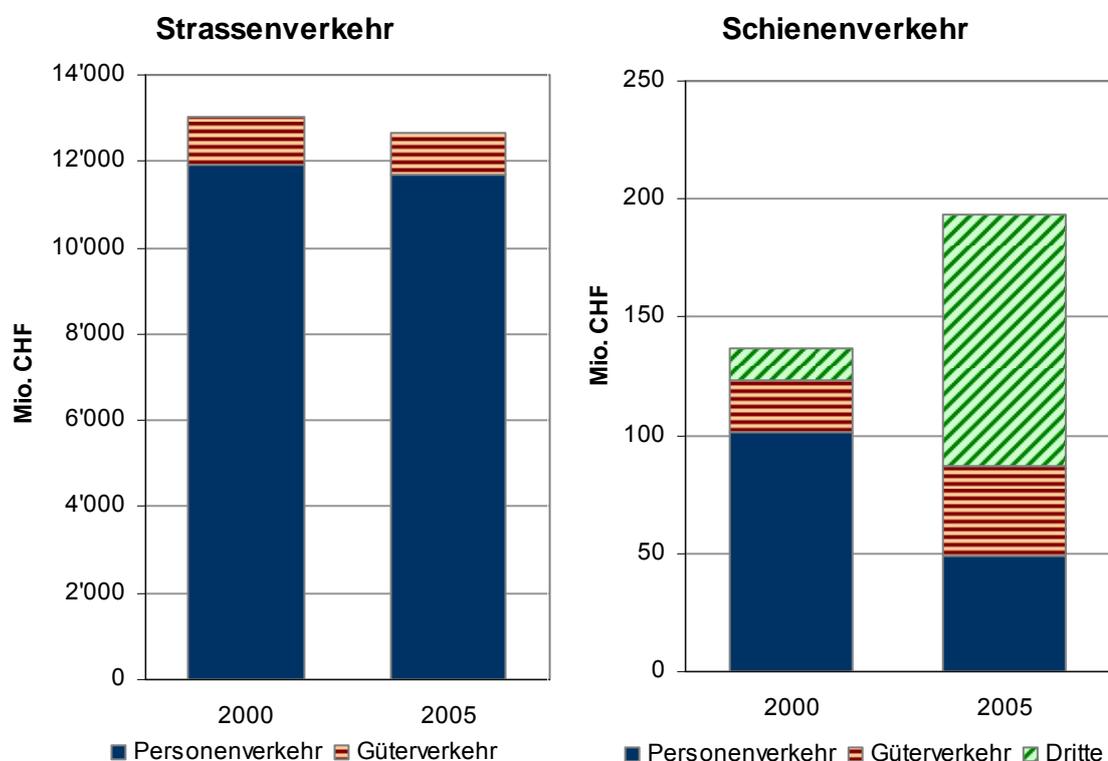
⁷⁶ Für Details siehe Ecoplan (2007), Volkswirtschaftliche Kosten der Nichtberufsunfälle in der Schweiz: Strassenverkehr, Sport, Haus und Freizeit, Anhang E, Tabelle 54, Kosten pro Opfer.

⁷⁷ Dies entspricht dem Nominallohnwachstum zwischen 2000 und 2005. Das Nominallohnwachstum darf approximativ verwendet werden, da der Grossteil der Kosten immateriell ist und die immateriellen Kosten mit dem Nominallohnwachstum angepasst werden müssen.

Tabelle 3-16: Vergleich der Berechnungen für die Jahre 2000 und 2005: Soziale Unfallkosten

2000	Personenverkehr	Güterverkehr	Dritte	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	11'920	1'092		13'012	99.0%
Schienenverkehr	101	22	14	137	1.0%
Total	12'021	1'114	14	13'149	100.0%
in % des Totals	91.4%	8.5%	0.1%	100.0%	
2005	Personenverkehr	Güterverkehr		Total	in % des Totals
Strassenverkehr	11'686	974	-	12'660	98.5%
Schienenverkehr	49	38	106	193	1.5%
Total	11'735	1'012	106	12'853	100.0%
in % des Totals	91.3%	7.9%	0.8%	100.0%	
Veränderung in %	Personenverkehr	Güterverkehr		Total	
Strassenverkehr	-2.0%	-10.8%		-2.7%	
Schienenverkehr	-51.7%	72.8%	670%	41.2%	
Total	-2.4%	-9.1%	670%	-2.2%	

Grafik 3-15: Vergleich der Berechnungen für die Jahre 2000 und 2005: Soziale Unfallkosten



- **Schiienenverkehr** (vgl. auch rechter Teil von Grafik 3-15):

Im Schienenverkehr haben die ermittelten Unfallkosten zwischen 2000 und 2005 **um 41% zugenommen**. Dies ist vor allem auf das deutlich bessere Mengengerüst zurückzuführen: Die neue BAV-Datenbank erlaubt viel differenziertere Auswertungen und kann das Unfallgeschehen auch vollständiger abbilden.

So wurden die Sachschäden für das Jahr 2000 auf 11 Mio. CHF geschätzt. Die neue, deutlich **bessere** (aber immer noch unvollständige) **Erfassung der Sachschäden** zeigt jedoch, dass im Jahr 2005 Sachschäden von 66 Mio. CHF auftraten. Dies erklärt die Zunahme der gesamten Kosten um 56 Mio. CHF praktisch vollständig.

Neu liegen auch Daten zu den Leichtverletzten vor, was bisher nicht der Fall war. Im Ergebnis ist dies insofern nicht erkennbar, weil die Zahl der Schwerverletzten (Bahn) zwischen 2000 und 2005 von 61 auf 37 abgenommen hat. Die Zahl der Toten ist jedoch leicht gestiegen (von 29 auf 31).

Auch die Aufteilung auf den Personen- und Güterverkehr sowie Dritte musste bisher basierend auf groben Annahmen vorgenommen werden. Die neue Datenbank erlaubt es, diese Aufteilung stark zu verbessern. So zeigen die neuen Daten, dass die meisten Unfälle von Dritten verursacht werden und auch bei der Aufteilung auf Personen- und Güterverkehr liegen bessere Grundlagen vor.

Die **externen Kosten im Strassenverkehr** wurden wie bereits erläutert mit den entsprechenden Prozentsätzen aus der Studie für das Jahr 1998 berechnet. Je nach Kostenbestandteil variiert der Anteil der externen Kosten an den sozialen Kosten. Dementsprechend wurde wie beschrieben auch die Aktualisierung der externen Kosten pro Kostenbereich separat vorgenommen. Die Verschiebungen in den Bestandteilen der sozialen Unfallkosten seit 2000 (insbesondere die Zunahme der Nettoproduktionsausfälle (neu Berücksichtigung der betrieblichen Vorsorgeansprüche durch das BFS) und der medizinischen Heilungskosten) haben zur Folge, dass sich der Anteil der externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger im Jahr 2005 mit 15.9% (gegenüber 12.2% im Jahr 2000) leicht erhöht hat. Aus Sicht Verkehrsteilnehmende stieg der Anteil der externen Kosten von 29.9% auf 32.4%. Die externen Kosten haben damit aus Sicht Verkehrsträger zwischen 2000 und 2005 von 1'626 auf 2'017 Mio. zugenommen (1998 waren es noch 1499 Mio. CHF), obwohl bei den sozialen Kosten ein Rückgang festgestellt werden kann. Aus Sicht Verkehrsteilnehmende ist zwischen 1998 und 2005 eine Zunahme von 3'662 auf 4'098 Mio. CHF zu beobachten.

Im Schienenverkehr wurde zur Ermittlung der externen Unfallkosten das gleiche Verfahren wie im Strassenverkehr angewendet, wobei zusätzlich nach Unfallverursacher und Nicht-Unfallverursacher differenziert wurde, da die neuen Daten des BAV eine deutlich bessere Aufteilung nach Verursacher und Nicht-Verursacher zulassen. Den neuen Ergebnissen ist deshalb mehr Vertrauen zu schenken. Der Anteil der externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger beträgt neu 15% (statt 11%), aus Sicht Verkehrsteilnehmende 22% (statt 68%). Auch aufgrund der Zunahme der gesamten Kosten des Schienenverkehrs verdoppeln sich gegenüber 1998 die externen Kosten aus Sicht Verkehrsträger (29.8 statt 14.4 Mio. CHF), aber die externen Kosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende halbieren sich (41.9 statt 89.1 Mio. CHF).

4 Lärm

4.1 Bewertungsmethodik

Das **Ziel** in diesem Kapitel ist, die **externen Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs** in der **Schweiz** auf das **Jahr 2005** zu aktualisieren. Die Ergebnisse werden nach Personen- und Güterverkehr differenziert sowie im Strassenverkehr zusätzlich auf verschiedene Fahrzeugkategorien verteilt. Die Basis für die Aktualisierung bilden die Berechnungen von Ecoplan et al (2004)⁷⁸ für das Jahr 2000.

Dabei wird das **Territorialprinzip** verwendet, d.h. es werden alle Lärmkosten in der Schweiz ermittelt. Zudem werden die **Ergebnisse neu nach vier Gemeindetypen regionalisiert**.⁷⁹

- Kernstadt einer Agglomeration
- Andere Agglomerationsgemeinden
- Isolierte Stadt
- Ländliche Gemeinde

Die Ermittlung der Lärmkosten beschränkt sich wie in der Studie für das Jahr 2000 auf

- die **Wohnnutzung** bzw. auf verminderte Mietzinsen, da belärmte Wohnungen auf dem Wohnungsmarkt weniger gefragt sind als vergleichbare Wohnungen an ruhiger Lage, und
- die **menschliche Gesundheit**, denn die Lärmbelastung kann zu körperlichen und psychischen Störungen führen und die Gesundheit schädigen.

Weitere Kostenkomponenten werden jedoch **nicht erfasst**.⁸⁰

- Auswirkungen des Lärms in Schutz- und Erholungsgebieten
- Auswirkungen des Lärms am Arbeitsplatz und in der Schule (Beeinträchtigung der Lebensqualität, Produktionsausfälle durch verminderte Leistungsfähigkeit des Personals)
- Verluste durch Auszonung oder Nicht-Einzonung von Grundstücken in der Raumplanung, sowie auch Auswirkungen auf nicht überbautes Bauland (sogenanntes Bauerwartungsland)
- Kosten von Schallschutzmassnahmen (Schallschutzfenster, Lärmschutzwände, Rollmaterial, Strassenbeläge, Motorenisolation etc.)
- Lärmfluchtkosten, Umsatzausfälle im Tourismus wegen Attraktivitätsverlust
- Baulärm

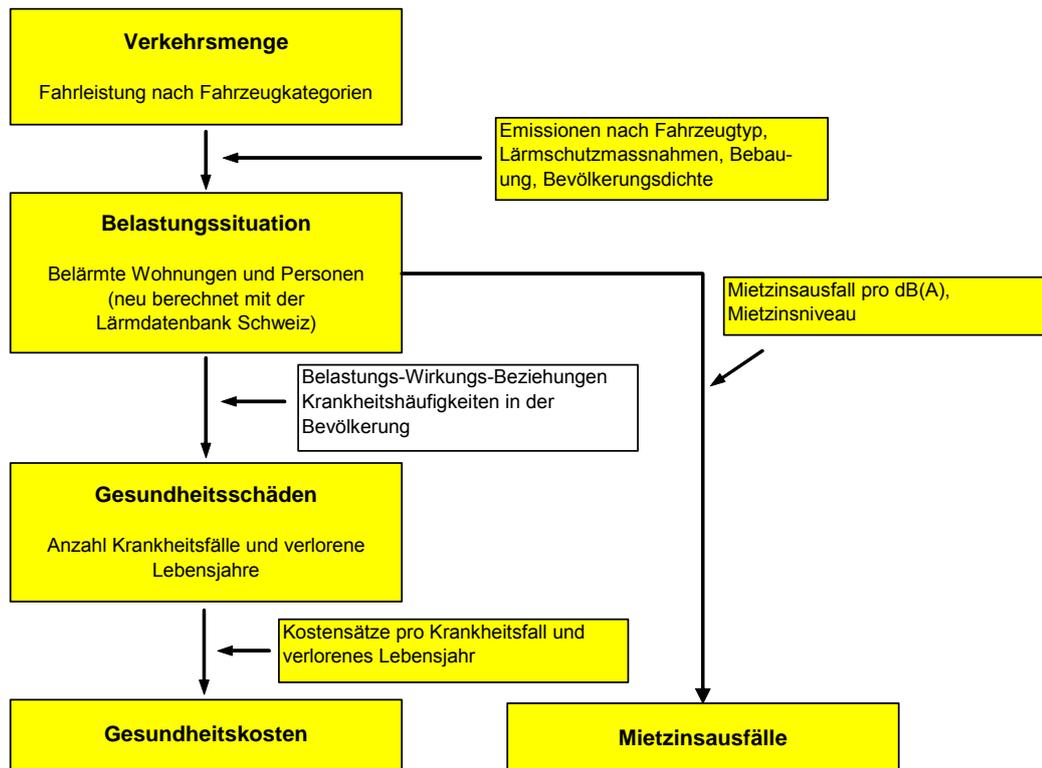
Für die Ermittlung der Lärmkosten wird das folgende **methodische Vorgehen** gewählt (vgl. auch folgenden Grafik, in der die Aktualisierungen hervorgehoben sind):

⁷⁸ Ecoplan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz.

⁷⁹ Die Gliederung folgt dabei den Definitionen des BFS (BFS 2005, Die Raumgliederungen der Schweiz).

⁸⁰ Ecoplan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, S. 4-5.

Grafik 4-1: Methodik zur Berechnung der Lärmkosten (Aktualisierungen hervorgehoben)



- Grundlage für die Monetarisierung ist eine detaillierte Untersuchung der **Lärmbelastung** durch den Strassen- und Schienenverkehr im Jahr 2005 in der Schweiz. Dazu wird die neu erstellte Lärmdatenbank Schweiz SonBase verwendet (vgl. unten).
- Ausgehend von der Anzahl belärmter Wohnungen sind in einem zweiten Schritt die **Mietzinsausfälle** zu ermitteln. Dazu muss einerseits der Zusammenhang zwischen dem Mietzinsniveau und der Lärmbelastung und andererseits das durchschnittliche Mietzinsniveau festgelegt werden.
- Die Lärmbelastung führt auch zu zusätzlichen **Gesundheitsschäden**.⁸¹ Aus dem Zusammenhang zwischen Lärmbelastung und Gesundheitsschäden (sogenannte Belastungs-Wirkungs-Beziehung oder dose-response-function) werden die lärmbedingten Krankheits- und Todesfälle berechnet. Diese werden schliesslich in Geldeinheiten umgerechnet, indem folgenden Kostenbestandteile berücksichtigt werden:

Medizinische Behandlungskosten: Darunter sind sowohl die Kosten der stationären und teilstationären Behandlung im Spital (Infrastruktur, Arzt, Medikamente etc.) als auch die Kosten der ambulanten Behandlung (Arztbesuche, Medikamente etc.) zu verstehen.

⁸¹ Durch die gleichzeitige Berücksichtigung von Mietzinsausfällen und Gesundheitsschäden entsteht keine Doppelzählung, da bei den Gesundheitsschäden Schlaf- und Kommunikationsstörungen nicht miteinbezogen werden (vgl. dazu Ecoplan et al. 2004, Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, S. 6-7).

Produktionsausfall: Die durch den Lärm beeinträchtigte Gesundheit führt dazu, dass Personen vorübergehend oder dauerhaft nicht als Arbeitskräfte zur Verfügung stehen.

Wiederbesetzungskosten: Nach Todesfällen von Erwerbstätigen müssen deren Stellen neu besetzt werden.⁸²

Immaterielle Kosten: Zu den immateriellen Kosten zählen wir den Verlust an Wohlbefinden, Schmerz und Leid bei der betroffenen Person.

All diese Kostenbestandteile wurden auch bei den Unfällen berücksichtigt. Analog zum Vorgehen bei den Unfallkosten werden auch jene Kosten berücksichtigt, welche erst nach dem Jahr 2005 anfallen (z.B. medizinische Behandlungskosten, Produktionsausfall usw.).

- Die Summe der Mietzinsausfälle und der Gesundheitskosten ergeben die gesamten hier berechneten Lärmkosten des Verkehrs.

Wie die Grafik 4-1 zeigt, werden praktisch alle Elemente der Berechnungen aktualisiert. Einzig die Belastungs-Wirkungs-Beziehungen werden aus der Studie für das Jahr 2000 übernommen.

4.2 Neue Erkenntnisse aus der nationalen und internationalen Forschung

a) SonBase (Lärmdatenbank Schweiz)

Daten zur Lärmbelastung in der Schweiz waren bisher nur lückenhaft vorhanden. Deshalb musste in der Studie für das Jahr 2000⁸³ die Lärmbelastung durch den Strassenverkehr aus einer Stichprobe auf die Schweiz hochgerechnet werden. In der Zwischenzeit wurde im Auftrag des BAFU jedoch SonBase entwickelt. Seit Anfang 2008 verfügt das BAFU damit über ein modernes und leistungsfähiges Berechnungstool. In SonBase wird erstmals der Strassen-, Schienen- und Flugverkehrslärm in der gesamten Schweiz flächendeckend abgebildet.

Für die Ermittlung der Lärmbelastung durch den Strassen- und Schienenverkehr stehen damit wesentlich bessere Grundlagen zur Verfügung als in der Studie für das Jahr 2000.

b) Bewertung der Lärmbelästigung

In der Studie für das Jahr 2000 werden die Mietzinsausfälle mit dem sogenannten Hedonic Pricing Ansatz bestimmt. Mit statistischen Methoden werden die verschiedenen Eigenschaften (z.B. Ruhe, Grösse, Lage usw.) von Wohnungen bewertet und daraus entsprechende Miet- bzw. Marktpreise abgeleitet.

⁸² Die Wiederbesetzungskosten werden neu miteinbezogen, sind aber nur sehr klein.

⁸³ Ecoplan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz.

In den letzten Jahren wurden international einige Studien publiziert, die anstelle der Mietzinsausfälle eine Zahlungsbereitschaft verwenden. So wird z.B. in IMPACT⁸⁴ empfohlen, pro dB(A) Lärm eine Zahlungsbereitschaft von 0.09% – 0.11% des pro Kopf Einkommens zu verwenden. Gemäss IMPACT wäre es jedoch methodisch besser, die Zahlungsbereitschaft nicht auf das berechnete Lärmniveau (dB(A)) zu beziehen, sondern auf das Belästigungsniveau (z.B. stark belästigt, belästigt, wenig belästigt). Dazu gibt es aber erst wenige Studien, deren Ergebnisse sich noch nicht durchsetzen konnten.⁸⁵

Die Frage, welcher Ansatz sich am besten für die Bewertung eignet, ist noch nicht entschieden. Der Hedonic Pricing Ansatz hat den Vorteil, dass er auf tatsächlichen Marktbeobachtungen beruht. Im Rahmen dieser Aktualisierung bleiben wir dementsprechend beim Hedonic Pricing Ansatz.

c) Mietzinsabnahme pro dB(A)

Die Lärmkosten werden von den Mietzinsausfällen dominiert. Deshalb stellt die verwendete Abnahme des Mietzinses pro dB(A) Lärm eine der wichtigsten Annahmen dar. In der Studie für das Jahr 2000 wurde die Mietzinsabnahme basierend auf vier Schweizer Studien bestimmt. In der Zwischenzeit wurden weitere fünf Schweizer Studien publiziert, welche bei der Aktualisierung zu berücksichtigen sind (vgl. Anhang B).

4.3 Mengengerüst

4.3.1 SonBase

a) SonBase als Grundlage für das Mengengerüst Lärm

Die Ermittlung der Lärmexposition stützt sich auf die Resultate von **SonBase**⁸⁶. Die Grundlagen zur Lärmernittlung sind aus Ecoplan et al. (2004)⁸⁷ ersichtlich.

Mit SonBase hat das Bundesamt für Umwelt (BAFU) in den letzten Jahren ein leistungsfähiges Werkzeug zur Ermittlung und Beurteilung der Lärmbelastung geschaffen. In der vorliegenden Aktualisierung der externen Kosten des Verkehrs wird erstmalig auf diese Grundlage zurückgegriffen. Die Resultate SonBase werden im Sommer 2008 in einer Publikation des BAFU vorgestellt. Nachfolgend erfolgt eine Kurzbeschreibung von SonBase, für detaillierte Fragestellungen wird auf die erwähnte Publikation verwiesen.

⁸⁴ Infrac / CE Delft et al. (2007), IMPACT: Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport, S. 66.

⁸⁵ Infrac / CE Delft et al. (2007), IMPACT: Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport, S. 66.

⁸⁶ BAFU (Bundesamt für Umwelt), 2008: Lärmbelastung in der Schweiz. Grundlagen und statistische Auswertungen anhand der GIS-Applikation «SonBase».

⁸⁷ Ecoplan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, insbesondere Kapitel 3.2, 3.3.1 und 3.4.1.

b) Zielsetzung SonBase

Lärm ist eine bedeutende Umweltbelastung unserer hochmobilen Gesellschaft. Jedoch war das Wissen über die Exposition und Belästigung der Schweizer Bevölkerung durch Lärm bis vor kurzem lückenhaft und stützte sich auf Schätzungen und Hochrechnungen. Auch die Lärmbelastungskataster (LBK) für Strassen, Eisenbahnen und Flugplätze sowie die weiteren verfügbaren Daten dienten bisher nur beschränkt dazu, ein umfassendes Bild über die Lärmsituation und deren Auswirkungen zu erhalten, obwohl der gesetzliche Auftrag aus dem Umweltschutzgesetz USG und der Lärmschutz-Verordnung LSV dies verlangt.

Das BAFU will mit dem Pilotprojekt SonBase die Lärmbelastung in der Schweiz systematisch und flächendeckend im Sinne eines Umweltmonitoring erfassen und analysieren. Dabei werden Grundlagen und Resultate für strategische und konzeptionelle Arbeiten im Bereich Lärm generiert und als räumliche Informationen, Berichte, Grafiken und Karten (Noise Mapping) zur Verfügung gestellt. Die **Projektziele** SonBase sind:

- Bau einer GIS-basierten Applikation, welche die Lärmbelastungen von den Hauptverkehrsquellen mit Information zur Bevölkerungsstatistik und Raumplanung sowie zu den Liegenschaften der ganzen Schweiz einheitlich und flächenhaft analysiert und darstellt
- Zusätzliche EU-kompatible Erhebung und Verarbeitung der lärmrelevanten Daten
- Schaffung von Schnittstellen zum Datenaustausch zwischen Bund und Kantonen

Als Lärmquellen sind in SonBase zurzeit der **Strassen-, Schienen- und Flugverkehr** berücksichtigt.

c) Verwendete Grundlagen in SonBase

Die Berechnung SonBase (Winter 07/08) erfolgte in der Genauigkeitsstufe GS 1, d.h. es werden keine neuen Datensätze erhoben, sondern die bereits vorhandenen Grundlagendaten des Bundes (vgl. Tabelle 4-1) miteinander verknüpft.

Dabei ist auf einen Spezialfall aufmerksam zu machen: Im **Schieneverkehr** stützt sich SonBase für die Bestimmung der Lärmbelastung auf den **Emissionsplan 2015**.⁸⁸ Der Emissionsplan basiert auf der Verordnung über die Lärmsanierung der Eisenbahnen (VLE).⁸⁹ Die Berechnung der Emissionen beruht damit auf der für das Jahr 2015 (Planungshorizont) vom Bundesrat festgelegten (rechtsverbindlichen) Prognose der Verkehrsmenge und -zusammensetzung unter Berücksichtigung der geplanten Rollmaterialsanierung. Ab 1998 bis 2015 will die SBB keine aktuellen Emissionen mehr herausgeben. Dies verunmöglicht zwischenzeitlich eine aktualisierte Lärmermittlung.

⁸⁸ BAV Homepage, <http://www.bav.admin.ch/ls/01576/01580/index.html?lang=de>

⁸⁹ Verordnung über die Lärmsanierung von Eisenbahnen (VLE) vom 14. November 2001 (Stand am 22. Februar 2005), 742.144.1, Anhang 2.

Tabelle 4-1: In SonBase verwendete Grundlagen

Datenbezeichnung	Datenherkunft	Genauigkeit / Bemerkungen
Gebäude (xy) / Strassen (xy)	Vector25	± 8m
Höhenlinien 10m; z.T. 5m (xyz)	Vector25 / DHM25	± 8m
Lage und Emissionen Eisenbahnen	SBB (EPlan2015)	nur SBB-Netz
Verkehrszahlen (DTV)	NPVM-UVEK	nur Model NPVM-UVEK
Geschwindigkeiten und Steigungen	NPVM-UVEK	nur Model NPVM-UVEK
Lärmschutzwände / -wälle (xy) Nationalstrassen	UH-Peri ASTRA	keine Höhenangaben
Lärmschutzwände SBB (xyz)	DfA SBB	
Anzahl Personen / Wohnungen	VZ2000 BFS	pro Gebäude
Anzahl Personen in Betrieben	BZ2001 BFS	pro Gebäude

Vector25 = digitale Landschaftsmodell der Schweiz, basierend auf der Landeskarte 1:25'000, DHM25 = digitales Höhenmodell basierend auf der Landeskarte 1:25'000, EPlan = Emissionsplan, NPVM-UVEK = Nationales Personenverkehrsmodell des UVEK, UH-Peri = Unterhaltsperimeter der Nationalstrassen, DfA = Datenbank der festen Anlagen, VZ = Volkszählung, BZ = Betriebszählung

Zwischen 2000 und 2005 hat die SBB 90% ihrer Reisezugwagen lärmsaniert. Dies betrifft 1'140 Wagen. Mit der lärmarmen Ausrüstung der Güterwagen wurde begonnen. 20% waren 2005 bereits saniert, die restlichen (Schweizer-) Güterwagen sollen bis 2014 saniert werden. Diese aktuellen Entwicklungen, sowie die bahntechnischen Verkehrsverlagerungen können somit in der Berechnung SonBase nicht berücksichtigt werden. SonBase enthält aber den aktuellen Stand bei den Lärmschutzwänden (bis 2005 wurden bereits 35 km Lärmschutzwände erstellt).

Die fehlenden aktuellen Emissionen der SBB und deren Ersatz durch einen Prognosehorizont 2015 (Emissionsplan) stellen für die Aktualisierung der Lärmkosten ein noch ungelöstes Problem dar. Eine Möglichkeit zur Verifizierung der aktuellen Emissionslage bietet eventuell das Lärmmonitoring des BAV⁹⁰. Das Monitoring Eisenbahnen misst an sechs Standorten, ab 2003 bis 2015, permanent die Eisenbahnlärm-Emissionen. Aus den veröffentlichten Messresultaten ist ersichtlich, dass im Jahr 2005 bei fünf der sechs Standorte der effektiv gemessene Bahnlärm unter dem Wert des Emissionsplans 2015 liegt. Ein direkter Rückschluss auf die Situation im gesamten Bahnnetz ist zurzeit nicht möglich. Für eine künftige Aktualisierung der Lärmkosten ist jedoch die Berücksichtigung dieser Bahndaten zu prüfen.

Es zeigte sich, dass mit den beim Bund vorhandenen Daten in Tabelle 4-1 allein keine flächendeckende Lärmberechnung durchgeführt werden konnte. Die in den Grundlagendaten vorhandenen Lücken wurden deshalb mit den Annahmen in Tabelle 4-2 ergänzt.

⁹⁰ BAV Homepage, <http://www.bav.admin.ch/ls/01300/index.html?lang=de>

Tabelle 4-2: In SonBase ergänzte Grundlagendaten

Element	Attribut	Defaultwert
Gebäude (z)	Höhe	9.0 m
	Absorptionseigenschaft	Reflexionsverlust = 1 dB(A)
Strassenabschnitt (DTV in Fahrzeugen)	Autobahn	21'000 (für 17% der Str.)
	1. Klass-Strasse	3'400 (für 14% der Str.)
	2. Klass-Strasse	1'200 (für 46% der Str.)
	3. Klass-Strasse	450 (für 97% der Str.)
	Q-Klass-Strasse (Agglo)	1'300 (für 94% der Str.)
	Q-Klass-Strasse (ländlich)	600 (für 100% der Str.)
Strassenabschnitt Geschwindigkeit	Autobahn	120 km/h
	Strassen innerorts/ausserorts	50 km/h / 80 km/h
Güterverkehr Strasse	Schwerverkehrsanteil	Gemäss LSV Anhang 3
Strassenabschnitt Verteilung Tag / Nacht	Stündliche Verkehrsmenge	Gemäss LSV Anhang 3
Lärmschutzwände an Nationalstrassen	Höhe	6 m
Lärmschutzwände generell	Absorptionseigenschaft	Reflexionsverlust = 8 dB(A)

d) Resultate SonBase

In SonBase werden aus den verfügbaren Grundlagendaten (Geobasisdaten, Statistikdaten, Verkehrsdaten etc.) die Emissionen der Quellen berechnet. Im Lärmmodul (CadnaA) werden dann unter Einbezug eines digitalen Höhenmodells die Ausbreitung und die resultierenden Lärmimmissionen ermittelt. Die Resultate werden dabei als „Hausbeurteilungen“ (maximaler Lärmwert pro Haus) gespeichert. Für spezielle Fragestellungen sind beliebige Simulationen und Szenarienrechnungen über Teilgebiete möglich.

Für das Mengengerüst Lärm wurden die Resultate der „Hausbeurteilungen“ verwendet. Es wurden die maximalen Lärmimmissionen an den im Datensatz „Vector25“ vorhandenen Gebäuden berechnet und mit den im Datensatz VZ2000 des BFS vorhandenen Bewohnern und Wohnungen verknüpft (gestützt auf ein geografisches Informationssystem, ArcGIS). Da die aktuelle SonBase den Erhebungsstand 2000 aufweist, werden die Personen- und Wohnungszahlen proportional zur Entwicklung 2000 – 2005 angepasst.⁹¹ Die Verwendung der maximalen Lärmimmissionen pro Haus führt zu einer Überschätzung der Lärmkosten. Dieselbe Art der Lärmschätzung ist jedoch auch bereits in Ecoplan et al. (2004, S. 18) enthalten.

⁹¹ Deshalb entsprechen die in den Kapiteln 4.3.2 und 4.3.3 ausgewiesenen Lärmbelastungen für 2005 nicht den Lärmbelastungen aus der BAFU-Publikation für 2000. Zudem wurde die Genauigkeit von SonBase-Berechnungen nach dem Übertrag der Ergebnisse in dieses Projekt noch leicht erhöht, sodass die Ergebnisse in der BAFU-Publikation etwas genauer sind.

Währenddem sich die Resultate der GS 1 für Aussagen zu grossen Gebieten (Schweiz resp. Regionen) eignen, kann in einer künftigen GS 2 (z.B. mit genaueren Daten der Kantone) die Genauigkeit und Dichte nach Wunsch (resp. nach vorhandenen Grundlagen) erhöht werden.

e) Regionen

Gestützt auf die „Raumgliederung Schweiz“⁹² des BFS sind in SonBase die folgenden vier Gemeindetypen enthalten:

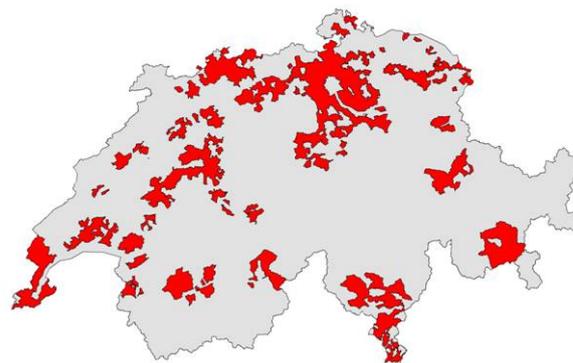
- Typ 1: Kernstadt einer Agglomeration (vgl. Grafik 4-2)
- Typ 2: Andere Agglomerationsgemeinde (vgl. Grafik 4-2)
- Typ 3: Isolierte Stadt (Gemeinden Lyss, Langenthal, Einsiedeln, Davos und Martigny)
- Typ 4: Ländliche Gemeinde (vgl. Grafik 4-3)

Grafik 4-2: Regionen 1 und 2 (dunkle Flächen)

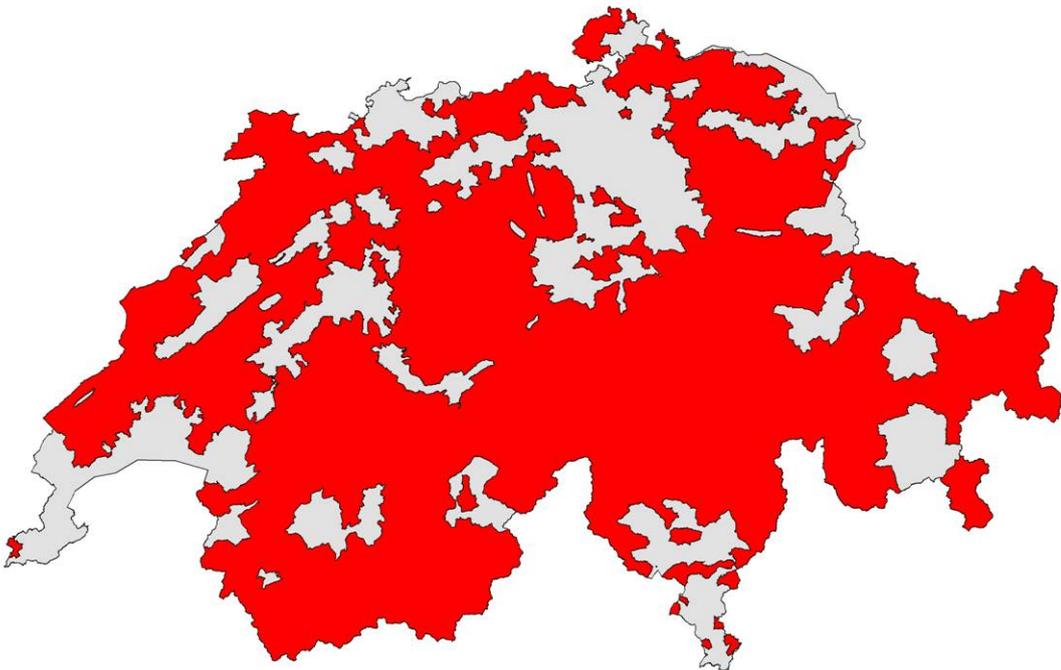
Reg. 1: Kernstadt einer Agglomeration



Reg. 2: Andere Agglomerationsgemeinde



⁹² BFS Homepage,
http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/infothek/nomenklaturen/blank/blank/raum_glied/01.html, 4.01.2008.

Grafik 4-3: Region 4: Ländliche Gemeinden (dunkle Flächen)**f) Unsicherheiten Lärmberechnungen**

Die Ermittlung der Lärmbelastung durch den Strassenverkehr stützt sich auf ein Emissions- und ein Immissionsmodell. Beide sind mit Unsicherheiten behaftet. Zur Berechnung des 95%-Konfidenzintervalls werden die folgenden Unsicherheiten berücksichtigt (basierend auf den Abschätzungen in SonBase):

- Lärmemissionen im Strassenverkehr
 - Verkehrsvolumen (DTV tags $\pm 30\%$, nachts $\pm 40\%$)
 - Geschwindigkeit (tags $\pm 5\%$, nachts $\pm 10\%$)
 - Lastwagenanteil auf der Strasse ($\pm 20\%$)
 - Steigung der Strasse ($\pm 1.5\%$)
 - Genauigkeit der Lärmemissionsberechnung (± 1.6 dB(A))
- Lärmemissionen im Schienenverkehr
 - Die Lärmemissionen des Schienenverkehrs werden nicht innerhalb SonBase bestimmt, sondern aus dem Emissionsplan 2015 übernommen. Dabei kann von einer Genauigkeit von ± 1.6 dB(A) ausgegangen werden.
- Modellierung der Lärmimmissionen (Strasse und Schiene)
 - Höhe der Lärmschutzwände (Strasse entlang Autobahnen ± 2 m, Schiene ± 0.5 m)
 - Lage von Strassen, Gebäuden und Höhenlinien (± 8 m)
 - Höhe der Gebäude (± 3 m)
 - Genauigkeit der Lärmimmissionsberechnung (± 3.5 dB(A))

Das Ergebnis dieser Abschätzungen zeigt, dass

- im **Strassenverkehr** der **Tageslärm** um **±5.1 dB(A)** schwankt,
- im **Strassenverkehr** der **Nachtlärm** um **±6.0 dB(A)** und
- im **Schieneverkehr** der Tages- und Nachtlärm um **±3.9 dB(A)**.

Diese Schwankungsbreiten werden in der Monte-Carlo-Simulation in Kapitel 4.6 mit einbezogen.

4.3.2 Lärmbelastung im Strassenverkehr

a) Resultate Lärmbelastung Strassenverkehr: Personen

Die Resultate für die Lärmbelastung durch den Strassenverkehr werden aus SonBase übernommen. In den Berechnungen für das Jahr 2000 wurden im Strassenverkehr die Ergebnisse differenziert nach Wohnungsgrösse berechnet (1-, 2-, 3-, 4- und ≥5-Zimmer Wohnungen).⁹³ Aus SonBase stehen jedoch die Daten nicht differenziert nach Wohnungsgrösse zur Verfügung.

Wie Tabelle 4-3 zeigt, ist beinahe die gesamte Schweizer Bevölkerung (91%) durch den Strassenverkehr mit einer Lärmbelastung von mindestens 45 dB(A) betroffen. Etwa die Hälfte der Bevölkerung (48%) ist einem Lärmpegel von mindestens 55 dB(A) ausgesetzt. In der Nacht sind 38% der Bevölkerung einem Lärmpegel von mindestens 45 dB(A) ausgesetzt (vgl. Tabelle 4-4). Sowohl am Tag als auch in der Nacht sinkt mit steigendem Lärmniveau die Zahl der belasteten Personen (ausser in der untersten Lärmklasse von 45-50 dB(A) tags).

Tabelle 4-3: Strassenlärm – Anzahl belastete Personen tags (06-22 Uhr)

Nr.	Beurteilungspegel Lr in dB(A)	Kernstadt einer Agglo. Kat. 1	Andere Agglo.-Gde Kat. 2	Isolierte Stadt Kat. 3	Ländliche Gemeinde Kat. 4	Total Schweiz CH
1	45.0 - 49.9	123'776	663'656	15'871	449'999	1'253'303
2	50.0 - 54.9	267'956	1'086'594	23'192	590'927	1'968'669
3	55.0 - 59.9	611'002	634'501	9'467	291'835	1'546'806
4	60.0 - 64.9	865'298	387'494	5'970	185'730	1'444'492
5	65.0 - 69.9	215'776	183'972	2'567	89'561	491'877
6	70.0 - 74.9	45'893	32'589	20	9'210	87'712
7	≥ 75.0	2'825	2'411	0	32	5'269
Total Personen tags		2'132'528	2'991'217	57'087	1'617'295	6'798'127

Quelle: BAFU (2008), SonBase

⁹³ Ecoplan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, Kapitel 4.5.1.

Tabelle 4-4: Strassenlärm – Anzahl belastete Personen nachts (22-06 Uhr)

Nr.	Beurteilungs- pegel Lr in dB(A)	Kernstadt einer Agglo. Kat. 1	Andere Agglo.-Gde Kat. 2	Isolierte Stadt Kat. 3	Ländliche Gemeinde Kat. 4	Total Schweiz CH
1	45.0 - 49.9	958'353	668'825	10'284	325'608	1'963'070
2	50.0 - 54.9	244'155	290'171	3'069	116'174	653'569
3	55.0 - 59.9	116'944	114'002	729	28'821	260'496
4	60.0 - 64.9	45'128	27'342	21	3'371	75'862
5	65.0 - 69.9	2'922	3'757	2	168	6'849
6	70.0 - 74.9	365	131	0	2	499
7	≥ 75.0	0	0	0	0	0
Total Personen nachts		1'367'867	1'104'228	14'104	474'145	2'960'345

Quelle: BAFU (2008), SonBase

b) Resultate Lärmbelastung Strassenverkehr: Wohnungen

Die folgenden beiden Tabellen zeigen die Ergebnisse für die Wohnungen. Durchschnittlich leben rund 2 Personen pro Wohnung, so dass sich die Zahlen gegenüber den vorangehenden Tabellen in etwa halbieren.⁹⁴

Tabelle 4-5: Strassenlärm – Anzahl belastete Wohnungen tags (06-22 Uhr)

Nr.	Beurteilungs- pegel Lr in dB(A)	Kernstadt einer Agglo. Kat. 1	Andere Agglo.-Gde Kat. 2	Isolierte Stadt Kat. 3	Ländliche Gemeinde Kat. 4	Total Schweiz CH
1	45.0 - 49.9	62'149	300'936	8'665	219'993	591'744
2	50.0 - 54.9	134'426	505'143	11'924	285'409	936'901
3	55.0 - 59.9	318'191	306'095	5'552	143'012	772'850
4	60.0 - 64.9	499'687	187'765	3'580	91'331	782'363
5	65.0 - 69.9	128'770	91'227	1'417	43'971	265'385
6	70.0 - 74.9	21'300	16'217	17	4'390	41'925
7	≥ 75.0	1'408	1'132	0	29	2'569
Total Wohnungen tags		1'165'931	1'408'516	31'155	788'135	3'393'738

Quelle: BAFU (2008), SonBase

⁹⁴ Bezogen auf eine einzelne Zellen können sich Abweichungen von diesem Durchschnittswert ergeben, da die Anzahl Personen pro Wohnung nicht überall identisch ist.

Tabelle 4-6: Strassenlärm – Anzahl belastete Wohnungen nachts (22-06 Uhr)

Nr.	Beurteilungs- pegel Lr in dB(A)	Kernstadt	Andere	Isolierte	Ländliche	Total Schweiz CH
		einer Agglo. Kat. 1	Agglo.-Gde Kat. 2	Stadt Kat. 3	Gemeinde Kat. 4	
1	45.0 - 49.9	546'358	322'109	5'927	160'394	1'034'788
2	50.0 - 54.9	139'723	139'901	1'639	57'069	338'332
3	55.0 - 59.9	68'435	56'636	395	13'175	138'641
4	60.0 - 64.9	20'704	13'369	14	1'721	35'808
5	65.0 - 69.9	1'444	1'736	3	87	3'271
6	70.0 - 74.9	163	58	0	2	223
7	≥ 75.0	0	0	0	0	0
Total Wohnungen nachts		776'827	533'809	7'978	232'449	1'551'063

Quelle: BAFU (2008), SonBase

c) Differenzierung Personen- und Güterverkehr

Die Aufteilung des Lärms auf den Personen- und Güterverkehr und auf die einzelnen Fahrzeugkategorien erfolgt nach derselben Methode wie in der Studie für das Jahr 2000.⁹⁵ Dabei werden die Lärmemissionen pro Fahrzeugkilometer (Fzkm) und die gefahrenen Fzkm miteinander kombiniert, um den Lärmanteil der verschiedenen Fahrzeugkategorien zu bestimmen. Gegenüber der Berechnung für das Jahr 2000 werden einzig die Fzkm auf das Jahr 2005 angepasst.

Das Ergebnis ist in der folgenden Tabelle dargestellt. 70% des Strassenverkehrslärms werden durch den Personenverkehr verursacht, 30% durch den Güterverkehr (für einen Vergleich zum Ergebnis 2000 siehe Kapitel 4.7).

Tabelle 4-7: Verteilung der Lärmkosten auf die Fahrzeugkategorien im Strassenverkehr im Jahr 2005

	Personenverkehr								Güterverkehr				Gesamt- total
	PW	Bus	Trolley	Tram	Car	MR	Mofa	Total	Li	LW	SS	Total	
Anteil	45.5%	2.3%	0.0%	0.1%	1.1%	20.6%	0.1%	69.7%	8.9%	14.3%	7.1%	30.3%	100%

PW = Personenwagen, Bus = öffentlicher Bus, Car = Privatcar, MR = Motorrad, Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper.

Quelle: BAFU (2008), SonBase

⁹⁵ Ecoplan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, S. 45-47.

4.3.3 Lärmbelastung im Schienenverkehr

a) Resultate Lärmbelastung Schienenverkehr: Personen

Die Resultate für die Lärmbelastung durch den Schienenverkehr wurden aus SonBase übernommen. Wie Tabelle 4-8 zeigt, sind knapp 600'000 Personen oder knapp 8% der Schweizer Bevölkerung durch den Schienenverkehr mit einer Lärmbelastung von mindestens 45 dB(A) betroffen. Lediglich 2.9% der Bevölkerung sind einem Bahnlärm von mindestens 55 dB(A) ausgesetzt. In der Nacht sind 4.5% der Bevölkerung einem Lärmpegel von mindestens 45 dB(A) ausgesetzt (vgl. Tabelle 4-9). Sowohl am Tag als auch in der Nacht sinkt mit steigendem Lärmniveau die Zahl der belasteten Personen.

Tabelle 4-8: Schienenlärm – Anzahl belastete Personen tags (06-22 Uhr)

Nr.	Beurteilungs- pegel Lr in dB(A)	Kernstadt einer Agglo. Kat. 1	Andere Agglo.-Gde Kat. 2	Isolierte Stadt Kat. 3	Ländliche Gemeinde Kat. 4	Total Schweiz CH
1	45.0 - 49.9	77'510	107'047	2'125	35'967	222'648
2	50.0 - 54.9	51'833	77'646	1'307	21'927	152'713
3	55.0 - 59.9	44'392	54'719	1'045	12'788	112'944
4	60.0 - 64.9	27'468	36'307	418	8'364	72'557
5	65.0 - 69.9	7'378	10'627	253	2'519	20'777
6	70.0 - 74.9	3'554	1'710	8	575	5'847
7	≥ 75.0	206	241	0	20	467
Total Personen tags		212'341	288'297	5'156	82'160	587'954

Quelle: BAFU (2008), SonBase

Tabelle 4-9: Schienenlärm – Anzahl belastete Personen nachts (22-06 Uhr)

Nr.	Beurteilungs- pegel Lr in dB(A)	Kernstadt einer Agglo. Kat. 1	Andere Agglo.-Gde Kat. 2	Isolierte Stadt Kat. 3	Ländliche Gemeinde Kat. 4	Total Schweiz CH
1	45.0 - 49.9	48'382	70'043	991	15'888	135'303
2	50.0 - 54.9	41'591	47'776	753	10'552	100'672
3	55.0 - 59.9	20'838	33'976	416	6'512	61'742
4	60.0 - 64.9	8'343	10'559	91	2'465	21'457
5	65.0 - 69.9	4'528	5'599	0	1'061	11'188
6	70.0 - 74.9	679	379	0	322	1'380
7	≥ 75.0	10	32	0	15	58
Total Personen nachts		124'371	168'363	2'251	36'814	331'800

Quelle: BAFU (2008), SonBase

b) Resultate Lärmbelastung Schienenverkehr: Wohnungen

Wie im Strassenverkehr ist die Zahl der lärmbelasteten Wohnungen etwa halb so gross wie diejenige der lärmbelasteten Personen.

Tabelle 4-10: Schienenlärm – Anzahl belastete Wohnungen tags (06-22 Uhr)

Nr.	Beurteilungs- pegel Lr in dB(A)	Kernstadt	Andere	Isolierte	Ländliche	Total Schweiz CH
		einer Agglo. Kat. 1	Agglo.-Gde Kat. 2	Stadt Kat. 3	Gemeinde Kat. 4	
1	45.0 - 49.9	41'520	51'267	1'007	16'485	110'279
2	50.0 - 54.9	29'269	36'891	656	9'784	76'600
3	55.0 - 59.9	24'768	26'426	480	6'072	57'747
4	60.0 - 64.9	14'940	17'973	172	4'084	37'169
5	65.0 - 69.9	3'933	5'228	116	1'323	10'600
6	70.0 - 74.9	1'979	749	5	272	3'005
7	≥ 75.0	115	84	0	8	208
Total Wohnungen tags		116'524	138'619	2'437	38'028	295'609

Quelle: BAFU (2008), SonBase

Tabelle 4-11: Schienenlärm – Anzahl belastete Wohnungen nachts (22-06 Uhr)

Nr.	Beurteilungs- pegel Lr in dB(A)	Kernstadt	Andere	Isolierte	Ländliche	Total Schweiz CH
		einer Agglo. Kat. 1	Agglo.-Gde Kat. 2	Stadt Kat. 3	Gemeinde Kat. 4	
1	45.0 - 49.9	26'599	33'186	491	7'145	67'421
2	50.0 - 54.9	23'371	22'862	339	5'076	51'648
3	55.0 - 59.9	11'734	16'758	178	3'113	31'782
4	60.0 - 64.9	4'539	5'418	43	1'302	11'303
5	65.0 - 69.9	2'530	2'571	0	506	5'607
6	70.0 - 74.9	285	188	0	168	641
7	≥ 75.0	2	28	0	7	37
Total Wohnungen nachts		69'060	81'011	1'050	17'316	168'438

Quelle: BAFU (2008), SonBase

c) Differenzierung Personen- und Güterverkehr

Dank dem 2003 eingeführten Lärm-Monitoring des BAV liegen erstmals aktuelle Messungen zu den Lärmemissionen der Züge vor, die zur Verteilung der Lärmkosten auf den Personen- und Güterverkehr verwendbar sind. Im Jahr 2005 wurden an den sechs Mess-Standorten insgesamt mehr als 560'000 Züge gemessen. Von diesen Messungen verwenden wir nachfolgend den „Transit Exposure Level“ (TEL). Dieser Messwert entspricht dem Schallereignispegel einer gesamten Zugsdurchfahrt normiert auf die Durchfahrtszeit. Wie die Berechnun-

gen in Tabelle 4-12 zeigen, ist der Personenverkehr für 72% des Schienenlärms verantwortlich, der Güterverkehr für die verbleibenden 28% (für einen Vergleich zum Ergebnis 2000 siehe Kapitel 4.7).

Tabelle 4-12: Akustische Gewichtung der Fahrleistungen 2005

Kategorie		Personenverkehr	Güterverkehr	Total
Zugkilometer 2005	[Mio. Zugkm]	163.615	34.845	198.460
% Total km	[%]	0.82	0.18	1.00
Norm-Emission pro Zug 2005	TEL in [dB(A)]	88.7	91.2	
gewichtete Norm-Emission	[dB(A)]	87.8	83.6	89.2
Anteil gewichtete Emission	[%]	72.4%	27.6%	100%

Norm-Emission TEL: über die Zugzahlen der sechs Monitoringstandorte gewichteter TEL (Emission pro Zug)

gewichtete Norm-Emission: Aufgrund der %-Fahrleistung (Zugkm) gewichtete Norm-Emission

Anteil gewichtete Emission: Anteil der gewichteten Norm-Emission am Total gewichtete Norm-Emission

4.3.4 Lärmbedingte Krankheits- und Todesfälle

Für die Auswirkungen des Lärms auf Krankheits- und Todesfälle wird das Vorgehen aus der Studie Ecoplan et al. (2004)⁹⁶ übernommen: Damit kommt das Konzept der **anrechenbaren Anteile** („attributable proportion“) zur Anwendung. Diese sind ein Mass für die Anteile vermiedener Krankheits- oder Todesfällen bei einer Abnahme der Lärmbelastung. Für die Belastungs-Wirkungs-Beziehungen zwischen Lärmbelastung und der Häufigkeit einzelner Krankheiten werden die Schätzwerte aus Ecoplan et al. (2004) übernommen, die auf internationalen Untersuchungen beruhen. Angepasst werden die folgenden Daten:

- Mengengerüst gemäss den obigen Resultaten (vgl. Kapitel 4.3.2 und 4.3.3)
- Bevölkerungswachstum zwischen 2000 und 2005⁹⁷
- Neue Sterbetafeln bzw. Überlebenswahrscheinlichkeiten nach Alter (Tiefere Mortalität als 2000)⁹⁸
- Die Grundlegendaten zur Zahl der Hospitalisationen wurden approximativ mit dem Bevölkerungswachstum (differenziert nach 5-Jahres-Altersklassen) auf 2005 fortgeschrieben.

In Tabelle 4-13 sind die Ergebnisse zusammengefasst. Der Lärm führt vor allem zu einer relativ starken Zunahme der **Bluthochdruck bedingten Krankheiten** (über den Nachtlärm

⁹⁶ Ecoplan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, Kapitel 5.

⁹⁷ Daten des Bundesamtes für Statistik.

⁹⁸ Online: http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/01/06/blank/dos/la_mortalite_en_suisse/tab101.html (7.2.2008)

berechnet), aber auch zu zusätzlichen **ischämischen Herzkrankheiten** (mangelnde Versorgung mit Blut: Herzinfarkt, Angina Pectoris etc. über den Taglärm bestimmt). Die insgesamt 1'087 verlorenen Lebensjahre (907 durch den Strassenverkehr bzw. 180 durch den Schienenverkehr) sind auf 133 frühzeitige Todesfälle zurückzuführen (110 bzw. 23).

Tabelle 4-13: Überblick über die durch den Lärm im Jahr 2005 verursachten verlorenen Lebensjahre und Krankheitsfälle

	Ischämische Herzkrankheiten			Bluthochdruck bedingte Krankheiten		
	durch Lärm am Tag			durch Lärm in der Nacht		
	Strasse	Schiene	Summe *)	Strasse	Schiene	Summe *)
Anzahl verlorene Lebensjahre	318	17	335	590	163	752
Anzahl verlorene Erwerbsjahre	23	1	24	26	7	33
Anzahl Hospitalisationen (stationär)	101	5	106	235	65	300
Anzahl Hospitalisationen (teilstationär)	9	0	9	13	4	17
Anzahl Spitaltage (stationär)	923	49	972	3'130	864	3'994
Anzahl verlorene Erwerbstage (nur stationäre Spitaltage)	236	13	248	450	124	574
Anzahl ambulante Behandlungen	124	7	130	11'090	3'061	14'151
Tagesdosen Medikamente (in 1000 pro Jahr)				11'559	3'191	14'750

*) Abweichungen von ± 1 sind rundungsbedingt

4.4 Wertgerüst

4.4.1 Einleitung

Die Kosten des Lärms setzen sich wie in Kapitel 4.1 beschrieben aus den Mietzinsausfällen und den Gesundheitskosten zusammen.

Was die **Mietzinsausfälle** betrifft, so ist davon auszugehen, dass belärmte Wohnungen weniger nachgefragt werden als vergleichbare Wohnungen in ruhigen Gebieten. Bei einem funktionierenden Wohnungsmarkt schlägt sich diese Mindernachfrage in einem tieferen Mietpreis nieder. Die Differenz zwischen einer belärmten und einer vergleichbaren unbelärmten Wohnung entspricht den Lärmkosten des Verkehrs. Deshalb gilt es im Folgenden festzulegen, wie sich die Mietpreise mit dem Lärmniveau verändern und wie hoch die durchschnittlichen Mietpreise sind (vgl. Kapitel 4.4.2).

Wie in Kapitel 4.1 erwähnt werden bei der Berechnung der **Gesundheitskosten** des Lärms vier Kostenbereiche berücksichtigt:

- Medizinische Behandlungskosten
- Produktionsausfall (wie bei den Unfällen Nettoproduktionsausfälle, vgl. Kapitel 3.4.1)
- Wiederbesetzungskosten
- Immaterielle Kosten

Dies deckt sich mit dem Vorgehen bei den Unfallkosten. Allerdings werden im Bereich Unfälle noch weitere Kostenbereiche (Sachschäden, Polizei- und Rechtsfolgekosten, Administrativkosten⁹⁹) berücksichtigt, die bei den Folgerwirkungen des Lärms nicht relevant sind, so dass sie wie in Ecoplan et al. (2004)¹⁰⁰ vernachlässigt werden können.

Im Bereich Lärm entstehen zudem noch Vermeidungskosten. Damit sind jene Kosten gemeint, welche in Form von Vermeidungsmassnahmen anfallen (z.B. Freizeitaufenthalt in wenig belärmten Gebieten, Wechsel des Wohnorts usw.). Zuverlässige Schätzungen zu diesen Kosten gibt es bisher kaum. Allgemein besteht aber die Ansicht, dass sie eher von untergeordneter Bedeutung sind. Die Vermeidungskosten werden daher ebenfalls vernachlässigt (soweit sie nicht in der Zahlungsbereitschaft enthalten sind).¹⁰¹

4.4.2 Mietzinsausfälle

Die Mietzinsausfälle werden prinzipiell genau gleich berechnet wie in der Studie für das Jahr 2000.¹⁰² Wir gehen wie bisher davon aus, dass **unter 55 dB(A) keine Mietzinsausfälle** auftreten. Die Schwelle von 55 dB(A) beruht erstens auf empirischen Befunden zum Anteil lärmgestörter Personen, entspricht zweitens dem Planungswert für Wohnzonen in der Schweizer Lärmschutzverordnung und wird drittens in der Literatur häufig verwendet. Diese Untergrenze kann gemäss dem at least Ansatz als sehr vorsichtig bezeichnet werden.¹⁰³ Untersuchungen zeigen, dass auch bei tieferen Werten der Lärm als störend empfunden wird und selbst unter 55 dB(A) eine Zahlungsbereitschaft zu einer weiteren Lärmverminderung bestehen würde. Deshalb wird teilweise die Meinung vertreten, dass 50 dB(A) ein geeigneteres minimales Lärmniveau darstellt als 55 dB(A). Die Wahl von 55 dB(A) führt also tendenziell zu einer Unterschätzung der Lärmkosten. Auch international wird meist von 55 oder 50 dB(A) ausgegangen (selten von 60 dB(A)). So empfehlen z.B. die WHO und die EU die Verwendung von 55 dB(A).¹⁰⁴

Über 55 dB(A) nehmen die Mietzinse um einen fixen Prozentsatz pro dB(A) ab (vgl. folgende Grafik). Zu diesem Prozentsatz sind seit der Publikation der Studie für das Jahr 2000 mehrere neue Untersuchungen erschienen. Im Anhang B werden die verschiedenen neuen Studien erläutert und diskutiert. Daraus wird abgeleitet, dass die Mietpreise um **0.6% pro dB(A)** über

⁹⁹ Es wurde gezeigt, dass die Administrativkosten weniger als 0.5% der Kosten betragen (Ecoplan 1996, Monetarisierung der verkehrsbedingten externen Gesundheitskosten, S. 71-74).

¹⁰⁰ Ecoplan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, S. 91-96.

¹⁰¹ Ecoplan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, S. 91-96.

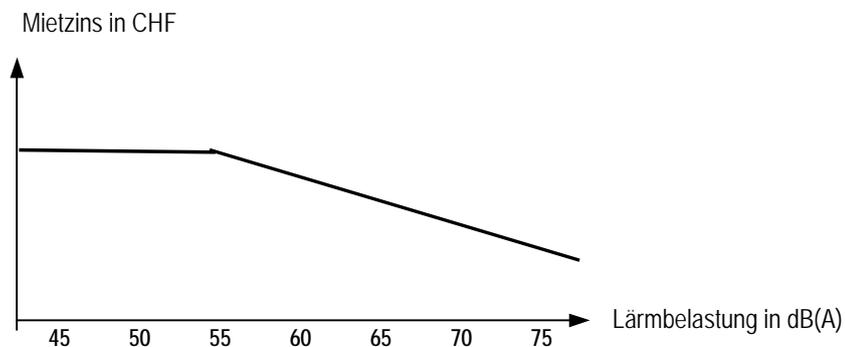
¹⁰² Ecoplan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, Kapitel 4.

¹⁰³ Ecoplan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, S. 55.

¹⁰⁴ Infrac / CE Delft et al. (2007), IMPACT: Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport, S. 65, 221, 222 und 233.

55 dB(A) abnehmen. Dies entspricht gegenüber dem bisherigen Schätzwertes (0.8%¹⁰⁵) einer Reduktion um 0.2%.

Grafik 4-4: Zusammenhang zwischen Lärmbelastung und Mietzinsniveau



In den Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Lärmbelastung und Mietzinsniveau wird normalerweise der Taglärm als Belastungsmass verwendet (der Nachtlärm wird manchmal als Variante betrachtet), so dass wir die weiteren Berechnungen auch auf den Taglärm abstützen.

Nachdem die prozentuale Reduktion der Mieten pro dB(A) Lärm bestimmt ist, muss im Folgenden das **Mietzinsniveau** festgelegt werden. Die folgende Tabelle zeigt einerseits die Aufteilung der 3.7 Mio. Wohnungen (inkl. Eigentumswohnungen) in der Schweiz auf die Wohnungsgrössen (Anzahl Zimmer) und andererseits die durchschnittlichen Mietpreise pro Wohnungsgrösse. Daraus ergibt sich ein gewichteter durchschnittlicher Mietzins von **1'243 CHF pro Monat** (ohne Neben- und Heizkosten).¹⁰⁶

¹⁰⁵ Ecoplan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, S. 56.

¹⁰⁶ Die Verwendung des durchschnittlichen Schweizer Mietzinses könnte zu einer Verzerrung führen: Einerseits könnten belärmte Wohnungen vor allem in städtischen Gebieten stehen, in denen die Mieten tendenziell höher sind, andererseits könnten die belärmten Wohnungen schlechter eingerichtet und damit billiger sein (weil sie belärmt sind, lohnt sich eine (teure) Renovation weniger). Diese mögliche Verzerrung kann jedoch aufgrund fehlender Daten nicht vermieden werden.

Tabelle 4-14: Durchschnittliche Mieten in der Schweiz im Jahr 2005

Wohnungsgrösse Anzahl Zimmer	Anzahl Wohnungen	Durchschnittliche Miete in CHF pro Monat
1	252'976	648
2	527'090	871
3	1'023'706	1'058
4	1'006'356	1'302
5	550'319	1'642
≥ 6	382'383	1'916
Total	3'742'830	1'243

Quellen: Anzahl Wohnungen nach Zimmergrösse: Volkszählung 2000 (BFS 2007, Statistisches Jahrbuch der Schweiz 2007, S. 214 – es sind keine neueren Daten verfügbar) sowie Hochrechnung auf 2005 gemäss Wohnungszählung (BFS 2007, Statistisches Jahrbuch der Schweiz 2007, S. 215). Mieten: Mietpreisstrukturerhebung 2003 (BFS 2007, Durchschnittliche Mietpreise nach Anzahl Zimmer) sowie Hochrechnung auf 2005 mit dem Mietpreisindex (BFS 2007, Statistisches Jahrbuch der Schweiz 2007, S. 145).¹⁰⁷

Mit einem jährlichen Mietzins von 14'916 CHF ($12 \cdot 1'243$) ergibt sich bei einer Mietzinsreduktion von 0.6% ein Mietzinsverlust von **89.50 CHF pro dB(A)**.¹⁰⁸

Die Mietpreisstrukturerhebung des BFS hat eine Genauigkeit von $\pm 0.7\%$.¹⁰⁹ Da diese Schwankungsbreite sehr gering ist, verzichten wir im Rahmen der Monte-Carlo-Simulation darauf, den Mietpreis zu variieren. Hingegen wird die Mietpreisreduktion in die Monte-Carlo-Simulation mit einbezogen (vgl. Kapitel 4.6.1 bzw. Anhang B).

4.4.3 Kosten der lärmbedingten Gesundheitsschäden

Die Kostensätze aus Ecoplan et al. (2004) werden wie folgt auf das Jahr 2005 aktualisiert:

- **Medizinische Heilungskosten:** Die Kosten der Spitalaufenthalte werden mit der Entwicklung der Spitalkosten fortgeschrieben und die Medikamentenkosten mit dem abnehmenden Preisindex für Medikamente.¹¹⁰
- **Nettoproduktionsausfall:** Es wird von denselben Daten ausgegangen wie im Bereich Unfälle. Dies bedeutet, dass im Vergleich zur bisherigen Studie neu auch die betrieblichen

¹⁰⁷ Die verwendeten Daten sind gemäss Auskunft des BFS (Telephon vom 11.12.2007) von besserer Qualität als die bestehenden Daten zu den Mietpreisen aus den vierteljährlichen Mietpreiserhebungen für das Jahr 2005.

¹⁰⁸ Der in IMPACT empfohlene Wert von ca. 0.1% des pro Kopf Einkommens (vgl. Kapitel 4.2) entspricht etwa 50 CHF pro Kopf pro dB(A). Da in der Schweiz durchschnittlich etwa 2 Personen in einer Wohnung leben, würde der entsprechende Ansatz sich also auf ca. 100 CHF pro dB(A) und Wohnung belaufen und damit in einer ähnlichen Grössenordnung liegen.

¹⁰⁹ BFS (2007), Durchschnittliche Mietpreise nach Anzahl Zimmer.

¹¹⁰ BAG (2007), Statistik der obligatorischen Krankenversicherer 2005, Tabelle T 9.12., S. 160.

Vorsorgeansprüche miteinbezogen werden, die im Jahr 2000 vom BFS noch nicht ausgewiesen wurden, wodurch die Nettoproduktionsausfälle um 18% steigen.

- Die **Wiederbesetzungskosten** wurden bisher nicht berücksichtigt. Sie sollen aber in Analogie zu den Unfallkosten **neu mitberücksichtigt** werden, da alle nötigen Daten zu deren Berechnung bereits vorliegen. Es werden dieselben Kostensätze verwendet wie bei den Unfällen. Dabei werden nur Todesfälle von Erwerbstätigen betrachtet. Da die Wiederbesetzungskosten nur sehr gering sind, werden sie in Tabelle 4-15 nicht separat ausgewiesen.
- **Immaterielle Kosten:** Die Bewertung der Todesfälle erfolgt wie bisher nach der Methode der verlorenen Lebensjahre (VLYL value of life year lost). Der bisherige VLYL wird mit dem Nominallohnwachstum auf das Jahr 2005 angepasst. Der verwendete Wert von 92'500 CHF ist genau derselbe wie bei den Unfällen (vgl. Kapitel 3.4.2), so dass für die Monte-Carlo-Simulation die gleichen Bandbreiten wie für den Unfallbereich verwendet werden (vgl. Kapitel 4.6.1).

In Ecoplan et al. (2004, S. 99 – 100) wird diskutiert, ob der Kostensatz an den Risikokontext angepasst werden sollte. Teilweise wird beobachtet, dass Risiken, denen man sich freiwillig stellt und die man selbst kontrollieren kann (wie z.B. Bergsteigen), weniger hoch bewertet werden als nicht beeinflussbare Risiken (wie z.B. Atomunfälle oder Luftverschmutzung). Da die Bewertung der immateriellen Kosten auf einem VOSL aus dem Unfallkontext beruht, wird teilweise für die Lärmbelastung ein doppelt oder gar dreimal so hoher Kostensatz vorgeschlagen. Die verfügbaren empirischen Grundlagen reichen jedoch für eine verlässliche Anpassung nicht aus. Im Sinne des at least Ansatz wird daher – wie in Ecoplan et al. (2004), HEATCO und IMPACT – auf eine Anpassung verzichtet.

Die Zahlungsbereitschaften für die Krankheitsfälle werden aus Ecoplan et al. (2004) übernommen und wie der VOSL mit dem Nominallohnwachstum auf den Preisstand 2005 aktualisiert. Die Zahlungsbereitschaften könnten auch um 50% höher oder tiefer liegen (vgl. Kapitel 4.6.1).

Die aktualisierten Kostensätze werden in der folgenden Tabelle dargestellt. Die Kostensätze liegen alle etwas höher als in der Studie für das Jahr 2000¹¹¹ (vor allem aufgrund der Preisentwicklung sowie der weiteren, oben erwähnten Effekte).

Wie die Tabelle zeigt, führt ein verlorenes Lebensjahr zu Kosten von 92'500 CHF. Handelt es sich dabei auch um ein Erwerbsjahr, so kommen Produktionsausfälle von etwas der Hälfte davon dazu. Bei den übrigen Kostenstellen ist zu beachten, dass die Kosten der Hospitalisationen in unterschiedlichen Zeilen stehen: Die Zahlungsbereitschaft von Hospitalisationen wird über die Zahl der Hospitalisationen bestimmt, die Behandlungskosten über die Anzahl Spitaltage und der Nettoproduktionsausfall über die Anzahl der verlorenen Erwerbstage. Bei den ambulanten Behandlungen sind die Behandlungskosten nicht bekannt, so dass sie ver-

¹¹¹ Ecoplan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, S. 111.

nachlässigt werden müssen. Dasselbe gilt für die immateriellen Kosten von ambulanten Behandlungen von Herzinfarkten.

Tabelle 4-15: Übersicht über die verwendeten Kostensätze (in CHF)

	WTP	BHK	NPA	Total
verlorene Lebensjahre	92'474	-	-	92'474
verlorene Anzahl Erwerbsjahre	-	-	45'360	45'360
Ischämische Herzkrankheiten				
Hospitalisationen (stationär)	15'290	-	-	15'290
Hospitalisationen (teilstationär)	1'666	954	95	2'714
Anzahl Spitaltage (stationär)	-	954	-	954
Anzahl verlorene Erwerbstage (nur stationäre Spitaltage)	-	-	373	373
Ambulante Behandlungen (nur Herzinfarkt)	-	-	16	16
Durch Bluthochdruck bedingte Krankheiten				
Hospitalisationen (stationär)	1'410	-	-	1'410
Hospitalisationen (teilstationär)	1'410	773	53	2'236
Anzahl Spitaltage (stationär)	-	773	-	773
Anzahl verlorene Erwerbstage (nur stationäre Spitaltage)	-	-	373	373
Ambulante Behandlungen	1'410	-	9	1'419
Tagesdosen BH-Medikamente	-	2	-	2

WTP = willingness to pay, BHK = Behandlungskosten, NPA = Nettoproduktionsausfall.

4.5 Ergebnisse

4.5.1 Gesamtverkehr

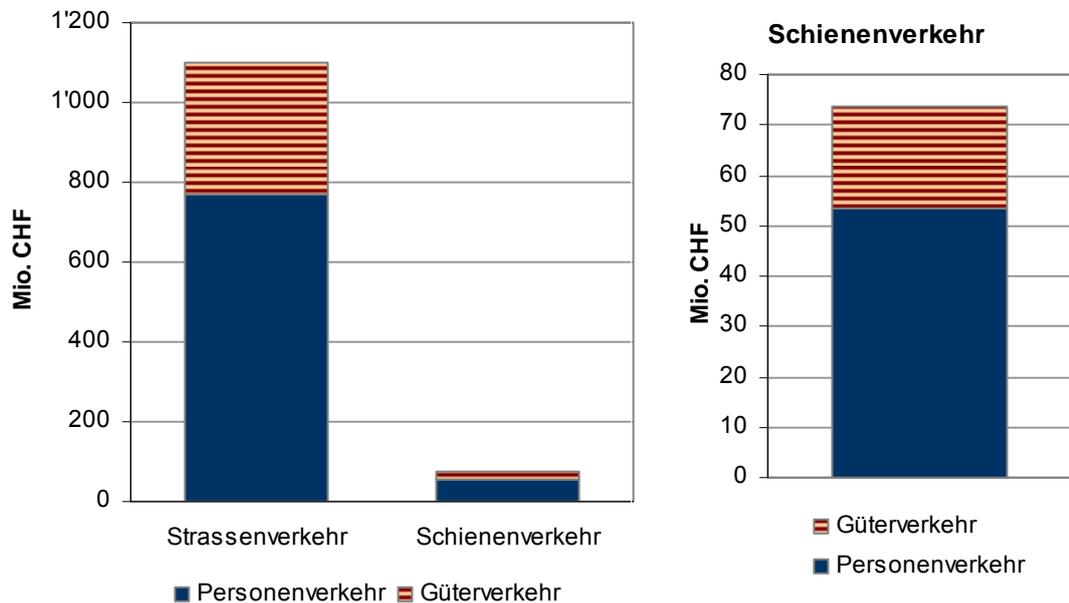
Die **Lärmkosten** des Verkehrs werden in der folgenden Tabelle und Grafik zusammengefasst. Die gesamten Lärmkosten des Landverkehrs im Jahr 2005 betragen **1'174 Mio. CHF**. Der **Strassenverkehr** ist für den Grossteil der Kosten verantwortlich (**94%** oder 1'101 Mio. CHF). Der Schienenverkehr verursacht 15-mal tiefere Kosten von 74 Mio. CHF (oder 6%). Dies ist auf die deutlich geringere Lärmbelastung durch den Bahnverkehr zurückzuführen.

Bei der Verteilung auf den Personen- und Güterverkehr erkennt man, dass **70%** der Kosten durch den **Personenverkehr** verursacht werden, während der Güterverkehr für die verbleibenden 30% verantwortlich ist. Diese Anteile sind im Strassen und Schienenverkehr sehr ähnlich (Personenverkehr Strasse 69.7%, Schiene 72.4%).

Tabelle 4-16: Lärmkosten im Strassen- und Schienenverkehr (in Mio. CHF)

	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	767.7	333.0	1'100.7	93.7%
Schienenverkehr	53.3	20.4	73.7	6.3%
Total	821.0	353.4	1'174.4	100.0%
in % des Totals	69.9%	30.1%	100.0%	

Grafik 4-5: Lärmkosten im Strassen- und Schienenverkehr (in Mio. CHF)



4.5.2 Mietzinsausfälle

a) Strassenverkehr

In der folgenden Tabelle werden die Mietzinsausfälle im Strassenverkehr detaillierter dargestellt. Wie die Tabelle zeigt, entstehen insgesamt Mietzinsausfälle von 999 Mio. CHF. Mehr als die Hälfte davon (55%) fallen in den Kernstädten der Agglomerationen an. Weitere 31% in den anderen Agglomerationsgemeinden. In ländlichen Gebieten sind es lediglich 14%. Betrachtet man die Aufteilung auf Lärmklassen (vgl. auch Grafik 4-6), erkennt man, dass beinahe die Hälfte der Kosten (49%) in der Lärmklasse 60-65 dB(A) anfällt. In dieser Lärmklasse sind einerseits viele Wohnungen und andererseits sind die Mietzinsverluste bei diesen Lärmniveaus bereits beträchtlich. Die Detailauswertungen nach 1-dB(A)-Klassen zeigen, dass das Maximum bei 61-62 dB(A) erreicht wird. Mit steigendem oder sinkendem Lärmniveau nehmen die Mietzinsausfälle dann (beinahe) kontinuierlich ab. Durchschnittlich sinken die gesamten Mietzinseinnahmen in der Schweiz durch den Strassenverkehrslärm um 1.79%.

Tabelle 4-17: Lärmbedingte Mietzinsausfälle in der Schweiz im Jahr 2005 in Mio. CHF im Strassenverkehr

Beurteilungs- pegel Lr in dB(A)	Mietzinsausfälle in Mio. CHF				Total Schweiz CH	Anteil
	Kernstadt einer Agglo. Kat. 1	Andere Agglo.-Gde. Kat. 2	Isolierte Stadt Kat. 3	Ländliche Gemeinde Kat. 4		
50.0 - 54.9	-	-	-	-	-	0.0%
55.0 - 59.9	66.7	60.7	1.0	29.4	157.9	15.8%
60.0 - 64.9	306.9	121.2	2.3	58.6	489.1	49.0%
65.0 - 69.9	137.6	98.8	1.5	47.3	285.2	28.5%
70.0 - 74.9	31.4	24.0	0.0	6.4	61.8	6.2%
≥ 75.0	2.7	2.2	-	0.1	5.0	0.5%
Total	545.4	306.8	4.9	141.8	998.9	100.0%
Anteil	54.6%	30.7%	0.5%	14.2%	100.0%	

b) Schienenverkehr

Die Mietzinsausfälle im Schienenverkehr betragen 52.4 Mio. CHF (vgl. Tabelle 4-18) und damit 19-mal weniger als im Strassenverkehr. Davon entfallen 42% auf die Kernstädte der Agglomerationen und weitere 46% auf die weiteren Agglomerationsgemeinden. Auf dem Land entstehen 11% der Mietzinsausfälle. Die Aufteilung auf die Lärmklassen (vgl. auch Grafik 4-6) zeigt, dass auch im Schienenverkehr die Lärmklasse 60-65 dB(A) am bedeutendsten ist (45% der Kosten). Gemäss den Detailergebnissen ist wie beim Strassenverkehr die Lärmklasse 61-62 dB(A) am wichtigsten. Bei steigendem oder sinkendem Lärmniveau nehmen die Mietzinsausfälle dann (beinahe) kontinuierlich ab. Durchschnittlich sinken die gesamten Mietzinseinnahmen in der Schweiz durch den Schienenverkehrslärm um 0.09%.

Grafik 4-6: Lärmbedingte Mietzinsausfälle in der Schweiz im Jahr 2005 in Mio. CHF nach Lärmklassen im Strassen- und Schienenverkehr

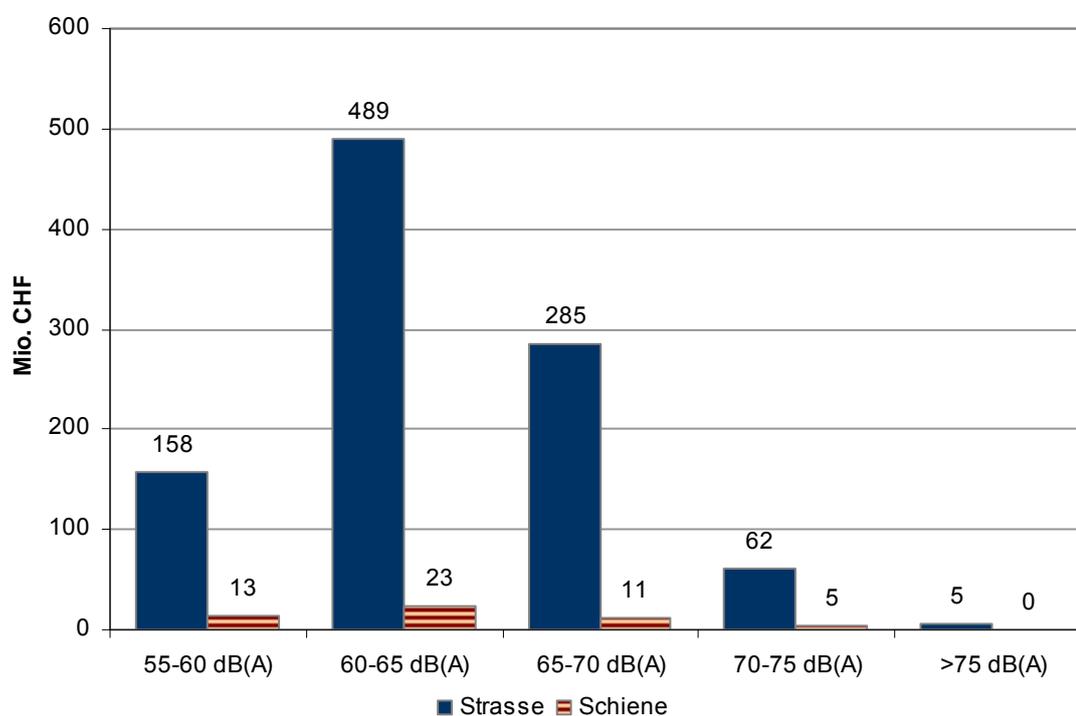


Tabelle 4-18: Lärmbedingte Mietzinsausfälle in der Schweiz im Jahr 2005 in Mio. CHF im Schienenverkehr

Beurteilungs- pegel Lr in dB(A)	Mietzinsausfälle in Mio. CHF				Total Schweiz CH	Anteil
	Kernstadt einer Agglo. Kat. 1	Andere Agglo.-Gde. Kat. 2	Isolierte Stadt Kat. 3	Ländliche Gemeinde Kat. 4		
50.0 - 54.9	-	-	-	-	-	0.0%
55.0 - 59.9	5.6	5.8	0.1	1.3	12.8	24.5%
60.0 - 64.9	9.2	11.4	0.1	2.7	23.4	44.6%
65.0 - 69.9	4.2	5.6	0.1	1.4	11.3	21.6%
70.0 - 74.9	3.0	1.1	0.0	0.4	4.5	8.6%
≥ 75.0	0.2	0.2	-	0.0	0.4	0.8%
Total	22.2	24.1	0.4	5.8	52.4	100.0%
Anteil	42.3%	45.9%	0.7%	11.1%	100.0%	

4.5.3 Lärmbedingte Gesundheitsschäden

In den folgenden beiden Tabellen werden die Gesundheitskosten des Strassen- und Schienenverkehrs dargestellt – Tabelle 4-19 enthält die absoluten Zahlen, Tabelle 4-20 die prozentualen Anteile an den Kosten (die Aufteilung auf den Strassen- und Schienenverkehr folgt in Kapitel 4.5.4). Insgesamt fallen 123 Mio. CHF Kosten an. Davon entfallen 26% oder 32 Mio. CHF auf ischämische Herzkrankheiten und 74% oder 91 Mio. CHF auf durch Bluthochdruck bedingte Krankheiten.

Der Grossteil von 94% der Kosten entfällt auf immaterielle Kosten (Schmerz und Leid), die über die Zahlungsbereitschaft gemessen werden. Die Behandlungskosten betragen lediglich gut 3%, die Nettoproduktionsausfälle knapp 3%. Die Wiederbesetzungskosten sind mit 0.21% praktisch vernachlässigbar und deshalb in den Zahlen zu den Produktionsausfällen integriert.

Eine andere Aufteilung der Kosten zeigt (vgl. Tabelle 4-19 und Tabelle 4-20), dass die verlorenen Lebensjahre den Grossteil der Kosten verursachen (92% bei den ischämischen Herzkrankheiten, 74% bei den Bluthochdruck bedingten Krankheiten). Der Grund für den Unterschied zwischen den beiden Krankheiten ist, dass bei den Bluthochdruck bedingten Krankheiten auch die ambulanten Behandlungen relevant sind und 22% der Kosten verursachen. Bei den ischämischen Herzkrankheiten sind die ausgewiesenen Kosten der ambulanten Behandlungen jedoch vernachlässigbar (da keine Zahlungsbereitschaftsstudien vorliegen, wurde wie in Ecoplan et al. (2004) gemäss dem at least Ansatz ein Wert von Null eingesetzt).

Tabelle 4-19: Aufteilung der gesamten durch die verkehrliche Lärmbelastung in der Schweiz im Jahr 2005 verursachten Gesundheitskosten (in Mio. CHF)

	WTP	BHK	NPA	Total
Ischämische Herzkrankheiten				
verlorene Lebensjahre	28.6	-	1.1 ¹	29.8
Hospitalisationen (stationär)	1.6	0.9	0.09	2.6
Hospitalisationen (teilstationär)	0.02	0.01	0.001	0.0
Ambulante Behandlungen (nur Herzinfarkt)	-	-	0.002	0.0
Total ischämische Herzkrankheiten	30.3	0.9	1.2	32.4
Bluthochdruck bedingte Krankheiten				
verlorene Lebensjahre	65.2	-	1.5 ¹	66.7
Hospitalisationen (stationär)	0.4	3.1	0.2	3.7
Hospitalisationen (teilstationär)	0.02	0.01	0.001	0.0
Ambulante Behandlungen	20.0	-	0.1	20.1
Tagesdosen Bluthochdruck Medikamente	-	0.03	-	0.0
Total Bluthochdruck bedingte Krankheiten	85.6	3.1	1.9	90.6
Gesamttotal	115.9	4.1	3.1	123.0

WTP = willingness to pay, BHK = Behandlungskosten, NPA = Nettoproduktionsausfall.

¹ Inkl. 0.10 (ischämische Herzkrankheiten) bzw. 0.15 Mio. CHF (Bluthochdruck bedingte Krankheiten) Wiederbesetzungskosten

Tabelle 4-20: Aufteilung der gesamten durch die verkehrliche Lärmbelastung in der Schweiz im Jahr 2005 verursachten Gesundheitskosten (in % des Totals der Krankheiten)

	WTP	BHK	NPA	Total	Total
Ischämische Herzkrankheiten					
verlorene Lebensjahre	88.3%	0.0%	3.5% ¹	91.8%	
Hospitalisationen (stationär)	5.0%	2.9%	0.3%	8.1%	
Hospitalisationen (teilstationär)	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	
Ambulante Behandlungen (nur Herzinfarkt)	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
Total ischämische Herzkrankheiten	93.3%	2.9%	3.8%	100.0%	26.4%
Bluthochdruck bedingte Krankheiten					
verlorene Lebensjahre	71.9%	0.0%	1.7% ¹	73.6%	
Hospitalisationen (stationär)	0.5%	3.4%	0.2%	4.1%	
Hospitalisationen (teilstationär)	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
Ambulante Behandlungen	22.0%	0.0%	0.1%	22.2%	
Tagesdosen Bluthochdruck Medikamente	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
Total Bluthochdruck bedingte Krankheiten	94.5%	3.5%	2.1%	100.0%	73.6%
Gesamttotal	94.2%	3.3%	2.5%	100.0%	

WTP = willingness to pay, BHK = Behandlungskosten, NPA = Nettoproduktionsausfall.

¹ Inkl. Wiederbesetzungskosten

Die in Tabelle 4-20 dargestellte Aufteilung der Kosten gilt nicht nur für die gesamten Lärmkosten, sondern auch für die Kosten des Strassen- bzw. Schienenlärms und für die Kosten des Personen- und Güterverkehrs, die im Folgenden berechnet werden.¹¹² Wir verzichten daher im Weiteren auf eine detaillierte Aufgliederung der Kosten.

In der folgenden Tabelle wird das Ergebnis noch auf Stadt und Land aufgeteilt. Der Grossteil der Kosten fällt in den Agglomerationen an (Kernstädte 45% und umliegenden Agglomerationsgemeinden 42%). Lediglich 12% fallen in ländlichen Gemeinden an.

Tabelle 4-21: Aufteilung der lärmbedingten Gesundheitskosten auf Stadt und Land (in Mio. CHF)

	WTP	BHK	NPA	Total	Anteil an Total
Kernstadt	52.0	1.8	1.2	55.0	44.7%
Andere Agglomerationsgemeinde	49.3	1.7	1.2	52.2	42.4%
Isolierte Stadt	0.4	0.0	0.2	0.7	0.5%
Ländliche Gemeinde	14.2	0.5	0.5	15.2	12.4%
Total	115.9	4.1	3.1	123.0	100.0%

WTP = willingness to pay, BHK = Behandlungskosten, NPA = Nettoproduktionsausfall.

¹¹² Die Ausnahme ist die letzte Spalte ganz rechts: Im Strassenverkehr sind die ischämischen Herzkrankheiten für 30.2% der Kosten verantwortlich (Bluthochdruck 69.8%), im Schienenverkehr für 7.7% (Bluthochdruck 92.3%). Auch für die Aufteilung nach Stadt und Land stimmt die Aufteilung gemäss Tabelle 4-20 nicht.

4.5.4 Aufteilung auf den Personen- und Güterverkehr

a) Strassenverkehr

Die Tabelle 4-22 enthält die Aufteilung der Lärmkosten auf den Personen- und Güterverkehr. Für den Strassenverkehr erfolgt zusätzlich eine Aufteilung auf die verschiedenen Fahrzeugkategorien (zur Wahl der berücksichtigten Fahrzeugkategorien siehe Kapitel 10.2.1). In der ersten Zeile der Tabelle 4-22 werden die Anteile der verschiedenen Fahrzeugkategorien aus dem Kapitel 4.3.2 (siehe Tabelle 4-7) übernommen. Damit und mit dem Total der Mietzinsausfälle bzw. der Gesundheitskosten im Strassenverkehr werden die Lärmkosten nach Fahrzeugkategorien berechnet. Auf den Personenverkehr entfallen 70% oder 768 Mio. CHF, auf den Güterverkehr die verbleibenden 30% oder 333 Mio. CHF.

Tabelle 4-22: Verteilung der Lärmkosten des Strassenverkehrs auf die Fahrzeugkategorien

	Personenverkehr								Güterverkehr				Gesamttotal
	PW	Bus	Trolley	Tram	Car	MR	Mofa	Total	Li	LW	SS	Total	
Anteil	45.5%	2.3%	0.0%	0.1%	1.1%	20.6%	0.1%	69.7%	8.9%	14.3%	7.1%	30.3%	100%
Mietzinsausfälle in Mio. CHF	454.3	22.9	0.3	1.1	10.6	206.2	1.3	696.7	89.2	142.4	70.6	302.2	998.9
Gesundheitskosten in Mio. CHF	46.3	2.3	0.0	0.1	1.1	21.0	0.1	71.0	9.1	14.5	7.2	30.8	101.8
Lärmkosten in Mio. CHF	500.6	25.3	0.3	1.2	11.7	227.2	1.4	767.7	98.2	156.9	77.8	333.0	1'100.7

PW = Personenwagen. Bus = öffentlicher Bus, Car = Privatcar, MR = Motorrad, Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper.

Die Tabelle 4-22 zeigt auch, dass im Strassenverkehr 90.8% der gesamten Kosten oder 999 Mio. CHF durch Mietzinsausfälle entstehen, während die Gesundheitskosten nur 9.2% oder 102 Mio. CHF ausmachen.

b) Schienenverkehr

In Kapitel 4.3.3 wurde gezeigt, dass 72% der Kosten des Schienenverkehrs dem Personenverkehr anzulasten sind und 28% dem Güterverkehr. Somit entstehen im Personen- bzw. Güterverkehr Kosten von 53.3 bzw. 20.4 Mio. CHF (vgl. Tabelle 4-23).

Im Schienenverkehr werden 71.2% der Kosten oder 52.4 Mio. CHF durch Mietzinsausfälle verursacht, während der Anteil der Gesundheitskosten 28.8% (oder 21.2 Mio. CHF) beträgt.

Der Anteil der Gesundheitskosten ist also im Schienenverkehr mit 29% viel höher als im Strassenverkehr mit 9%. Dies hängt damit zusammen, dass die Bluthochdruck bedingten Krankheiten über den Nachtlärm berechnet werden und dieser im Schienenverkehr verhältnismässig hoch ist (in den obersten drei Lärmklassen gar höher als im Strassenverkehr, vgl. Tabelle 4-4 und Tabelle 4-9). Entsprechend beträgt der Anteil der Bluthochdruck bedingten

Krankheiten an den gesamten Lärmkosten im Strassenverkehr 6.5%, im Schienenverkehr aber 26.6%, während die ischämischen Herzkrankheiten im Strassen- und Schienenverkehr je einen Anteil von etwa 2.5% erreichen.

Tabelle 4-23: Verteilung der Lärmkosten des Schienenverkehrs auf den Personen- und Güterverkehr (in Mio. CHF)

	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
Anteil	72.4%	27.6%	100.0%
Mietzinsausfälle	37.95	14.50	52.45
Gesundheitskosten	15.37	5.87	21.24
Total	53.32	20.37	73.69

4.6 Bandbreiten

4.6.1 Zusammenfassung der Annahmen und Bandbreiten

Um zu bestimmen, wie genau die bisherige Schätzung der Lärmkosten ist, wird im Folgenden eine Monte-Carlo-Simulation durchgeführt. Die in der Simulation berücksichtigten Unsicherheiten werden in der folgenden Tabelle dargestellt und können wie folgt kommentiert werden:

- **Mietzinsausfälle**

Lärmbelastung: Das relevante Mengengerüst ist die Anzahl der belärmten Wohnungen multipliziert mit deren Lärmniveau über 55 dB(A) tags. Wie in Kapitel 4.3.1f) beschrieben, liegt die Berechnungsgenauigkeit der Lärmbelastung am Tag im Strassenverkehr in einer Bandbreite von ± 5.1 dB(A), im Schienenverkehr beläuft sich die Bandbreite auf ± 3.9 dB(A). Diese normalverteilte, symmetrische Bandbreite bei der Bestimmung der Lärmbelastung überträgt sich aber in eine rechtsschiefe Verteilung für das relevante Mengengerüst. Im Strassenverkehr schwankt das Mengengerüst um -65% und $+109\%$, im Schienenverkehr um -58% und $+91\%$. Um dies abzubilden, wählen wir eine Chi-Quadrat-Verteilung mit 32 bzw. 39 Freiheitsgraden, die so umskaliert werden, dass sie die gewünschten Eigenschaften aufweisen.¹¹³

Die **Abnahme der Mietzinse** schwankt zwischen 0.2% und 0.9% bei einem Modus von 0.6% pro dB(A). Dazu wird eine Chi-Quadrat-Verteilung mit 97 Freiheitsgraden gewählt (für Details siehe Anhang B).

¹¹³ Die Zahl der Freiheitsgrade der Chi-Quadrat-Verteilungen wird im ganzen Kapitel jeweils so bestimmt, dass das Verhältnis der Grösse des Intervalls oberhalb zu unterhalb des Modus den gesuchten Werten entspricht. Anschliessend wird die gewählte Verteilung so umskaliert, dass nicht nur dieses Verhältnis stimmt, sondern auch die absolute Bandbreite des gewünschten Konfidenzintervalls korrekt abgebildet werden kann.

- **Ischämische Herzkrankheiten**

Lärmbelastung: Das relevante Mengengerüst ist die Anzahl der belärmten Personen multipliziert mit deren Lärmniveau über 65 dB(A) tags. Wie bei den Wohnungen liegt die Berechnungsgenauigkeit zur Lärmbelastung am Tag in einer Bandbreite von ± 5.1 dB(A) durch den Strassenverkehr bzw. von ± 3.9 dB(A) für den Schienenverkehr. Dies führt für das relevante Mengengerüst zu einer Bandbreite von -87% und $+342\%$ im Strassenverkehr bzw. -75% und $+206\%$ im Schienenverkehr. Um diese Schwankungsbreiten abzubilden werden Chi-Quadrat-Verteilungen mit 6 bzw. 9 Freiheitsgraden verwendet.

Belastungs-Wirkungs-Beziehung: Die aufgrund der Lärmbelastung bedingten Krankheits- und Todesfälle basieren auf Belastungs-Wirkungs-Beziehungen. Das Konfidenzintervall dieser Belastungs-Wirkungs-Beziehungen wurde bereits in Ecoplan et al. (2004)¹¹⁴ ermittelt und beträgt -100% und $+115\%$. Dabei wird das normalverteilte Intervall bei -100% abgeschnitten, da eine Reduktion der ischämischen Herzkrankheiten durch die Lärmbelastung biologisch keinen Sinn ergibt.

Tabelle 4-24: Übersicht über Annahmen und Bandbreiten bei der Berechnung der Lärmkosten

Bereich / Annahme	Wissenstand	Vorgehen	Bandbreite
Verkehrsleistung			
Fahrleistung pro Fahrzeugtyp	Gesichertes Wissen	Datenauswertung	
Mietzinsausfälle			
Lärmbelastung Strasse	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	-65% / +109%
Lärmbelastung Schiene	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	-58% / +91%
Abnahme Mietzinse pro dB(A)	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	-67% / +50%
Ischämische Herzkrankheiten			
Lärmbelastung Strasse	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	-87% / +342%
Lärmbelastung Schiene	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	-75% / +206%
Belastungs-Wirkungs-Beziehungen	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	-100% / +115%
Bluthochdruck bedingte Krankheiten			
Lärmbelastung Strasse	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	-79% / +274%
Lärmbelastung Schiene	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	-52% / +80%
Belastungs-Wirkungs-Beziehungen	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	-88% / +135%
Wertgerüst Gesundheitskosten			
Immaterielle Kosten (VOSL bzw. verlorene Lebensjahre)	Wissen mit Unsicherheiten	at least	-50% / +100%
Immaterielle Kosten für Krankheiten	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	$\pm 50\%$
Diskontsatz	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	-25% / +50%
Übriges Wertgerüst	Wissen mit Unsicherheiten	Datenauswertung	

¹¹⁴ Ecoplan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, S. 86.

- **Bluthochdruck bedingte Krankheiten**

Lärmbelastung: Das relevante Mengengerüst ist die Anzahl der belärmten Personen multipliziert mit deren Lärmniveau über 50 dB(A) nachts. Wie in Kapitel 4.3.1f) beschrieben, ergibt sich für die nächtliche Lärmbelastung bei den Berechnungen eine Bandbreite von ± 6.0 dB(A) im Strassenverkehr und ± 3.9 dB(A) im Schienenverkehr. Dies führt für das relevante Mengengerüst zu einer Bandbreite von -79% und $+274\%$ im Strassenverkehr bzw. -52% und $+80\%$ im Schienenverkehr. Um diese Schwankungsbreiten abzubilden werden Chi-Quadrat-Verteilungen mit 7 bzw. 44 Freiheitsgraden verwendet.

Belastungs-Wirkungs-Beziehung: In Ecoplan et al. (2004)¹¹⁵ wurde das Konfidenzintervall der Belastungs-Wirkungs-Beziehung für Bluthochdruck bedingte Krankheiten ermittelt. Es beträgt -88% und $+135\%$. Um diese Verteilung abzubilden, wird eine Chi-Quadrat-Verteilung mit 45 Freiheitsgraden gewählt.

- **Wertgerüst Gesundheitskosten**

Da von demselben **VOSL** ausgegangen wird wie bei den Unfällen wird auch dasselbe Konfidenzintervall unterstellt: Wie in Kapitel 3.6.1 erläutert wird eine rechtsschiefe Chi-Quadrat-Verteilung verwendet, deren 95%-Konfidenzintervall des VOSL von 3.147 Mio. CHF zwischen 1.52 und 6.65 Mio. CHF liegt (vgl. auch Grafik 3-13 auf Seite 105).

Wie in Ecoplan et al. (2004, S. 105-6) gehen wir davon aus, dass die **immateriellen Kosten der Krankheitsfälle** um 50% höher oder tiefer liegen könnten. Wir wählen also eine Normalverteilung, deren 95%-Konfidenzintervall diesen Bereich einschliesst.

Die medizinischen Behandlungskosten werden mit einer ganz anderen Methode bestimmt als bei den Unfallkosten.¹¹⁶ Deshalb wird hier im Gegensatz zu den Unfallkosten auf eine Bandbreite verzichtet. Die Vernachlässigung ist auch vertretbar, weil auf die medizinischen Behandlungskosten lediglich 3.3% der Kosten entfallen.

Auch der **Diskontsatz** hat Auswirkungen auf die Ergebnisse. Einerseits wird der Diskontsatz verwendet, um den VOSL in den VLYL umzurechnen. Ein höherer Diskontsatz führt dabei zu einem höheren VLYL. Andererseits werden Effekte in der Zukunft mit dem Diskontsatz abdiskontiert und fallen deshalb bei höherem Diskontsatz weniger ins Gewicht. Wie sich zeigt, ist der erste dieser beiden gegenläufigen Effekte stärker, so dass das Ergebnis mit dem Diskontsatz zunimmt.¹¹⁷ Gemäss der SN 614 821¹¹⁸ rechnen wir in der Basisrechnung mit einem (realen) Diskontsatz von 2%. Die Norm schreibt auch eine Sensitivität mit 3% vor. Hingegen wird in der Norm auf eine Sensiti-

¹¹⁵ Ecoplan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, S. 87.

¹¹⁶ Bei den Unfallkosten müssen die Leistungen der Unfallversicherungen auf die gesamten Kosten hochgerechnet werden (inkl. Spitalsubventionen etc.). Hier hingegen werden die Kosten der Behandlungen direkt bei den Spitälern erhoben.

¹¹⁷ Bei den Unfällen wurde der Diskontsatz nicht in die Monte-Carlo-Simulation miteinbezogen, weil sich dort diese gegenläufigen Effekte praktisch ausgleichen.

¹¹⁸ SN 614 821 (2006), Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr. Diskontsatz.

vität mit einem kleineren Diskontsatz von 1% verzichtet, weil dies als unplausibel betrachtet wird.

Deshalb verwenden wir wie beim VOSL eine rechtsschiefe Verteilung zwischen 1.5% und 3% mit Modus 2%. Wir verwenden eine entsprechend umskalierte Chi-Quadrat-Verteilung mit 17 Freiheitsgraden. Der obere Wert von 3% entspricht der SN 641 821, der untere Wert von 1.5% wurde im Vergleich zur Sensitivitätsanalyse mit 1% in Eco-plan et al. (2004)¹¹⁹ angehoben.

4.6.2 Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation

Die Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulationen werden in der folgenden Tabelle und Grafik dargestellt. Im **Strassenverkehr** liegt das 95%-Konfidenzintervall der Lärmkosten **zwischen 367 und 2'587 Mio. CHF**. Die Basisrechnung von 1'101 Mio. CHF wird also um 67% unterschritten oder um 135% überschritten. Der grösste Teil dieser Schwankungsbreite ist auf die Lärmbelastung bei den Mietzinsen zurückzuführen (vgl. Tabelle 4-24): Wird nur diese verändert, schwankt das Ergebnis bereits um –60% und +99%.

Im **Schieneverkehr** ist das 95%-Konfidenzintervall mit einer Bandbreite von –58% und +117% etwas kleiner. Damit liegen die Kosten **zwischen 31 und 160 Mio. CHF**. Der Grund für die geringere Schwankungsbreite ist, dass die Lärmbelastung im Schienenverkehr genauer bestimmt werden konnte als im Strassenverkehr. Wiederum ist die Unsicherheit der Lärmbelastung bei den Mietzinsausfällen wichtig und allein für eine Schwankungsbreite von –41% und +44% verantwortlich.

Die Kosten des Gesamtverkehrs liegen damit zwischen 421 und 2'695 Mio. CHF. Da sich die Schwankungen des Personen und Güterverkehrs gegenseitig etwas ausgleichen ist das Intervall für den Gesamtverkehr kleiner als die Summe der Intervalle für den Strassen- und Schienenverkehr (vgl. Kapitel 2.5.3).¹²⁰

Tabelle 4-25: Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation für die Lärmkosten in Mio. CHF

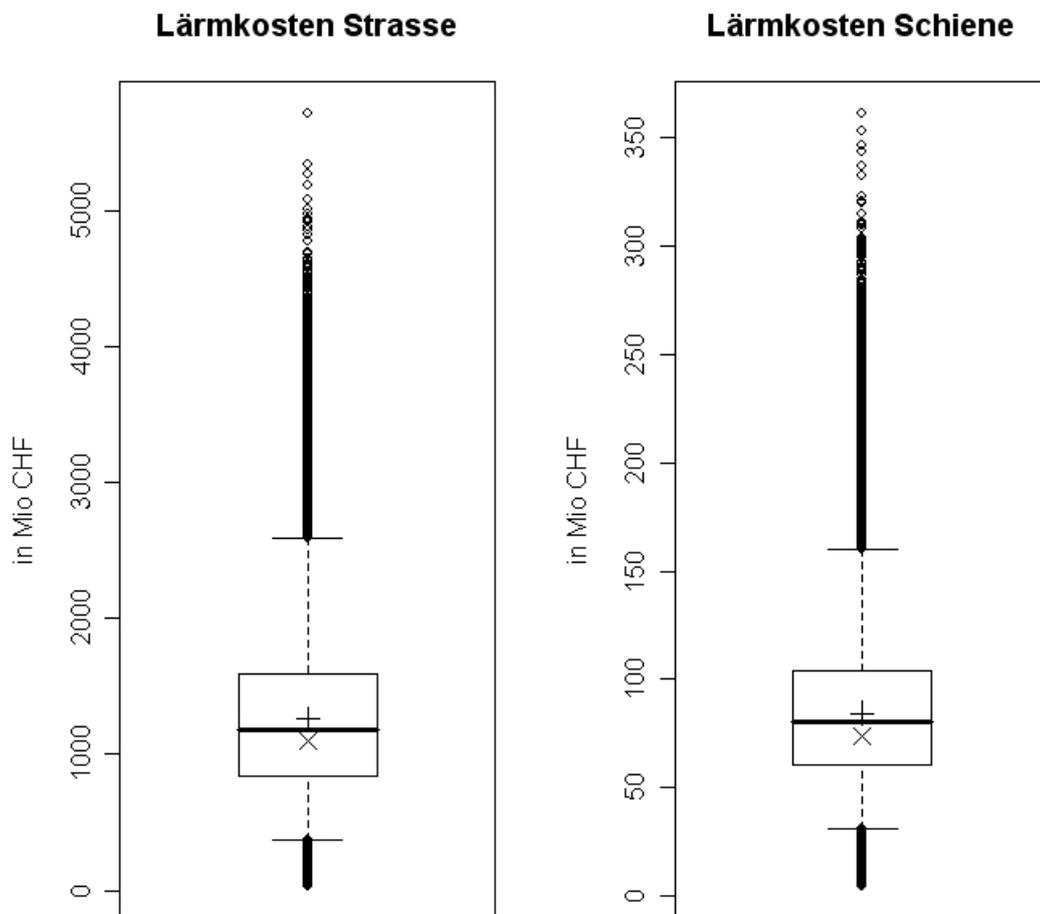
	Basisrechnung	95%-Konfidenzintervall	95%-Konfidenzintervall
Strasse	1'101	367 - 2'587	-67% - 135%
Schiene	74	31 - 160	-58% - 117%
Total	1'174	421 - 2'695	-64% - 130%

¹¹⁹ Eco-plan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, S. 119.

¹²⁰ Würde einfach die Summe der Intervalle für Strassen- und Schienenverkehr verwendet, würde sich ein Intervall von 398 bis 2'747 Mio. CHF ergeben.

Die folgende Grafik zeigt nochmals deutlich, wie rechtsschief die Verteilung bei den Lärmkosten ist oder in anderen Worten, dass die Schwankungsbreite gegen oben grösser ist als diejenige gegen unten: Die Ausreisser ausserhalb des 95%-Konfidenzintervalles liegen unten alle relativ nahe am Intervall, oben jedoch teilweise deutlich darüber. Zudem wird aus der Grafik auch ersichtlich, dass die Kosten vorsichtig geschätzt wurden: Der Basiswert liegt unterhalb des Modus und des Mittelwertes der Verteilung.

Grafik 4-7: Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation für die Lärmkosten in Mio. CHF



Erläuterung: Die Begrenzung der rechteckigen Box entspricht dem 25%- bzw. 75%-Quantil, d.h. 50% aller Simulationen liegen innerhalb der Box. Der Strich in der Box ist der Median (=50%-Quantil), das „+“-Zeichen der Mittelwert und das „x“-Zeichen das Ergebnis aus der Basisrechnung. Der untere bzw. obere Querstrich nach der gestrichelten Linie („Whisker“) ist das 2.5%- bzw. 97.5%-Quantil, so dass 95% innerhalb dieser Werte liegen. Die Kreise ausserhalb dieser Querstriche zeigen Ausreisser (da eine Million Simulationen durchgeführt wurden, gibt es relativ viele Ausreisser).

4.6.3 Zusätzliche Unter- oder Überschätzungen

Es ist nochmals zu betonen, dass in dieser Studie **nur** die Auswirkungen des **Lärms am Wohnort** ermittelt werden. **Weitere Lärmkosten** werden **nicht berücksichtigt** (Auswirkungen des Lärms in Schutz- und Erholungsgebieten, am Arbeitsplatz sowie in der Schule, Verluste durch Auszonung oder Nicht-Einzonung von Grundstücken, Kosten von Schallschutzmassnahmen, Lärmfluchtkosten, Baulärm, vgl. Kapitel 4.1). **Deshalb unterschätzen die ausgewiesenen Lärmkosten die tatsächlich durch den Lärm verursachten externen Kosten klar.**

Ausserdem werden in einigen Bereichen gemäss dem at least Ansatz konservative Annahmen getroffen, die zu einer **weiteren Unterschätzung der Lärmkosten** führen. Folgende Faktoren sprechen für diese Einschätzung:

- **Mietzinsausfälle**

Das **minimale Lärmniveau**, ab dem mit Mietzinsausfällen zu rechnen ist, wurde vorsichtig bei **55 dB(A)** festgelegt. Verschiedene Studien zeigen, dass auch unterhalb von 55 dB(A) eine Zahlungsbereitschaft für Lärmverminderungen besteht. Würde das minimale Lärmniveau auf **50 dB(A)** gesenkt, so wären die **Mietzinsausfälle mehr als doppelt so hoch** (im Strassenverkehr Zunahme um 107%, im Schienenverkehr um 124%).

- **Gesundheitsschäden**

Ambulante Behandlungen von Angina Pectoris und der Medikamentenverbrauch für ischämische Herzkrankheiten werden **nicht berücksichtigt**. Für Jugendliche bis 14 Jahre (inkl.) werden überhaupt keine ambulante Behandlungen und kein Medikamentenverbrauch ermittelt.

Für **weitere Krankheiten**, die durch den Lärm verschlimmert werden dürften (wie z.B. überhöhte Blutfettwerte, Bronchialasthma, Krebserkrankungen etc.), liegen (noch) keine gesicherten Zusammenhänge vor. Diese Krankheitsbilder mussten deshalb **vernachlässigt** werden.

Bei den verlorenen Lebensjahren wird nicht berücksichtigt, dass die **Lebenserwartung** der Bevölkerung in Zukunft weiter zunehmen wird. Bei der Bestimmung der Produktionsausfälle wird zudem vernachlässigt, dass ca. 15% der Bevölkerung über das AHV-Alter hinaus berufstätig sind.¹²¹

Die **Anpassung des VOSL an den Risikokontext** könnte im Bereich Lärm zu doppelt (oder sogar dreimal) so hohen Kosten führen (vgl. Kapitel 4.4.3). Die verfügbaren empirischen Grundlagen reichen aber zurzeit für eine Anpassung der Zahlungsbereitschaft nicht aus. Deshalb wird auch in den EU-Projekten HEATCO und IMPACT auf eine Anpassung verzichtet.

¹²¹ Ecoplan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, S. 87.

Für einige Krankheitsfälle liegen keine empirische Studien zu den Zahlungsbereitschaften vor, so dass auf eine Bewertung der immateriellen Kosten verzichtet werden musste.

Die **administrativen Kosten** der Gesundheitsschäden werden nicht mit einbezogen, dürften aber weniger als 0.5% der Kosten ausmachen (vgl. Kapitel 4.4.1).

Auch die **Vermeidungskosten** werden vernachlässigt, dürften aber ebenfalls klein sein (vgl. Kapitel 4.4.1).

Bei der Bestimmung der **übrigen Kostensätze** wurden gemäss dem at least Ansatz ebenfalls **vorsichtige Werte** verwendet.¹²²

Als gegenläufigen Effekt zur Unterschätzung muss beachtet werden, dass die Bestimmung der Lärmbelastung gemäss der maximalen Lärmimmission am Gebäude dazu führt, dass alle Wohnungen bzw. Personen des entsprechenden Gebäudes mit der maximalen Lärmbelastung in die Bestimmung des Mengengerüsts einfliessen (vgl. Kapitel 4.3.1d). Dies führt grundsätzlich zu einer Überschätzung der Lärmbelastung bzw. der Mietzinsausfälle. Das Ausmass der oben aufgeführten Gründe für eine Unterschätzung dürfte jedoch deutlich grösser sein.

4.7 Vergleich mit den bisherigen Ergebnissen für das Jahr 2000

Im Folgenden werden die Ergebnisse mit den bisherigen Berechnungen für das Jahr 2000 verglichen.¹²³ Die Abweichungen zwischen den beiden Ergebnissen sind in erster Linie darauf zurückzuführen, dass mit SonBase für die aktualisierte Berechnung ein völlig neues Mengengerüst vorliegt:

¹²² Dies zeigt sich z.B. in folgenden Annahmen, die sowohl im Bereich Lärm als auch Luft (vgl. Kapitel 5) gelten (Ecoplan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, S. 106 – 110 und Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz, S. 90 – 94):

- Die Kostensätze für die Hospitalisierungen dürften eine Unterschätzung darstellen, da die Kosten weiterer medizinischer Nachfolgeuntersuchungen, die gemäss einer amerikanischen Untersuchung bis zu 2'300 CHF betragen könnten, und der mögliche Medikamentenkonsum nicht betrachtet werden. Auch bei Todesfällen werden keine Behandlungskosten unterstellt, obwohl vor dem Eintritt des Todes durchaus noch Kosten anfallen können. Die Bestattungskosten sind ebenfalls nicht berücksichtigt.
- Bei der Berechnung der Nettoproduktionsausfälle nach Spitalaufenthalt wird davon ausgegangen, dass der Patient sich zu Hause noch erholen muss bevor er wieder zur Arbeit gehen kann. Deshalb wird die Aufenthaltsdauer im Spital für die Berechnung des Produktionsausfalls verdreifacht (für die Luftverschmutzung in Kapitel 5 verdoppelt). Es gibt aber auch Studien, die eine Vervier- oder Versechsfachung empfehlen.
- In einer englischen Studie werden neben den Produktionsausfällen auch noch indirekte Kosten der Produktionsausfälle bestimmt, die diese übersteigen: Der Ausfall führt zu einer verminderten Zufriedenheit bei den Kunden mit der Qualität der Produkte oder Dienstleistungen und damit zu einem Verlust an künftigen Geschäften.

¹²³ Beim vorgenommenen Vergleich gilt es zu berücksichtigen, dass die Angaben für das Jahr 2000 nicht auf das Preisniveau 2005 angepasst werden, so dass die ausgewiesene Kostenzunahme bei einer realen bzw. preisbereinigten Betrachtung etwas kleiner wäre.

- Im Strassenverkehr wurde für das Jahr 2000 die Lärmbelastung für 30 Quadrate von 400 x 400 m zwar sehr detailliert ermittelt. Jedoch musste die sehr kleine Stichprobe zur Hochrechnung auf die gesamte Schweiz verwendet werden. Die Berechnungen für das Jahr 2005 erfolgen demgegenüber mit SonBase flächendeckend für die gesamte Schweiz. Damit kann ein wesentlich höherer Genauigkeitsgrad erreicht werden, auch wenn die verwendeten Grundlagen (Verkehrsmenge und Zusammensetzung, vorhandene Lärmschutzwände, Geschwindigkeiten usw.) im Vergleich zu den 30 Stichprobenquadraten weniger exakt sind.
- Im Schienenverkehr stützte sich das Mengengerüst 2000 auf eine SBB interne Erhebung, welcher die Emissionen 1998 und die Personen 1990 zugrunde lagen. Für das Jahr 2000 wurden die Emissionen beibehalten und die Personen hochgerechnet. Für die Berechnungen 2005 wird nun SonBase verwendet. Diese beruht wie erwähnt auf dem Emissionsplan 2015 (vgl. Kapitel 4.3.1c). Es werden also die tatsächlichen Emissionen 1998 mit den geplanten Emissionen 2015 verglichen (unter Berücksichtigung der tatsächlichen Veränderungen bei den Lärmschutzwänden und dem Bevölkerungswachstum).

Die Veränderungen beruhen also vor allem auf einer Anpassung der Berechnungsmethode zur Bestimmung der lärmbelasteten Wohnungen und Personen (neu SonBase). Es handelt sich nicht um eine Veränderung über die Zeit.

In der folgenden Tabelle und Grafik werden die Ergebnisse der Jahre 2000 und 2005 einander gegenüber gestellt. Insgesamt werden **2005 um 18% höhere Lärmkosten ausgewiesen**. Dafür sind folgende Gründe verantwortlich:

- Mietzinsausfälle
Die Abnahme der Mietpreisreduktion pro dB(A) von 0.8% auf 0.6% (Abnahme um 25%) und die gleichzeitige Zunahme des Mietpreisniveaus um 12% führt zu einer um 16% tieferen Mietpreisabnahme pro dB(A), nämlich von 106.25 auf 89.50 CHF pro dB(A).
Aufgrund des neuen Mengengerüsts (SonBase) wird im Strassenverkehr neu eine um 44% höhere Lärmbelastung (Anzahl der belärmten Wohnungen multipliziert mit deren Lärmniveau über 55 dB(A) tags) ausgewiesen, im Schienenverkehr jedoch eine um 40% tiefere.
Gesamthaft ergibt sich somit für die Mietzinsausfälle im Strassenverkehr eine Zunahme um 30%, im Schienenverkehr jedoch eine Halbierung (Abnahme um 49%).
- Gesundheitskosten
Für das relevante Mengengerüst für die ischämischen Herzkrankheiten (Anzahl der belärmten Personen multipliziert mit deren Lärmniveau über 65 dB(A) tags) weist SonBase im Strassenverkehr eine um 16% höhere Lärmbelastung aus, im Schienenverkehr jedoch eine um 70% tiefere.
Für das relevante Mengengerüst für die Bluthochdruck bedingte Krankheiten (Anzahl der belärmten Personen multipliziert mit deren Lärmniveau über 50 dB(A) nachts) weist SonBase im Strassenverkehr eine um 17% tiefere Lärmbelastung aus, im Schienenverkehr eine um 14% tiefere.

Die Zahl der Krankheitsfälle bzw. der verlorenen Lebensjahre verändert sich etwa in demselben Ausmass.

Beim Wertgerüst nimmt die Zahlungsbereitschaft mit dem Nominallohnwachstum um 8% zu, die Behandlungskosten um 6% und der Produktionsausfall um 28%.¹²⁴

Für die ischämischen Herzkrankheiten werden folglich im Strassenverkehr um 27% höhere Kosten ausgewiesen, im Schienenverkehr aber um 67% tiefere. Für die Bluthochdruck bedingten Krankheiten werden im Strassenverkehr um 5% tiefere Kosten berechnet, im Schienenverkehr um 1% tiefere.

Tabelle 4-26: Vergleich der Berechnungen für die Jahre 2000 und 2005: Lärmkosten in Mio. CHF

2000	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	549.9	319.5	869.4	87.1%
Schienenverkehr	101.4	27.2	128.6	12.9%
Total	651.3	346.7	998.0	100.0%
in % des Totals	65.3%	34.7%	100.0%	
2005	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	767.7	333.0	1'100.7	93.7%
Schienenverkehr	53.3	20.4	73.7	6.3%
Total	821.0	353.4	1'174.4	100.0%
in % des Totals	69.9%	30.1%	100.0%	
Veränderung in %	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	
Strassenverkehr	39.6%	4.2%	26.6%	
Schienenverkehr	-47.4%	-25.2%	-42.7%	
Total	26.1%	1.9%	17.7%	

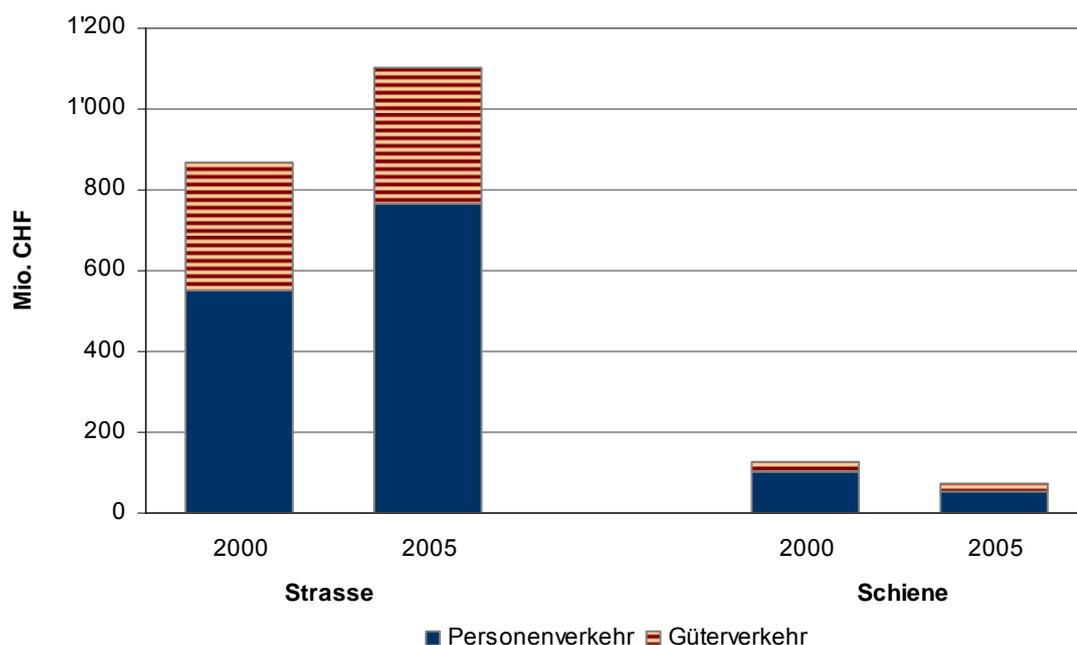
- Gesamthaft ergibt sich somit **im Strassenverkehr eine Zunahme um 27%, im Schienenverkehr eine Abnahme um 43%** (vgl. Tabelle 4-26). Dieser Gesamteffekt verteilt sich aber nicht gleichmässig auf den Personen- und Güterverkehr:

Im Strassenverkehr beträgt der Anteil des Personenverkehrs neu 70% statt wie bisher 63%. Dies ist nicht auf eine echte Veränderung der Anteile zurückzuführen, sondern auf eine Überarbeitung der BFS-Statistik zu den Fahrzeugkilometern im Güterverkehr, die deutlich nach unten korrigiert wurden. Für das Jahr 2000 wurde also der Anteil des Güterverkehrs überschätzt. Deshalb ist die Zunahme im Personenverkehr mit 40% ausgeprägter als im Güterverkehr mit 4%.

¹²⁴ Die Zunahme durch die Wirtschaftsentwicklung beträgt 9%. Dazu kommen 18% für die neu berücksichtigten betrieblichen Vorsorgeansprüche.

Im Schienenverkehr ist der Anteil des Personenverkehrs hingegen gesunken (von 79% auf 72%). Dies ist darauf zurückzuführen, dass für das Jahr 2000 eine grobe Abschätzung der Verteilung erfolgen musste. Für das Jahr 2005 liegen nun aber neu tatsächliche Messungen von Personen- und Güterzügen vor, so dass sich die Anteile besser bestimmen lassen. Folglich ist die Abnahme im Personenverkehr ausgeprägter als im Güterverkehr (47% versus 25%).

Grafik 4-8: Vergleich der Berechnungen für die Jahre 2000 und 2005: Lärm



5 Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung

5.1 Bewertungsmethodik

Das **Ziel** im Bereich **Gesundheitskosten der Luftverschmutzung** ist es, die externen Kosten **durch den Strassen- und Schienenverkehr auf das Jahr 2005 zu aktualisieren**. Zudem sollen auch die externen Kosten der **gesamten Luftverschmutzung** in der Schweiz aufdatiert werden. Dazu müssen die Schadstoffbelastung der Bevölkerung, die dadurch ausgelösten Krankheits- und Todesfälle sowie die damit verbundenen Kostenfolgen aktualisiert werden. Die Basis für die Aktualisierung bilden die Berechnungen von Ecoplan et al (2004)¹²⁵ für das Jahr 2000.

Dabei wird das **Territorialprinzip** verwendet, d.h. es werden die Morbiditäts- und Mortalitätsfälle sowie die Gesundheitskosten ermittelt, die durch die Luftschadstoff-Immission auf Schweizer Gebiet entstehen.¹²⁶ Wie in Ecoplan et al. (2004) wird die Schadstoffexposition nach dem **Wohnort** berechnet.

Die **Bewertungsmethodik** wird in der folgenden Grafik dargestellt und ist gleich wie die Methodik bei der Bewertung der Gesundheitskosten des Lärms: Es wird von einer Ursachen-Wirkungskette ausgegangen. Grundlage für die Ermittlung der Gesundheitskosten ist die Kenntnis über die aktuelle Schadstoffbelastung der Bevölkerung, die sogenannte **Bevölkerungsexposition**. Die Bevölkerungsexposition ergibt sich aus der Überlagerung der lokalisierten Schadstoffkonzentrationen (Immissionskataster) mit der jeweiligen Bevölkerungsdichte vor Ort (Bevölkerungskataster). Die Immissionen entstehen durch Emissionen des Verkehrs, die durch Winde etc. verfrachtet werden.

Die Schadstoffbelastung bewirkt bei der betroffenen Bevölkerung gemäss einer Vielzahl epidemiologischer Untersuchungen eine Beeinträchtigung des Gesundheitszustandes. Diese Beeinträchtigung kann sich in **zusätzlichen Krankheitsfällen** äussern und / oder die **Lebenserwartung** der betroffenen Personen **schmälern**. Mit dem Zusammenhang zwischen Schadstoffbelastung und der Auftretenshäufigkeit von Morbidität und Mortalität (sogenannte Belastungs-Wirkungs-Beziehung oder dose-response-function) lässt sich die Zahl der luftverschmutzungsbedingten Krankheits- und Todesfälle bestimmen.

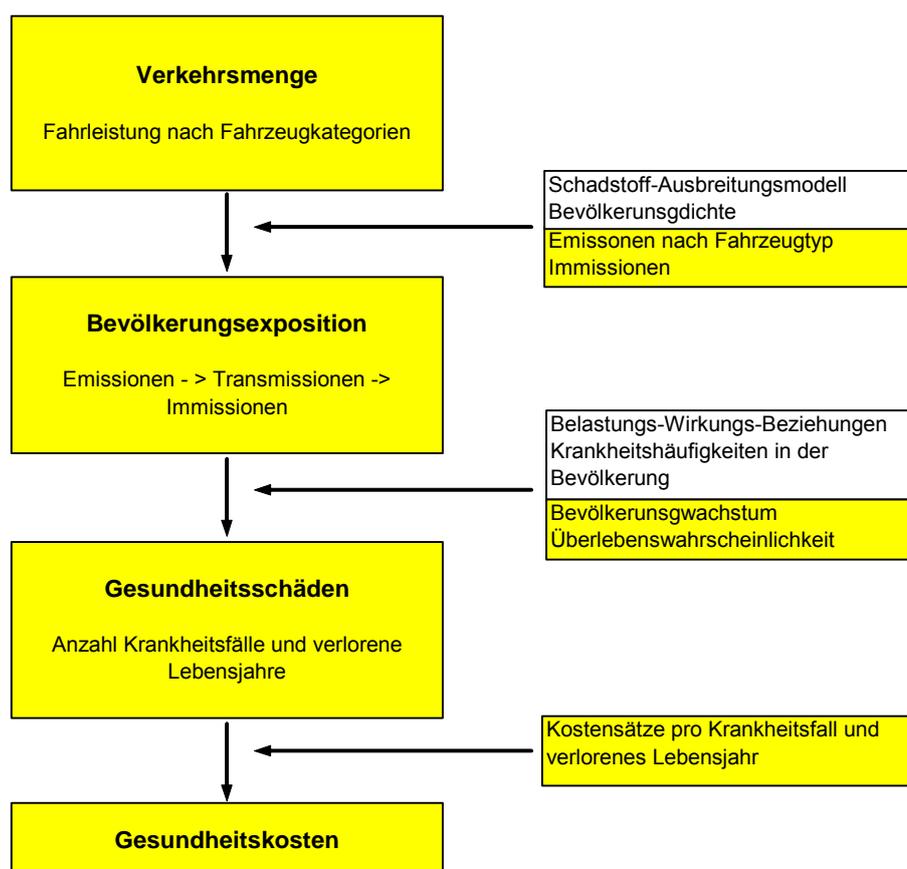
Um daraus die Gesundheitskosten zu berechnen, muss in einem letzten Arbeitsschritt bestimmt werden, welche **Aufwendungen und (Nutzen-)Verluste** für die **Betroffenen** und die **Allgemeinheit** durch diese zusätzlichen Krankheits- und Todesfälle entstehen. Die Gesundheitskosten setzen sich aus denselben Komponenten zusammen wie bei den Gesundheitskosten des Lärms, nämlich aus den **medizinischen Behandlungskosten**, dem **Produkti-**

¹²⁵ Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz.

¹²⁶ Vgl. dazu ausführlicher Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz, S. 5-6.

onsausfall, den **Wiederbesetzungskosten**¹²⁷ und den **immaterielle Kosten** (vgl. ausführlicher in Kapitel 4.1). Wie beim Lärm fließen alle Kosten, die durch die Luftverschmutzung des Jahres 2005 entstehen, in die Berechnungen ein. Dabei werden auch jene Kosten berücksichtigt, welche erst nach dem Jahr 2005 anfallen (z.B. medizinische Behandlungskosten, Produktionsausfall usw.).

Grafik 5-1: Methodik zur Berechnung der Gesundheitskosten der Luftverschmutzung (Aktualisierungen hervorgehoben)



Wie in Ecoplan et al. (2004) wird **PM10** (Staubpartikel mit einem Durchmesser von weniger als 10 Mikrometer) als **Leitschadstoff** verwendet.¹²⁸ Das bedeutet, dass alle Gesundheitsfolgen der Luftverschmutzung über PM10 quantifiziert werden. Dies bedeutet aber auch, dass akute Schäden durch hohe Konzentrationen von **Ozon nicht berücksichtigt** werden (vgl. auch Kapitel 5.2).

¹²⁷ Die Wiederbesetzungskosten werden neu miteinbezogen, sind aber nur sehr klein.

¹²⁸ Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz, S. 9 – 11.

5.2 Neue Erkenntnisse aus der nationalen und internationalen Forschung

a) Leitschadstoff PM10

Die Verwendung von PM10 als Leitschadstoff für die Bestimmung der Kosten der Luftverschmutzung des Verkehrs wird manchmal kritisiert.¹²⁹ Denn PM10 erlaubt es nicht, Schadstoffe spezifisch zu berücksichtigen, die ausschliesslich vom Verkehr ausgestossen werden und vor allem entlang der Strassen zu Gesundheitsfolgen führen. So wurde in einer Studie untersucht, wie die Auswirkungen des Verkehrs in den Alpen bestimmt werden können.¹³⁰ Die Studie empfiehlt als Leitschadstoff NO₂ zu verwenden.¹³¹ Allerdings ist NO₂ nur dann anzuwenden, wenn die Schäden kleinräumig (z.B. in einem Alpental) bestimmt werden sollen. Werden jedoch wie in der vorliegenden Studie die Schäden in einem ganzen Land ermittelt, empfiehlt die Studie weiterhin PM10 zu verwenden. Idealerweise wären jedoch noch andere Schadstoffe (z.B. Partikelzahl, CO, Kohlenstoff) zu berücksichtigen, für die jedoch die epidemiologischen Grundlagen (noch) fehlen.¹³² Aus heutiger Sicht kann bzw. muss also weiterhin PM10 als Leitschadstoff verwendet werden.

Anstatt PM10 wird in manchen Studien wie CAFE CBA und HEATCO (nur für Transportemissionen, für Emissionen von Kraftwerken wird PM10 verwendet) auch PM2.5 verwendet.¹³³ Es ist nicht klar, ob PM2.5 oder PM10 geeigneter ist für die Bestimmung der Gesundheitsfolgen der Luftverschmutzung durch den Verkehr. Wir verbleiben in dieser Studie wie das UBA¹³⁴ bei der Verwendung von PM10.

Im EU-Projekt HEATCO, das auf dem EU-Projekt ExternE beruht, wird ausserdem davon ausgegangen, dass unterschiedliche Schadstoffe unterschiedlich schädlich sind bzw. eine unterschiedliche Toxizität (Giftigkeit) aufweisen.¹³⁵ So wird primäres PM10 als toxischer eingestuft als sekundäres PM10 und insbesondere die Emissionen des Verkehrs werden als besonders schädlich betrachtet. Im Gegensatz dazu wird im Projekt CAFE aber festgehalten, dass es zu wenig Evidenz gebe, um unterschiedliche Toxizitäten zu unterstellen. Diese Aussage basiert auf einer WHO-Studie. Im Rahmen der vorliegenden Studie verzichten wir wie bisher¹³⁶ darauf, beim PM10 eine Differenzierung nach der Toxizität der einzelnen Bestandteile vorzunehmen.

¹²⁹ Künzli (2007), Traffic Related Pollution: Risk Factor for the Development of Cardiovascular Diseases?

¹³⁰ Huss und Rössli (2006), Recommendations for a health impact assessment in the Alpine transit regions.

¹³¹ Der Vorschlag von NO₂ beruht darauf, dass für NO₂ einige epidemiologische Studien bestehen, die eine Quantifizierung der Krankheitsfolgen der Luftverschmutzung erlauben. Zudem zeigen die NO₂-Konzentrationen die Verteilung der verkehrsspezifischen Luftverschmutzung

¹³² Künzli (2007), Traffic Related Pollution: Risk Factor for the Development of Cardiovascular Diseases?

¹³³ AEA (2005), Methodology for the Cost-Benefit analysis for CAFE. Volume 2 und Bickel et al. (2006), HEATCO D5: Proposal for Harmonized Guidelines.

¹³⁴ UBA (2007), Ökonomische Bewertung von Umweltschäden, S. 76.

¹³⁵ Infrac / CE Delft et al. (2007), IMPACT: Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport, S. 52.

¹³⁶ Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz, S. 108.

b) Schäden durch Ozon

In den letzten Jahren wurden neben den Schäden durch PM₁₀ vermehrt auch die Schäden durch Ozon berücksichtigt. Während PM₁₀ vor allem aufgrund chronischer Effekte zu Todesfällen führt, können hohe Ozonkonzentrationen zu akuten Todesfällen beitragen. Die Opfer der hohen Ozonkonzentration sind jedoch praktisch immer Personen, die bereits an einer Erkrankung der Atemwege oder des Herz/Kreislaufes leiden. Deshalb führen diese Todesfälle „nur“ zu relativ wenig verlorenen Lebensjahren (die Schätzungen liegen zwischen 3 Monaten und 3 Jahren).¹³⁷

Daneben werden häufig auch die Auswirkungen des Ozons auf verschiedene Krankheitsbilder mit erfasst (Spitaleintritte aufgrund von Atemwegserkrankungen, Tage mit teilweise eingeschränkter Aktivität (minor restricted activity days), Medikamentverbrauch bei Atemwegserkrankungen und Symptomtage).¹³⁸

In diversen aktuellen EU-Studien (CAFE, HEATCO, IMPACT) werden die durch Ozon verursachten Gesundheitsschäden neben den durch PM₁₀ verursachten Schäden quantifiziert.¹³⁹ Die Studien weisen die Ergebnisse jedoch immer in Tonnen pro Schadstoff aus. Da aber gewisse Schadstoffe sowohl zu sekundärem PM₁₀ als auch zu Ozon führen, kann aus den Ergebnissen dieser Studien nicht abgelesen werden, wie gross der Anteil der Schäden ist, der durch Ozon verursacht wird.

Aufgrund verschiedener Studie können die ozonbedingten Gesundheitsschäden sehr grob auf rund 10% der PM₁₀-bedingten Schäden veranschlagt werden.¹⁴⁰ Im Rahmen dieser Aktualisierung verzichten wir jedoch auf eine explizite Ermittlung der ozonbedingten Schäden, da insbesondere zur Exposition der Bevölkerung mit Ozon keine verlässlichen Datengrundlagen zur Verfügung stehen.

¹³⁷ AEA (2005), Methodology for the Cost-Benefit analysis for CAFE. Volume 2, S. iv.

¹³⁸ AEA (2005), Methodology for the Cost-Benefit analysis for CAFE. Volume 2, S. v – vi

¹³⁹ AEA (2005), Methodology for the Cost-Benefit analysis for CAFE. Volume 1 und 2, Bickel et al. (2006), HEATCO D5: Proposal for Harmonized Guidelines, Annex D, S. 13 und Infras / CE Delft et al. (2007), IMPACT: Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport, Kapitel 3.3.

¹⁴⁰ Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz, S. 11 und Hubbell et al. (2005), Health-Related Benefits of Attaining the 8-hr Ozone Standard. In der zweiten Studie für die USA wurde berechnet, wie gross der Nutzen wäre, wenn die Ozonbelastung so stark sinken würde, dass die US-Grenzwerte eingehalten werden. Gemäss ihren Berechnungen beträgt der Nutzen etwa 5.7 Mrd. \$ oder umgerechnet etwa 40 CHF pro Kopf. Dies entspricht gut 6% der Kosten der Gesundheitskosten der Luftverschmutzung (Ecoplan et al. (2004, S. 1), allerdings beruht der Wert von Hubbell et al. auf einem sehr hohen VOSL von 6.5 Mio. \$). Es ist jedoch zu beachten, dass Hubbell et al. nicht die gesamten Kosten des Ozons berechnet haben, sondern nur den Nutzen einer Reduktion der Ozonbelastung bis zu den geltenden Grenzwerten. Die gesamten Kosten des Ozons sind also höher. Der oben erwähnte Wert von 10% dürfte also in der Grössenordnung zutreffen.

5.3 Mengengerüst

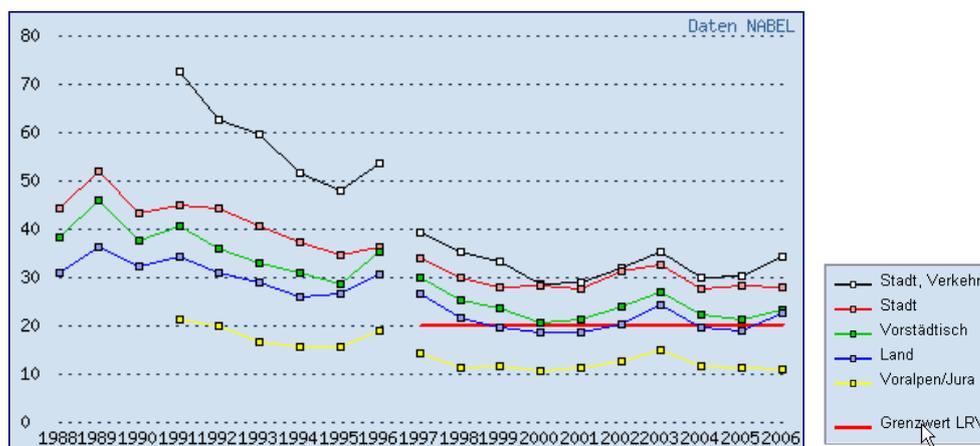
5.3.1 Verkehrsbedingte Schadstoffbelastung der Bevölkerung

a) Fortschreibung der Immissionsresultate 2000 für das Jahr 2005

Würden die PM₁₀-Resultate aus dem Jahr 2000 methodisch konsequent für 2005 fortgeschrieben, wären die Immissionen auf Basis Emissionen und Meteorologie-Parameter 2005 zu modellieren. Gegen die Modellierung spricht aber folgende Beobachtung:

Die PM₁₀-Emissionen nehmen in der Zeitspanne 2000 – 2005 um 1.1% beim Verkehr (Strasse / Schiene) und 6.8% bei den übrigen Emittenten ab. Bei der wichtigsten Vorläufersubstanz NO_x wird sogar eine Reduktion um 17% angenommen, die sich wenigstens teilweise auf die Nitratanteile im PM₁₀ übertragen würden. Trotz dieser Abnahmen zeigen aber die Immissionsmessungen in der Schweiz beim PM₁₀ und beim NO_x überraschenderweise keinen Rückgang in dieser Periode (siehe Grafik 5-2 mit den Messwerten der PM₁₀-Immissionen). Das ähnliche Phänomen ist auch bei den Stickoxiden zu beobachten und tritt zum Beispiel auch in Deutschland auf.

Grafik 5-2: NABEL-Messwerte der PM₁₀-Immissionen nach Standorttypen (BAFU 2008)



Die Maximalkonzentrationen 2003, wie sie im Diagramm zum Ausdruck kommen, sind durch die besondere Meteorologie dieses Jahres verursacht (Hitzesommer). Auch bei den übrigen Jahren spielt das Wetter eine gewisse Rolle. Trotz der – witterungsbedingten – Schwankungen ist aber ein stagnierender oder gar zunehmender Trend der Messwerte in der Periode 2000 – 2006 erkennbar (innerhalb der witterungsbedingten Schwankungen sind die Immissionen 2000 und 2005 vergleichbar). Dieser Trend steht im Gegensatz zur Emissionsentwicklung 2000 – 2006, die von einem Rückgang um 4% ausgeht (EMEP 2008).

Gleichzeitig sind in den letzten Jahren zahlreiche Messdaten an Motorfahrzeugen der neu auf den Strassen verkehrenden Emissionskonzepte (Euro 3-5) erhoben worden. Auswertungen sind im Gang und zeigen, dass die Reduktionswirkungen nicht so hoch sind, wie sie in

der Zeit 2000 – 2003 vorausgesagt wurde.¹⁴¹ Die Emissionszahlen geben zudem nur den schweizerischen Anteil an primärem Feinstaub wieder. Das immissionsseitig gemessene PM10 besteht aber etwa zur Hälfte aus sekundär gebildeten Anteilen. Ausserdem werden in der Schweiz auch aus dem Ausland herantransportierte Schadstoffe als Immissionen gemessen.

Für die externen Kosten sind effektiv die Immissionen massgebend und nicht die Emissionen. Deshalb wurde in Absprache mit dem BAFU entschieden, die Aktualisierung der bevölkerungsgewichteten PM10-Immission nicht mit den modellierten Emissionen durchzuführen, deren Abnahme mit grosser Wahrscheinlichkeit zu optimistisch eingeschätzt wurde, sondern mit den real gemessenen Immissionen. Diese sind bestimmend für die Exposition der Bevölkerung und damit auch für die epidemiologische Situation und die externen Kosten.

Das Fehlen von zuverlässigen Emissionszahlen hat allerdings zur Folge, dass nur ungenügende Informationen zur Aufteilung nach Strassen- und Schienenverkehr vorliegen. Die Immissionsmessungen legen nahe, dass sich die PM10-Emissionen nur wenig verändert haben. Ähnliches gilt auch für die Vorläufersubstanzen NO_x, NH₃ und SO₂ (BAFU 2008). Weil sich die Emissionsentwicklung auf der Zeitachse typischerweise monoton vollzieht, sind die beobachteten Schwankungen der Immissionen (siehe Grafik 5-2) zum grössten Teil witterungsverursacht. Solche Schwankungen beeinflussen alle Immissionsanteile gleichermaßen, so dass die beobachtete Änderung der gemessenen Gesamtimmission (x%) auch für die einzelnen Anteile zutrifft (jeder Anteil ändert sich ebenfalls um x%).

Das BAFU hat eine Methode entwickelt, um aus den Immissionsdaten des nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL) eine bevölkerungsgewichtete Immission zu schätzen. Sie geht von einer räumlichen Klassifizierung der Messstandorte aus und der in diesen Klassen lebenden Einwohnern. Für das Jahr 2000 liefert die Methode für die gewichtete PM10-Immission den Wert 20.91 µg/m³, für 2005 den Wert 21.52 µg/m³. Das entspricht einer Zunahme um 2.89%:

$$q = \frac{21.52 \mu\text{g} / \text{m}^3}{20.91 \mu\text{g} / \text{m}^3} = 1.02893 \quad \text{Zunahme 2000} \rightarrow \text{2005 in Prozent: } q = 2.89\%$$

Für 2000 lieferte das Immissionsmodell zwar einen etwas tieferen Wert 19.12 µg/m³; aber für die Zwecke der vorliegenden Studie braucht es nicht die absoluten Werte, sondern die relative Änderung 2000–2005. Für den Modellwert 2005 ergibt sich damit (mit c = bevölkerungsgewichtete PM10-Immissionskonzentration)

$$c_{2005} = 1.0289 \cdot c_{2000} = 1.0289 \cdot 19.12 \mu\text{g} / \text{m}^3 = 19.67 \mu\text{g} / \text{m}^3$$

¹⁴¹ Deshalb ist momentan eine Aufdatierung des Handbuchs Emissionsfaktoren im Gang, die Ende 2008 abgeschlossen sein soll.

Die Gültigkeit der oben genannten Annahme vorausgesetzt, wird die Zunahme um 2.89% nicht nur auf die Gesamtimmission, sondern auch auf die Immissionsanteile Strassenverkehr (P/G), Schienenverkehr (P/G) und übrige Emittenten übertragen (wie im Folgenden gezeigt).

b) Ergebnisse für den Strassen- und Schienenverkehr

In den folgenden beiden Tabellen werden die bevölkerungsgewichteten PM10-Immissionsanteile des Strassen- bzw. Schienenverkehrs für 2000 aus der Vorgängerstudie übernommen.¹⁴² Für 2005 werden alle Immissionswerte gegenüber 2000 um 2.89% erhöht gemäss der oben beschriebenen Argumentation. Die Anteile werden für drei spezifische Bevölkerungsgruppen angegeben, die für die Berechnung der Krankheitsfolgen benötigt werden: Alle Einwohner, 0- bis 14-jährige Einwohner, Einwohner über 30 Jahren.

Tabelle 5-1: PM10-Immission: Bevölkerungsgewichteter Anteil des Strassenverkehrs 2000 und 2005 (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

2000	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
Alle Einwohner	2.41	1.81	4.22
Einwohner 0-14 J.	2.29	1.75	4.04
Einwohner > 30 J.	2.42	1.82	4.25
2005	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
Alle Einwohner	2.48	1.86	4.34
Einwohner 0-14 J.	2.35	1.80	4.16
Einwohner > 30 J.	2.49	1.88	4.37

Tabelle 5-2: PM10-Immission: Bevölkerungsgewichteter Anteil des Schienenverkehrs 2000 und 2005 (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

2000	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
Alle Einwohner	0.127	0.150	0.277
Einwohner 0-14 J.	0.116	0.143	0.258
Einwohner > 30 J.	0.128	0.151	0.279
2005	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
Alle Einwohner	0.131	0.154	0.285
Einwohner 0-14 J.	0.119	0.147	0.266
Einwohner > 30 J.	0.132	0.156	0.287

¹⁴² Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz.

Wie die Tabellen zeigen, sind die Immissionen durch den Strassenverkehr mit $4.34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ um den Faktor 15 höher als diejenigen des Schienenverkehrs mit $0.285 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Während im Strassenverkehr der Personenverkehr mit 57% den grösseren Anteil der Immissionen verursacht als der Güterverkehr, ist es im Schienenverkehr umgekehrt – der Anteil des Personenverkehrs beträgt nur 46%. Die 0- bis 14-jährigen Einwohner sind jeweils einer etwas geringeren Konzentration ausgesetzt, die Einwohner über 30 Jahren einer marginal höheren als die gesamte Bevölkerung.

Bei der Interpretation der ausgewiesenen, bevölkerungsgewichteten PM10-Immissionsanteile gilt es zu beachten, dass bei deren Ermittlung Unsicherheiten bestehen, die im Rahmen der Monte-Carlo-Analyse zu berücksichtigen sind (vgl. Kapitel 5.6 bzw. Anhang C).

5.3.2 Luftverschmutzungsbedingte Krankheits- und Todesfälle

Aus der veränderten Exposition der Bevölkerung gilt es nun in einem zweiten Schritt die durch die Luftverschmutzung verursachten Krankheits- und Todesfälle (bzw. die Zahl der verlorenen Lebensjahre) zu aktualisieren. In Ecoplan et al. (2004)¹⁴³ wurden die Gesundheitsfolgen der Luftverschmutzung sehr detailliert untersucht. Dazu wurden in Ecoplan et al. (2004) diverse epidemiologische Studien verwendet und für verschiedene Krankheitsbilder und Todesfälle wurden Belastungs-Wirkungs-Beziehungen hergeleitet (pro $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10 steigt die Häufigkeit der Krankheit um X%). Auf eine Anpassung dieser Belastungs-Wirkungs-Beziehungen wird im Rahmen dieser Aktualisierung verzichtet. Folgende Daten werden angepasst:

- Bevölkerungsexposition (gemäss Kapitel 5.3.1)
- Bevölkerungswachstum bzw. Bevölkerungsdaten für 2005¹⁴⁴
- Neue Sterbetafeln bzw. Überlebenswahrscheinlichkeiten nach Alter (tiefere Mortalität als 2000)¹⁴⁵
- Neue Daten zu den Hospitalisierungen (tiefer als 2000)

Mit diesen neuen Inputdaten werden die umfassenden Berechnungen für die Studie von Ecoplan et al. (2004) angepasst und wiederholt. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 5-3 dargestellt und zwar differenziert nach den verschiedenen Verursachern (gesamte Luftbelastung bzw. Strassen- und Schienenverkehr jeweils unterteilt in Personen- und Güterverkehr). Die Luftverschmutzung durch den Strassenverkehr verursacht im Jahr 2005 rund 17'200 verlorene Lebensjahre, durch den Schienenverkehr gehen 1'100 Lebensjahre verloren. Die gesamte Luftverschmutzung in der Schweiz verursacht einen Ausfall von beinahe 50'000 Lebensjahren. Zudem führt der Strassenverkehr (bzw. Schienenverkehr) zu gut 5'500 (bzw. gut 360)

¹⁴³ Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz, Kapitel 4.

¹⁴⁴ Daten des Bundesamtes für Statistik.

¹⁴⁵ Online: http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/01/06/blank/dos/la_mortalite_en_suisse/tab101.html (7.2.2008)

Spitaltagen aufgrund von Atemwegserkrankungen und Herz- / Kreislaufkrankungen. Bei 385 (bzw. 25) Erwachsenen tritt neu eine chronische Bronchitis auf. Zudem sind beinahe 700'000 (bzw. 45'000) Tage mit eingeschränkter Aktivität zu verzeichnen. Für alle Krankheitsbilder und für verlorene Lebensjahre gilt, dass 57% der Kosten im Strassenverkehr durch den Personenverkehr ausgelöst werden und 43% durch den Güterverkehr. Im Schienenverkehr ist der Güterverkehr mit 54% wichtiger als der Personenverkehr mit 46%.

Tabelle 5-3: Überblick über die durch die Luftverschmutzung verursachten verlorenen Lebensjahre und Krankheitsfälle im Jahr 2005

	Gesamte Luftbelastung	Strassenverkehr			Schienenverkehr		
		Total	PV	GV	Total	PV	GV
Verlorene Lebensjahre	48'158	17'161	9'793	7'368	1'126	516	611
Spitaltage wegen Atemwegserkrankungen	5'873	2'094	1'195	900	137	63	74
Spitaltage wegen Herz-/ Kreislaufkrankungen	9'631	3'435	1'960	1'475	225	103	122
Chronische Bronchitis bei Erwachsenen	1'081	385	220	165	25	12	14
Akute Bronchitis bei Kindern	41'813	14'807	8'387	6'420	946	424	523
Asthmaanfälle bei Erwachsenen	44'477	15'853	9'049	6'804	1'041	477	564
Tage mit eingeschränkter Aktivität	1'914'797	682'507	389'568	292'939	44'836	20'537	24'299

Die Berechnungen wurden durch Martin Rösli (ISPM – Institut für Sozial- und Präventivmedizin der Universität Bern) aktualisiert, der auch die ursprünglichen Berechnungen für das Jahr 2000 vornahm.

Die Bestimmung der verlorenen Lebensjahre bzw. der zusätzlichen Krankheitsfälle durch die Luftverschmutzung basiert wie erwähnt auf Belastungs-Wirkungs-Beziehungen, die mit Hilfe von statistischen Verfahren ermittelt wurden. Die Bandbreiten der Schätzwerte werden in Kapitel 5.6.1 im Rahmen der Monte-Carlo-Simulation berücksichtigt.

5.4 Wertgerüst

5.4.1 Einleitung

Wie in Kapitel 5.1 erwähnt werden bei der Berechnung der Gesundheitskosten der Luftverschmutzung vier Kostenbereiche berücksichtigt:

- Medizinische Behandlungskosten
- Produktionsausfall (wie bei den Unfällen berechnen wir die Nettoproduktionsausfälle, vgl. Kapitel 3.4.1)
- Wiederbesetzungskosten
- Immaterielle Kosten

Dies deckt sich mit dem Vorgehen bei den Lärm- und Unfallkosten. Allerdings werden im Bereich Unfälle noch weitere Kostenbereiche mit einbezogen, die hier jedoch nicht relevant sind:

- **Sachschäden:** Die „Sachschäden“ durch die Luftverschmutzung werden in den folgenden Kapiteln bei den Gebäudeschäden und den Vegetationsschäden analysiert (vgl. Kapitel 6 und 9).
- **Polizei- und Rechtsfolgekosten:** Im Bereich Luftverschmutzung gibt es keine Kosten in diesen Bereichen.
- **Administrative Kosten:** Wie beim Lärm (vgl. Kapitel 4.4.1) sind die Administrativkosten sehr gering (weniger als 0.5% der Kosten¹⁴⁶), so dass sie wie in Ecoplan et al. (2004)¹⁴⁷ vernachlässigt werden können.

Die Luftverschmutzung kann wie der Lärm Vermeidungskosten (z.B. Freizeitaufenthalt in wenig belasteten Gebieten, Wechsel des Wohnorts usw.) verursachen, die aber von untergeordneter Bedeutung sind. Die Vermeidungskosten werden deshalb wie beim Lärm vernachlässigt (soweit sie nicht in der Zahlungsbereitschaft enthalten sind).¹⁴⁸

5.4.2 Aktualisierung

Die Aktualisierung der Kostensätze aus Ecoplan et al. (2004) basiert weitgehend auf dem für den Lärmbereich verwendeten Verfahren (vgl. Kapitel 4.4.3). Die wichtigsten Verfahrensschritte werden nachstehend kurz zusammengefasst:

- **Medizinische Heilungskosten:** Die Kosten der Spitalaufenthalte werden mit der Entwicklung der Spitalkosten fortgeschrieben, die Medikamentenkosten mit dem abnehmenden Preisindex für Medikamente und die übrigen medizinischen Heilungskosten mit dem (beinahe konstanten) Preisindex für ärztliche Leitungen.¹⁴⁹
- **Nettoproduktionsausfall:** Es werden neu auch die betrieblichen Vorsorgeansprüche miteinbezogen, die im Jahr 2000 vom BFS noch nicht ausgewiesen wurden, wodurch die Nettoproduktionsausfälle um 18% steigen.
- Die **Wiederbesetzungskosten** wurden bisher nicht berücksichtigt. Sie sollen aber in Analogie zu den Unfallkosten **neu mitberücksichtigt** werden, wobei die Kostensätze vom Unfallbereich übernommen werden. Für das Mengengerüst werden neu die Anzahl der Todesfälle von Erwerbstätigen ermittelt. Die Kosten von Wiederbesetzungskosten nach Todesfällen in der Zukunft werden abdiskontiert.

¹⁴⁶ Ecoplan (1996), Monetarisierung der verkehrsbedingten externen Gesundheitskosten, S. 71-74.

¹⁴⁷ Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz, S. 79.

¹⁴⁸ Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz, S. 75 und 79.

¹⁴⁹ Alle Preisindizes finden sich in BAG (2007, Statistik der obligatorischen Krankenversicherer 2005, Tabelle T 9.12., S. 160).

- **Immaterielle Kosten:** Die Bewertung der Todesfälle erfolgt nach der Methode der verlorenen Lebensjahre (VLYL value of life year lost), wobei der VLYL wie bei den Unfällen und beim Lärm 92'500 CHF beträgt. Auf eine Anpassung an den Risikokontext wird verzichtet. Die Zahlungsbereitschaften für die Krankheitsfälle werden aus Ecoplan et al. (2004) übernommen und mit dem Nominallohnwachstum auf Preise 2005 aktualisiert. Für die Bandbreiten der immateriellen Kosten siehe Kapitel 5.6.1.

5.4.3 Verwendete Kostensätze

Die aktualisierten Kostensätze werden in der folgenden Tabelle dargestellt. Die Kostensätze liegen alle etwas höher als in der Studie für das Jahr 2000¹⁵⁰ (vor allem aufgrund der Preisentwicklung sowie der weiteren, oben erwähnten Effekte).

Tabelle 5-4: Übersicht über die verwendeten Kostensätze (in CHF)

	WTP	BHK	NPA	Total
Verlorenes Lebensjahr	92'474	-	5'337 ¹	97'811
Spitaltage wegen Atemwegserkrankungen	835	851	27	1'712
Spitaltage wegen Herz-/ Kreislaferkrankungen	835	1'089	27	1'951
Chronische Bronchitis bei Erwachsenen	442'245	6'809	187	449'241
Akute Bronchitis bei Kindern	277	54	-	332
Asthmaanfälle bei Erwachsenen (≥15 Jahre)	66	1	13	80
Tage mit eingeschränkter Aktivität (Erw. ≥20 Jahre)	199	-	13	212

WTP = willingness to pay, BHK = Behandlungskosten, NPA = Nettoproduktionsausfall

¹ Inkl. Wiederbesetzungskosten

Wie die Tabelle zeigt, führt ein verlorenes Lebensjahr zu Kosten von knapp 100'000 CHF. Ein Spitaltag verursacht Kosten von knapp 2'000 CHF. Bei der chronischen Bronchitis handelt es sich um das Neuauftreten einer langjährigen Krankheit, so dass die Kosten mit 450'000 CHF hoch sind. Ein Tag mit eingeschränkter Aktivität verursacht Kosten von gut 200 CHF.

Die Wiederbesetzungskosten sind nur sehr gering (nur 470 CHF pro verlorenes Lebensjahr¹⁵¹) und werden in der Tabelle deshalb nicht separat ausgewiesen, sondern sind in den Produktionsausfällen integriert.

¹⁵⁰ Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz, S. 95.

¹⁵¹ Tatsächlich werden die Wiederbesetzungskosten nicht über die verlorenen Lebensjahre berechnet, sondern über die frühzeitigen Todesfälle.

5.5 Ergebnisse

5.5.1 Gesamtverkehr

Die Ergebnisse für die **Gesundheitskosten des Verkehrs** werden in der folgenden Tabelle und Grafik zusammengefasst. Insgesamt fallen Kosten von **1'954 Mio. CHF** an. Der Grossteil von **94% oder 1'834 Mio. CHF** wird durch den **Strassenverkehr** verursacht. Der **Schieneverkehr** ist für die verbleibenden **6% oder 120 Mio. CHF** verantwortlich. Die Schäden durch den Strassenverkehr sind 15-mal höher als diejenigen des Schienenverkehrs. Dies ist einerseits auf die 4-mal tieferen Emissionen des Bahnverkehrs zurückzuführen und andererseits auf die Tatsache, dass die Bevölkerung meist näher an Strassen als an Bahnlinien wohnt, so dass von den Bahnemissionen weniger Personen betroffen sind.

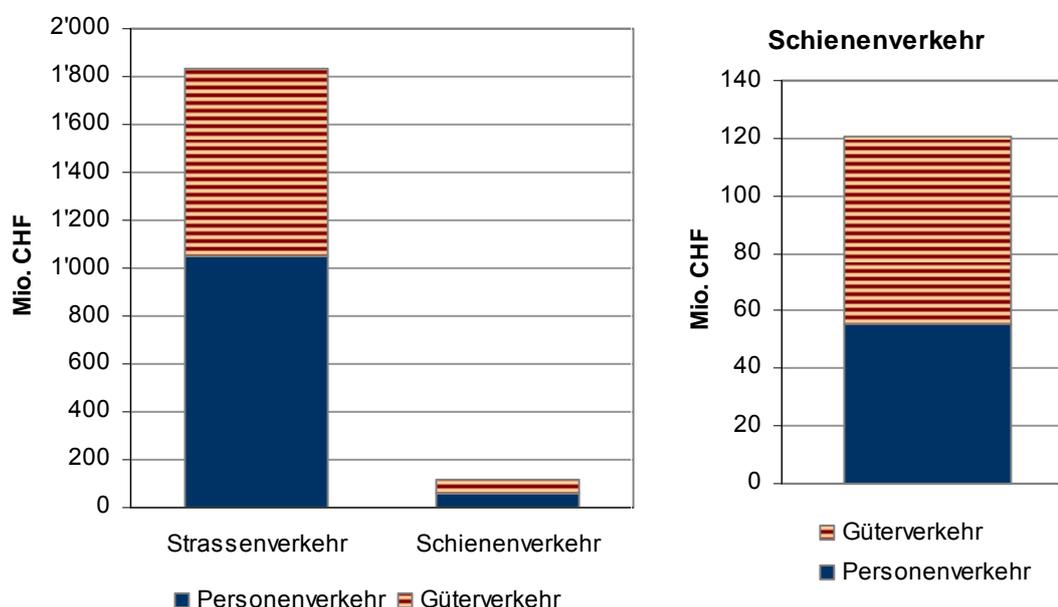
Während im **Strassenverkehr** der **Personenverkehr** mit **57%** den grösseren Teil der Kosten verursacht als der Güterverkehr (43%), ist es im **Schieneverkehr** der **Güterverkehr**, der mit **54%** den Hauptteil der Schäden hervorruft.

Werden die **gesamten Gesundheitskosten der Luftverschmutzung** betrachtet – also inklusive der Schäden durch Industrie, Gewerbe, Haushalte sowie Land- und Forstwirtschaft – so sind Schäden von **5'145 Mio. CHF** zu verzeichnen.

Tabelle 5-5: Gesundheitskosten der Luftverschmutzung im Strassen- und Schienenverkehr sowie durch die gesamte Luftverschmutzung (in Mio. CHF)

	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	1'046.7	787.1	1'833.8	93.8%
Schieneverkehr	55.2	65.3	120.5	6.2%
Total	1'101.9	852.4	1'954.3	100.0%
in % des Totals	56.4%	43.6%	100.0%	
Gesamte Luftverschmutzung (inkl. Industrie, Gewerbe, Haushalte, Land- und Forstwirtschaft)			5'144.9	

Grafik 5-3: Gesundheitskosten der Luftverschmutzung im Strassen- und Schienenverkehr (in Mio. CHF)



5.5.2 Verteilung auf die verschiedenen Kostenbestandteile

In der folgenden Tabelle und Grafik werden die durch den Verkehr verursachten Kosten auf die verschiedenen Kostenbestandteile aufgeteilt. Es ist zu beachten, dass diese Tabelle (und Grafik) sowohl für die gesamte Luftverschmutzung in der Schweiz gilt als auch für den verkehrsbedingten Anteil durch den Strassen- und Schienenverkehr (je unterteilt nach Personen- und Güterverkehr).

Es zeigt sich einerseits, dass beinahe **95% der Kosten** durch **Zahlungsbereitschaften** erklärt werden können. Der Nettoproduktionsausfall ist für 5.0% der Kosten verantwortlich und die Behandlungskosten sind kaum relevant (0.5%).

Betrachtet man andererseits die verschiedenen Krankheitsbilder, erkennt man, dass die **verlorenen Lebensjahre** mit Abstand am wichtigsten sind: **81.8% der Kosten** entfallen darauf (wobei 77.3% der Kosten auf den Nutzenverlust (Zahlungsbereitschaft) zurück zu führen sind). Daneben sind auch die neuen Fälle chronischer Bronchitis bei Erwachsenen mit 9.4% und die Tage mit eingeschränkter Aktivität mit 7.9% von Bedeutung. Die übrigen vier Krankheitsbilder sind kaum relevant und kommen zusammen lediglich auf 0.9% der Kosten.

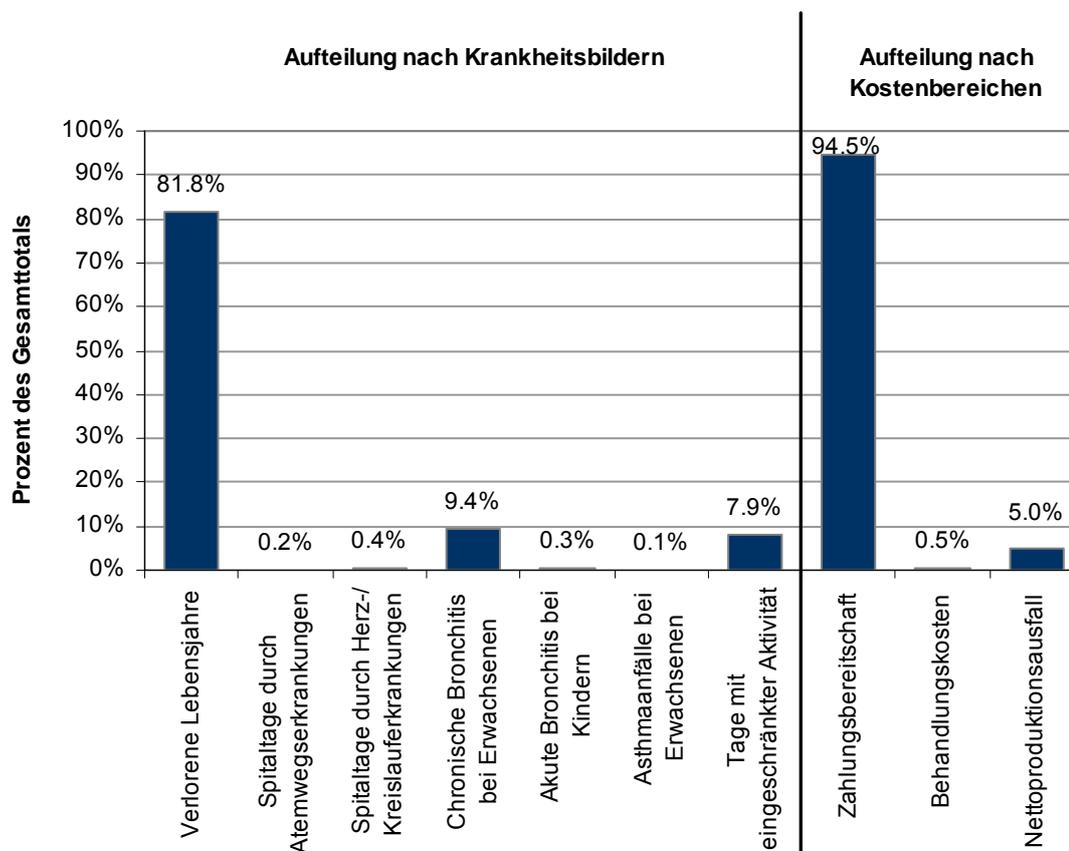
Die neu berücksichtigten Wiederbesetzungskosten machen lediglich 0.39% der gesamten Kosten aus. Deshalb werden sie nicht separat ausgewiesen, sondern beim Nettoproduktionsausfall der verlorenen Lebensjahre dazugezählt. Dadurch erhöht sich der Nettoproduktionsausfall der verlorenen Lebensjahre um knapp 10% (von 4.08% auf 4.46%).

Tabelle 5-6: Aufteilung der durch die Luftverschmutzung in der Schweiz im Jahr 2005 verursachten Kosten (in % des Gesamttotals)

	WTP	BHK	NPA	Total
Verlorenes Lebensjahr	77.30%	-	4.46% ¹	81.76%
Spittaltage wegen Atemwegserkrankungen	0.10%	0.10%	0.00%	0.20%
Spittaltage wegen Herz-/ Kreislaferkrankungen	0.16%	0.20%	0.00%	0.37%
Chronische Bronchitis bei Erwachsenen	9.29%	0.14%	0.00%	9.44%
Akute Bronchitis bei Kindern	0.23%	0.04%	-	0.27%
Asthmaanfälle bei Erwachsenen (≥15 Jahre)	0.06%	0.00%	0.01%	0.07%
Tage mit eingeschränkter Aktivität (Erw. ≥20 Jahre)	7.40%	-	0.50%	7.90%
Total	94.53%	0.49%	4.98%	100.00%

WTP = willingness to pay, BHK = Behandlungskosten, NPA = Nettoproduktionsausfall

¹ Inkl. Wiederbesetzungskosten

Grafik 5-4: Aufteilung der durch die Luftverschmutzung in der Schweiz im Jahr 2005 verursachten Kosten (in % des Gesamttotals)

5.5.3 Aufteilung auf die Fahrzeugkategorien im Strassenverkehr

Im Folgenden werden die Ergebnisse im Strassenverkehr für den Personen- und Güterverkehr (vgl. Tabelle 5-5) auf die verschiedenen Fahrzeugkategorien aufgeteilt. Dazu wird wie in Ecoplan et al. (2004, Anhang G) eine approximative Aufteilung der PM10-Emissionen nach Emittenten als Grundlage verwendet.

Die folgende Tabelle und Grafik stellen die Ergebnisse dar (zur Wahl der berücksichtigten Fahrzeugkategorien siehe Kapitel 10.2.1). Die oberste Zeile der Tabelle zeigt die PM10-Emissionen im Jahr 2005. Wie die zweite Zeile zeigt, ist der Anteil der Personenwagen am Personenverkehr mit 88% dominant. Im Güterverkehr sind die Lastwagen und Sattelschlepper für 68% (45%+23%) der Emissionen verantwortlich. Mit diesen Anteilen in der zweiten Zeile werden die oben berechneten Ergebnisse für den Personen- und Güterverkehr auf die Fahrzeugkategorien verteilt. Auf die Personenwagen entfallen somit 922 Mio. CHF, auf Lastwagen, Lieferwagen bzw. Sattelschlepper 353, 252 bzw. 182 Mio. CHF. Auf die übrigen vier Kategorien des Personenverkehrs entfallen zusammen lediglich 124 Mio. CHF.

Tabelle 5-7: Aufteilung der Gesundheitskosten auf die Fahrzeugkategorien

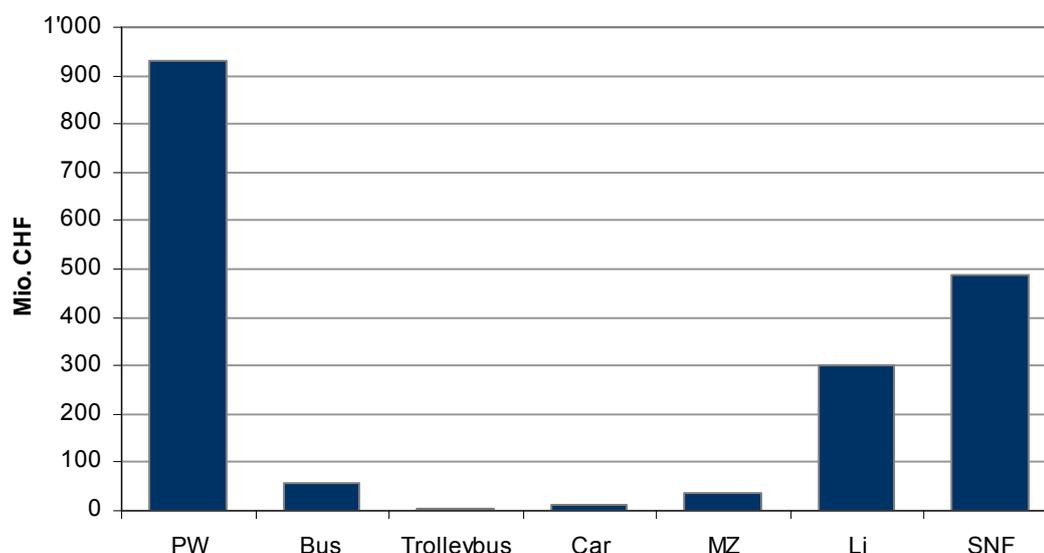
	Personenverkehr						Güterverkehr				Total
	PW	Bus	Trolley ¹	Car	MZ	Total	Li	LW	SS	Total	
Emissionen in t PM10	2'594	184	16	44	106	2'944	374	523	270	1'167	4'111
Emissionsanteil	88.1%	6.3%	0.5%	1.5%	3.6%	100%	32.0%	44.8%	23.2%	100%	
Gesundheitskosten in Mio. CHF	922.3	65.5	5.7	15.5	37.6	1'046.7	252.1	352.8	182.3	787.1	1'833.8

PW = Personenwagen, Bus = öffentlicher Bus, Car = Privatcar, MZ = Motorisierte Zweiräder (Motorrad und Motorfahrrad), Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper.

¹ Ohne Emissionen bei der Stromproduktion. Damit wird der Anteil der Trolleybusse unterschätzt.

Quelle für Emissionen: BUWAL (2004), Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1980 – 2030, angepasst mit den aktuellen Schätzungen zu den Fahrleistungen. Momentan werden die Emissionen des Strassenverkehrs aktualisiert.

Grafik 5-5: Aufteilung der Gesundheitskosten auf die Fahrzeugkategorien



5.6 Bandbreiten

5.6.1 Zusammenfassung der Annahmen und Bandbreiten

Auch für die Gesundheitskosten der Luftverschmutzung werden die Auswirkungen der mit verschiedenen Unsicherheiten verbundenen Berechnungsschritte auf das Kostenergebnis mit einer Monte-Carlo-Simulation untersucht. Die in der Simulation berücksichtigten Unsicherheiten sind in der folgenden Tabelle dargestellt und können wie folgt kommentiert werden:

- Die Bevölkerungsexposition des Strassen- und Schienenverkehrs ist normalverteilt mit einem 95%-Intervall von $\pm 17.8\%$ (vgl. Anhang C).
- Die durch die Luftverschmutzung verursachten Krankheits- und Todesfälle basieren auf **Belastungs-Wirkungs-Beziehungen**. Diese wurden mit Hilfe verschiedener epidemiologischen Studien bestimmt (je nach Krankheitsbild 3 bis 8 Studien, ausnahmsweise auch nur 1 oder 2 Studien). Mittels einer Metaanalyse wurde in Ecoplan et al. (2004)¹⁵² das Konfidenzintervall des gemittelten Schätzwertes berechnet, wobei wir davon ausgehen, dass der Schätzwert normalverteilt ist. Je nach Krankheitsbild sind die Unsicherheiten unterschiedlich gross, so dass das 95%-Konfidenzintervall um $\pm 15\%$ bis $\pm 73\%$ schwankt (vgl. Tabelle 5-8).¹⁵³ Eine Ausnahme bildet die chronische Bronchitis bei Erwachsenen.

¹⁵² Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz, Kapitel 4.3.

¹⁵³ Das tatsächliche Konfidenzintervall wurde auf einer Log-Skala berechnet und ist deshalb leicht rechtsschief (z.B. -47% und $+50\%$). Wir haben jeweils das untere Konfidenzintervall auch oben verwendet, was zur Folge hat,

Dort ist das Konfidenzintervall so gross, dass der untere Schätzwert eine Abnahme der Bronchitis bei höheren PM10-Belastungen bedeuten würde, was biologisch keinen Sinn macht.¹⁵⁴ Deshalb verwenden wir hier eine Bandbreite von $\pm 196\%$, schneiden aber unten alle Werte unter -100% ab (d.h. normieren sie auf $-100\% = \text{kein Effekt}$), so dass das tatsächliche Intervall -100% und $+196\%$ beträgt.¹⁵⁵

Tabelle 5-8: Übersicht über Annahmen und Bandbreiten bei der Berechnung der Gesundheitskosten der Luftverschmutzung

Bereich / Annahme	Wissenstand	Vorgehen	Bandbreite
Verkehrsleistung			
Fahrleistung pro Fahrzeugtyp	Gesichertes Wissen	Datenauswertung	
Schadstoffbelastung			
Bevölkerungsexposition	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	$\pm 18\%$
Krankheits- und Todesfälle: Belastungs-Wirkungs-Beziehungen			
verlorenes Lebensjahr	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	$\pm 47\%$
Spitalltage wegen Atemwegserkrankungen	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	$\pm 27\%$
Spitalltage wegen Herz-/ Kreislaufkrankungen	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	$\pm 39\%$
Chronische Bronchitis bei Erwachsenen	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	$-100\% / +196\%$
Akute Bronchitis bei Kindern	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	$\pm 73\%$
Asthmaanfälle bei Erwachsenen (?15 Jahre)	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	$\pm 55\%$
Tage mit eingeschränkter Aktivität (Erw. ?20 Jahre)	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	$\pm 15\%$
Wertgerüst			
Immaterielle Kosten (VOSL bzw. verlorene Lebensjahre)	Wissen mit Unsicherheiten	at least	$-50\% / +100\%$
Immaterielle Kosten für Krankheiten	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	$\pm 50\%$
Diskontsatz	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	$-25\% / +50\%$
Übriges Wertgerüst	Wissen mit Unsicherheiten	Datenauswertung	

- Der für die Luftverschmutzungskosten verwendete **VOSL** (3.147 Mio. CHF) basiert auf den gleichen Grundlagen wie bei den Unfall- und Lärmkosten. Für die Monte-Carlo-Simulation wird daher wiederum eine rechtsschiefe Chi-Quadrat-Verteilung verwendet, deren 95%-Konfidenzintervall zwischen 1.52 und 6.65 Mio. CHF liegt (vgl. auch Grafik 3-13 auf Seite 105).
- Wie in Ecoplan et al. (2004, S. 89) und beim Lärm gehen wir davon aus, dass die **immateriellen Kosten der Krankheitsfälle** um 50% höher oder tiefer liegen könnten als der verwendete Basiswert. Es wird daher eine Normalverteilung gewählt, deren 95%-Konfidenzintervall diesen Bereich einschliesst.¹⁵⁶

dass das tatsächliche Konfidenzintervall gegen oben etwas grösser ist als im Folgenden dargestellt. Diese Vereinfachung führt jedoch zu keinen wesentlichen Abweichungen.

¹⁵⁴ Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz, S. 56.

¹⁵⁵ Auch die anderen Bandbreiten werden so abgeschnitten, dass Werte unter -100% auf -100% normiert werden.

¹⁵⁶ Ergibt die Simulation einen negativen Wert, wird dieser auf Null normiert (vgl. vorangehende Fussnote).

- Die Wahl des **Diskontsatz** wirkt sich auf wie beim Lärm auf die Höhe der luftverschmutzungsbedingten Gesundheitskosten aus. Es wird dieselbe Verteilung wie beim Lärm verwendet, nämlich eine rechtsschiefe Chi-Quadrat-Verteilung mit 17 Freiheitsgraden, die so umskaliert wird, dass der Modus bei 2% liegt und das 95%-Intervall die Werte zwischen 1.5% und 3% umfasst.

5.6.2 Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation

Die Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation werden in der folgenden Tabelle und Grafik dargestellt. Im **Strassenverkehr** liegt das 95%-Konfidenzintervall der Gesundheitskosten der Luftverschmutzung **zwischen 885 und 3'974 Mio. CHF**. Das oben präsentierte Ergebnis der Basisrechnung von 1'834 Mio. CHF könnte also auch um 52% unterschritten bzw. um 117% überschritten werden.

Im **Schieneverkehr** schwankt das 95%-Konfidenzintervall **zwischen 58 und 261 Mio. CHF**. Die prozentuale Schwankungsbreite ist genau gleich gross wie im Strassenverkehr (-52% bis +117%).

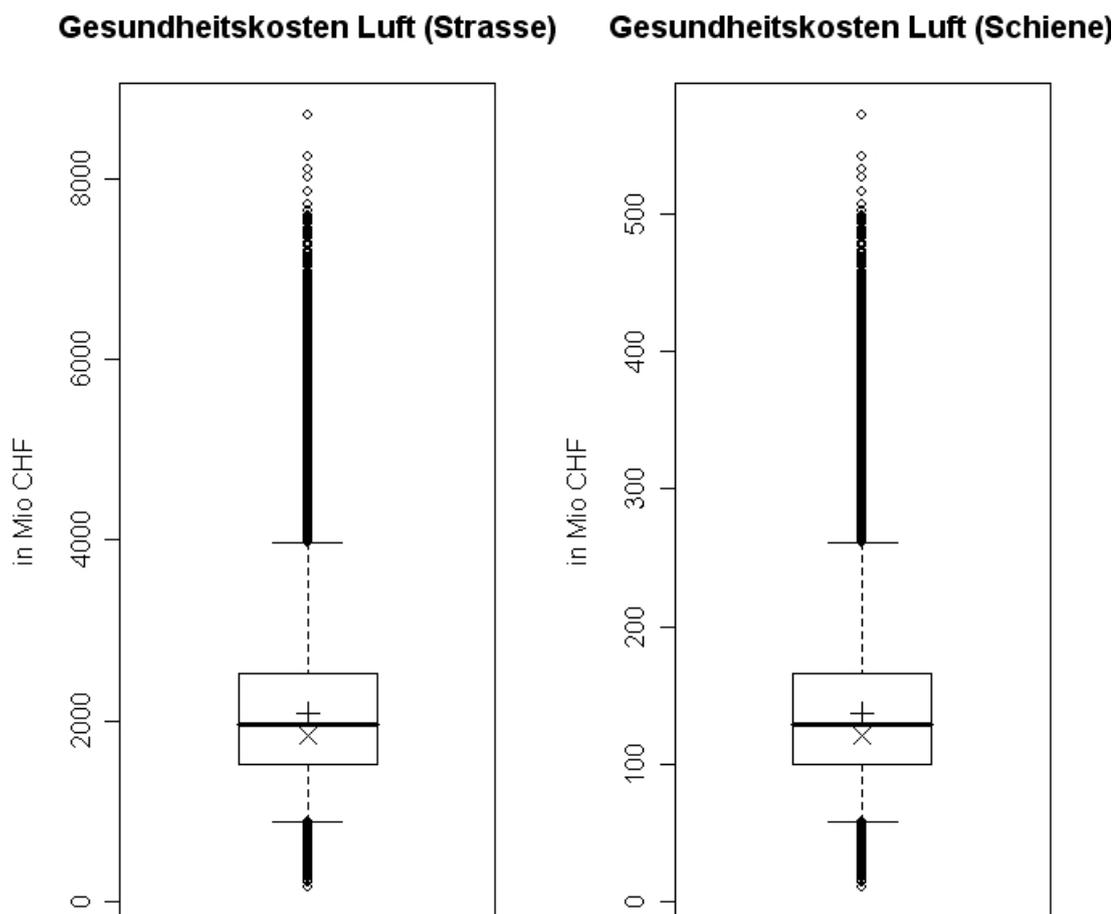
Ein Grossteil der Schwankungsbreite im Strassen- und Schienenverkehr wird allein durch die Schwankung des VOSL verursacht: Würde nur der VOSL variiert, betrüge das Intervall -40% und +86%.

Tabelle 5-9: Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation für die Gesundheitskosten der Luftverschmutzung in Mio. CHF

	Basisrechnung	95%-Konfidenzintervall	95%-Konfidenzintervall
Strasse	1'834	885 - 3'974	-52% - 117%
Schiene	120	58 - 261	-52% - 117%
Total Strasse+Schiene	1'954	943 - 4'235	-52% - 117%

Die Verteilung der Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulationen wird in der folgenden Grafik veranschaulicht: Wie die Grafik zeigt, liegt der Basiswert unterhalb dem Modus und dem Mittelwert der Verteilung, weil ein at least Ansatz gewählt wurde. Die Grafik bestätigt auch, dass die Verteilungen für Strasse und Schiene beide deutlich rechtsschief sind, d.h. dass die Schwankungsbreiten gegen oben deutlich grösser sind als diejenigen gegen unten.

Grafik 5-6: Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation für die Gesundheitskosten der Luftverschmutzung in Mio. CHF



Erläuterung: Die Begrenzung der rechteckigen Box entspricht dem 25%- bzw. 75%-Quantil, d.h. 50% aller Simulationen liegen innerhalb der Box. Der Strich in der Box ist der Median (=50%-Quantil), das „+“-Zeichen der Mittelwert und das „x“-Zeichen das Ergebnis aus der Basisrechnung. Der untere bzw. obere Querstrich nach der gestrichelten Linie („Whisker“) ist das 2.5%- bzw. 97.5%-Quantil, so dass 95% innerhalb dieser Werte liegen. Die Kreise ausserhalb dieser Querstriche zeigen Ausreisser (da eine Million Simulationen durchgeführt wurden, gibt es relativ viele Ausreisser).

5.6.3 Zusätzliche Unter- oder Überschätzungen

Die Gesundheitskosten der Luftverschmutzung wurden nach dem at least Ansatz bestimmt. Entsprechend wurden viele Annahmen getroffen, die tendenziell zu einer Unterschätzung der Kosten führen. Gesamthaft ist also davon auszugehen, dass die tatsächlichen **Gesundheitskosten der Luftverschmutzung deutlich höher liegen als hier ausgewiesen**. Dies gilt nicht nur für die Basisrechnung, sondern auch für das 95%-Intverall aus der Monte-Carlo-Simulation. Dies kann wie folgt begründet werden:

- Im Bereich der **Abschätzung der Gesundheitsfolgen** der Luftverschmutzung führen folgende Punkte zu einer Unterschätzung:¹⁵⁷

Es werden nur die gesundheitlichen Auswirkungen durch den Leitschadstoff PM10 berücksichtigt. Gesundheitseffekte durch Schadstoffe, die unabhängig von PM10 auftreten, wie z.B. **Ozon**, werden vernachlässigt. Dies führt zu einer Unterschätzung der luftverschmutzungsbedingten Gesundheitskosten in der Grössenordnung von ca. 10% (vgl. Kapitel 5.2).

Wie in Kapitel 5.2 erwähnt, gibt es Hinweise, dass die **Emissionen des Verkehrs toxischer** sein könnten als andere Emissionen. Für die Berechnung werden jedoch alle Emissionen im gleichen ungewichteten Ausmass berücksichtigt. Damit werden die Kosten des Verkehrs tendenziell unterschätzt.

Verschiedene Gesundheitsbeeinträchtigungen durch die Luftschadstoffbelastung werden nicht berücksichtigt. Dazu gehören zum Beispiel Asthmaanfälle bei Kindern, Hausarztconsultationen, Medikamentenverordnungen wegen Atemwegs- und Herz- / Kreislaufkrankungen, Selbstmedikation, Vermeidungsverhalten sowie akute und chronische physiologische Veränderungen (z.B. der Lungenfunktion). Diese Effekte sind entweder ökonomisch nicht in Geldeinheiten quantifizierbar, da die nötigen Grundlagendaten in der Schweiz fehlen, oder es fehlen die epidemiologischen Grundlagen.

Effekte der Luftbelastung werden nur für diejenigen **Altersgruppen** berechnet, zu denen epidemiologische Untersuchungen bzw. **Studienresultate** vorliegen. Beispielsweise ist die Mortalität der Ein- bis 29-Jährigen nicht berücksichtigt, da diese Altersgruppe bisher nicht in Langzeitstudien untersucht wurde (würde der Effektschätzer der über 30-Jährigen auch für die 1-29-Jährigen verwendet, würde sich die Zahl der verlorenen Lebensjahre um 3% erhöhen).

Die Abschätzung der Auswirkungen der Luftbelastung auf die **Morbidität** umfasst in den meisten Fällen **nur Kurzeffekte**. Langzeitwirkungen können selten quantifiziert werden, obwohl sie aus medizinischer Sicht als wahrscheinlich zu taxieren sind. Bei der Mortalität sind die Langzeitwirkungen etwa 10-mal grösser als die akuten Effekte. Auch bei den Krankheitsbildern wären also deutlich höhere Kosten denkbar.¹⁵⁸

Es gibt bisher keine Anzeichen, dass die Luftverschmutzung unterhalb eines gewissen Schwellenwertes unbedenklich ist. Trotzdem werden in dieser Studie gemäss dem at least Ansatz nur Gesundheitsschäden ab einer **Referenzkonzentration** von 7.5 µg/m³ quantifiziert, da für tiefere Konzentrationen bisher noch keine epidemiologischen Untersuchungen vorliegen.

Bei der Berechnung der verlorenen Lebensjahre wurde nicht berücksichtigt, dass die **Lebenserwartung** der Bevölkerung in Zukunft weiter zunehmen wird (wie dies zum Bei-

¹⁵⁷ Diese Effekte werden ausführlicher erläutert in Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz, Kapitel 4.2.

¹⁵⁸ In einer aktuellen Studie von Künzli et al. (2008) ist die Zunahme bei der Berücksichtigung der chronischen Effekte allerdings mit ca. 20% deutlich geringer als bei der Mortalität.

spiel für die Zeitperiode 2000 bis 2005 beobachtet werden konnte). Bei der Bestimmung der Produktionsausfälle wird zudem vernachlässigt, dass ca. 15% der Bevölkerung über das AHV-Alter hinaus berufstätig sind.

- Im Bereich der **Bewertung der Gesundheitsfolgen** der Luftverschmutzung wird die Unterschätzung durch folgende Punkte verschärft:

Die **Anpassung des VOSL an den Risikokontext** könnte im Bereich Luftverschmutzung zu doppelt (oder sogar dreimal) so hohen Kosten führen (vgl. Kapitel 5.4.2). Die verfügbaren empirischen Grundlagen reichen aber zurzeit für eine Anpassung der Zahlungsbereitschaft nicht aus. Deshalb wird auch in den EU-Projekten HEATCO und IMPACT auf eine Anpassung verzichtet.

Die **administrativen Kosten** der Gesundheitsschäden werden nicht miteinbezogen, dürften aber weniger als 0.5% der Kosten ausmachen (vgl. Kapitel 5.4.1).

Auch die **Vermeidungskosten** werden vernachlässigt, dürften aber ebenfalls klein sein (vgl. Kapitel 5.4.1).

Bei der Bestimmung der **übrigen Kostensätze** wurden gemäss dem at least Ansatz ebenfalls **vorsichtige Werte** verwendet (vgl. Fussnote 122).

5.7 Vergleich mit den bisherigen Ergebnissen für das Jahr 2000

Wie die folgende Tabelle und Grafik zeigen, **nehmen die Gesundheitskosten der Luftverschmutzung zwischen 2000 und 2005 um 20.2% zu**.¹⁵⁹ Diese prozentuale Zunahme gilt sowohl für Strassen- und Schienenverkehr als auch für Personen- und Güterverkehr. Folgende Gründe sind dafür verantwortlich:

¹⁵⁹ Beim vorgenommenen Vergleich gilt es zu berücksichtigen, dass die Angaben für das Jahr 2000 nicht auf das Preisniveau 2005 angepasst werden, so dass die ausgewiesene Kostenzunahme bei einer realen bzw. preisbereinigten Betrachtung etwas kleiner wäre.

Tabelle 5-10: Vergleich der Berechnungen für die Jahre 2000 und 2005: Gesundheitskosten der Luftverschmutzung in Mio. CHF

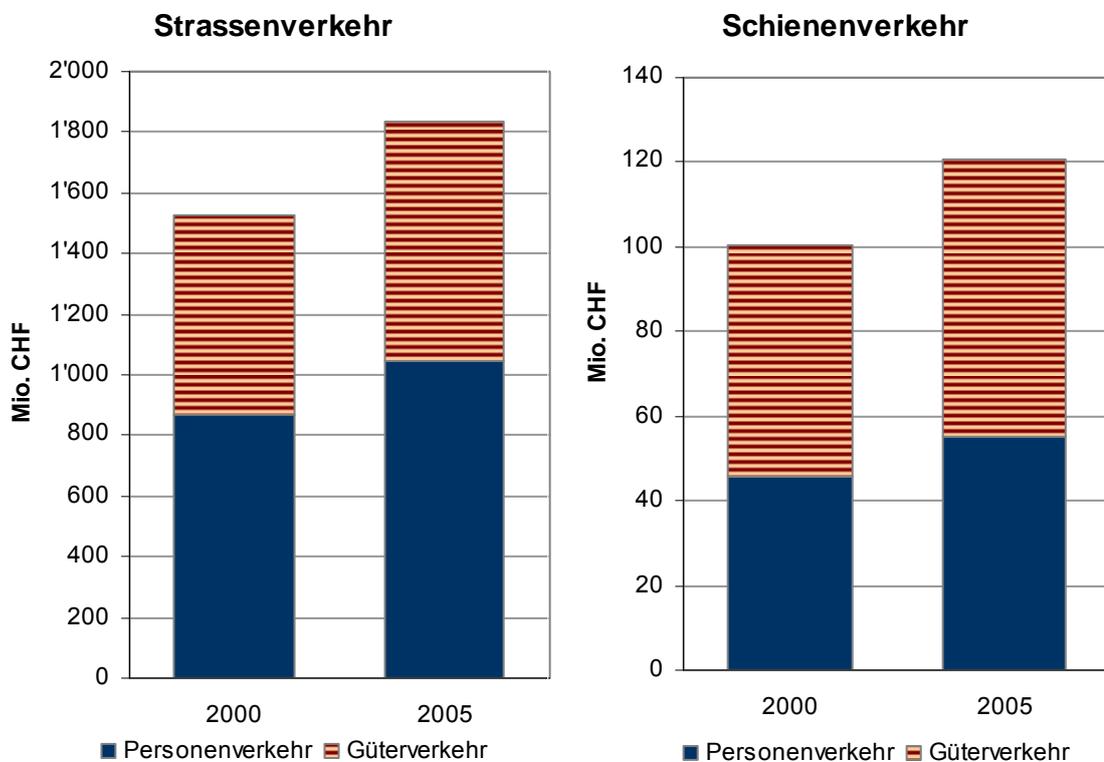
2000	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	870.7	654.7	1'525.4	93.8%
Schienenverkehr	45.9	54.3	100.2	6.2%
Total	916.6	709.0	1'625.6	100.0%
in % des Totals	56.4%	43.6%	100.0%	
2005	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	1'046.7	787.1	1'833.8	93.8%
Schienenverkehr	55.2	65.3	120.5	6.2%
Total	1'101.9	852.4	1'954.3	100.0%
in % des Totals	56.4%	43.6%	100.0%	
Veränderung in %	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	
Strassenverkehr	20.2%	20.2%	20.2%	
Schienenverkehr	20.2%	20.2%	20.2%	
Total	20.2%	20.2%	20.2%	

- Die verlorenen Lebensjahre nehmen um 11.5% zu. Dies ist auf die höhere Bevölkerungsexposition, das Bevölkerungswachstum sowie die erhöhte Lebenserwartung zurückzuführen.
- Die Anzahl neuer Fälle chronischer Bronchitis, sowie von Asthma und Tagen mit eingeschränkter Aktivität bei Erwachsenen erhöhen sich je um 6%. Dies korrespondiert mit dem kombinierten Effekt der Expositions- und Bevölkerungszunahme.
- Die akute Bronchitis bei Kindern nimmt aufgrund der geringeren Zunahme der Bevölkerung im Kindesalter nur um 5% zu.
- Die Zahl der Spitaltage wegen Atemwegs- bzw. wegen Herz- / Kreislauferkrankungen nimmt um 1.5% bzw. 3.3% ab, da die durchschnittlich kürzere Aufenthaltsdauer in den Spitälern die Zunahme der Exposition und der Bevölkerungszahl mehr als kompensiert.
- Die Zahlungsbereitschaft nimmt aufgrund der Nominallohnentwicklung um 8% zu, der Nettoproduktionsausfall steigt aufgrund diverser Gründe um 11%.¹⁶⁰ Die Spitalkosten steigen um 6%.

Die **Hauptgründe** sind also die **Zunahme der verlorenen Lebensjahre** und die Zunahme der Kostensätze, insbesondere aufgrund der **Nominallohnentwicklung**.

¹⁶⁰ Die Zunahme durch die Wirtschaftsentwicklung beträgt 9%. Dazu kommen 18% für die neu berücksichtigten betrieblichen Vorsorgeansprüche. Gleichzeitig nimmt aber aufgrund der höheren Überlebenswahrscheinlichkeit im Erwerbsalter die Zahl der verlorenen Erwerbsjahre deutlich ab.

Grafik 5-7: Vergleich der Berechnungen für die Jahre 2000 und 2005: Gesundheitskosten der Luftverschmutzung

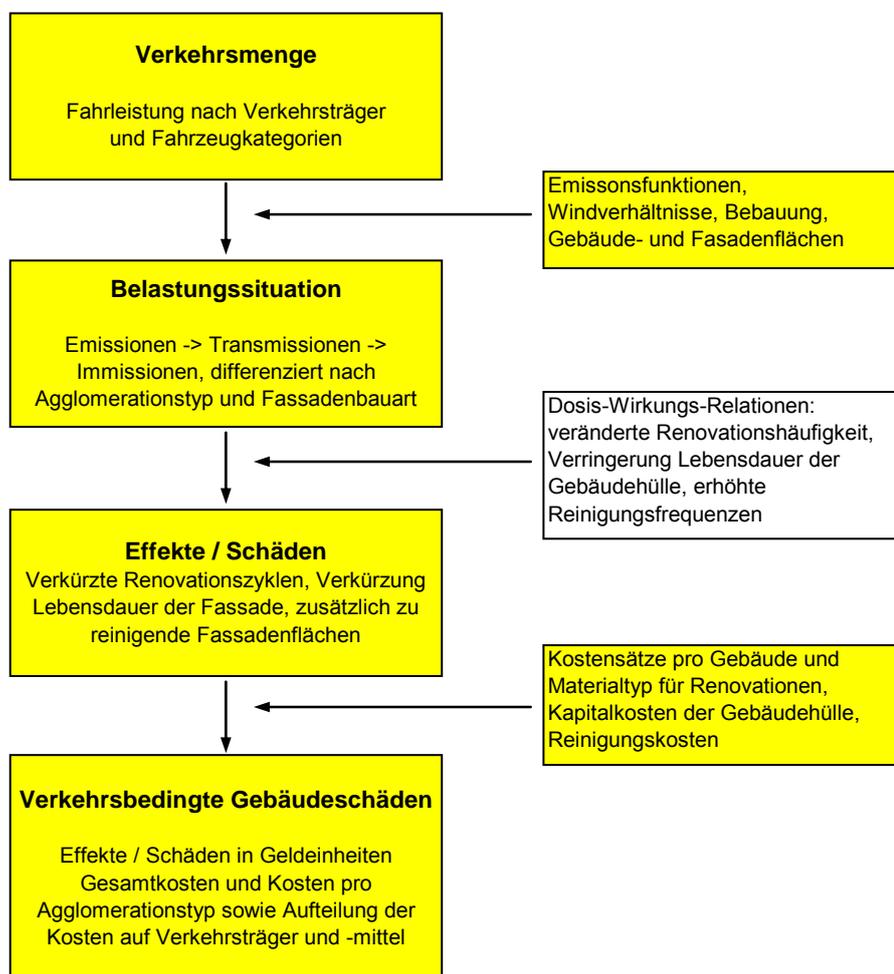


6 Gebäudeschäden durch Luftverschmutzung

6.1 Bewertungsmethodik

Die Berechnungsmethodik basiert auf der in Infrac, Wüest & Partner (2004)¹⁶¹ erarbeiteten Methodik und datiert sowohl Mengengerüste als auch die wichtigsten Kostensätze für das Jahr 2005 auf. Die in der Studie Infrac, Wüest & Partner (2004) durchgeführten empirischen Analysen können aus Zeit und Budgetgründen nicht wiederholt werden. Deshalb bleiben die damals ermittelten Dosis-Wirkungsrelationen unverändert.

Grafik 6-1: Methodik zur Berechnung der Gebäudeschäden durch Luftverschmutzung (Aktualisierungen hervorgehoben)



¹⁶¹ Infrac, Wüest & Partner (2004), Verkehrsbedingte Gebäudeschäden. Aktualisierung der externen Kosten.

Die Aufdatierung bezieht sich auf die luftverschmutzungsbedingten Gebäudeschäden für das Jahr 2005, die sich folgendermassen zusammensetzen:

- Effektiv getätigte Renovationsaufwendungen infolge erhöhter Renovationsstätigkeit an verkehrsbelasteten Standorten
- Kosten aufgrund der Verschlechterung des Fassadenzustandes an und abseits von verkehrsbelasteten Standorten, ohne direkte Renovationsfolge. Die dadurch entstehende Verkürzung der Lebensdauer führt zu zusätzlichen Kapitalkosten.
- Erhöhte Reinigungsaufwendungen an verkehrsbelasteten Standorten

Die Studie fokussiert dabei auf die Kosten an Gebäudefassaden. Nicht speziell berücksichtigt wurden allfällige Schäden an Kunst- und Baudenkmälern. Ebenfalls beziehen sich die erhöhten Reinigungskosten an verkehrsbelasteten Standorten nur auf kommerziell bewirtschaftete private und öffentliche Gebäude, allfällige erhöhte Reinigungsaufwendungen an Ein- und Mehrfamilienhäusern, die durch die Bewohner selbst durchgeführt werden, werden deshalb nicht berücksichtigt.

In Infrac, Wüest&Partner (2004) wurden umfangreiche empirische Analysen durchgeführt, deren Ergebnisse folgendermassen zusammengefasst werden können:

- Es ist allgemein anerkannt, das Feinstaubpartikel (PM10) als Leitschadstoff für die Gebäudeschäden gelten können. Sie führen direkt zu Verschmutzungen und mittelbar zur Korrosion von Bauteilen.
- Die Renovationsstätigkeit ist an verkehrsbelasteten Standorten höher als an nicht exponierten Standorten. Die aktualisierte Analyse ergibt eine um 0.5% höhere Renovationsquote.
- Es lässt sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen PM10-Emissionen und Fassadenzustand feststellen: Je höher die Belastung, desto grösser die Wahrscheinlichkeit, dass der Fassadenzustand (unabhängig vom Alter des Gebäudes) als schlecht bezeichnet werden muss.

Die Hochrechnung der Gebäudekosten für die Schweiz erfolgt nach dem gleichen Schema wie in Infrac, Wüest&Partner (2004) und umfasst insgesamt folgende Schritte:

Das Mengengerüst basiert auf der aktualisierten Gebäudedatenbank von Wüest&Partner, die alle Gebäudefassadenflächen differenziert nach wichtigen Materialtypen auf dem Stand 2005 / 2006 umfasst. Die Gebäude werden unterschieden nach insgesamt 8 verschiedenen Raumtypen, um der unterschiedlichen Immissionsbelastung besser Rechnung tragen zu können.

Die Kostensätze für einzelne Tätigkeiten werden mit Hilfe des Baukostenindex sowie im Bezug auf die Reinigungskosten mit dem Nominallohnindex aufdatiert. Im Zentrum stehen bauteilspezifische Kosten für Erstellungs-, Renovations- und Reinigungstätigkeiten pro Flächeneinheit.

Die Renovationskosten an verkehrsbelasteten Standorten werden auf Basis der erhöhten Renovationsstätigkeit (verkürzte Renovationszyklen), der verkehrsbelasteten Fassadenflä-

che und den Kostensätzen für die Renovationstätigkeiten berechnet. Die Kosten werden vollständig dem Verkehr zugerechnet.

Die erhöhten Kapitalkosten infolge der verkürzten Lebensdauer der Fassadenfläche unter Einfluss von Schadstoffimmissionen werden auf Basis von aktualisierten Immissionskaterdaten, der nicht verkehrsbelasteten Fassadenfläche und Kostensätzen für Erstellung von Fassadenbauteilen berechnet. Diese Kosten werden dem Verkehr und anderen Quellen zugerechnet.

Die Reinigungskosten an verkehrsbelasteten Standorten werden auf Basis der exponierten Fenster- und Glas / Metall-Fassaden-Fläche und spezifischen Kosten für die Reinigungstätigkeiten hochgerechnet.

Die Zuteilung der Schäden zu den einzelnen Quellen und Verkehrsträgern erfolgt in einem ersten Schritt auf Basis der für 2005 grob aufdatierten Immissionsanteile differenziert nach Raum- bzw. Agglomerationstyp und in einem zweiten Schritt dann gemäss deren Emissionsanteilen an PM10.

6.2 Neue Erkenntnisse aus der nationalen und internationalen Forschung

Im Kontext der in der Zwischenzeit abgeschlossenen Europäischen Forschungsprojekte HEATCO und CAFE CBA ist das Thema Gebäudeschäden von untergeordneter Bedeutung. Dort liegt der Fokus auf Korrosionsschäden durch NO_x bzw. SO₂ für bestimmte Materialschäden. Die nationalen Datengrundlagen für die Quantifizierung der Material- und Gebäudeschäden stellen meist das Ergebnis von groben Hochrechnungen dar.¹⁶²

Während HEATCO Schäden an Gebäuden und Materialien zwar einbezieht aber nicht getrennt ausweist,¹⁶³ werden in CAFE CBA Gebäudeschäden und Schäden an Materialien nicht berücksichtigt.¹⁶⁴

Die Analyse der aktuellen Studien auf Europäischer Ebene wie auch verschiedener länderspezifischer Studien im Rahmen des Projekts IMPACT¹⁶⁵ haben deutlich gezeigt, dass das Thema der Gebäudeschäden im Zusammenhang mit verkehrsbedingter Luftverschmutzung nicht von zentraler Bedeutung ist.

¹⁶² Siehe dazu u.a. die Analyse in Infrac, Wüest&Partner (2004), S. 33 und 34.

¹⁶³ Bickel et al. (2006), HEATCO, D5, p. 97.

¹⁶⁴ AEA (2005), Damages per tonne emission of PM2.5, NH₃, SO₂, NO_x and VOCs from each EU25 Member State (excluding Cyprus) and surrounding seas, S. 1.

¹⁶⁵ CE Delft et al. (2007).

6.3 Mengengerüst

6.3.1 PM10-Immissionen

Für die Veränderungen beim Leitschadstoff PM10 gelten die bereits im Kapitel 5.3.1 bei den Luftverschmutzungskosten angestellten Überlegungen. Es wird ebenfalls von einer Zunahme sowohl der Gesamtimmissionen um 2.89% ausgegangen wie auch von einer gleichen Zunahme der Immissionsanteile im Strassen- und Schienenverkehr (jeweils differenziert nach Personen- und Güterverkehr) sowie der anderen Emittenten.

6.3.2 Fassadenflächen 2005

Mit Hilfe eines aufdatierten Datensatzes von Wüest & Partner¹⁶⁶ konnte ein differenziertes Mengengerüst für die Fassadenflächen für den Zustand 2005 / 2006 erstellt werden. Die folgende Tabelle zeigt die Fassadenflächen differenziert nach Region und Fassadenbauart.

Tabelle 6-1: Fassadenflächen Schweiz 2005 differenziert nach Agglomerationstyp und Fassadenbauart (Flächen in ha, 100x100 m).

Gemeindetyp	verputzt	roh	Glas/ Metall	vorgehängt	Fassade Total	Anteile	Türen/Tore	Fenster	Fassade+Türen/ Tore+Fenster	Anteile
1=Metropolen	4'513	480	190	1'112	6'295	11%	226	1'833	8'353	12%
2=Agglomerationen von	6'143	1'307	328	2'481	10'259	19%	399	3'013	13'671	19%
3=Kerngemeinden innerhalb Metropolitanräumen	2'440	390	118	781	3'730	7%	136	1'085	4'951	7%
4=Sonstige Agglomeration innerhalb Metropolitanräumen	3'952	782	184	1'597	6'516	12%	253	1'827	8'595	12%
5=Kerngemeinden	2'466	382	124	778	3'750	7%	134	1'076	4'960	7%
6=Agglomeration ausserhalb Metropolitanräumen	3'618	726	176	1'546	6'066	11%	232	1'662	7'961	11%
7=Einzelstädte	199	35	11	71	316	1%	11	94	421	1%
8=Land	10'061	1'911	357	5'603	17'933	33%	666	4'239	22'838	32%
Total	33'393	6'014	1'488	13'970	54'864	100%	2'058	14'828	71'750	100%
Anteile	47%	8%	2%	19%	76%		3%	21%	100%	
Veränderungen ggü. 2000	-1.5%	4.8%	11.1%	4.3%	0.9%		-0.5%	3.9%	1.5%	

Die Fassadenflächen des Schweizer Gebäudeparks haben im Zeitraum 2000-2005 um insgesamt 1.5% zugenommen. Eine besonders deutliche Zunahme ist bei Glas/Metall-Fassaden zu beobachten. Verputzte Fassaden sind dagegen um ca. 1.5% zurückgegangen. Dies ist einerseits auf Abbruch und Neubau von Gebäuden mit anderer Fassadenkonstruktion zurückzuführen und andererseits auf Modellanpassungen des Fassadenmodells von Wüest & Partner.¹⁶⁷

¹⁶⁶ Ein besonderer Dank gilt Herrn Matthias Haag für die hervorragende Unterstützung bei der Aufdatierung des Fassadenflächen-Mengengerüsts.

¹⁶⁷ Gemäss telefonischer Information von Herrn Matthias Haag von Wüest & Partner vom 13. März 2008.

6.4 Wertgerüst

Wie bereits im Abschnitt 6.1 erläutert werden für die Berechnung der luftverschmutzungsbedingten Gebäudeschäden insgesamt drei Kostenarten berücksichtigt:

- Kostensätze für die Fassadenrenovation
- Jährliche Kapitalkosten für Fassadenbauteile
- Reinigungskosten

Sämtliche Kostenbestandteile wurden mit Hilfe des Baukostenindex bzw. dem Nominallohnwachstum aufdatiert.

6.4.1 Kostensätze Fassadenrenovation

Der mittlere Kostensatz für 2005 beträgt 255 CHF / m² Fassadenfläche. Der Anstieg gegenüber dem Jahr 2000 beträgt 4.0%.¹⁶⁸

6.4.2 Jährliche Kapitalkosten der Gebäudehülle

Für die Quantifizierung der jährlichen Kapitalkosten im Rahmen der Verkürzung der Lebensdauer der Fassaden werden die folgenden aktualisierten bauteilspezifischen Kostensätze für die spezifischen Erstellungskosten verwendet.

Tabelle 6-2: Bauteilspezifische Kostensätze: Mittlere spezifische Erstellungskosten 2005

Fassaden	Spezifische Kosten Fassadenbauteile CHF pro m ²
verputzte Fassaden	96
vorgehängte Fassaden	233
rohe Fassaden	223
Glas/Metall-Fassaden	425
Fenster	627
Türen/Tore	425

6.4.3 Reinigungskosten

Die Reinigungskosten wurden mit Hilfe des Nominallohnwachstums angepasst und betragen neu 4.85 CHF/m² Fensterfläche.¹⁶⁹

¹⁶⁸ Baukostenindex BFS: Indexstand 2005 (jeweils Mittelwert Indexstand April und Oktober): 110.1, 2000: 105.9 (Basis: Oktober 1998).

¹⁶⁹ Anstieg um 7.7% (Nominallohnindex, 1939=100): Indexstand 2000: 1'963, Indexstand 2005: 2'115

6.5 Ergebnisse

6.5.1 Gesamtverkehr

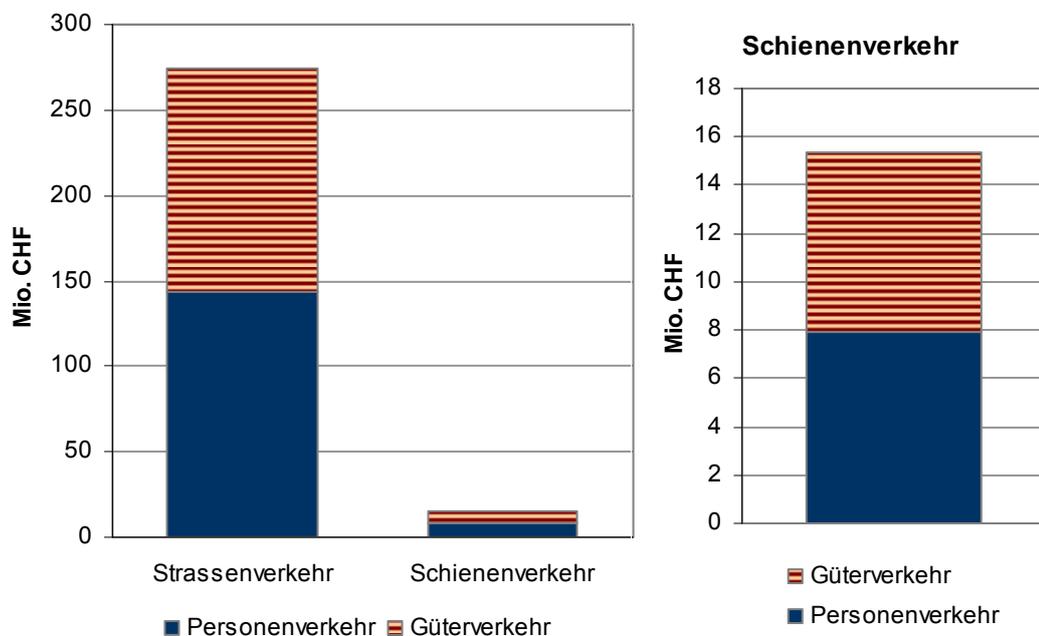
Die folgende Tabelle und Grafik zeigen die Resultate für die luftverschmutzungsbedingten Gebäudeschäden. Insgesamt fallen Kosten von 289 Mio. CHF an. Knapp 95% davon oder 274 Mio. CHF werden durch den Strassenverkehr verursacht. Der Schienenverkehr ist für knapp über 5% verantwortlich.

Beim Strassenverkehr machen die Kosten des Personenverkehrs ca. 53% der Gesamtkosten aus, beim Schienenverkehr beträgt der Anteil des Personenverkehrs ca. 51%.

Tabelle 6-3: Gebäudeschäden durch Luftverschmutzung im Strassen- und Schienenverkehr (in Mio. CHF)

	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	143.9	130.0	273.9	94.7%
Schienenverkehr	7.9	7.5	15.4	5.3%
Total	151.8	137.5	289.2	100.0%
in % des Totals	52.5%	47.5%	100.0%	

Grafik 6-2: Gebäudeschäden durch Luftverschmutzung im Strassen- und Schienenverkehr (in Mio. CHF)



Wie bereits in Infrac, Wüest&Partner (2004) können die Kosten auch differenziert nach Stadt, Agglomeration und Land sowie nach den drei verschiedenen Kostenkategorien dargestellt werden. Die folgende Tabelle zeigt die Resultate in einer Übersicht.

Tabelle 6-4: Gebäudeschäden durch Luftverschmutzung im Strassen- und Schienenverkehr (in Mio. CHF)

	Lebensdauer- verkürzung der Gebäudehülle	Verkürzung der Renovations- zyklen	Reinigungs- kosten	Total
Stadt	49.9	60.5	25.2	135.6
Agglomeration	43.0	59.7	19.6	122.2
Land	-	24.0	7.5	31.4
Total	92.8	144.2	47.0	289.2

Knapp die Hälfte aller Kosten fällt in Städten an (47%), 42% in Agglomerationen und nur ca. 11% in ländlichen Gebieten. Der wichtigste Kostenbestandteil sind die zusätzlichen Renovationskosten durch die Verkürzung der Renovationszyklen an verkehrsexponierten Standort mit ca. 50% der Gesamtkosten, gefolgt von den Kapitalkosten durch eine Verkürzung der Lebensdauer der Gebäudehülle mit ca. 32%. Die zusätzlichen Reinigungskosten an verkehrsexponierten Standorten machen ca. 18% der Gesamtkosten aus.

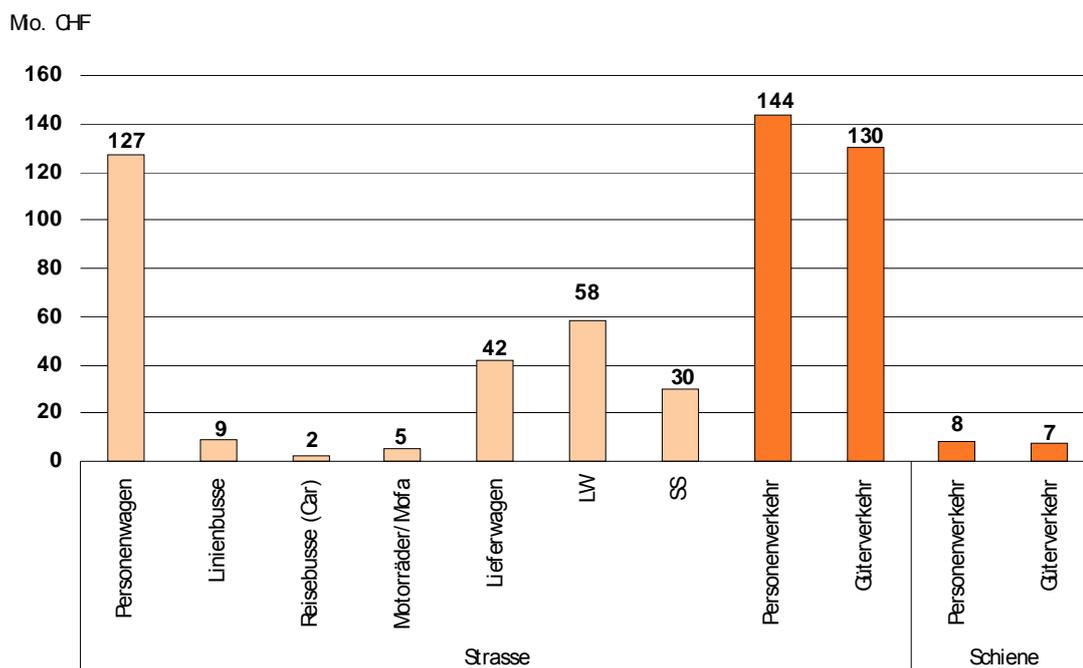
6.5.2 Strassen- und Schienenverkehr

Die folgende Tabelle und Grafik zeigt die Aufteilung der Gesamtkosten auf den Personen- und Güterverkehr. Beim Strassenverkehr wird zusätzliche eine Aufteilung auf die verschiedenen Fahrzeugkategorien vorgenommen.

Tabelle 6-5: Aufteilung der Gebäudeschäden auf die Fahrzeugkategorien

	Personenverkehr					Güterverkehr				Total
	PW	Bus	Car	MZ	Total	Li	LW	SS	Total	
Emissionen in t PM10	2'594	184	44	106	2'928	374	523	270	1'167	4'095
Emissionsanteil	63.3%	4.5%	1.1%	2.6%	71.5%	9.1%	12.8%	6.6%	28.5%	100.0%
Gebäudeschäden in Mio. CHF	127.5	9.1	2.1	5.2	143.9	41.6	58.3	30.1	130.0	273.9

PW = Personenwagen, Bus = öffentlicher Bus, Car = Privatcar, MZ = Motorisierte Zweiräder (Motorrad und Motorfahrrad), Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper.

Grafik 6-3: Aufteilung der Gebäudeschäden auf die Fahrzeugkategorien Strasse und Schiene

Im Personenverkehr ist der Anteil der Personewagen mit 89% absolut dominant. Dabei ist zu beachten, dass bei den Personewagen Verbrennungsemissionen aus Dieselmotoren (Dieselruss) nur für knapp 20% der PM10-Emissionen verantwortlich sind, die restlichen 80% entfallen auf Abriebs- und Aufwirbelungsemissionen. Beim Güterverkehr sind die schweren Nutzfahrzeuge (Lastwagen und Sattelschlepper) für ca. zwei Drittel aller Emissionen und Schäden verantwortlich. Bei diesen ist der Anteil der Verbrennungsemissionen mit ca. 52% deutlich höher als beim Personenverkehr.

Beim Schienenverkehr teilen sich die Gesamtkosten proportional zu den PM10 Emissionen ungefähr zu gleichen Teilen auf Personen- und Güterverkehr auf.

6.6 Bandbreiten

6.6.1 Zusammenfassung der Annahmen und Bandbreiten

Für die Auswertung der verschiedenen Unsicherheiten bei der Quantifizierung der Gebäudeschäden wurden folgende Unsicherheiten für die verschiedenen Inputparameter und Berechnungsschritte mit einer Monte-Carlo-Simulation untersucht. Die wichtigsten Unsicherheiten sind (vgl. nachfolgende Tabelle):

Tabelle 6-6: Übersicht über Annahmen und Bandbreiten bei den Gebäudeschäden durch Luftverschmutzung

Bereich / Annahme	Wissenstand	Vorgehen	Bandbreite
Verkehrsleistung Fahrleistung pro Fahrzeugtyp	Gesichertes Wissen	Datenauswertung	
Immissionen PM10 Immissionen	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 18%
Mengengerüst Fassadenflächen Schweiz	Wissen mit Unsicherheiten	Datenauswertung	± 5%
Anzahl zusätzliche Fassadenreinigung an verkehrsexponierten Standorten	Auswertung Datenbank	Datenauswertung	± 100%
Wertgerüst Kostensätze Baukosten	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 25%
Kostensatz - Reinigungskosten	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 25%

- Die PM10-Immissionen des Strassen- und Schienenverkehrs sind normalverteilt mit einem 95%-Intervall von $\pm 17.8\%$ (vgl. Anhang C).
- Die Fassadenflächen beruhen auf einer Datenbank von Wüest & Partner, die gemeindscharfe bzw. bei grösseren Städten sogar quartierscharfe Resultate enthält. Die Flächen werden laufend anhand von Baueingaben aus den Gemeinden aufdatiert. Die exakte Fassadenflächenzusammensetzung wird dann auf der Basis von Modell-Gebäuden bestimmt. Diese Hochrechnung ist mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. Wir erachten nach Rücksprache mit Wüest & Partner eine Schwankungsbreite von $\pm 5\%$ als realistisch an und gehen von einer Normalverteilung aus.
- Die Anzahl zusätzlicher Fensterreinigungen bei gewerblichen Bauten an verkehrsexponierten Standorten ist mit relativ grossen Unsicherheiten behaftet. Die im Rahmen von Infrac, Wüest & Partner (2004) im Jahr 2004 durchgeführten Interviews bei Reinigungsinstituten ergaben den für die Basisrechnung verwendeten Wert von einer zusätzlichen Reinigung pro Jahr. Einige der interviewten Firmen gaben jedoch auch an, dass bei den von ihnen bewirtschafteten Gebäuden keine häufigeren Reinigungen vorgenommen werden, andere Firmen wiederum bezifferten die zusätzlichen Reinigungen auf zwei pro Jahr. Wir bilden diese grosse Schwankungsbreite mit einer Normalverteilung und einem 95%-Konfidenzintervall, das den Schwankungsbereich von -100% (= keine zusätzliche Reinigung) bis $+100\%$ (= 2 zusätzliche Reinigungen pro Jahr) abdeckt.
- Schliesslich sind auch die durchschnittlichen Renovationskosten für Fassadenflächen wie auch die Kapitalkosten der Gebäudehülle mit gewissen Unsicherheiten behaftet. Baupreise unterscheiden sich je nach Konjunkturverlauf, Region und momentaner Auftragslage deutlich. Wir nehmen an, dass die Kosten pro m^2 um 25% höher oder tiefer liegen können. Es wird eine Normalverteilung gewählt, deren 95%-Konfidenzintervall diesen Bereich einschliesst.

6.6.2 Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation

Im Strassenverkehr liegt das 95%-Konfidenzintervall der Gebäudeschäden durch Luftverschmutzung zwischen ca. 170 und 390 Mio. CHF, das Resultat der Basisrechnung könnte daher auch um bis zu 38% unterschritten oder um 43% überschritten werden.

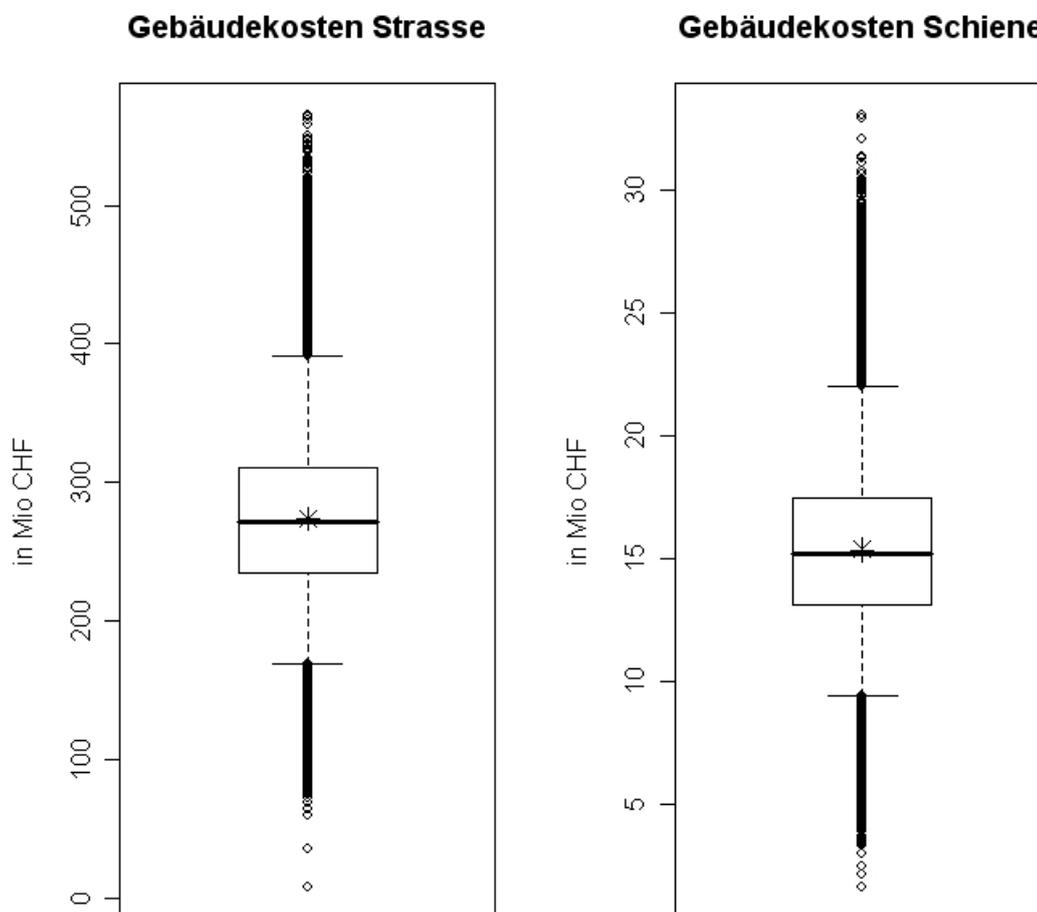
Im Schienenverkehr umfasst das Konfidenzintervall einen Bereich von 9 – 22 Mio. CHF. Die Schwankungsbreite ist nahezu gleich gross wie beim Strassenverkehr.

Tabelle 6-7: Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation für die Gebäudeschäden durch Luftverschmutzung in Mio. CHF

	Basisrechnung	95%-Konfidenzintervall	95%-Konfidenzintervall
Strasse	274	169 - 391	-38% - 43%
Schiene	15	9 - 22	-39% - 43%
Total Strasse+Schiene	289	182 - 410	-37% - 42%

Die nachfolgende Grafik veranschaulicht nochmals die Resultate der Monte-Carlo-Simulation.

Grafik 6-4: Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation für die Gebäudeschäden durch Luftverschmutzung in Mio. CHF



Erläuterung: Die Begrenzung der rechteckigen Box entspricht dem 25%- bzw. 75%-Quantil, d.h. 50% aller Simulationen liegen innerhalb der Box. Der Strich in der Box ist der Median (=50%-Quantil), das „+“-Zeichen der Mittelwert und das „x“-Zeichen das Ergebnis aus der Basisrechnung. Der untere bzw. obere Querstrich nach der gestrichelten Linie („Whisker“) ist das 2.5%- bzw. 97.5%-Quantil, so dass 95% innerhalb dieser Werte liegen. Die Kreise ausserhalb dieser Querstriche zeigen Ausreisser (da eine Million Simulationen durchgeführt wurden, gibt es relativ viele Ausreisser).

6.6.3 Zusätzliche Unter- oder Überschätzungen

Wie bereits die Gesundheitskosten der Luftverschmutzung wurden auch die Gebäudeschäden nach einem 'at least' Ansatz quantifiziert. Verschiedene getroffene Annahmen führen daher tendenziell zu einer Unterschätzung der entstehenden Gebäudeschäden:

- Schäden an Bau- und Kulturdenkmälern wie beispielsweise Kirchen, Standbilder oder historische Brunnen werden aus der Analyse ausgeschlossen, insbesondere aufgrund der Schwierigkeiten bei der Bestimmung des immateriellen Werts dieser Gebäude und Installationen. Die teilweise mit hohen Kosten verbundene Restaurierung dieser Gebäude sind nicht in den Berechnungen enthalten.

- Zusätzliche Fensterreinigungsarbeiten an Ein- und Mehrfamilienhäusern bleiben unberücksichtigt. Hier besteht eine zusätzliche Unsicherheiten nicht nur bezüglich der mittleren Reinigungsintervalle und deren Beeinflussung durch Verkehrsemissionen, sondern auch über die zu verwendenden Kostensätze, da die in diesem Bereich erbrachten Leistungen nur zum Teil marktmässig bewertet werden. Da die Fensterflächen an Ein- und Mehrfamilienhäusern ca. 2/3 der gesamtschweizerischen Fensterflächen ausmachen, stellen die berechneten Reinigungskosten die absolute Untergrenze der erwarteten Werte dar. Würden vergleichbare Reinigungsintervalle und -kosten unterstellt, würden sich die Gebäudeschäden um ca. 100-105 Mio. CHF pro Jahr erhöhen.

6.7 Vergleich mit den bisherigen Ergebnissen für das Jahr 2000

Die nachfolgende Tabelle zeigt, dass die Gebäudeschäden durch Luftverschmutzung im Zeitraum 2000-2005 um 11.4% zugenommen haben. Die Zunahme ist für den Personenverkehr leicht höher (+11.5%) als für den Schienenverkehr (+10.1%).

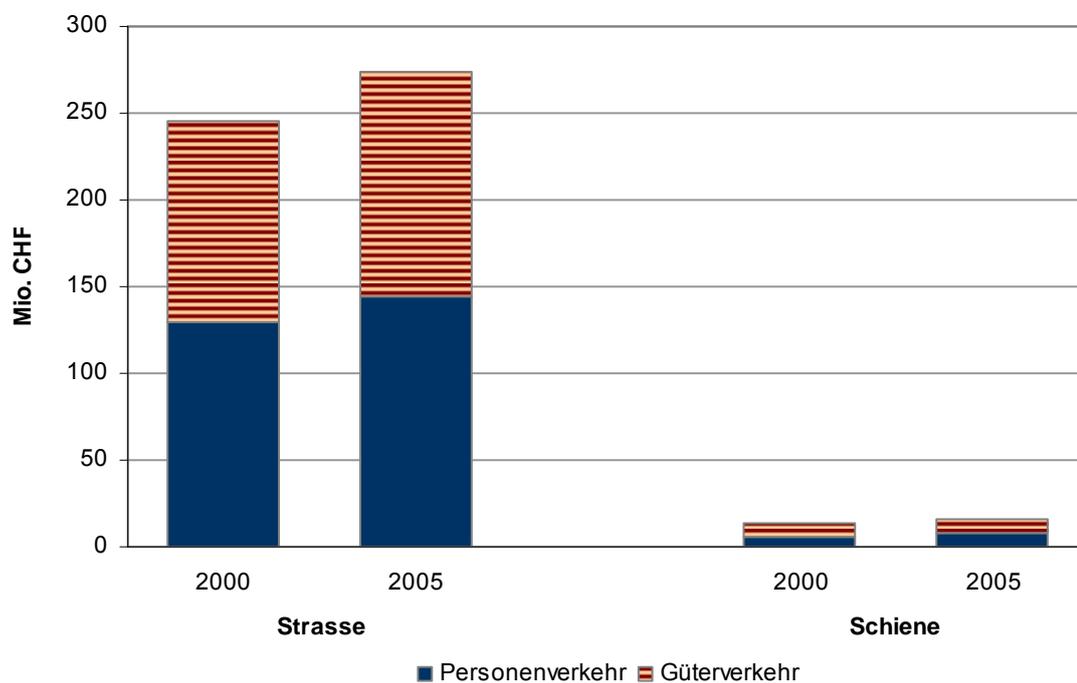
Beim Schienenverkehr zeigt sich ausserdem, dass die Kosten beim Personenverkehr auf tiefem Niveau um ca. 34% ansteigen, während sie im Güterverkehr um knapp 8% zurückgehen. Hauptgrund hierfür sind überarbeitete Emissionsfaktoren für den Schienenverkehr, die die Verteilung der Gesamtemissionen von PM10 zwischen Personen- und Güterverkehr – und dadurch auch der Gesamtkosten – leicht zu Ungunsten des Personenverkehrs verschieben.

Tabelle 6-8: Vergleich der Berechnungen für die Jahre 2000 und 2005: Gebäudeschäden durch Luftverschmutzung in Mio. CHF

2000	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	129.1	116.6	245.6	94.6%
Schienenverkehr	5.9	8.1	14.0	5.4%
Total	134.9	124.7	259.6	100.0%
in % des Totals	52.0%	48.0%	100.0%	
2005	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	143.9	130.0	273.9	94.7%
Schienenverkehr	7.9	7.5	15.4	5.3%
Total	151.8	137.5	289.2	100.0%
in % des Totals	52.5%	47.5%	100.0%	
Veränderung in %	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	
Strassenverkehr	+11.5%	+11.5%	+11.5%	
Schienenverkehr	+34.4%	-7.6%	+10.1%	
Total	+12.5%	+10.3%	+11.4%	

Die nachfolgende Grafik illustriert die Veränderungen bei den Gebäudeschäden.

Grafik 6-5: Vergleich der Berechnungen für die Jahre 2000 und 2005: Gebäudeschäden durch Luftverschmutzung in Mio. CHF



Die Veränderungen lassen sich wie folgt erklären:

- Sowohl die Baukosten als auch die Reinigungskosten steigen um 4% bzw. knapp 8%.
- Die Fassadenflächen der Schweiz nahmen im Zeitraum 2000 bis 2005 um 1.5% zu, die Fensterflächen sogar um insgesamt knapp 4% zu.
- Die PM10-Immissionen nehmen ebenfalls um knapp 3% zu, was über die empirische Dosis-Wirkungs-Funktion zu knapp 6 % höheren Kosten führt.

7 Klima

7.1 Bewertungsmethodik

Das **Ziel** im Bereich **Klimakosten** ist es, die externen Klimakosten **durch den Strassen- und Schienenverkehr in die Rechnung der externen Kosten aufzunehmen**. Durch den Ausstoss von anthropogenen Treibhausgasen wie Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) steigt die Treibhausgas-Konzentration in der Atmosphäre, was zu einem Anstieg der globalen Temperatur sowie des Meeresspiegels führt. Die Folgen des Klimawandels sind im Detail im Bericht zu den externen Kosten des Strassen- und Schienenverkehrs 2000 dargestellt.¹⁷⁰ Auf Basis neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse kann mit dem vierten Assessment Report des Intergovernmental Panel on Climate Change die Evidenz über die Folgen des Klimawandels gestärkt und die regionale Verteilung der Klimaschäden verdeutlicht werden. Zudem wird dem Eintreten von extremen Auswirkungen des Klimawandels, wie Hitzewellen oder Dürren eine höhere Wahrscheinlichkeit zugewiesen als im dritten Assessment Report aus dem Jahr 2001.¹⁷¹

Die Emission von Treibhausgasen in der Schweiz führt also zu globalen Schäden, so dass das Territorialprinzip für diese Kostenkategorie zu kurz greift. Zudem ist zu berücksichtigen, dass die Kosten des Klimawandels im Zeitverlauf weiter steigen werden. Aufgrund dieser besonderen Charakteristika des Klimawandels weicht die Bewertung der Klimakosten teilweise von den anderen Kategorien der externen Kosten ab.

Die **Bewertungsmethodik** wird in der folgenden Grafik dargestellt. Besondere Beachtung wird der Festsetzung der Schadens- und Vermeidungskosten geschenkt, da die Werte in der Literatur stark variieren und zudem von zukünftigen Aktivitäten zur Reduktion der Treibhausgas-Emissionen abhängen.

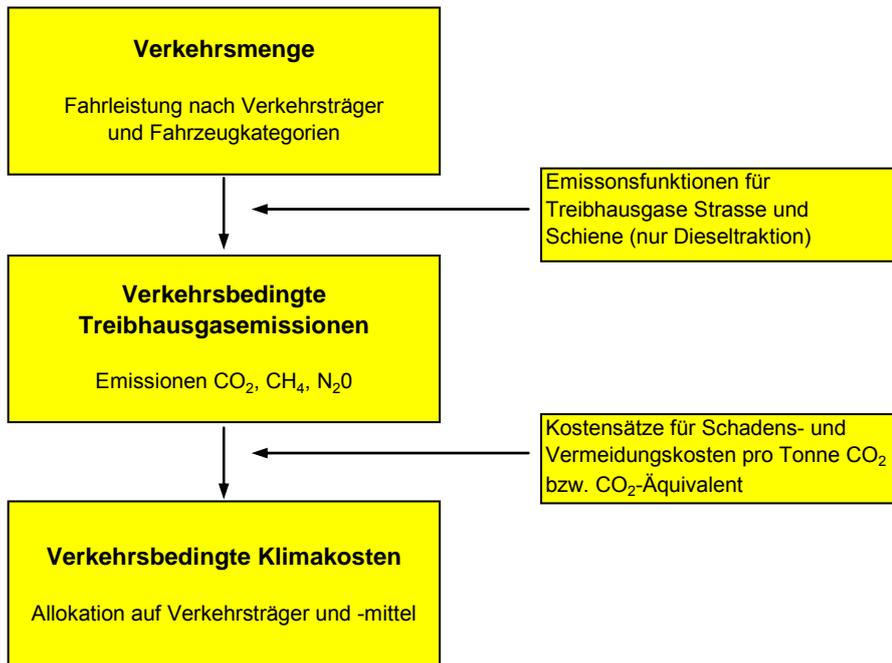
Die Kosten einer emittierten Tonne CO₂ können entweder mit Hilfe des Schadenskostenansatzes oder mit Hilfe des Vermeidungskostenansatzes bestimmt werden.

- **Schadenskostenansatz:** Zur Berechnung der Schadenskosten sind detaillierte Modellierungen notwendig, um die physischen Auswirkungen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit, Ökosysteme und Ressourcen und die daraus resultierenden ökonomischen Schäden zu bestimmen. Ein Vergleich der bisherigen Berechnungen der Schadenskosten findet sich z.B. in der Studie des Projekts "Social Cost of Carbon".¹⁷²

¹⁷⁰ Infrac (2006), Externe Kosten des Strassen- und Schienenverkehrs 2000, Klima und bisher nicht erfasste Umweltbereiche, städtische Räume sowie vor- und nachgelagerte Prozesse.

¹⁷¹ Intergovernmental Panel on Climate Change (2007), Climate Change 2007.

¹⁷² Watkiss P. et al. (2005), The Social Cost of Carbon (SCC) Review.

Grafik 7-1: Methodik zur Berechnung der Klimakosten (Aktualisierungen hervorgehoben)

Da die Klimakosten über den Zeitverlauf steigen werden, sind bei der Berechnung der Schadenskosten vor allem die zukünftigen Schäden mit zu berücksichtigen. Die Diskontrate bestimmt dabei, wie hoch die zukünftigen Schäden in die Rechnung eingehen. Bei einer Diskontrate von 0% gehen auch Schäden in ferner Zukunft vollständig in die heutige Rechnung ein. Typischerweise wird in der Literatur jedoch ein Diskontsatz > 0 von bis zu 3% verwendet.¹⁷³

- **Vermeidungskostenansatz:** Die kurzfristigen Kosten des Klimawandels können alternativ mit Hilfe von Vermeidungskosten bestimmt werden. Durch politische Prozesse (vgl. Tabelle 7-1) ergeben sich Reduktionsziele, die bei den betroffenen Akteuren zu Vermeidungskosten führen. Die Verteilung der Reduktionslasten auf Länder / Weltregionen (burden sharing) sowie die Festlegung spezifischer Ziele für einzelne Sektoren bestimmen die Höhe der Vermeidungskosten. Grundsätzlich wird angenommen, dass die Vermeidung kosteneffizient erfolgt, also die kostengünstigsten Vermeidungsoptionen zuerst durchgeführt werden. Die Kosten der letzten vermiedenen Tonne CO₂, die Grenzvermeidungskosten, bestimmen den CO₂-Preis.

Gemäss der Vorgehensweise im EU Handbuch zu den externen Kosten des Verkehrs¹⁷⁴ wird im Folgenden **nach kurzfristigen und langfristigen Klimakosten** unterschieden. Die kurz-

¹⁷³ Umweltbundesamt (2007), Ökonomische Bewertung von Umweltschäden – Methodenkonvention zur Schätzung externer Umweltkosten; HM Treasury (2003), Green Book, Appraisal and Evaluation in Central Government; Cline W.R. (1992), The Economics of Global Warming.

¹⁷⁴ Infras / CE Delft et al. (2007), IMPACT: Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport.

fristigen Klimakosten beziehen sich auf diejenigen Vermeidungskosten, die heute anfallen, um die kurzfristigen Klimaziele zu erreichen. Dafür liegen empirische Schätzungen vor (v.a. Modellrechnungen mit Einbezug des Verkehrssektors im Rahmen des Europäischen Emissionshandels). Da langfristig die Vermeidungskosten nur schwer abgeschätzt werden können und die politischen Ziele für die Zeit nach 2012 noch nicht festgelegt sind, wird für die langfristigen Klimakosten der Schadenskostenansatz verwendet. Er besagt, welche Schäden weltweit in Zukunft anfallen, wenn die Treibhausgas-Emissionen nicht reduziert werden können. Mit neueren Studien auf EU-Ebene und im Rahmen des IPCC sind diese Grundlagen in letzter Zeit verbessert worden.

Tabelle 7-1: Übersicht über politische Reduktionsziele und Stabilisierungsszenarien

Reduktionsziel	Zeitraum	Quelle/Erläuterungen
Politische Reduktionsziele in % gegenüber 1990		
-8%	2008-2012	Schweizer Treibhausgasreduktionsziel für die 1. Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls (CO ₂ -Äquivalente),
-10%	2008-2012	Schweizer Reduktionsziel gemäss CO ₂ -Gesetz: Treibstoffe: minus 8% (ohne internationaler Luftverkehr) Brennstoffe: minus 15%
-8%	2008-2012	Durchschnitt EU-Raum: Treibhausgasreduktionsziel für die 1. Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls (unterschiedliche Reduktionsziele für die einzelnen Länder) (CO ₂ -Äquivalente)
-20% (bis -30%)	2020	Schweizer Reduktionsziel gemäss Bundesratsbeschluss vom 20.2.2008 (in Anlehnung an EU Reduktionsziel) (BAFU 2008)
-20% bis -30%	2020	EU Reduktionsziel: Im Rahmen einer internationalen Vereinbarung beträgt das Reduktionsziel -30%, unabhängig von internationalen Vereinbarungen zumindest -20% (EU KOM 2007)
-50%	2050	Langfristiges Schweizer Reduktionsziel gemäss Absichtserklärung des Bundesrats vom 20.2.2008
-60% bis -80%	2050	Angestrebtes langfristiges Reduktionsziel der EU im Rahmen einer internationalen Vereinbarung. (EU KOM 2007)
Stabilisierungsziele aus wissenschaftlicher Sicht (IPCC) in % gegenüber 2000		
+5 bis -30%	2050	Reduktionsziel für Stabilisierung bei 535-590 ppm CO ₂ -Äquivalente (Temperaturanstieg global 2.8 – 3.2°C)
-30% bis -60%	2050	Reduktionsziel für Stabilisierung bei 490-535 ppm CO ₂ -Äquivalente (Temperaturanstieg global 2.4 - 2.8°C)
-50 bis -85%	2050	Reduktionsziel für Stabilisierung bei 445 bis 490 ppm CO ₂ -Äquivalente (Temperaturanstieg global 2.0 bis 2.4°C)

Reduktionsziele für CO₂-Äquivalente bzw. CO₂ für den Zeitraum 2008/2012 und den Post-Kyoto Zeitraum bis 2050. Die Konzentrationswerte für die Stabilisierungsziele des IPCC beziehen sich auf CO₂-Äquivalente unter Einbeziehung von weiteren Treibhausgasen und Aerosole.

7.2 Neue Erkenntnisse aus der nationalen und internationalen Forschung

In der bisherigen Kostenschätzung (Infras 2006) wurden verschiedene Kostensätze erarbeitet. Dabei sind die verschiedenen sensitiven Elemente berücksichtigt worden. Vorgeschlagen wurde – basierend auf dem Vermeidungskostenansatz - ein kurzfristiger Wert von 35 CHF/Tonne CO₂ und ein langfristiger Satz von 80 CHF/Tonne CO₂. Dabei wurde vorgeschlagen, für Projekte mit kurzer (langer) Lebensdauer und für kurzfristige (langfristige) Politikmassnahmen die tieferen (höheren) Sätze zu verwenden.

Seitdem sind vor allem zwei neue internationale Berichte erwähnenswert, die neue Erkenntnisse über die Kosten des Klimawandels liefern, die im Folgenden vorgestellt werden. Zudem wird kurz auf die aktuellen Rahmenbedingungen der Klimapolitik in der Schweiz eingegangen.

7.2.1 Stern Review on the Economics of Climate Change

Der im Oktober 2006 veröffentlichte Stern Review¹⁷⁵ wird hier vor allem auf Grund seiner politischen Bedeutung aufgeführt. Mit Hilfe des Modells PAGE2000 werden im Stern Review deutlich höhere Schadenskosten generiert als in früheren Studien. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Stern Review auch extreme Auswirkungen des Klimawandels, wie z.B. ein Abbrechen des Golfstroms, mitberücksichtigt und von einem höheren klimabedingten Temperaturanstieg ausgeht.

Nach Stern könnten sich die Kosten des Klimawandels auf 5 bis 20% des BIP belaufen. In einem Business-as-usual Szenario ohne weitere Aktivitäten zum Klimaschutz belaufen sich nach Stern die Schadenskosten auf 85 USD/Tonne CO₂. Bei einer Stabilisierung der CO₂-Konzentration bei 550 ppm reduzieren sich die Schadenskosten auf 30 USD/Tonne CO₂. Mit diesen Werten liegt Stern deutlich über bisherigen Schadenskosten.¹⁷⁶ Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Stern Review einen langen Zeithorizont betrachtet und auch extreme Auswirkungen mit einbezieht.

Der Stern Review wurde jedoch von Seiten der Wissenschaft insbesondere wegen der Wahl einer niedrigen Diskontrate und wegen seiner teilweise unklaren Darstellungsform kritisiert.¹⁷⁷ Aus diesem Grund werden die Werte des Stern Reviews hier nicht direkt übernommen.

¹⁷⁵ Stern (2006), The Stern Review on the Economics of Climate Change.

¹⁷⁶ Tol (2005), The marginal damage costs of carbon dioxide emissions: an assessment of the uncertainties; Watkiss (2005), The Impacts and Costs of Climate Change.

¹⁷⁷ Nordhaus (2006), The Stern Review on the Economics of Climate Change; Weitzman (2007): A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change.

7.2.2 EU Handbuch zu externen Kosten des Verkehrs

Für die Bestimmung eines EU-weiten Kostensatzes als Basis für die Preissetzung im Verkehrsbereich ist im Handbuch¹⁷⁸ eine umfassende Auswertung von vorhandenen Studien vorgenommen worden. Neu sind insbesondere die folgenden Erkenntnisse:

- Der Ansatz Schadenskosten ist konsistenter für die Ermittlung von Werten für externe Kosten als Basis für die Bepreisung, da er methodisch den Berechnungen für die anderen Aspekte der externen Kosten gleichkommt.
- Neuere Studien zu Schadenskosten kommen zu höheren Werten als frühere Studien, mit Werten zwischen 50 und 100 Euro pro Tonne CO₂. Diese Kosten berücksichtigen aber hohe Risiken durch abrupte Kippeffekte im weltweiten Klima (z.B. Golfstrom) nicht. Die in der Literaturübersicht weiterhin vorhandenen grossen Bandbreiten machen deutlich, dass die Unsicherheiten bezüglich den physischen Auswirkungen des Klimawandels sowie den damit verbundenen volkswirtschaftlichen Kosten immer noch gross sind.
- Vermeidungskostenansätze sind zweckmässig wenn es Konsens über den langfristigen Reduktionspfad und das ‚burden sharing‘ gibt. Der Unsicherheitsbereich ist schmäler. Alle Studien zeigen aber grosse Unterschiede in der Ausprägung des Reduktionspfades, was die Spielräume der Interpretation auf politischer Ebene sichtbar macht. So sind die Vermeidungskosten im Verkehrsbereich deutlich höher als in anderen Sektoren.
- Die EU-Kommission hat 2007¹⁷⁹ mit eigenen Modellrechnungen und einem Klimaziel von 550 ppm für 2010 Vermeidungskosten von 15 Euro und für 2030 von 65 Euro pro Tonne CO₂ berechnet. Für 2050 resultiert ein Wert von 120 Euro pro Tonne.
- Studien zu Vermeidungskosten (IPPC 2007, Infrass et al. 2006¹⁸⁰) zeigen, dass die Vermeidungskostensätze für den Verkehrsbereich deutlich höher liegen als für andere Bereiche, die Vermeidung von CO₂-Emissionen durch technische und organisatorische Massnahmen im Verkehr also wesentlich teurer ist. Die Grenzkosten zur Erreichung der mittelfristigen Klimaziele würden sich schnell der Marke von 200 € pro Tonne CO₂ annähern. Das zeigt auch, dass es aus ökonomischer Sicht effizient ist, dass der Verkehrsbereich im Rahmen eines angemessenen burden sharing mit Hilfe von Zertifikaten dazu beiträgt, die Emissionen in anderen Sektoren zu senken.
- Der Gleichgewichtspreis eines Zertifikatesystems, das auf einen kontinuierlichen Reduktionspfad ausgerichtet ist, kann als Basis für einen optimalen Vermeidungskostensatz verwendet werden, unter der Bedingung dass der Verkehrssektor einbezogen ist. Da das Europäische Emissionshandelssystem den Verkehrssektor bisher nicht einschliesst, sind die derzeitigen CO₂-Preise des Systems nicht repräsentativ für den Verkehrssektor.

¹⁷⁸ Infrass / CE Delft et al. (2007), IMPACT: Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport.

¹⁷⁹ European Commission (2007), Actions - Benefits and Cost of Climate Change Policies and Measures.

¹⁸⁰ INFRAS et al. (2006), Cost-effectiveness of greenhouse gases emission reductions in various sectors.

- Für die Ermittlung eines Kostensatzes ist erstens eine Zeitskala sinnvoll, weil die Vermeidungskosten und die Schadenskosten über die Zeit ansteigen. Gleichzeitig ist es sinnvoll, Streubreiten für die Werte anzugeben.
- Für die kurzfristige Sichtweise steht ein Vermeidungskostenansatz im Zentrum, für die langfristige Sichtweise wird der Schadenskostenansatz gewählt.

Auf Basis dieser Überlegungen schlägt das Handbuch folgende Kostensätze vor:

Tabelle 7-2: Vorgeschlagene Werte für CO₂ (in Euro pro Tonne) im Handbuch der EU zu den externen Kosten des Verkehrs

Anwendungszeitpunkt	€/Tonne CO ₂		
	Unterer Wert	Mittlerer Wert	Oberer Wert
2010	7	25	45
2020	17	40	70
2030	22	55	100
2040	22	70	135
2050	20	85	180

Vergleicht man diese Werte mit den bisherigen Vorschlägen für die Schweiz, so wird sichtbar, dass die Philosophie ähnlich ist wie in Infras (2006). Beide Ansätze gehen von sich verändernden Werten über die Zeit aus. Der kurzfristige mittlere Wert der EU (25 Euro pro Tonne bzw. 40 CHF) liegt leicht über dem kurzfristigen Wert der Schweiz. Der langfristige Wert (85 Euro bzw. 136 CHF) liegt deutlich höher als die vorgeschlagenen CH-Werte. Der bisher in der ARE Studie von 2006 vorgeschlagene langfristige CH-Wert von 80 CHF/Tonne liegt etwa in der Grössenordnung des mittleren Wertes für den Zeitpunkt 2030.

7.2.3 Aktuelle Rahmenbedingungen der Klimapolitik

Während die Ermittlung von Schadenkosten von weltweiten Folgen der Klimaveränderung abhängig ist, stützt die Ermittlung der Vermeidungskosten direkt auf politische Zielsetzungen und die zu deren Erreichung notwendigen Massnahmen ab. Deshalb ist es auch wichtig, für die Aufdatierung der Kosten die aktuellen Trends der CH-Klimapolitik einzubeziehen. Der Bundesrat hat am 20. Februar 2008 die Eckpfeiler der Politik nach Kyoto bekannt gegeben:

- Der Bundesrat strebt an, den Ausstoss von Treibhausgasen bis 2020 um mindestens 20% und bis 2050 um 50% zu senken (gemessen am Stand von 1990). Das bedeutet im Schnitt eine jährliche Reduktion um 1.5%. Durch den Kauf von Zertifikaten im Ausland könnte bis 2020 eine zusätzliche Reduktion von 10% bewirkt werden. Diese Ziele orientieren sich an der Klimapolitik der EU. Sie sollen dazu beitragen, die globale Klimaerwärmung langfristig auf maximal 2 Grad (gegenüber der vorindustriellen Zeit) zu begrenzen. Berechnungen der internationalen Expertengruppe für Klimaentwicklung (IPCC) legen nahe, dass dies ein noch knapp tragbarer Wert ist.

- Um dieses Ziel zu erreichen, wird das UVEK eine Vorlage zur Revision des CO₂-Gesetzes ausarbeiten. In dieser Vernehmlassungsvorlage sollen verschiedene Instrumente einander gegenübergestellt werden: Eine reine Lenkungsabgabe bzw. eine Lenkungsabgabe mit Teilzweckbindung, womit Massnahmen in der Schweiz (zum Beispiel ein Gebäudeprogramm) finanziert werden könnten. Das Reduktionsziel kann auch mit Massnahmen im Ausland (zum Beispiel Zertifikaten) erreicht werden. Ebenso sind technische Regulierungen vorgesehen. Möglich wäre auch eine Kombination dieser Instrumente. Auch soll im Rahmen der Vernehmlassung die Idee einer klimaneutralen Schweiz zur Diskussion gestellt werden. Das revidierte CO₂-Gesetz soll nach 2012 weitere Treibhausgase umfassen. Der Gesetzesentwurf wird im Sommer 2008 in die Vernehmlassung geschickt.
- Der Bundesrat hat auch beschlossen, die Massnahmen der aktuellen Klimapolitik (Umsetzung des CO₂-Gesetzes bis 2012) zu verstärken. Derzeit scheinen sie zwar auszureichen, um die Ziele des Kyoto-Protokolls zu erreichen. Die Reduktionsziele des CO₂-Gesetzes werden damit aber verfehlt. Am stärksten ist die Abweichung vom Zielpfad im Bereich der Treibstoffe. Die Ziellücke beträgt nach den heutigen Schätzungen 0.5 Millionen Tonnen CO₂. Daher wird das UVEK mit der Stiftung Klimarappen weitere Möglichkeiten zur CO₂-Reduktion ausloten und mit der Stiftung sofort entsprechende Verhandlungen aufnehmen.

Interpretiert man diese Stossrichtungen in Bezug auf resultierende Vermeidungskosten, so zeigen sich folgende Tendenzen:

- Die Politik setzt verstärkt auf internationale Massnahmen in Analogie zur EU.
- Die mittel- und langfristigen Klimaziele nähern sich den Reduktionsszenarien an.

7.3 Mengengerüst

7.3.1 Strassenverkehr

Das Mengengerüst für den Strassenverkehr ist in der folgenden Tabelle dargestellt. Die Emissionen des Personenverkehrs sind differenziert für Personenwagen, Linienbusse, Reisebusse und Motorräder/Mofas. Für den Güterverkehr sind die Emissionen differenziert nach Lieferwägen, Lastwägen und Sattelschlepper dargestellt. Bei der Interpretation ist zu beachten, dass die Emissionen der Treibstoffbereitstellung, der Infrastrukturerstellung bzw. der Fahrzeugherstellung unter dem Aspekt der "vor- und nachgelagerten Prozesse" berücksichtigt werden (vgl. Kapitel 9.5).

Für den Personenverkehr betragen die gesamten Treibhausgas-Emissionen im Jahr 2005 11.4 Mio. t CO₂-Äquivalente¹⁸¹. Für den Güterverkehr liegen sie mit 2.5 Mio. t CO₂-Äquivalenten deutlich niedriger. Insgesamt betragen die Treibhausgas-Emissionen des Strassenver-

¹⁸¹ Mit dem jeweiligen Treibhausgaspotenzial gewichtete Summe der Treibhausgase CO₂, CH₄ und N₂O.

kehrs 13.9 Mio. t CO₂-Äquivalente¹⁸². Die Emissionen von Kohlendioxid liegen insgesamt deutlicher über den anderen Treibhausgasen. Dies wird auch in Grafik 7-2 deutlich, in der die Anteile der CH₄ und N₂O Emissionen kaum zu erkennen sind.

Tabelle 7-3: Treibhausgasemissionen des Strassenverkehrs 2005 (in Tonnen bzw. Gesamtemissionen in Tonnen CO₂-Äquivalenten)

	Personenwagen	Linienbusse	Reisebusse (Car)	Motorräder/Mofa	Lieferwagen	LW	SS
CO ₂	10'785'988	251'907	84'807	202'602	897'016	1'050'266	554'026
CH ₄	11'004	108	24	6'458	892	318	143
N ₂ O	101'006	937	349	680	5'999	3'933	1'957
Gesamtemissionen (CO₂-Äq.)	10'897'997	252'952	85'180	209'741	903'906	1'054'517	556'125

Quelle: BUWAL (2004), fahrleistungskorrigiert gem. BFS (2007); BFS-Homepage, Themenbereich 11 'Mobilität und Verkehr'. Online: <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/11.html> (Stand 21.11.2007)

7.3.2 Schienenverkehr

Die direkten Treibhausgas-Emissionen des Schienenverkehrs liegen deutlich unter den Emissionen des Strassenverkehrs. Allerdings sind im Bereich der Klimakosten ausschliesslich die Emissionen aus der Verbrennung von Diesel für die Rangierlokomotiven und -traktoren der Schweizer Bahnen berücksichtigt. Treibhausgasemissionen aus der Stromproduktion, der Bereitstellung des Dieseltreibstoffs, der Infrastrukturbereitstellung bzw. der Fahrzeugherstellung werden in der Kostenkategorie 'Vor- und nachgelagerte Prozesse' quantifiziert und bewertet (vgl. Kapitel 9.5).

Tabelle 7-4: Treibhausgasemissionen des Schienenverkehrs 2005 (in Tonnen CO₂-Äquivalenten)

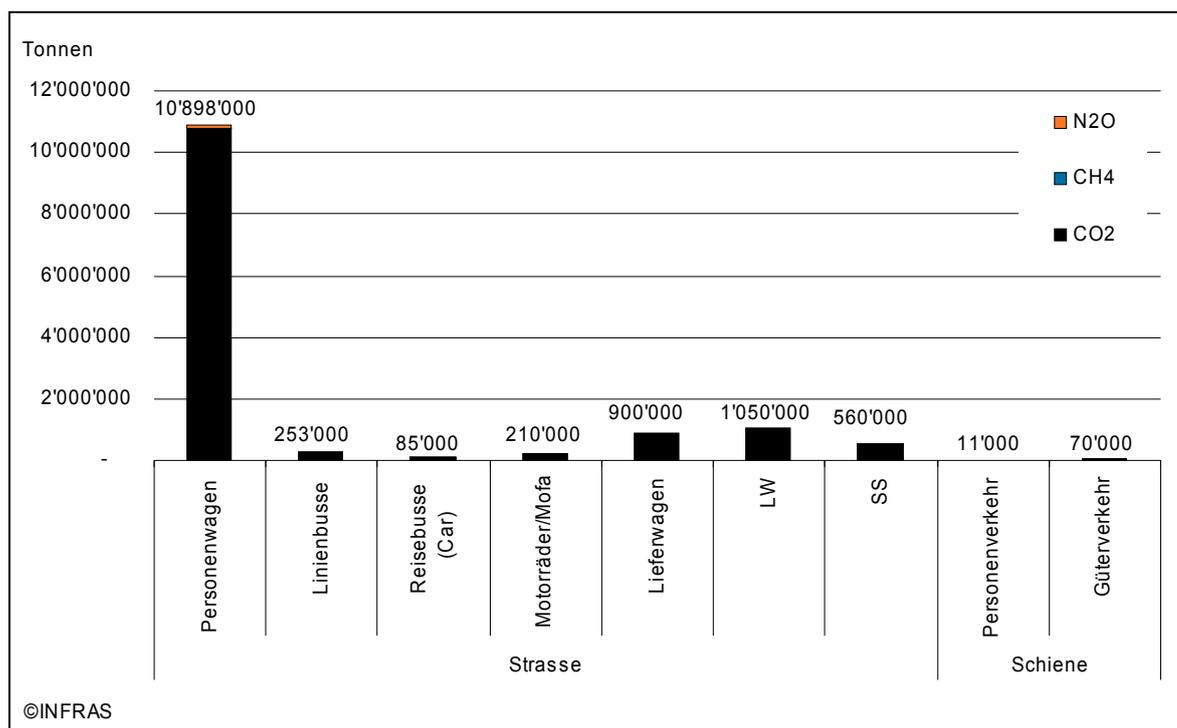
	Personenverkehr	Güterverkehr	Gesamt
CO ₂	10'441	69'207	79'648
CH ₄	2	12	14
N ₂ O	107	711	818
Gesamtemissionen (CO₂-Äq.)	10'550	69'931	80'480

Quelle: FOEN (Federal Office for the Environment) / BAFU (2008)

¹⁸² Die für die vorliegende Berechnung verwendeten Emissionsdaten weichen leicht von den Daten gemäss aktuellstem Treibhausgasinventar ab. Dies liegt zum einen daran, dass im Treibhausgasinventar das Absatzprinzip (inkl. Tanktourismus) angewandt wird und in dieser Studie das Territorialprinzip (bzw. 'Fahrleistungsprinzip'). Darüber hinaus wurden die in der vorliegenden Studie verwendeten Emissionsdaten gemäss den aktuellsten Fahrleistungsdaten des Jahres 2005 (BFS 2007, mit veränderter Methodik) korrigiert um bezüglich Fahrleistungen in der gesamten Studie kohärent zu sein.

Die folgende Grafik stellt die direkten Emissionen des Strassen- und Schienenverkehrs im Vergleich dar. In der Grafik wird zudem die prominente Rolle des Kohlendioxids im Vergleich zu Methan und Lachgas deutlich. Insgesamt sind für den Strassen- und Schienenverkehr die Emissionen von Kohlendioxid für 99% der Treibhausgasemissionen verantwortlich. Personenkraftwagen sind dabei mit Abstand die grössten Emittenten und machen knapp 78% der gesamten Treibhausgasemissionen des Verkehrs aus.

Grafik 7-2: Vergleich der Treibhausgasemissionen des Strassen- und Schienenverkehrs in der Schweiz 2005 (in Tonnen CO₂-Äquivalenten)



7.4 Wertgerüst

Für die Wahl der Kostensätze wird ein enger Bezug zum Handbuch der externen Kosten des Verkehrs der EU hergestellt, weil diese auf internationaler Ebene den aktuellen Stand der Wissenschaft widerspiegeln. So werden für die kurzfristige Betrachtungsweise 2010 sowie die langfristige Betrachtungsweise 2050 die mittleren Werte des Handbuchs übernommen.¹⁸³

Welcher Wert nun für die Berechnungen eingesetzt wird, hängt von der Betrachtungsweise und der Wertung ab.

¹⁸³ Infrac / CE Delft et al. (2007), IMPACT: Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport.

Für den niedrigeren kurzfristigen Wert spricht die Effizienzregel. Der kurzfristige Wert bildet ungefähr den CO₂-Preis im Europäischen Emissionshandelssystem für die Periode 2008-2012 ab, welcher auf den Vermeidungskosten der Grosseemittenten der Sektoren Energie und Industrie beruht. Bei einer Ausweitung des Emissionshandelssystems und einer Verschärfung der Zuteilungsregeln – wie von der EU für die Zeit nach 2012 angedacht – würden die Vermeidungskosten und somit die CO₂-Preise rasch ansteigen.¹⁸⁴ Der Wert stellt – unter idealen Bedingungen – für den heutigen Zeitpunkt und den europäischen Raum einen effizienten Gleichgewichtspreis zur Vermeidung von Klimagasen dar. Zu berücksichtigen ist, dass es sich hier um Modellrechnungen unter idealen Voraussetzungen (z.B. funktionierender Markt, minimale Transaktionskosten) handelt. Gleichzeitig ist unterstellt, dass die globalen Emissionen in anderen Sektoren effizienter und effektiver reduziert werden können. Würde man ein System nur für den Verkehrssektor anwenden, wären die Vermeidungskosten deutlich höher, Der kurzfristige Wert stellt demnach eine absolute Untergrenze dar. Berücksichtigt man die expliziten Reduktionsziele für die Treibstoffe in der Schweiz, ergibt sich ebenfalls ein höherer Satz, wenn ein Teil der Emissionen im Inland reduziert werden muss.

Die langfristige Betrachtungsweise berücksichtigt demgegenüber das zunehmende Risiko von Temperaturerhöhungen explizit. Würde man einen Diskontsatz von 0% einsetzen¹⁸⁵ und grosse Risikoaversion unterstellen, wäre der langfristige Satz auch für heutige Internalisierungsstrategien zweckmässig. Im Unterschied zum kurzfristigen Wert stellt der langfristige Wert aber nicht zwingend einen Maximalwert dar, weil extreme Risiken praktisch nicht bewertet werden können.

Für beide Werte gibt es demnach Argumente. Der Einfachheit halber gehen wir für die folgenden Berechnungen und für die Darstellung der Ergebnisse von einem Mittelwert von 90 CHF/Tonne CO₂ aus (arithmetisches Mittel zwischen dem kurzfristigen und langfristigen Wert). Die beiden Werte werden für die Analyse der Streubreiten (vgl. Kapitel 7.6) verwendet.

Tabelle 7-5: Vorgeschlagene Kostensätze im Klimabereich

	IMPACT € / Tonne CO ₂	IMPACT CHF / Tonne CO ₂ gerundet
Kurzfristige Betrachtungsweise	25	40
Langfristige Betrachtungsweise	85	140
Zentraler Wert		90

¹⁸⁴ European Commission (2008), Draft Proposal amending Directive 2003/87/EC so as to improve and extend the EU greenhouse gas emission allowance trading system.

¹⁸⁵ Bei einer kurzfristigen Diskontrate von 1% würden die Schadenskosten für 2050 pro Tonne CO₂ auf das Jahr 2005 diskontiert 89 Franken betragen. Berechnung: $140 \text{ CHF} / (1 + 0.01)^{45}$

7.5 Ergebnisse

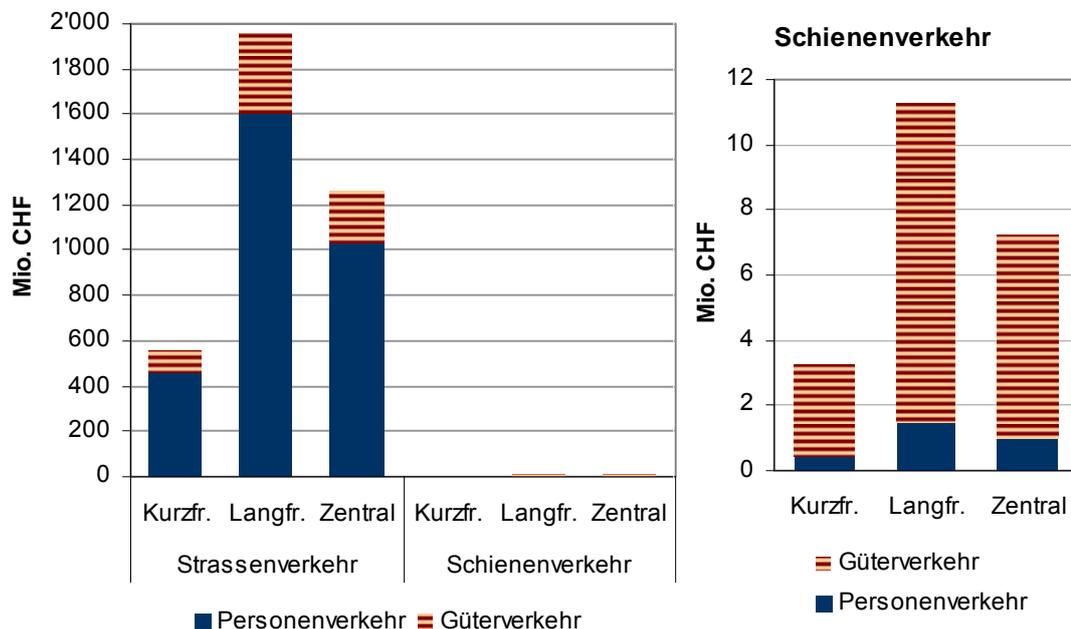
7.5.1 Gesamtverkehr

Die Ergebnisse für die **Klimakosten des Verkehrs** werden in der folgenden Tabelle und Grafik zusammengefasst. Insgesamt fallen Kosten von **1'264 Mio. CHF** an. Der Grossteil von **99% oder 1'256 Mio. CHF** wird durch den **Strassenverkehr** verursacht. Der **Schieneverkehr** ist für das verbleibende **1% oder 7.2 Mio. CHF** verantwortlich. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass ein Grossteil der Treibhausgasemissionen des Schienenverkehrs in den vor- und nachgelagerten Prozessen stattfinden (vgl. Kapitel 9.5).

Während im **Strassenverkehr** der **Personenverkehr** mit **82%** den grösseren Teil der Kosten verursacht als der Güterverkehr (18%), ist es im **Schieneverkehr** der **Güterverkehr**, der mit **knapp 88%** den Hauptteil der Schäden hervorruft.

Tabelle 7-6: Klimakosten im Strassen- und Schienenverkehr (in Mio. CHF)

	Kostensatz Klimakosten	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	Kurzfr.	458	101	558	99.4%
	Langfr.	1'602	352	1'954	99.4%
Schieneverkehr	Zentral	1'030	226	1'256	99.4%
	Kurzfr.	0.4	2.8	3.2	0.6%
	Langfr.	1.5	9.8	11.3	0.6%
	Zentral	0.9	6.3	7.2	0.6%
Total	Kurzfr.	458	103	562	100.0%
	Langfr.	1'604	362	1'966	100.0%
	Zentral	1'031	233	1'264	100.0%
in % des Totals	Kurzfr.	81.6%	18.4%		
	Langfr.	81.6%	18.4%		
	Zentral	81.6%	18.4%		

Grafik 7-3: Klimakosten im Strassen- und Schienenverkehr (in Mio. CHF)

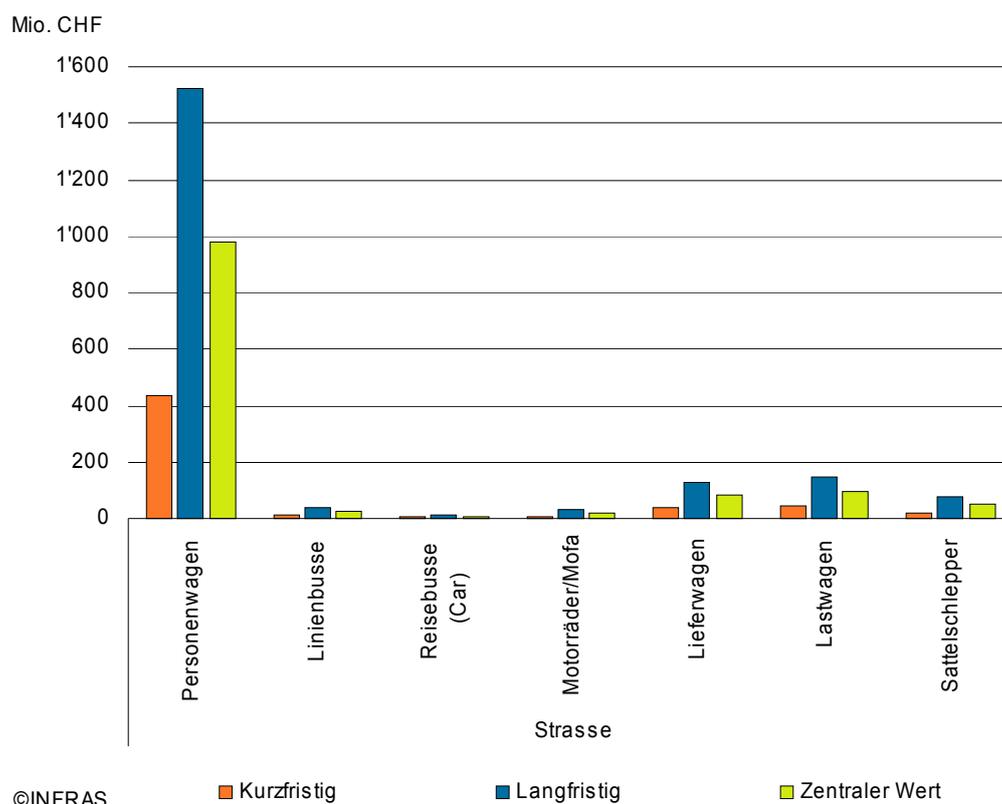
7.5.2 Strassenverkehr

Die Klimakosten im Strassenverkehr verhalten sich proportional zu den im Mengengerüst dargestellten Emissionen der verschiedenen Fahrzeugkategorien. Insgesamt liegen die Klimakosten des Personenverkehrs deutlich über den Kosten des Güterverkehrs. Die durch Personenwagen verursachten Kosten machen 78% der Klimakosten des Strassenverkehrs aus (vgl. folgenden Tabelle und Grafik).

Tabelle 7-7: Aufteilung der Klimakosten im Strassenverkehr auf die Fahrzeugkategorien (in Mio. CHF)

	Personenverkehr					Güterverkehr				Total
	PW	Bus	Car	MZ	Total	Li	LW	SS	Total	
Anteil	78.1%	1.8%	0.6%	1.5%	82.0%	6.5%	7.6%	4.0%	18.0%	100.0%
Kurzfristige Betrachtungsweise	436	10	3	8	458	36	42	22	101	558
Langfristige Betrachtungsweise	1'526	35	12	29	1'602	127	148	78	352	1'954
Zentraler Wert	981	23	8	19	1'030	81	95	50	226	1'256

PW = Personenwagen, Bus = öffentlicher Bus, Car = Privatcar, MZ = Motorisierte Zweiräder (Motorrad und Motorfahrrad), Li = Lieferwagen, SNF = Schwere Nutzfahrzeuge.

Grafik 7-4: Aufteilung der Klimakosten auf die Fahrzeugkategorien

7.5.3 Schienenverkehr

Auch im Schienenverkehr verhalten sich die Klimakosten proportional zum Mengengerüst. Der Grossteil der Kosten ist auf den Güterverkehr zurückzuführen.

Tabelle 7-8: Aufteilung der Klimakosten im Schienenverkehr auf Personen- und Güterverkehr (in Mio. CHF)

	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
Kurzfristige Betrachtungsweise	0.4	2.8	3.2
Langfristige Betrachtungsweise	1.5	9.8	11.3
Zentraler Wert	0.9	6.3	7.2

7.6 Bandbreiten

7.6.1 Zusammenfassung der Annahmen und Bandbreiten

Bei den Klimakosten sind insbesondere die Kostensätze relevant für die Sensitivitätsrechnung. Wie oben dargestellt, liegen die Werte in der Literatur auch heute noch weit auseinander. Ebenso ist nach dem Betrachtungshorizont sowie der verwendeten Methodik zu unterscheiden (Vermeidungs-/Schadenskosten). Wir verwenden deshalb die dargestellten kurz- und langfristigen Werte als Unter- bzw. Obergrenze. Zu beachten ist, dass es sich bei der Obergrenze um eine 'berechenbare' Obergrenze handelt. Der obere Wert wäre allenfalls noch höher, wenn Extremrisiken bewertet würden.

Tabelle 7-9: Übersicht über Annahmen und Bandbreiten bei den Klimakosten des Verkehrs

Bereich/Annahme	Wissenstand	Vorgehen in Studie	Bandbreite
Kostensatz Kosten pro Tonne CO ₂	Wissen mit Unsicherheiten	Anlehnung an EU Handbuch	±50 CHF pro Tonne CO ₂
Emissionen Emissionen Strasse	Aktuelle statistische Grundlagen	Best guess	±5%
Emissionen Schiene	Aktuelle statistische Grundlagen	Best guess	±5%

Zudem sind bei der Berechnung des zugrunde liegenden Mengengerüsts Bandbreiten für die Sensitivitätsberechnung einzubeziehen. Im Strassenverkehr wurden die vorhandenen Grundlagen aus BUWAL (2004)¹⁸⁶ überarbeitet und mit einem neuen Verkehrsmengengerüst¹⁸⁷ skaliert. Bei der Berechnung der gesamten Emissionen auf Basis des Territorialprinzips¹⁸⁸ bleiben bestimmte Unsicherheiten. Im Schienenverkehr wurden die Emissionsdaten für den Betrieb basierend auf der Berichterstattung zum National Inventory Report erhoben¹⁸⁹, auch hier sind gewisse Bandbreiten vorhanden.

¹⁸⁶ Emissionen aus BUWAL (2004), Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1980 – 2030.

¹⁸⁷ Fahrleistungsdaten aus BFS (2007) BFS-Homepage, Themenbereich 11 'Mobilität und Verkehr: Online: <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/11.html> (Stand 21.11.2007).

¹⁸⁸ Der Abgleich mit dem in der Schweiz abgesetzten Treibstoff für den Strassenverkehr muss korrigiert werden um den Tanktourismus einerseits sowie die im von Aus- oder Inländern im Inland gefahrenen Kilometer mit Treibstoffen, die im Ausland getankt wurden.

¹⁸⁹ FOEN (2008), Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990–2006, National Inventory Report and CRF tables 2008.

7.6.2 Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation

Auch für die Klimakosten wird eine Monte-Carlo-Simulation durchgeführt. Die Ergebnisse werden in der folgenden Tabelle und Grafik dargestellt.

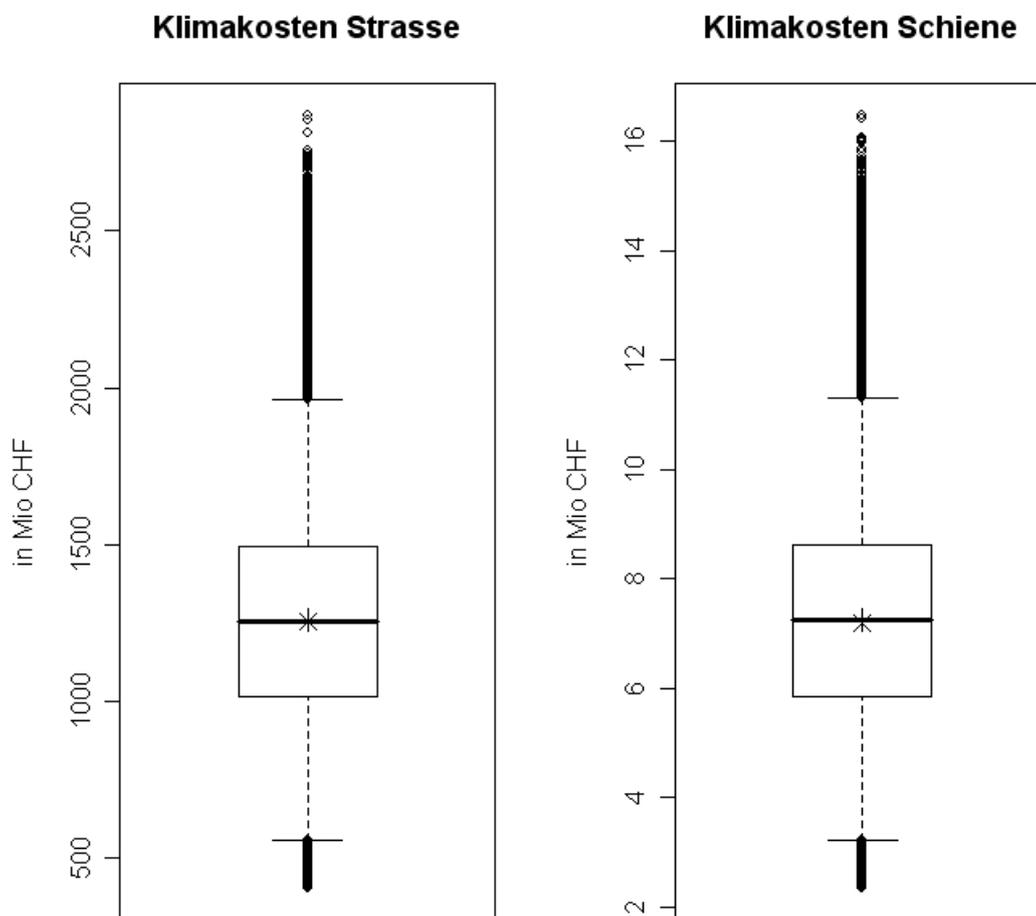
Die Ergebnisse für den **Strassenverkehr** zeigen, dass das 95%-Konfidenzintervall der Klimakosten **zwischen 558 und 1'963 Mio. CHF** liegt. Das oben ermittelte Ergebnis aus der Basisrechnung von 1'256 Mio. CHF wird also um 56% unter- bzw. überschritten.

Im **Schieneverkehr** schwanken die Werte **zwischen 3.2 und 11.3 Mio. CHF**. Die Schwankungsbreite ist hier mit Unter- bzw. Überschätzungen von 56% gleich wie beim Strassenverkehr, weil für die Kostensätze und Emissionen die gleichen Bandbreiten angenommen wurden.

Tabelle 7-10: Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation für Klimakosten in Mio. CHF

	Basisrechnung	95%-Konfidenzintervall	95%-Konfidenzintervall
Strasse	1'256	558 - 1963	-56% - 56%
Schiene	7.2	3.2 - 11.3	-56% - 56%
Total Strasse+Schiene	1'264	561 - 1'974	-56% - 56%

Grafik 7-5: Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation Klimakosten



Erläuterung: Die Begrenzung der rechteckigen Box entspricht dem 25%- bzw. 75%-Quantil, d.h. 50% aller Simulationen liegen innerhalb der Box. Der Strich in der Box ist der Median (=50%-Quantil), das „+“-Zeichen der Mittelwert und das „x“-Zeichen das Ergebnis aus der Basisrechnung. Der untere bzw. obere Querstrich nach der gestrichelten Linie („Whisker“) ist das 2.5%- bzw. 97.5%-Quantil, so dass 95% innerhalb dieser Werte liegen. Die Kreise ausserhalb dieser Querstriche zeigen Ausreisser (da eine Million Simulationen durchgeführt wurden, gibt es relativ viele Ausreisser).

7.7 Vergleich mit den bisherigen Ergebnissen für das Jahr 2000

Die folgende Tabelle vergleicht die Berechnungen für die Jahre 2000 und 2005. Für das Jahr 2000 wurden jeweils zwei kurzfristige und langfristige Werte dargestellt und auf die Festlegung eines zentralen Wertes verzichtet. Um einen Vergleich mit dem Jahr 2005 herzustellen, wird aus dem kurzfristigen und langfristigen Basiswert ein Mittelwert dargestellt, bei dem sich die gesamten Klimakosten des Verkehrs auf 828 Mio. CHF belaufen. Der Vergleich mit dem zentralen Wert für den gesamten Verkehr für 2005 zeigt, dass die **Klimakosten zwischen 2000 und 2005 um 52.7% gestiegen** sind. Die Zunahme ist im Schienenverkehr mit 377% viel deutlicher als im Strassenverkehr mit 52%.

Tabelle 7-11: Vergleich der Berechnungen für die Jahre 2000 und 2005: Klimakosten

2000		Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strasse	Kurzfr.: Basiswert	403	100	503	99.8%
	Langfr.: Basiswert	920	229	1'149	
	Mittelwert (Langfr./Kurzfr.)	662	165	826	
Schiene	Kurzfr.: Basiswert	0.21	0.71	0.92	0.2%
	Langfr.: Basiswert	0.48	1.63	2.11	
	Mittelwert (Langfr./Kurzfr.)	0.35	1.17	1.52	
Total	Kurzfr.: Basiswert	403	101	504	100.00%
	Langfr.: Basiswert	921	231	1'152	
	Mittelwert (Langfr./Kurzfr.)	662	166	828	
in % des Totals		80.0%	20.0%	100.0%	
2005		Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassen- verkehr	Kurzfr.	458	101	558	99.4%
	Langfr.	1'602	352	1'954	
	Zentraler Wert	1'030	226	1'256	
Schienen- verkehr	Kurzfr.	0.4	2.8	3.2	0.6%
	Langfr.	1.5	9.8	11.3	
	Zentraler Wert	0.9	6.3	7.2	
Total	Kurzfr.	458	103	562	100.00%
	Langfr.	1'604	362	1'966	
	Zentraler Wert	1'031	233	1'264	
in % des Totals		81.6%	18.4%	100.0%	
Veränderung in %		Personenverkehr	Güterverkehr	Total	
Strassenverkehr		+55.7%	+37.5%	+52.1%	
Schienenverkehr		+173.0%	+437.7%	+377.1%	
Total		+55.8%	+40.3%	+52.7%	

Für die Veränderung der Klimakosten zwischen 2000 und 2005 können **zwei Einflussfaktoren** herangezogen werden.

Wichtigster Erklärungsfaktor für die Veränderung der Klimakosten sind die veränderten Kostensätze. Hier wurden im Vergleich zur Berechnung für 2000 deutlich höhere Kostensätze verwendet. Sowohl die kurzfristigen (40 statt bisher 35 CHF pro Tonne CO₂) als auch die langfristigen (140 statt bisher 80 CHF pro Tonne CO₂) Kostensätze wurden nach oben korrigiert. Damit **steigt der zentrale, mittlere Kostensatz um 56%** an. Dieser Anstieg der Kostensätze lässt sich auf neue **Erkenntnisse zu Vermeidungs- und Schadenskosten** zurückführen. Zudem liefert das Europäische Emissionshandelssystem seit 2005 empirische Evidenz für die kurzfristigen Vermeidungskosten, gegenüber denen die bisher verwendeten kurzfristigen Werte als zu niedrig erscheinen.

Andererseits hat das Emissions-Mengengerüst für eine leichte Veränderung der Klimakosten gesorgt. Wie die folgende Tabelle zeigt, verlief die Entwicklung der Treibhausgasemissionen zwischen 2000 und 2005 für die verschiedenen Fahrzeugkategorien unterschiedlich. Die teilweise grösseren Verschiebungen zwischen den einzelnen Fahrzeugkategorien beruhen vor allem auf methodischen Veränderungen: Für die vorliegenden Berechnungen wurden die

Emissionsdaten gemäss den aktuellsten Fahrleistungsdaten des Jahres 2005 (BFS 2007) korrigiert um bezüglich Fahrleistungen in der gesamten Studie kohärent zu sein. Beim Strassenverkehr veränderten sich die Gesamtemissionen nur leicht und leisteten damit keinen wesentlichen Beitrag zur Kostensteigerung. Im Schienenverkehr dagegen ist die Emissionsentwicklung der Hauptgrund für die deutliche Kostenzunahme (auf tiefem Niveau). Die Veränderungen der Treibhausgas-Emissionen sind wie folgt zu erklären:

- Beim Personenverkehr auf der Strasse sind die Emissionen – trotz einem Anstieg der Fahrleistung – auf Grund von Änderungen der Emissionsfaktoren zurückgegangen.
- Beim Güterverkehr auf der Strasse fanden auf Basis neuer LSVA-Daten Korrekturen in der Verkehrsstatistik bezüglich Lieferwagen/LKW statt. Die Fahrleistungen im Güterverkehr wurden dabei auch rückwirkend deutlich reduziert. Zudem hat die Verbesserung der Fahrzeugtechnologie zu einem Rückgang der Emissionen beigetragen.
- Beim Schienenverkehr fanden sowohl für den Personen- als auch für den Güterverkehr auf Basis des National Inventory Report 2008 deutliche – auch rückwirkende – Korrekturen der Dieselemissionen statt.¹⁹⁰ Dies hat dazu geführt, dass der Schienenverkehr 2005 mit knapp 80'000 Tonnen CO₂ ca. drei mal höhere Treibhausgasemissionen aufweist als in der letztmaligen Quantifizierung der Klimakosten für das Jahr 2000 (Infras, 2006). Würden mit Hilfe der aktualisierten Datenbasis die Entwicklung der Treibhausgasemissionen des Schienenverkehrs im Zeitraum 2000 bis 2005 analysiert, so zeigt sich, dass diese lediglich um 5.8% angestiegen wären. Zusammen mit dem um 56% höheren zentralen Bewertungssatzes für die Klimakosten haben sich die Gesamtkosten des Schienenverkehrs also real nur um ca. 62% erhöht.

Tabelle 7-12: Veränderung der Treibhausgas-Emissionen des Verkehrs 2000-2005 (in Mio. t CO₂-Äq.)¹⁹¹

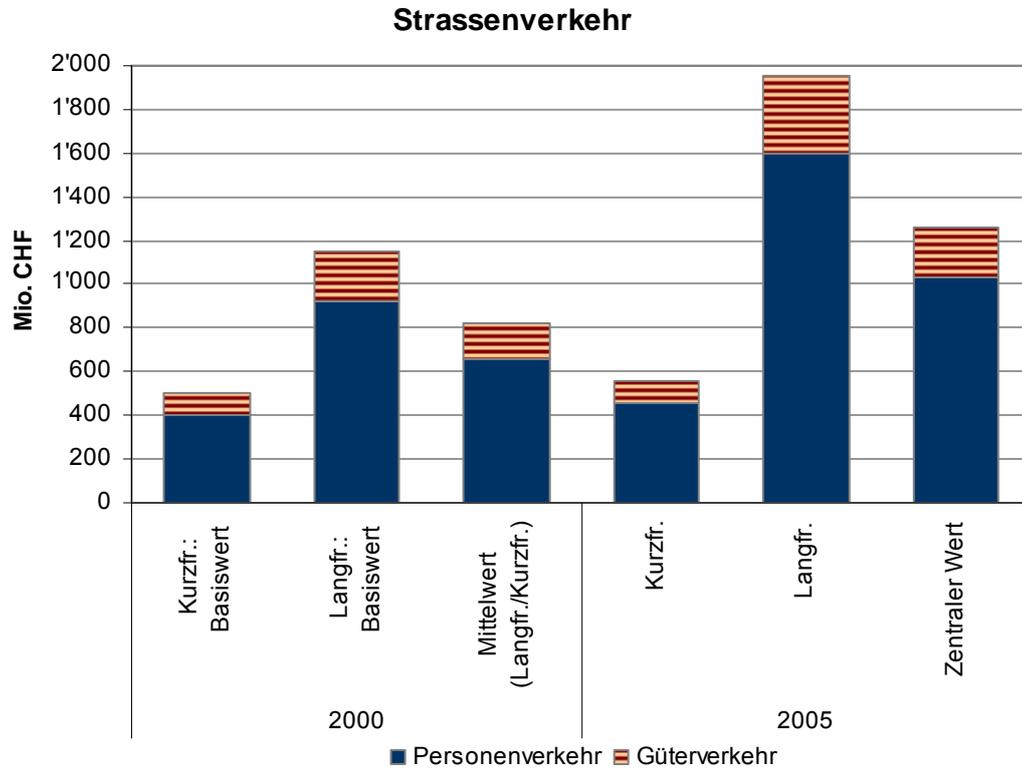
	Strasse - Personenverkehr				Strasse - Güterverkehr		Schiene	
	PW	Bus	Car	MZ	Li	SNF	PV	GV
Treibhausgas-Emissionen 2000	11.0	0.22	0.08	0.2	1.1	1.76	0.01	0.02
Veränderung 2000-2005	-0.9%	+12.6%	+1.3%	+6.5%	-17.8%	-8.7%	74.4%	243.5%

PW = Personenwagen, Bus = öffentlicher Bus, Car = Privatcar, MZ = Motorisierte Zweiräder (Motorrad und Motorfahrrad), Li = Lieferwagen, SNF = Schwere Nutzfahrzeuge.

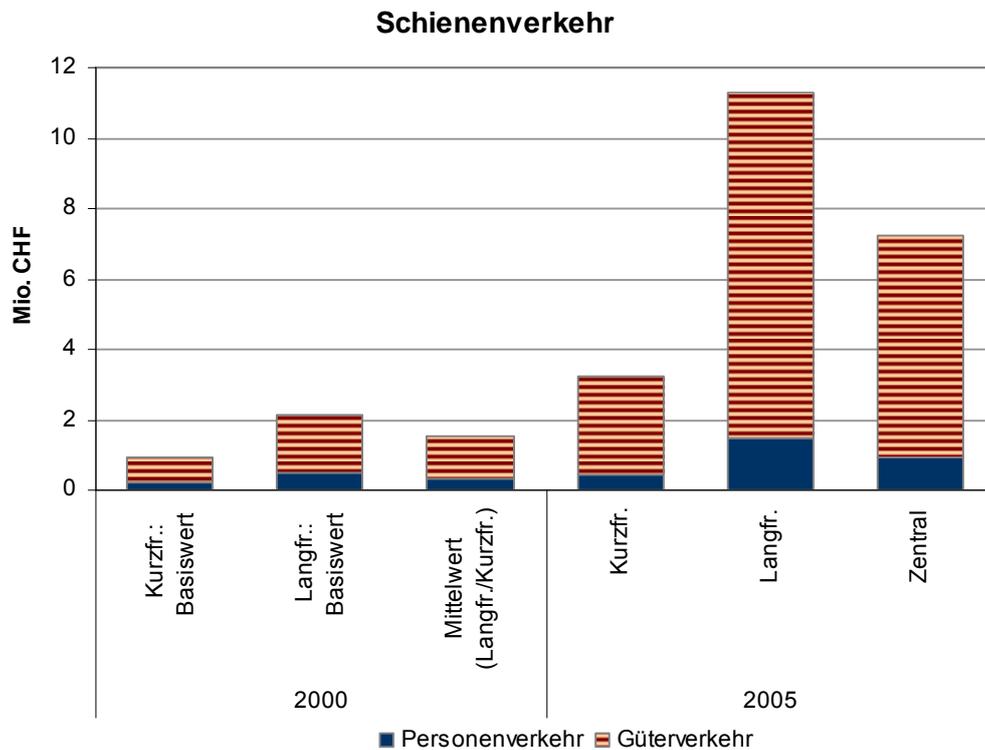
¹⁹⁰ FOEN (2008), Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990–2006, National Inventory Report and CRF tables 2008.

¹⁹¹ Beim Strassenverkehr weichen die in der Tabelle aufgeführten und in den Berechnungen verwendeten Emissionsdaten leicht von den Daten gemäss aktuellstem Treibhausgasinventar ab. Begründung siehe Fussnote 182.

Grafik 7-6: Vergleich der Berechnungen für die Jahre 2000 und 2005: Klimakosten Strasse



Grafik 7-7: Vergleich der Berechnungen für die Jahre 2000 und 2005: Klimakosten Schiene

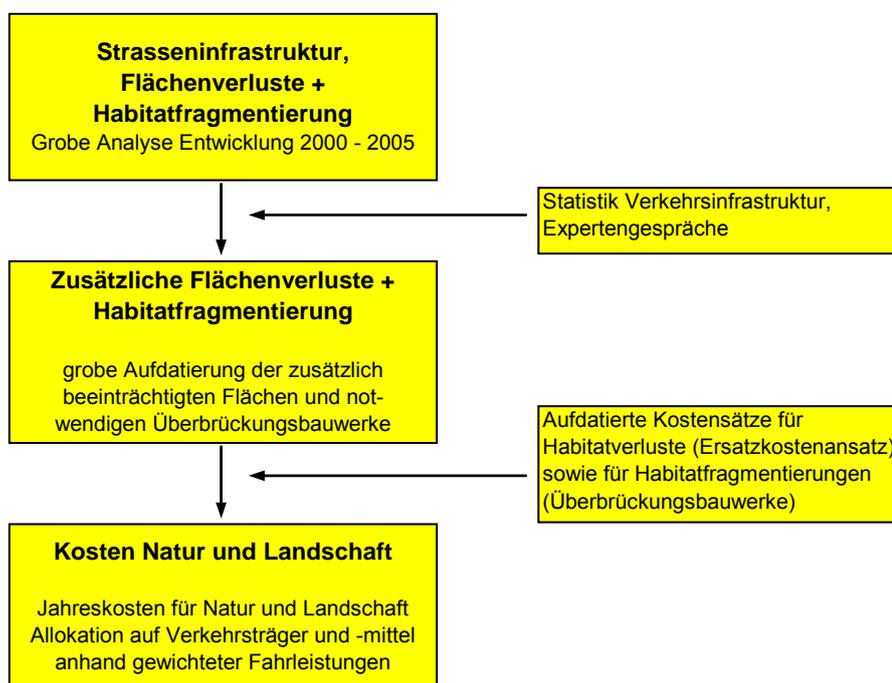


8 Natur und Landschaft

8.1 Bewertungsmethodik

Die Bewertungsmethodik im Bereich Natur und Landschaft orientiert sich am Vorgehen der Studie von Econcept, Nateco (2004) zu den externen Kosten des Verkehrs in diesem Bereich. Mit einem **Ersatzkostenansatz** werden die Kosten der **Habitatverluste** sowie der **Habitatfragmentierungen** durch Verkehrsinfrastrukturen quantifiziert. Um Daten zu diesen zwei Auswirkungen zu gewinnen, wurde von Econcept, Nateco (2004) von einer Stichprobe der Verkehrsinfrastruktur mittels Luftbildvergleichen der Zustand in den 1950er Jahren mit demjenigen 1998/99 verglichen und festgestellt, welche Habitatverluste und -fragmentierungen durch Verkehrsträger in diesem Zeitraum verursacht wurden. Die in der Stichprobe ermittelten Werte wurden auf die ganze Verkehrsinfrastruktur der Schweiz ausserhalb von Siedlungen im Jahr 2000 hochgerechnet. Die externen Kosten des Verkehrs berechnen sich durch die Kosten für den Ersatz der Habitatverluste und für die Aufhebung der Fragmentierungen.

Grafik 8-1: Methodik zur Berechnung der Kosten Natur und Landschaft (Aktualisierungen hervorgehoben)



Die von Econcept, Nateco (2004) ermittelten Werte für Habitatverluste und Fragmentierungen pro Einheit Infrastruktur des jeweiligen Verkehrsträgers sowie die anfallenden Kosten der Ersatzmassnahmen wurden für diesen Bericht übernommen. Die **Aufdatierung** betrifft, wie in

Grafik 8-1 ersichtlich, die **neu auftretenden Habitatverluste und Fragmentierungen** durch zusätzliche Verkehrsinfrastrukturen (Mengengerüst) und die Veränderung der **Kosten der Ersatzmassnahmen** (Wertgerüst). Die Aufdatierung des Mengengerüsts stützt sich auf Daten der Verkehrsstatistik sowie auf Expertengespräche. Für die Aktualisierung des Wertgerüsts wurde die Entwicklung der Baupreise im Tiefbau nachvollzogen. Die Allokation der Gesamtkosten auf die einzelnen Verkehrsträger und -mittel erfolgt anhand gewichteter Fahrleistungen.

Nicht berücksichtigt in dieser Aufstellung der externen Kosten im Bereich Natur und Landschaft wurden, analog zu Econcept, Nateco (2004), Habitatqualitätsverluste sowie ästhetische Effekte wie die Beeinträchtigung des Landschaftsbilds und damit des Erlebniswerts (konsumtive Landschaftsnutzung).

8.2 Neue Erkenntnisse aus der nationalen und internationalen Forschung

Neben der erwähnten Studie von Econcept, Nateco (2004), an der sich diese Aufdatierung massgeblich orientiert, existiert im Bereich der Quantifizierung der externen Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft an alternativen Ansätzen vor allem der Reparaturkostenansatz, der von INFRAS/IWW (2004) verwendet wird. Hierbei werden nicht die Ersatzkosten berechnet, also die Kosten der Anlage von Biotopen an anderer Stelle und die Aufhebung der Fragmentierungswirkung durch Defragmentierungsbauwerke, sondern es wird der Reparaturkostenansatz angewendet, im Falle von INFRAS/IWW (2004) die Kosten, um die Bodenversiegelung und andere Auswirkungen auf das Ökosystem (Störung von Tieren und ihren Biotopen durch Lärm und Barriereneffekte, optische Störung etc.) rückgängig zu machen. Die ermittelten Kostenwerte im Bereich Natur und Landschaft pro Kilometer der verschiedenen Infrastrukturen sind aufgrund der unterschiedlichen Methodik nicht direkt vergleichbar und liegen 50%-70% tiefer als die Werte in Econcept, Nateco (2004), welche dieser Aufdatierung als Grundlage dienen.

8.3 Mengengerüst

8.3.1 Strassenverkehr

Unter den in der Periode der Aufdatierung (2000-2005) entstandenen **Strassenneubauten** ausserhalb von Siedlungen sind vor allem Nationalstrassen zu nennen. Die Entwicklung des übrigen Strassennetzes ist schwer von der Siedlungstätigkeit zu trennen und dürfte vor allem innerhalb des Siedlungsgebiets erfolgt oder durch Siedlungstätigkeit bedingt sein, was eine Auftrennung der Kosten im Bereich Natur und Landschaft in verkehrs- und siedlungsbedingte Kosten schwierig macht. Aus diesem Grund werden hier **nur die im Zeitraum 2000 bis 2005 neu erstellten Autobahnen und Autostrassen für die Aufdatierung des Mengengerüsts berücksichtigt**. Dies führt tendenziell zu einer Unterschätzung der Kosten des Verkehrs im

Bereich Natur und Landschaft. Die in Tabelle 8-1 ersichtlichen Daten zu den neuen Infrastrukturen stammen aus der Verkehrsstatistik.¹⁹²

Tabelle 8-1: Veränderung der Infrastrukturlängen 2000 bis 2005, Strasse¹⁹³

	2000 (km)	2005 (km)	Veränderung (km)
Nationalstrassen	1'638	1'756	+118
davon Autobahnen	1'270	1'358	+88
Kantonsstrassen	18'097	18'094	-3
Gemeindestrassen	51'397	51'446	+49

Es zeigt sich, dass insgesamt 118 km neue Nationalstrassen erstellt wurden, davon 88 km Autobahnen. Zwischen Kantons- und Gemeindestrassen wurden Umklassierungen vorgenommen, was eine Interpretation der nicht statistisch bedingten Veränderungen des Strassennetzes schwierig macht. Die neuen Strassenverkehrsinfrastrukturen verfügen über einen massiv höheren Tunnelanteil als der Durchschnitt der bisher bestehenden Infrastruktur. Dieser wird aufgrund einer Auswertung der meisten neu erstellten Nationalstrassen (vgl. Tabelle 8-2) ermittelt und anschliessend auf die gesamten, aus der Verkehrsstatistik übernommenen Neubauten hochgerechnet.

Tabelle 8-2: Wichtigste neue Infrastrukturen 2000 bis 2005, Strasse

Strecke	Eröffnung	Länge (km)	davon Tunnel bergmännisch (km)
A1 Payerne - Yverdon Sud	2001	23.3	3.6
A7 Kreuzlingen	2002	4.5	1.8
A5 Solothurn West - Biel	2002	23	6.4
A9 Brig-Glis	2002	3	1
A5 Vaumarcus-Bevaix	2003	7.5	4.7
A8 Umfahrung Giswil	2004	2.5	2.1
A4 Umfahrung Flüelen	2005	2.6	2.6
A5 Bevaix-Areuse	2005	5.7	0
A5 Grandson-Vaumarcus	2005	9.8	1.7
A 28 Umfahrung Klosters	2005	6.5	4.2
Summe		88.4	28.1
Anteil Tunnel			32%

¹⁹² Bundesamt für Statistik, Verkehrsstatistik, Online im Internet:
<http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/11/03/blank/key/infrastruktur.html>, 6.3.2008

¹⁹³ Bundesamt für Statistik, Verkehrsstatistik, Online im Internet:
<http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/11/03/blank/key/infrastruktur.html>, 6.3.2008

Da mit über 88 km ein grosser Anteil der neuen Infrastruktur als Basis für diese Hochrechnung dient, kann erwartet werden, dass die übrigen, kleineren Bauwerke keine grösseren Abweichungen verursachen dürften. Der Tunnelanteil wird von der neuen Infrastruktur abgezogen und fliesst nicht in die Berechnung des Flächenverbrauchs der neuen Infrastruktur mit ein. Der so ermittelte Flächenbedarf der zusätzlichen Infrastruktur ist mit einer **geringen Unsicherheit** behaftet, es wird eine Bandbreite wahrscheinlicher Werte von **±5%** angenommen.

Nachdem der Flächenbedarf der neuen Strassen ermittelt ist, können die davon ausgehenden Habitatverluste und -fragmentierungen bestimmt werden. Wie oben erwähnt wird dabei von den Annahmen in Econcept, Nateco (2004) ausgegangen. Es gilt jedoch zu berücksichtigen, dass **neue Verkehrsinfrastrukturen heute landschaftsfreundlicher** gestaltet werden als der Durchschnitt der bestehenden Infrastruktur, dass also Ausgleichsflächen geschaffen werden (insbesondere Böschungen zum Teil naturnah gestaltet) und Bauwerke (Wildbrücken, Bachdurchlässe etc.) erstellt werden, welche die Fragmentierung von Lebensräumen mindern. Wie schon in Econcept, Nateco (2004)¹⁹⁴ erwähnt, besagt Art.18 NHG, dass zerstörte Lebensräume ersetzt werden müssen. Es ist jedoch unklar, ob dieser Ersatz vollständig erfolgt. Eine detaillierte Prüfung der verschiedenen Umweltverträglichkeitsberichte der neuen Infrastrukturen wäre im Rahmen dieser Aufdatierung zu aufwändig gewesen. In Econcept, Nateco (2004) wurden die Habitatverluste im Bereich der Verkehrsfläche sowie in einem beidseitigen Streifen von je 10-20 m Breite (Autostrassen) bzw. 40-50 m (Autobahnen) erfasst, das heisst, es wurde das Doppelte bis Dreifache der eigentlichen Verkehrsfläche betrachtet. Es wurde angenommen, dass die Böschungen der neuen Nationalstrassen weitgehend naturnah gestaltet oder dafür Ausgleichsflächen ausgeschieden wurden und dass als Habitatverlust die einfache Verkehrsfläche verbleibt, dass es also beim Bau der neuen Nationalstrassen gelungen ist, **50%** der gemäss Econcept, Nateco (2004) erwartbaren **Habitatverluste zu vermeiden** bzw. diese zu kompensieren. Dieser Wert ist mit einer **grossen Unsicherheit** behaftet, entsprechend wurde eine Bandbreite von **±50%** festgesetzt, innerhalb derselben die wahrscheinlichen Werte schwanken.

Bei der Bestimmung der durch die neue Infrastruktur bewirkten Fragmentierungen wurde ein anderes Vorgehen gewählt. Grössere Defragmentierungsbauwerke (Wildbrücken) sind relativ gut dokumentiert, kleinere Bauwerke wie Kleintierdurchlässe hingegen nicht.¹⁹⁵ Es wurde deshalb in einem ersten Schritt betrachtet, wie viele der gut dokumentierten grösseren Defragmentierungsbauwerke (Wildbrücken) an neuen Strassenabschnitten erstellt wurden¹⁹⁶ und welcher Anteil der gemäss Econcept, Nateco (2004) zu erwartenden Fragmentierungen grösserer Art damit behoben wurde. Es zeigt sich, dass der **Anteil der behobenen Fragmentierungen bei ungefähr 20%** liegt. In einem zweiten Schritt wurde angenommen, dass dieses Verhältnis von behobenen und verbleibenden Fragmentierungen auch für kleinere

¹⁹⁴ Econcept, Nateco (2004), Externe Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft, S.20.

¹⁹⁵ Eidgenössische Finanzkontrolle (2007), Protection de l'environnement et routes nationales, S. 8

¹⁹⁶ Telefonische Auskunft Mme Trocmé Maillard (14.3.2008), Astra; Eidgenössische Finanzkontrolle (2007), Objektblätter – Geprüfte Wildtierpassagen.

Fragmentierungen konstant gesetzt werden kann. Diese Annahme ist wiederum mit **grosser Unsicherheit** verbunden, weshalb eine Bandbreite von **±50%** festgesetzt wurde.

Die so ermittelten zusätzlichen Habitatverluste und Fragmentierungen durch neue Strasseninfrastrukturen addieren sich mit den Werten für die bereits früher bestehende Infrastruktur zum aktualisierten Mengengerüst. In einem nächsten Schritt können die Jahreskosten 2005 mit dem aufdatierten Wertgerüst berechnet werden.

8.3.2 Schienenverkehr

Die Gesamtlänge der Schieneninfrastruktur ist gemäss folgender Tabelle auf den ersten Blick konstant geblieben, dies erklärt sich jedoch durch statistische Effekte, so zum Beispiel durch die Umteilung der schmalspurigen Birsigtalbahn von der Schienen- zur Strasseninfrastruktur. Für die Normalspurbahnen allein resultiert ein kleiner Zuwachs, der jedoch geringer ausfällt als die Länge der Neubaustrecke (NBS) Mattstetten – Rothrist allein. Auch durch die Veränderungen der in dieser Statistik mit enthaltenen Netzlänge von Güterhafenbahnen ist die Gesamtlänge der neuen Infrastruktur schwer zu isolieren.

Tabelle 8-3: Veränderung der Infrastrukturlängen 2000 bis 2005, Schiene

	2000 (km)	2005 (km)
Schiene Normalspur	3'653	3'680
Schiene Schmalspur	1'409	1'382
Schiene Gesamt	5'062	5'062

Quelle: Bundesamt für Statistik, Verkehrsstatistik, Online im Internet:
<http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/11/03/blank/key/infrastruktur.html>, 6.3.2008

Es wurde deshalb ein anderes Vorgehen gewählt, nämlich eine einzelne Auswertung der neu erstellten Strecken. In der Aufdatierungsperiode 2000-2005 ist für den Schienenverkehr an neuer Infrastruktur vor allem die Neubauten im Rahmen von Bahn 2000 relevant, vor allem die NBS **Mattstetten – Rothrist**. Zwar wurden im Rahmen von Bahn 2000 auch einige andere Strecken¹⁹⁷ wie vor allem Zürich-Thalwil in Betrieb genommen, diese verläuft jedoch ausschliesslich unterirdisch oder in Siedlungsgebieten. Erweiterungen um eine zusätzliche Spur wie Coppet-Genève werden nicht betrachtet. Andere grössere Bauwerke von Bahn 2000 (Adlertunnel Muttenz-Liestal, Neubaustrecke Onnens – Gorgier-St-Aubin) wurden bereits vor der Aufdatierungsperiode im Jahr 2000 in Betrieb genommen. In dieser Aufdatierung wird demzufolge nur die NBS Mattstetten – Rothrist betrachtet. Bezüglich des Flächenverbrauchs der **neuen Infrastruktur** wird eine **geringe Unsicherheit** angenommen; festgesetzt wurde eine Bandbreite von **±5%**.

¹⁹⁷ <http://mct.sbb.ch/mct/infra-dienstleistungen/infra-bau/infra-grossprojekte/bahn2000.htm>, 6.3.2008.

Tabelle 8-4: Wichtigste neue Infrastrukturen 2000 bis 2005, Schiene

Strecke	Eröffnung	Länge (km)	Länge Tagbau ausserorts	Bemerkungen
NBS Mattstetten-Rothrist	2004	45	38.7	
Zürich-Thalwil	2003	10.8	0	nur Tunnel und Siedlungsgebiet
Adlertunnel	2000	7.1	0	schon 2000 eröffnet
Onnens-Gorgier-St-Aubin	2000	10.4	0	schon 2000 eröffnet, Ersatz alte Linie
3. Gleis Coppet-Genève	2004	13	0	nur Spurerweiterung
Ausbaustrecke Derendingen-Inkw	2004			an Stelle alter Linie
angerechnet Schiene neu			38.7	

Bei der Bestimmung der neu aufgetretenen Habitatverluste sollten ebenfalls die im Vergleich zum Durchschnitt der Schieneninfrastruktur umfangreichen **Ersatzmassnahmen** berücksichtigt werden, welche beim Bau der NBS vorgenommen wurden, besonders im Bereich der Brunnamatte.¹⁹⁸ Jedoch stellt sich wiederum das Problem, dass eine exakte Erfassung der getätigten Massnahmen den Rahmen dieser Untersuchung gesprengt hätte. In Econcept, Nateco (2004) wurde zur Bestimmung der Habitatverluste neben der eigentlichen Verkehrsfläche ein Streifen von beidseits je 10m Breite betrachtet. Es wurde analog zum angenommenen Wert beim Bau neuer Nationalstrassen davon ausgegangen, dass die Böschungen weitgehend naturnah gestaltet wurden oder allfällige Verluste andernorts kompensiert wurden (Brunnamatte) und als Habitatverlust vor allem die eigentliche Verkehrsfläche verbleibt, dass also **50%** der gemäss ARE (2004) zu erwartenden **Habitatverluste vermieden** bzw. ersetzt werden konnten; der **grossen Unsicherheit** dieser Annahme wird wiederum mit einer Bandbreite von **±50%** Rechnung getragen. Bezüglich **Defragmentierungsbauwerken** ist die NBS sehr **gut dokumentiert**¹⁹⁹. Die einzelnen erstellten Bauwerke können direkt bei den auftretenden Fragmentierungen in Abzug gebracht werden.

Anzufügen ist noch, dass durch den auch von Econcept, Nateco (2004) gewählten Ansatz die Kosten für die Schieneninfrastruktur gesamthaft eher tief ausfallen, weil als Referenzzustand die 1950er Jahre fungieren, als der Grossteil der Schieneninfrastruktur bereits bestand.

8.4 Wertgerüst

8.4.1 Einleitung

Wie oben erwähnt werden die externen Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft mit einem Ersatzkostenansatz errechnet, das heisst, im Wertgerüst werden die Kosten bestimmt, welche anfallen, um die im Mengengerüst ermittelten Habitatverluste und Frag-

¹⁹⁸ Telefonische Auskunft Herr Vögeli, SBB, 12.3.2008; SBB 1999, Die Neubaustrecke Mattstetten – Rothrist, Informationsbroschüre.

¹⁹⁹ Erfassung der einzelnen Defragmentierungsbauwerke: Telefonische Auskunft Herr Vögeli, SBB (12.3.2008), Dokumentanalyse.

mentierungen zu ersetzen bzw. zu beheben. Die gesamten Kosten im Bereich Natur und Landschaft setzen sich aus zwei Bestandteilen zusammen:

- Ersatzkosten Habitatverluste
- Kosten für Bauwerke, welche die entstehenden Fragmentierungen (vollumfänglich) beheben.

8.4.2 Bewertung Habitatverluste

Zur Bestimmung der auftretenden Habitatverluste konnte die Berechnung der **jährlichen Habitatersatzkosten je Verkehrsträger** aus der Studie von Econcept, Nateco (2004) übernommen werden. Diese basieren auf einer detaillierten Adaption der Ausgangswerte von Bosch & Partner (1993/1998) und Froelich & Sporbeck (1995) auf die Schweiz. Die Investitionskosten werden mittels Annuitäten in Jahreskosten umgerechnet, basierend auf einem Amortisationszeitraum von 30 Jahren und einem Zinssatz von 3%.²⁰⁰

Tabelle 8-5: Ersatzkosten der Habitatverluste pro Kilometer Infrastruktur, 2005

	Kosten/km (CHF)
Autobahn/Autostrasse	30'435
1./2. Klass-Strasse	6'333
3. Klass-Strasse	3'672
Schiene	9'724

Die Schwankungsbreite der so ermittelten Kosten, welche mit einer **mittleren Unsicherheit** behaftet sind, wurde ebenfalls von Econcept, Nateco (2004) übernommen und beträgt **±40%**. Die Aufschlüsselung der Ersatzkosten für die einzelnen Habitatarten auf die verschiedenen dafür nötigen Arbeitsschritte zeigt, dass über alle Habitatarten hinweg im Schnitt die Baukosten im Tiefbaubereich den hauptsächlichen Kostenbestandteil darstellen. Daneben haben die Landkosten je nach Habitatart eine gewisse Bedeutung, ihre Bedeutung ist durchschnittlich aber eher gering (ca.15%). Für die Aufdatierungsperiode existieren jedoch keine systematischen, gesamtschweizerischen Zahlen zur Entwicklung der Landpreise für Landwirtschaftsland,²⁰¹ diese werden lediglich in einzelnen Kantonen aufgrund der getätigten Verkäufe erhoben. Da deren Anzahl jedoch recht klein ist, schwanken die Werte stark in Abhängigkeit von der Qualität des gehandelten Landes und sind nicht aussagekräftig. Da nicht zu erwarten ist, dass der reale Wert des Landwirtschaftslandes langfristig sinken wird,²⁰² eine grössere Steigerung aufgrund anstehender Landwirtschaftsreformen jedoch auch nicht wahrscheinlich ist und die Landkosten zudem einen eher kleinen Kostenbestandteil darstellen, wird im Rahmen

²⁰⁰ Econcept, Nateco 2004, Externe Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft, S. 33.

²⁰¹ Telefonische Auskunft Herr Schmid, Schweizerischer Bauernverband, 14.3.2008.

²⁰² Econcept, Nateco 2004, Externe Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft, S. 50.

dieser Aufdatierung davon ausgegangen, dass sich die Landpreise entsprechend der allgemeinen Preisentwicklung für Habitatersatzmassnahmen verhalten haben. Für die Aufdatierung des Wertgerüsts sind wie erwähnt vor allem die **Kosten im Tiefbaubereich entscheidend**, weshalb die Kostensätze an die Entwicklung der Baupreise, wie sie im **Schweizer Baukostenindex zum Neubau einer Strasse**²⁰³ festgehalten ist, angepasst werden. Die verwendeten, aktualisierten Kostensätze sind in Tabelle 8-5 dargestellt.

8.4.3 Bewertung Habitatfragmentierung

Die Kostensätze für die **jährlichen Kosten für Defragmentierungsbauwerke** konnten ebenfalls von Econcept, Nateco (2004) übernommen werden. Diese berechnen sich aus den Baukosten, welche auf 80 Jahre mit einem langfristigen Zinssatz von 3% in Annuitäten umgerechnet werden, sowie jährlichen Pflegekosten im Umfang von 1%-1.5% der Baukosten. Entsprechende der **mittleren Unsicherheit** beträgt die Bandbreite von wahrscheinlichen Werten, analog zu Econcept, Nateco (2004) **±40%**. Wiederum sind vor allem die Baukosten im Bereich Tiefbau massgebend, weshalb zur Berücksichtigung der Preisentwicklung in der Aufdatierungsperiode ebenfalls der **Schweizerische Baukostenindex zum Neubau einer Strasse** verwendet werden kann. Die verwendeten, aktualisierten Kostensätze sind in folgender Tabelle ersichtlich.

Tabelle 8-6: Jahreskosten für Defragmentierungsbauwerke 2005 (CHF)

Defragmentierungsbauwerk	Autobahn	Autostrasse	1. Klass-Strasse	2. Klass-Strasse	3. Klass-Strasse	Bahn einspurig	Bahn mehrspurig
Landschaftsbrücke	240'743						
Wildüberführung Standard	107'605						
Reduzierte Wildtierüberführung	60'186	30'093	25'533				29'637
Spezifische Wildtierunterführung	221'677	110'838	94'213				117'142
Bachdurchlass für Wildtiere	245'580	122'790	104'371				117'142
Kleintierdurchlass	6'041	6'041	3'651				3'651
Bachdurchlass für Bachlebewesen	12'082	12'082	7'302	7'302	4'912	7'302	7'302
Amphibienleitsystem	10'953	9'692	7'302				7'302
Durchgang im Schotterkörper						3'651	

8.5 Ergebnisse

8.5.1 Gesamtverkehr

Die folgende Tabelle und Grafik zeigen, dass im Jahr 2005 insgesamt Kosten von 797 Mio. CHF entstehen. Der **Strassenverkehr verursacht mit 86.2% den grössten Teil der exter-**

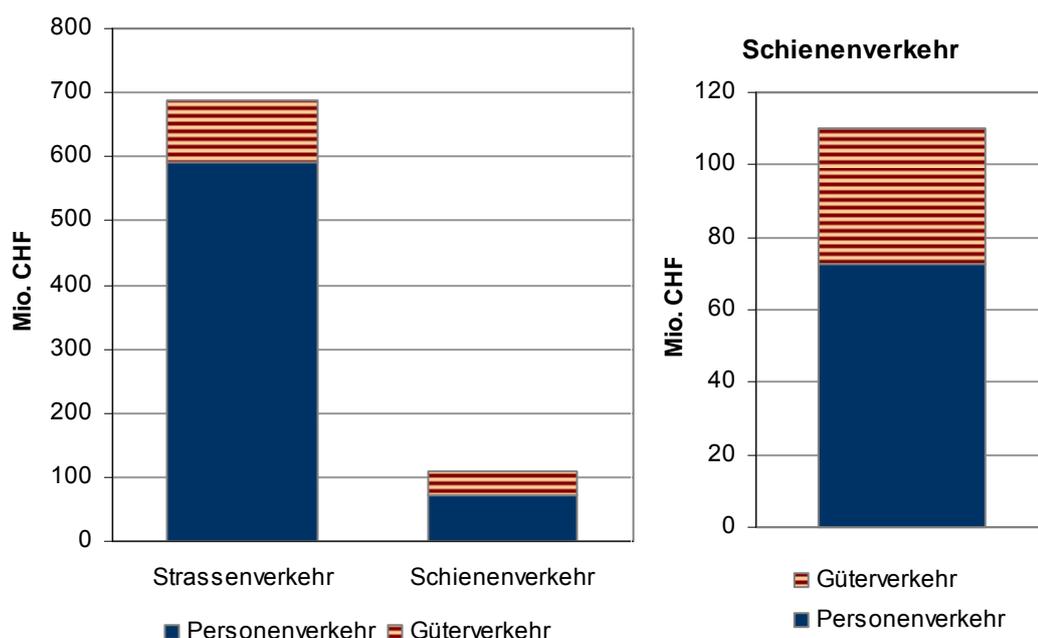
²⁰³ Bundesamt für Statistik, Schweizerischer Baupreisindex, <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/05/05/blank/key/baupreisindex/schweiz.Document.88738.xls> (6.3.2008)

nen Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft. Entsprechend den mit Fahrzeuglängen (Strasse)²⁰⁴ bzw. Achszahlen (Schiene)²⁰⁵ gewichteten Fahrleistungen²⁰⁶ ist der Anteil des Güterverkehrs an den externen Kosten beim Strassenverkehr mit knapp 14% deutlich geringer als beim Schienenverkehr, wo der Anteil des Güterverkehrs einen Drittel ausmacht. Gesamthaft ist der Güterverkehr für einen Sechstel der externen Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft verantwortlich.

Tabelle 8-7: Kosten Natur und Landschaft im Strassen- und Schienenverkehr (in Mio. CHF)

	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	591.7	95.4	687.1	86.2%
Schienenverkehr	72.9	37.2	110.1	13.8%
Total	664.6	132.6	797.2	100.0%
in % des Totals	83.4%	16.6%	100.0%	

Grafik 8-2: Kosten Natur und Landschaft im Strassen- und Schienenverkehr (in Mio. CHF)



²⁰⁴ Fahrzeuglängen übernommen von Econcept, Nateco (2004), S. 70.

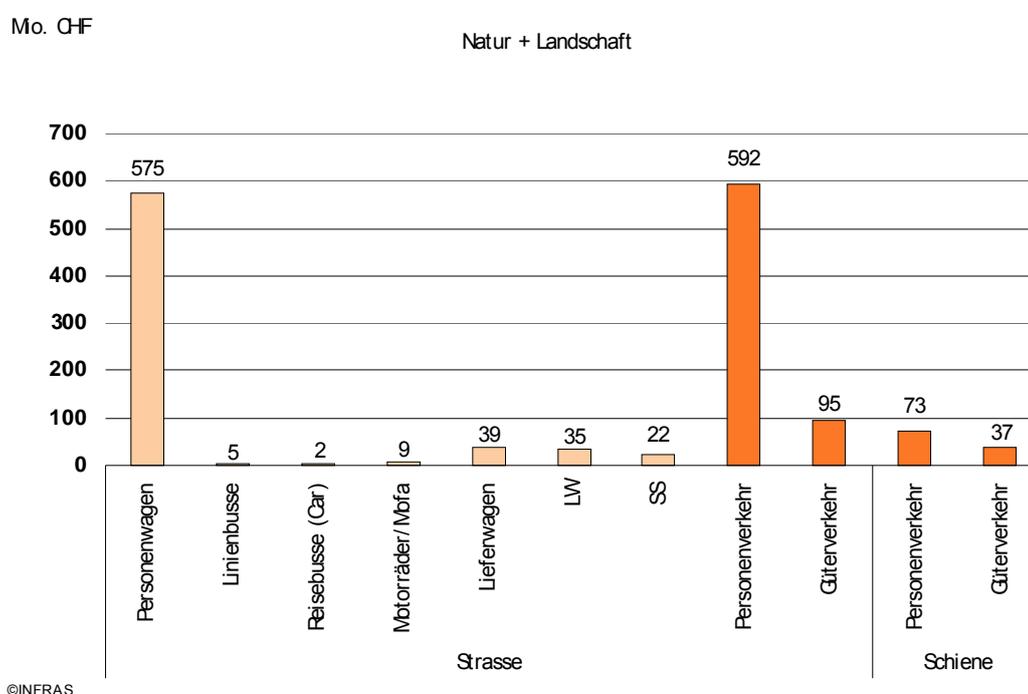
²⁰⁵ Die Zahlen zu den geleisteten Wagenachskilometern sind nur bis 1996 verfügbar (Bundesamt für Statistik, Eisenbahnen – Zeitreihen, <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/11/07/02/02.Document.64940.xls> (19.3.2008). Um die Kosten der Aufdatierung mit denen von Econcept, Nateco (2004) vergleichbar zu machen, wurde für die Gewichtung der Fahrleistungen der Schiene dennoch auf Wagenachskilometer abgestellt und die Annahme getroffen, dass das Verhältnis von Zugkilometer zu Wagenachskilometer für Personen- und Güterzüge konstant geblieben ist, dass sich also die durchschnittliche Achszahl eines Personen- bzw. Güterzuges zwischen 1996 und 2005 nicht verändert hat.

²⁰⁶ Bundesamt für Statistik, Verkehrsleistungen, Online im Internet: <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/11.html> (21.11.2007)

8.5.2 Strassenverkehr

Eine detaillierte Aufschlüsselung der externen Kosten im Bereich Natur und Landschaft auf die einzelnen Verkehrsmittel im Strassenverkehr zeigt, dass – entsprechend den mit der Fahrzeuglänge gewichteten Fahrleistungen – die Personenwagen mit 570 Mio. CHF den Löwenanteil der Kosten verursachen. Die weiteren strassengebundenen Verkehrsmittel im Personenverkehr – Busse (Linien- und Reisebusse) und Motorräder/Mofas – sind praktisch vernachlässigbar. Im Güterverkehr verteilen sich die verursachten Kosten ausgeglichener auf Lieferwagen, Lastwagen und Sattelschlepper. Gesamthaft belaufen sich die Kosten des auf der Strasse abgewickelten Güterverkehrs im Bereich Natur und Landschaft auf knapp 100 Mio. CHF im Jahr 2005.

Grafik 8-3: Kosten Natur und Landschaft der einzelnen Verkehrsträger (in Mio. CHF gerundet)



8.5.3 Schienenverkehr

Im Schienenverkehr verteilen sich die vergleichsweise geringen Kosten wie oben erwähnt ausgeglichener auf Personen- und Güterverkehr. Der Personenverkehr verursacht im Jahr 2005 im Bereich Natur und Landschaft externe Kosten von gut 70 Mio. CHF, der Güterverkehr solche von knapp 40 Mio. CHF, also etwa einen Drittel der externen Kosten des Schienenverkehrs im Bereich Natur und Landschaft.

8.6 Bandbreiten

8.6.1 Zusammenfassung der Annahmen und Bandbreiten

Die schon bei der Herleitung der Zahlen im Mengen- und Wertgerüst angesprochenen Bandbreiten, welche für ungesicherte Werte angenommen wurden und als Grundlage für die Monte-Carlo-Simulation dienen, werden in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 8-8: Übersicht über Annahmen und Bandbreiten bei den externen Kosten im Bereich Natur und Landschaft

Bereich / Annahme	Wissenstand	Vorgehen	Bandbreite
Habitatersatz-/Fragmentierungskosten			
Habitatersatzkosten	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 40%
Defragmentierungskosten	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 40%
Flächenzuwachs Infrastruktur	Wissen mit Unsicherheiten	Datenauswertung	± 5%
Habitatsschonende neue Infrastruktur/Weniger fragmentierende neue Autobahnen	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 50%
Fragmentierung durch neue Infrastruktur Schiene	Gesichertes Wissen	Datenauswertung	

Für die Werte mit grosser Unsicherheit, namentlich dem Grad, zu dem neue Strassen- und Schieneninfrastruktur weniger Habitatsverluste verursacht, sowie dem Ausmass zusätzlicher Fragmentierungen durch neue Autobahnen, wurde eine Bandbreite von ±50% angenommen. Für die Werte mit mittlerer Unsicherheit, also die Ersatzkosten für Habitate und die Kosten der Defragmentierungsbauwerke, wurden die Bandbreiten von Econcept, Nateco (2004) übernommen; sie betragen ±40%. Der Flächenzuwachs der Infrastruktur weist nur eine Bandbreite von ±5% auf, entsprechend der geringen damit verbundenen Unsicherheit.

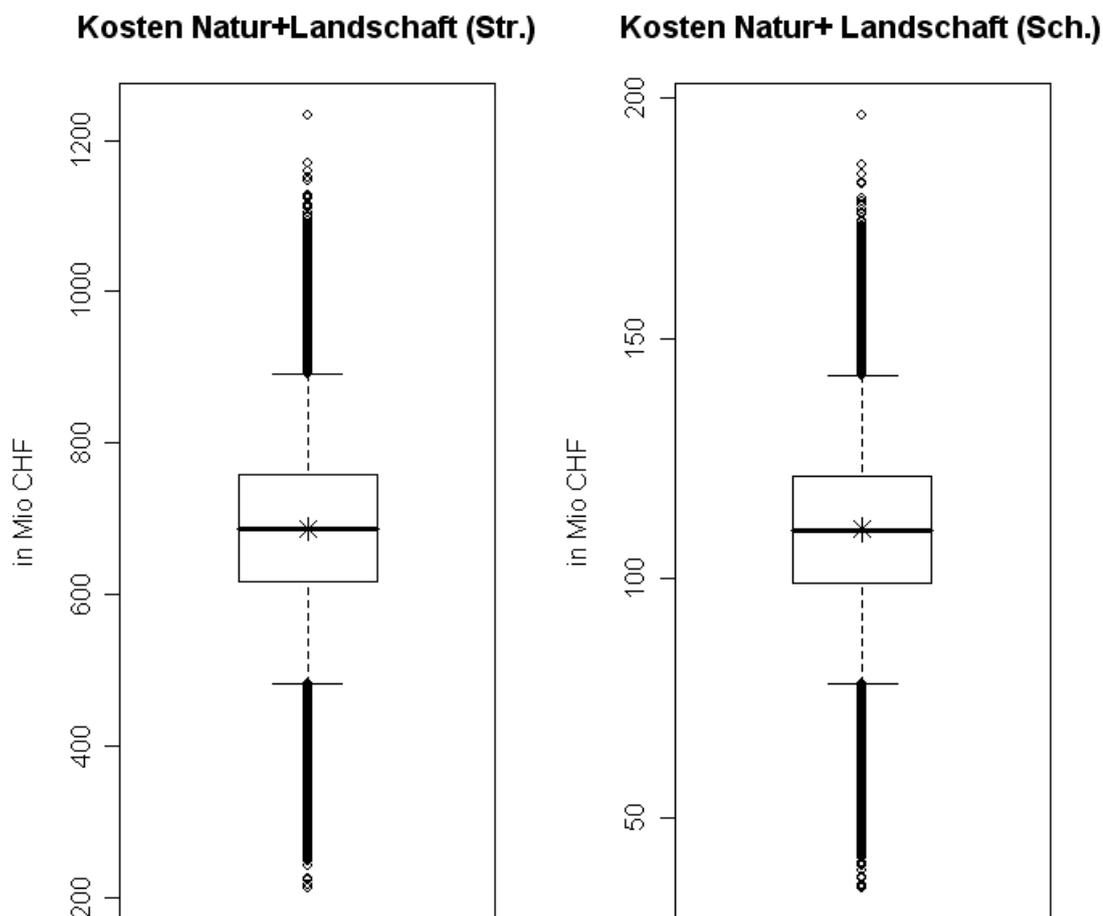
8.6.2 Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation

Wie in folgender Tabelle und Grafik ersichtlich, streuen 95% der simulierten Werte für die Kosten im Bereich Natur und Landschaft zwischen 483 Mio. CHF und 891 Mio. CHF (Strasse) bzw. 78 Mio. CHF und 142 Mio. CHF (Schiene). Die gesamten Kosten des Jahres 2005 bewegen sich zu 95% zwischen 561 Mio. CHF und 1034 Mio. CHF. Die durch die Monte-Carlo-Simulation errechneten 95%-Konfidenzintervalle entsprechen sowohl auf der Strasse wie der Schiene einer Schwankungsbreite von ungefähr ±30%.

Tabelle 8-9: Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation für den Bereich Natur und Landschaft

	Basisrechnung	95%-Konfidenzintervall	95%-Konfidenzintervall
Strasse	687	483 - 891	-30% - 30%
Schiene	110	78 - 142	-29% - 29%
Total Strasse+Schiene	797	561 - 1'034	-30% - 30%

Grafik 8-4: Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation für den Bereich Natur und Landschaft



Erläuterung: Die Begrenzung der rechteckigen Box entspricht dem 25%- bzw. 75%-Quantil, d.h. 50% aller Simulationen liegen innerhalb der Box. Der Strich in der Box ist der Median (=50%-Quantil), das „+“-Zeichen der Mittelwert und das „x“-Zeichen das Ergebnis aus der Basisrechnung. Der untere bzw. obere Querstrich nach der gestrichelten Linie („Whisker“) ist das 2.5%- bzw. 97.5%-Quantil, so dass 95% innerhalb dieser Werte liegen. Die Kreise ausserhalb dieser Querstriche zeigen Ausreisser (da eine Million Simulationen durchgeführt wurden, gibt es relativ viele Ausreisser).

8.6.3 Zusätzliche Unter- oder Überschätzungen

Wie einleitend im Abschnitt zur Bewertungsmethodik erwähnt, werden in dieser Untersuchung, wie auch in Econcept, Nateco (2004), **nur die Habitatverluste und -fragmentierungen als Bestandteile der externen Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft betrachtet.**

Weitere Kosten, die in diesem Bereich anfallen, namentlich **Habitatqualitätsverluste** sowie **ästhetische Effekte**, die Beeinträchtigung des Landschaftsbilds und des Erholungsnutzens der Landschaft, werden hier **nicht mit eingeschlossen**. Daraus resultiert eine **Unterschätzung** der durch den Verkehr verursachten externen Kosten in diesem Bereich.

Die Wahl der 1950er Jahre als Referenzzustand, wie er beim Ersatzkostenansatz nötig ist, ist in einem gewissen Mass willkürlich²⁰⁷. Die Untersuchung von Infraconsult (1999) deutet aber darauf hin, dass die Zahlungsbereitschaft für Landschaftsschutz etwa den von Econcept, Nateco (2004) ermittelten Kosten entspricht.

Die Nichtberücksichtigung von in der Aufdatierungsperiode erstellten **neuen Strasseninfrastrukturen** abgesehen von Nationalstrassen (Autobahnen und Autostrassen), welche **schwer von Auswirkungen der Siedlungstätigkeit zu unterscheiden** sind, stellt eine vorsichtige Berechnungsweise dar und führt tendenziell zu einer Unterschätzung der Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft. 4. Klasse-Strassen wurden aus einem ähnlichen Grund generell nicht berücksichtigt, da die Kosten schlecht von denen der Landwirtschaft getrennt werden können. Analog zu Econcept, Nateco (2004) lässt sich schliesslich argumentieren, dass die Siedlungstätigkeit und auch der Landschaftskonsum von Tourismusinfrastrukturen durch Verkehrsinfrastrukturen massgeblich gefördert wurden und ein Teil der damit verbundenen Kosten im Bereich Natur und Landschaft potentiell dem Verkehr angerechnet werden könnte, dass also die Kosten auch in diesem Bereich unterschätzt werden. Zur möglichen Fragmentierungswirkung für Pflanzen von Verkehrsinfrastrukturen sind keine empirischen Daten vorhanden²⁰⁸, weshalb die Effekte nicht eingeschätzt werden können. Allenfalls resultiert eine gewisse Unterschätzung der Kosten.

Beim von Econcept, Nateco (2004) gewählten und hier übernommenen Ansatz ist auch eine **Überschätzung** der Kosten möglich, falls die mit Luftbildern erhobenen Habitatverluste entlang von seit den 1950er Jahren nicht veränderten Verkehrsinfrastrukturen nicht durch den Verkehr, sondern durch die Landwirtschaft verursacht wurden. Diesem Effekt steht aber die Vermutung entgegen, dass der Raum von der Landwirtschaft intensiver genutzt wird, weil er auch durch Verkehrsinfrastrukturen zunehmend knapper wird. Eine Überschätzung würde sich auch ergeben, falls bei der schon im Jahr 2000 bestehenden Infrastruktur **nachträglich Defragmentierungs- oder Habitatersatzmassnahmen durchgeführt** wurden. Bei den gut dokumentierten grösseren Defragmentierungsbauwerken zeigt sich aber, dass bei der schon 2000 bestehenden Infrastruktur in der Aufdatierungsperiode nur 2 Wildüberführungen an der A1 und bei der Eisenbahn die Wildüberführung Stöck bei Pieterlen neu erstellt wurden.²⁰⁹ Bei diesen handelt es sich ausserdem um Spezialfälle, weil sie jeweils mit dem Bau von anderen, benachbarten Verkehrsträgern verknüpft waren. Die Annahme scheint deshalb gerechtfertigt, dass eine solche Überschätzung, wenn überhaupt vorhanden, eher gering ausfallen dürfte.

²⁰⁷ Econcept, Nateco (2004), Externe Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft, S. 80.

²⁰⁸ Econcept, Nateco (2004), Externe Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft, S. 81.

²⁰⁹ Eidgenössische Finanzkontrolle (2007a), Objektblätter – Geprüfte Wildtierpassagen, S. 20ff.

8.7 Vergleich mit den bisherigen Ergebnissen für das Jahr 2000

Wie die folgende Tabelle und Grafik zeigen, sind die **gesamten externen Kosten** des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft in der Aufdatierungsperiode mit 4.2% **leicht gestiegen**. Die Zunahme fiel beim Schienenverkehr mit 6.9% stärker aus als beim Strassenverkehr (3.8%). Dieser Unterschied rührt daher, dass mit Bahn 2000 beim Schienenverkehr eine relativ grössere Infrastrukturerweiterung vorgenommen wurde als beim Strassenverkehr. In absoluten Zahlen fällt die Zunahme beim Strassenverkehr aufgrund der höheren Ausgangsbasis aber dennoch stärker ins Gewicht.

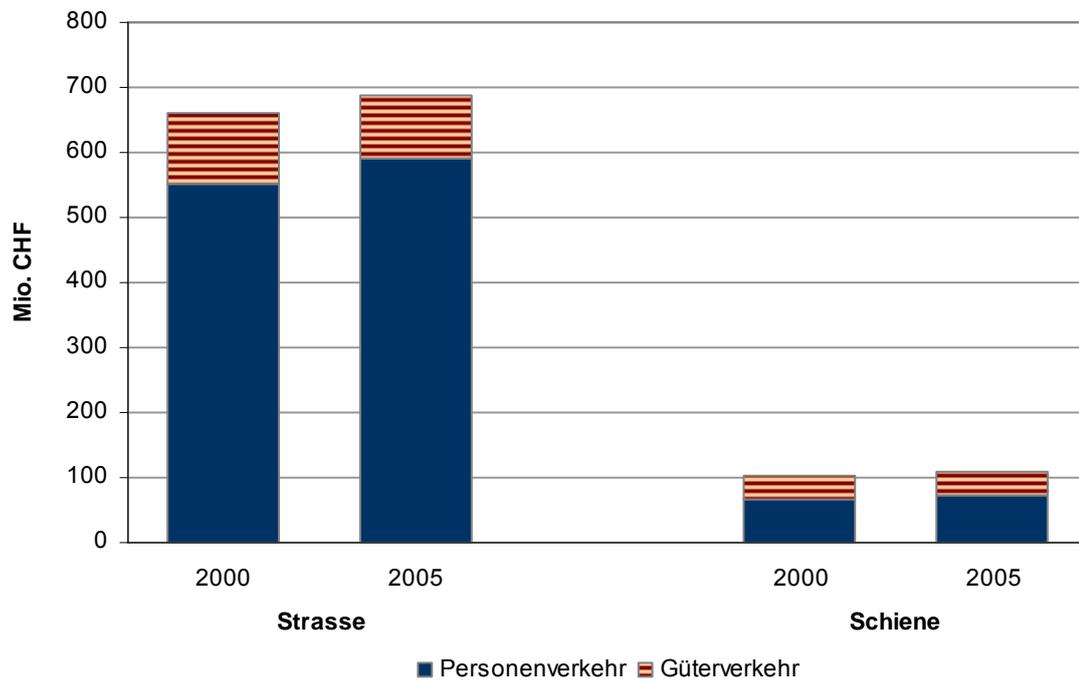
Aufgrund der **veränderten gewichteten Fahrleistungen** ergibt sich trotz den für die Strasse insgesamt gestiegenen Kosten eine Verringerung der dem Strassengüterverkehr anzulastenden externen Kosten im Bereich Natur und Landschaft. Dies liegt u.a. auch in der revidierten Güterverkehrsstatistik bei den Schwere Nutzfahrzeugen (SNF) begründet. Dort wurden aufgrund der Auswertungen aus der LSVA-Datenbank die Fahr- und Verkehrsleistungen des Güterverkehrs deutlich (auch rückwirkend) nach unten korrigiert. Auch der gewichtete Anteil des Schienengüterverkehrs am Gesamtverkehr auf der Schiene war 2005 gegenüber 2000 leicht rückläufig, es ergibt sich jedoch trotzdem noch ein leichter Anstieg der Kosten. Der **Personenverkehr** trägt aufgrund der überproportional gestiegenen gewichteten Fahrleistungen sowohl bei Strasse und Schiene einen **höheren Anteil des Zuwachses der externen Kosten** im Bereich Natur und Landschaft.

Es ist zu betonen, dass der im Folgenden dargestellte Vergleich eigentlich nicht ganz „korrekt“ ist, denn es werden Preise im Jahr 2000 mit Preisen im Jahr 2005 verglichen, d.h. selbst wenn die Kosten real exakt konstant bleiben würden, wäre aufgrund der Inflation eine Zunahme zu verzeichnen.

Tabelle 8-10: Vergleich der Berechnungen für die Jahre 2000 und 2005: Natur und Landschaft

2000	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	552.1	109.9	662.0	86.5%
Schienenverkehr	67.0	36.1	103.0	13.5%
Total	619.1	145.9	765.0	100.0%
in % des Totals	80.9%	19.1%	100.0%	
2005	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	591.7	95.4	687.1	86.2%
Schienenverkehr	72.9	37.2	110.1	13.8%
Total	664.6	132.6	797.2	100.0%
in % des Totals	83.4%	16.6%	100.0%	
Veränderung in %	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	
Strassenverkehr	7.2%	-13.2%	3.8%	
Schienenverkehr	8.9%	3.1%	6.9%	
Total	7.4%	-9.2%	4.2%	

Grafik 8-5: Vergleich der Berechnungen für die Jahre 2000 und 2005: Natur und Landschaft



9 Weitere externe Kosten

Die im Bereich der 'Weiteren Externen Kosten' zusammengefassten Kategorien externer Verkehrskosten wurden im Jahr 2006 (siehe Infrac 2006) erstmals für die Schweiz für das Basisjahr 2000 quantifiziert. In den folgenden Abschnitten werden nun die Kosten der wichtigsten Kostenkategorien auf das Basisjahr 2005 aufdatiert. Der Fokus liegt hierbei auf den Kostenkategorien, die in der vorhergehenden Studie (Infrac 2006) höhere Kosten als 50 Mio. CHF aufweisen.²¹⁰ Es handelt sich dabei um die folgenden Kostenbereiche:

- Ernteauffälle
- Waldschäden
- Schäden am Boden
- Zusatzkosten in städtischen Räumen
- Kosten vor- und nachgelagerter Prozesse

Für alle Kostenkategorien wurden die relevanten Mengen- und Wertgerüste auf das Jahr 2005 aufdatiert sowie nach Bedarf methodische Anpassungen vorgenommen.

9.1 Ernteauffälle

9.1.1 Bewertungsmethodik

Luftschadstoffe aus dem Verkehr können unterschiedliche negative Wirkungen auf Nutzpflanzen haben. Besonders ausgeprägt und gut untersucht sind die Schädigungen, welche bodennahes Ozon (O_3) bei Nutzpflanzen hervorruft.²¹¹ Die Schädigung von Ozon auf Pflanzen ist – im Unterschied zu den meisten anderen Luftschadstoffen – sehr direkt und überdies gut quantifizierbar. Ozon ist ein starkes Oxidationsmittel, das in den Pflanzen zu Membranschäden führen kann. Diese Membranschäden hemmen Photosynthese und Transpiration der Pflanze und führen zu einer Reihe von Folgeschäden (u.a. beschleunigte Blattalterung, erhöhte Krankheitsanfälligkeit, Vitalitätsverlust). Insgesamt führt dies bei vielen Pflanzenarten zu einem verminderten Wachstum (Fuhrer 2001, Fuhrer 2002, Fuhrer 2004, Fuhrer et al. 1997, Holland et al. 2002). Infrac (2006) gibt einen detaillierten Überblick zu den Wirkungen von Luftschadstoffen (insbesondere Ozon) auf Nutzpflanzen.

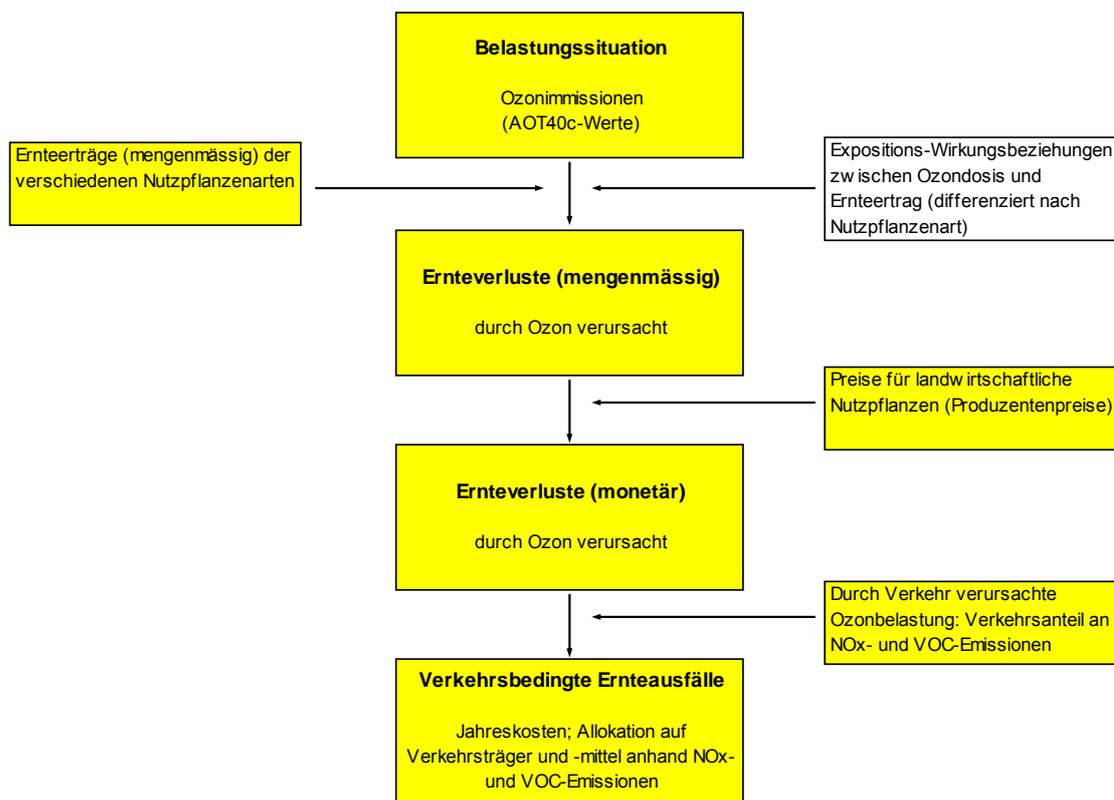
Die durch den Verkehr verursachten Kosten durch Ernteauffälle in der Landwirtschaft werden mit Hilfe von bestehenden Expositions-Wirkungsbeziehungen berechnet. Dazu wird auf

²¹⁰ Nicht Gegenstand der Aufdatierung sind folgende Kostenkategorien aus Infrac (2006): Schäden für Gewässer, Erschütterungen, Zusätzliche Umweltkosten in sensiblen Räumen (Alpenraum).

²¹¹ Zur Bildung von bodennahem Ozon tragen unter anderem Emissionen von Stickoxiden (NO_x) und flüchtigen Kohlenwasserstoffen (VOC) bei. Der Verkehr trägt insbesondere einen grossen Anteil an den Stickoxidemissionen.

Grundlage der Ozonbelastung (AOT40²¹² einer Vegetationsperiode) sowie aus wissenschaftlichen Studien bekannten Beziehungen zwischen Ozondosis und Ernteertrag der prozentuale Rückgang der Ernteerträge der verschiedenen Nutzpflanzenarten berechnet. Werden die aktuellen Ernteerträge der entsprechenden Kulturpflanzen mit berücksichtigt, können die mengenmässigen Ernteverluste berechnet werden, die durch das Ozon verursacht worden sind. Diese mengenmässigen Ernteverluste werden monetarisiert, indem die Mengen mit den Preisen (Produzenten- bzw. Faktorpreise) der entsprechenden Nutzpflanzen multipliziert werden. Um schliesslich den Verkehrsanteil dieser durch das Ozon verursachten Ernteverluste zu bestimmen, muss entsprechend der Beitrag des Verkehrs zur Ozonbelastung bekannt sein. Für eine solche Abschätzung wird der Verkehrsanteil an den Emissionen der Ozon-Vorläufersubstanzen NO_x und VOC zu Hilfe genommen. Die folgende Grafik zeigt das detaillierte Vorgehen bei der Berechnung der Kosten durch Ernteaufälle. Die Methodik ist identisch wie in Infrac (2006).

Grafik 9-1: Methodik zur Berechnung der Ernteaufälle (Aktualisierungen hervorgehoben)



²¹² Der AOT40 ist ein Index, der die Summe aller 1-Stunden-Ozonkonzentrationen über 40 ppb während einer gewissen Periode darstellt. Berücksichtigt werden nur die Tagesstunden mit einer Strahlung von über 50 W/m². Einheit: ppm*h oder ppb*h. (AOT: accumulated exposure over threshold).

Weitere, nicht berücksichtigte Kostenbestandteile

- Einfluss des Ozons auf Weiden und Grasland: Mindererträge bei Milch- und Fleischproduktion.
- Direkter Einfluss der Stickstoffemissionen auf die Nutzpflanzen.
- Einfluss der Bodenversauerung auf die Nutzpflanzen.

Eine detaillierte Begründung, weshalb diese Kostenbestandteile in der vorliegenden Berechnung nicht berücksichtigt werden, wird in Infrac (2006) gegeben.

9.1.2 Neue Erkenntnisse aus der nationalen und internationalen Forschung

Der Kostenbereich Ernteauffälle durch Luftverschmutzung wird bei internationalen Studien zu externen Kosten nur selten abgedeckt. Seit der erstmaligen Quantifizierung der verkehrsbedingten Ernteauffälle in der Schweiz (Infrac 2006) gab es keine grundlegend neuen Erkenntnisse oder neuen Berechnungsmethoden für diesen Kostenbereich. Die Berechnung der Kosten durch Ernteauffälle gemäss der oben beschriebenen Methodik wurde seither jedoch auch bei internationalen Studien z.B. zur Berechnung der externen Verkehrskosten des Baskenlands (Leber/Infrac 2006) angewandt. Die Quantifizierung von Ernteauffällen durch Ozon wurde auch im europäischen Forschungsprojekt HEATCO (Bickel et al. 2006) thematisiert. Die dort vorgeschlagene Methodik deckt sich praktisch mit dem oben beschriebenen Vorgehen, das in der vorliegenden Studie angewandt wird.

9.1.3 Mengengerüst

a) Ozonbelastung

Als Grundlage für die Ozonbelastung werden Ozonimmissionsmesswerte aus dem nationalen Messprogramm NABEL (Nationales Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe) verwendet. Entscheidend ist dabei der so genannte AOT40c-Wert, das heisst der AOT-Wert für landwirtschaftliche Nutzpflanzen (crop). Da die Ozonimmissionen der einzelnen Jahre zum Teil stark variieren, wird ein Durchschnittswert der Jahre 2001 bis 2005 verwendet (wobei das Jahr 2005 in etwa durchschnittliche Immissionswerte aufwies). Entscheidend sind die Immissionen in ländlichen, verkehrsfernen Gebieten in tieferen Höhenlagen (d.h. dort wo Landwirtschaft betrieben wird). Von den 14 NABEL-Messstationen der Alpennordseite erfüllen Tänikon (TG) und Payerne (VD) diese Vorgaben für Landwirtschaftsland am besten. Deshalb wird der Mittelwert dieser beiden Messstationen für die Berechnung verwendet. Für die Alpensüdseite (Tessin) werden die Messwerte der beiden Stationen Magadino und Lugano verwendet. Die folgende Tabelle zeigt die entsprechenden durchschnittlichen Ozonbelastungen (AOT40c).

Tabelle 9-1: Ozonimmissionen (AOT40c) an ausgewählten NABEL-Messstationen: Durchschnittswerte der Jahre 2001-2005

NABEL-Messstation	Ozonimmissionen: AOT40c (in ppm*h)
Alpennordseite	
Messstation Tänikon	12.71
Messstation Payerne	12.36
Durchschnitt Alpennordseite	12.53
Tessin	
Messstation Magadino	18.07
Messstation Lugano	21.22
Durchschnitt Tessin	19.64

Quelle: NABEL-Messwerte. Spezifische Datenbereitstellung durch das BAFU (Februar 2008). Die Daten beziehen sich auf eine Messhöhe von 4m über Boden. Für die Berechnung der Schadenswirkung auf Nutzpflanzen müssen die Werte noch auf die Pflanzenhöhe (in der Regel 0-1m) korrigiert werden, weil die Ozonimmissionen auf Pflanzenhöhe leicht tiefer sind. Für die Korrektur der Werte wird gemäss den Angaben im europäischen Mapping Manual vorgegangen (UNECE 2004, S. III-23). Der Korrekturwert von 4m auf 1m Höhe beträgt 0.92.

b) Expositions-Wirkungsbeziehung (Ozonbelastung → Ernteertrag Nutzpflanzen)

Gemäss Fuhrer (2001) und Holland et al. (2002) kann der Zusammenhang zwischen dem Ernteertrag von Nutzpflanzen und der Ozonkonzentration mit der folgenden Grundformel beschrieben werden:

$$\text{Relativer Ernteertrag (in \%)} = 100 + m * \text{AOT40c (in ppm*h)}$$

Die einzelnen Pflanzenarten unterscheiden sich einzig im Wert der Steigung (m). Der Ernterückgang bei einer bestimmten Ozonbelastung (AOT40c) wird relativ zum Ernteertrag einer Pflanze an einem unbelasteten Standort berechnet (Referenzwert). Ein unbelasteter Standort mit einer natürlichen Hintergrundbelastung an Ozon weist einen AOT40c-Wert von 0 ppm*h auf. Die folgende Tabelle zeigt die verwendeten Expositions-Wirkungsbeziehungen verschiedener Nutzpflanzenarten.

Tabelle 9-2: Daten zur Expositions-Wirkungsbeziehung zwischen Ozonbelastung und Ernteertrag bei verschiedenen Nutzpflanzen

Nutzpflanzenart	Prozentuale Reduktion des Ernteertrags pro zusätzlicher ppm*h Ozonbelastung (Steigung m)
Weizen	-1.1
Gerste	0.0, d.h. keine negative Beeinflussung des Wachstums durch Ozon
Hafer	0.0, d.h. keine negative Beeinflussung des Wachstums durch Ozon
Roggen	0.0, d.h. keine negative Beeinflussung des Wachstums durch Ozon
Körnermais	-0.36
Zuckerrüben	-0.58
Kartoffeln	-0.56
Raps	-0.55
Sonnenblumen	-1.2
Trauben	-0.30
Karotten	-0.92
Tomaten	-1.4
Frischgemüse allgemein	-0.95
Früchte	0.0, d.h. keine negative Beeinflussung des Wachstums durch Ozon

Die Werte m beziehen sich auf die Dosis-Wirkungsbeziehung: Relativer Ernteertrag (in %) = 100 – m*AOT40c (in ppm*h). Quelle für diese Werte: Infras (2006) basierend auf Holland et al. (2002), Fuhrer (2001).

c) Ernteerträge

Die folgende Tabelle zeigt die Ernteerträge für verschiedene Nutzpflanzen im Jahr 2005.

Tabelle 9-3: Ernteerträge für verschiedene Nutzpflanzen 2005

Nutzpflanzenart	Ernteerträge 2005 (in Tonnen)
Weizen (Weichweizen)	521'400
Körnermais	198'900
Zuckerrüben	1'409'400
Kartoffeln	485'000
Raps	56'200
Sonnenblumen	15'000
Trauben	131'920
Karotten	55'924
Tomaten	32'035
Restliches Frischgemüse (ohne Karotten und Tomaten)	75'426

Quellen: Schweizerischer Bauernverband: Statistische Erhebungen und Schätzungen über Landwirtschaft und Ernährung 2006 (SBV 2007), Bundesamt für Landwirtschaft: Agrarbericht 2006 (BLW 2006). Alle Daten für das Jahr 2005.

d) Verkehrsanteil an der Ozonbelastung bzw. an NO_x- und VOC-Emissionen

Für die Bestimmung des Verkehrsanteils an der Ozonbelastung sind die Emissionen der Ozonvorläufersubstanzen NO_x und VOC relevant. In ländlichen Gebieten gilt die Ozonbildung als NO_x-limitiert (BUWAL 1996, Infras 2006). Deshalb wird in dieser Studie das Stickoxid (NO_x) als Leitschadstoff für die Allokation des Verkehrsanteils an den Ernteaufschlägen verwendet. Der Anteil des Strassen- und Schienenverkehrs an der Ozonbelastung beträgt 49.5% (= Verkehrsanteil der NO_x-Emissionen).²¹³

9.1.4 Wertgerüst

Produzentenpreise von Nutzpflanzen in der Schweiz

Die Tabelle 9-4 zeigt die Produzentenpreise für verschiedene Nutzpflanzen im Jahr 2005.

Tabelle 9-4: Produzentenpreise für verschiedene Nutzpflanzen 2005

Nutzpflanzenart	Produzentenpreise 2005 (in CHF/100 kg)
Weizen (Weichweizen)	52.42
Körnermais	42.23
Zuckerrüben	11.77
Kartoffeln	34.30
Raps	76.83
Sonnenblumen	82.0
Trauben	250
Karotten	138
Tomaten	234
Restliches Frischgemüse (ohne Karotten und Tomaten)	250

Quellen: Schweizerischer Bauernverband: Bundesamt für Landwirtschaft: Agrarbericht 2006 (BLW 2006). Alle Daten für das Jahr 2005.

9.1.5 Ergebnisse

a) Gesamtverkehr

Die folgende Tabelle zeigt die Kosten infolge Ernteaufschläge durch Ozonbelastung. Insgesamt betragen im Jahr 2005 die Ernteverluste durch Ozon 131 Mio. CHF. Knapp die Hälfte davon (ca. 65 Mio. CHF) sind durch den Verkehr verursacht. Der Strassenverkehr ist für 97% dieser

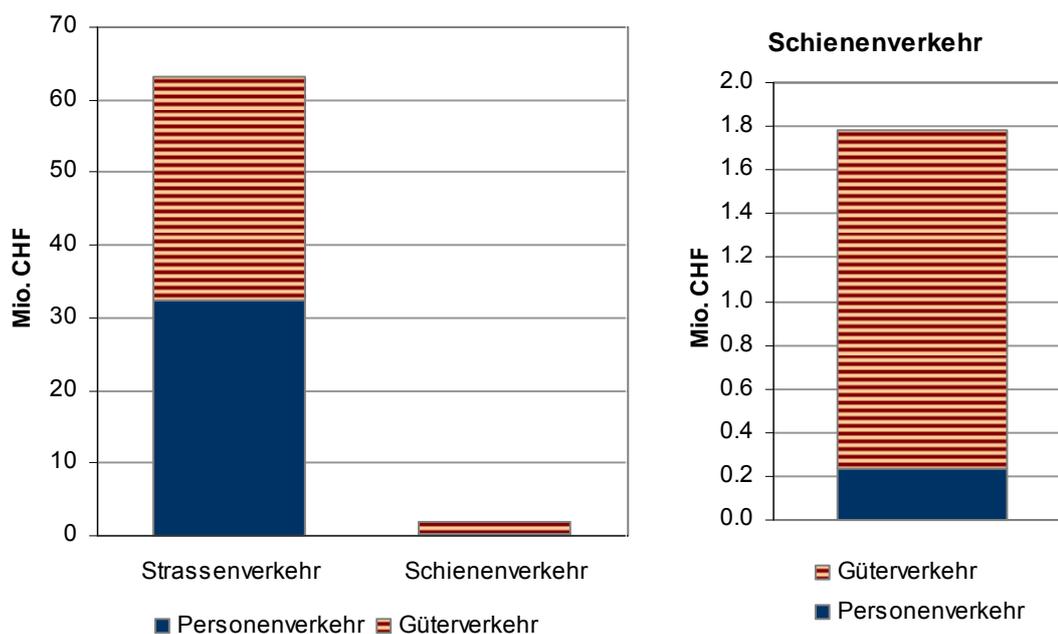
²¹³ Zur Herleitung dieses Werts: Im Jahr 2005 betragen die NO_x-Emissionen des Strassenverkehrs in der Schweiz 41'260 t (Quelle: BUWAL 2004, aufdatiert), jene des Schienenverkehrs 1'163 t (Quelle: FOEN (Federal Office for the Environment) / BAFU 2008). Die gesamten anthropogenen NO_x-Emissionen in der Schweiz betragen im Jahr 2005 85'780 t. Damit beträgt der relative Anteil des Strassen- und Schienenverkehrs in der Summe 49.5%.

Kosten verantwortlich, der Schienenverkehr für die restlichen 3%. Im Strassenverkehr sind die Kosten etwa gleichmässig auf Personen- und Güterverkehr verteilt.

Tabelle 9-5: Verkehrsbedingte Kosten durch Ernteauffälle 2005, Strassen- und Schienenverkehr (in Mio. CHF)

	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	32.5	30.6	63.1	97.3%
Schienenverkehr	0.2	1.5	1.8	2.7%
Total Verkehr	32.8	32.1	64.9	100.0%
in % des Totals	50.5%	49.5%	100.0%	
Gesamte Ernteauffälle			131.2	

Grafik 9-2: Verkehrsbedingte Kosten durch Ernteauffälle 2005, Strassen- und Schienenverkehr (in Mio. CHF)



b) Aufteilung der Kosten auf die verschiedenen Nutzpflanzenarten

Die Tabelle 9-6 zeigt den Anteil der verschiedenen Nutzpflanzenarten an den verkehrsbedingten Ernteauffällen.

Tabelle 9-6: Verkehrsbedingte Kosten durch Ernteauffälle 2005, Anteil der verschiedenen Nutzpflanzenarten

Nutzpflanzenart	Anteil an Kosten durch Ernteauffälle
Weizen (Weichweizen)	30.1%
Körnermais	2.8%
Zuckerrüben	9.0%
Kartoffeln	8.7%
Raps	2.2%
Sonnenblumen	1.5%
Trauben	9.3%
Karotten	7.1%
Tomaten	11.2%
Restliches Frischgemüse	18.0%

c) Aufteilung der Kosten auf die Fahrzeugkategorien

Die folgenden beiden Tabellen sowie die anschliessende Grafik zeigen den Kostenanteil der einzelnen Fahrzeugkategorien. Basis für die Allokation der Kosten auf die einzelnen Fahrzeugkategorien bilden die NO_x-Emissionen.

Tabelle 9-7: Aufteilung der Kosten durch Ernteauffälle 2005 auf die Fahrzeugkategorien: Strassenverkehr

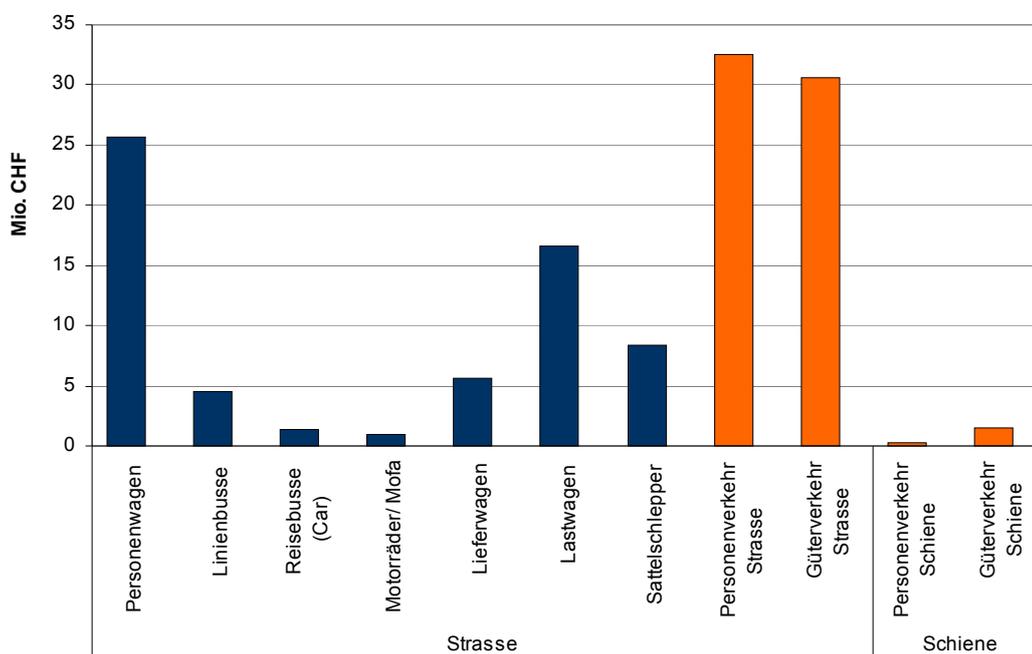
	Personenverkehr					Güterverkehr				Total
	PW	Bus	Car	MZ	Total	Li	LW	SS	Total	
Emissionen in t NO _x	16'751	2'936	930	643	21'259	3'662	10'859	5'480	20'002	41'260
Emissionsanteil	40.6%	7.1%	2.3%	1.6%	51.5%	8.9%	26.3%	13.3%	47.1%	100.0%
Ernteauffälle, in Mio. CHF	25.6	4.5	1.4	1.0	32.5	5.6	16.6	8.4	30.6	63.1

PW = Personenwagen, Bus = öffentliche Linienbusse, Car = Privatcars/Reisebusse, MZ = Motorisierte Zweiräder (Motorrad und Motorfahrrad), Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper. Quelle für Emissionen: BUWAL (2004), Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs; Werte angepasst mit aktuellen Fahrleistungsdaten des Jahres 2005.

Tabelle 9-8: Aufteilung der Kosten durch Ernteauffälle 2005 auf die Fahrzeugkategorien: Schienenverkehr

	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
Emissionen in t NO _x	152	1'010	1'163
Emissionsanteil	13.1%	86.9%	100%
Ernteauffälle, in Mio. CHF	0.23	1.55	1.78

Quelle für Emissionen: FOEN (2008).

Grafik 9-3: Aufteilung der Kosten durch Ernteauffälle 2005 auf die Fahrzeugkategorien

9.1.6 Bandbreiten

a) Zusammenfassung der Annahmen und Bandbreiten

Die Grundlagen für die Berechnung der verkehrsbedingten Kosten durch Ernteauffälle sind mit gewissen Unsicherheiten verbunden. Einige Inputgrössen basieren auf sehr robusten Daten, d.h. die Unsicherheit ist praktisch null. Bei anderen Inputgrössen dagegen gibt es grössere Unsicherheiten. Die folgende Tabelle zeigt für alle relevanten Inputgrössen den Wissensstand bzw. die Grösse der Unsicherheit. Zudem ist dargestellt, innerhalb welcher Bandbreite die jeweiligen Inputparameter variieren.

Im Rahmen einer Monte-Carlo-Simulation wurden alle mit Unsicherheit behafteten Inputgrössen variiert. Bei den Ernteauffällen wurde für alle Inputgrössen eine Standardnormalverteilung angenommen, bei denen die in der Tabelle 9-9 dargestellten Bandbreiten das 95%-Vertrauensintervall darstellen.

Tabelle 9-9: Übersicht über Inputdaten, Annahmen und Bandbreiten bei den Kosten durch Ernteauffälle

Bereich / Inputgrösse	Wissenstand	Vorgehen	Bandbreite
Belastungssituation Ozonimmissionen	Messungen mit geringen Unsicherheiten	best guess	± 5%
Effekte / Schäden Expositions-Wirkungsbeziehung Ozon > Ernteauffälle Ernteerträge landw. Nutzpflanzen	Wissen mit Unsicherheiten Gesichertes Wissen	best guess Statistik/ Datenauswertung	± 25%
Wertgerüst Produzentenpreise landw. Nutzpflanzen	Gesichertes Wissen mit Schwankungen	Datenauswertung Jahresschwankungen	± 5%
Verkehrsanteil Verkehrsbedingter Anteil an NOx-Emissionen	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 5%

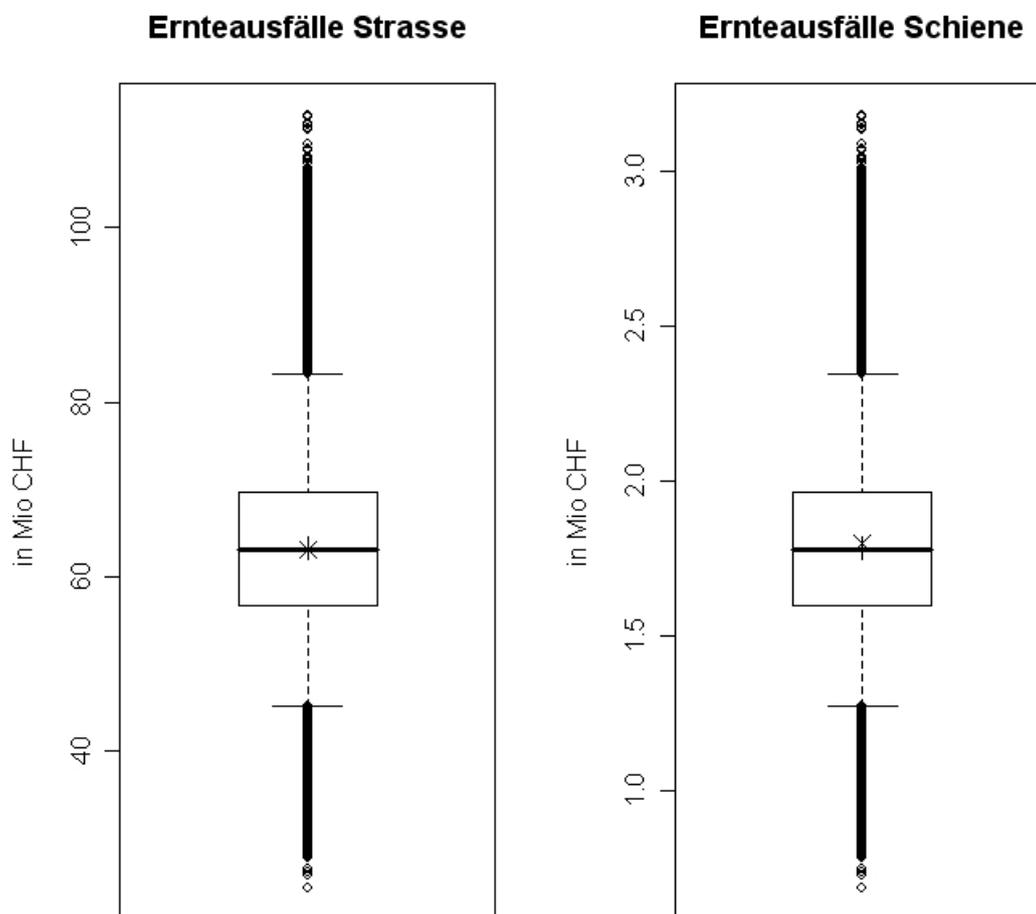
b) Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation

Die Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation sind in der Tabelle 9-10 dargestellt. Demnach liegt das 95%-Konfidenzintervall der Kosten durch Ernteauffälle beim Strassenverkehr zwischen 45 und 83 Mio. CHF, beim Schienenverkehr zwischen 1.3 und 2.3 Mio. CHF. Die untenstehende Grafik visualisiert die Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation.

Tabelle 9-10: Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation für die Kosten durch Ernteauffälle in Mio. CHF

	Basisrechnung	95%-Konfidenzintervall	95%-Konfidenzintervall
Strasse	63	45 - 83	-29% - 32%
Schiene	1.8	1.3 - 2.3	-29% - 32%
Total Strasse+Schiene	65	46 - 86	-29% - 32%

Grafik 9-4: Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation für die Kosten durch Ernteauffälle



Erläuterung: Die Begrenzung der rechteckigen Box entspricht dem 25%- bzw. 75%-Quantil, d.h. 50% aller Simulationen liegen innerhalb der Box. Der Strich in der Box ist der Median (=50%-Quantil), das „+“-Zeichen der Mittelwert und das „x“-Zeichen das Ergebnis aus der Basisrechnung. Der untere bzw. obere Querstrich nach der gestrichelten Linie („Whisker“) ist das 2.5%- bzw. 97.5%-Quantil, so dass 95% innerhalb dieser Werte liegen. Die Kreise ausserhalb dieser Querstriche zeigen Ausreisser (da eine Million Simulationen durchgeführt wurden, gibt es relativ viele Ausreisser).

c) Zusätzliche Unterschätzungen

Wie in Kapitel 9.1.1 erwähnt, wird der Einfluss des Ozons auf Weiden und Grasland (Mindererträge bei Milch- und Fleischproduktion), der direkte Einfluss der Stickstoffemissionen auf die Nutzpflanzen und der Einfluss der Bodenversauerung auf die Nutzpflanzen in dieser Studie nicht berücksichtigt. Die ausgewiesenen Zahlen unterschätzen folglich die Ernteauffälle.

9.1.7 Vergleich mit den bisherigen Ergebnissen für das Jahr 2000

In der folgenden Tabelle und Grafik werden die Ergebnisse mit den bisherigen Berechnungen für das Jahr 2000 verglichen.²¹⁴ Insgesamt sind die Kosten infolge verkehrsbedingter Ernteauffälle zwischen 2000 und 2005 um 12.5% zurückgegangen. Die Entwicklung verlief jedoch beim Strassen- und Schienenverkehr unterschiedlich: Während die durch den Strassenverkehr verursachten Kosten durch Ernteauffälle um 14% abgenommen haben, haben sich die Kosten beim Schienenverkehr mehr als verdreifacht.

Tabelle 9-11: Vergleich der Berechnungen für die Jahre 2000 und 2005: Kosten durch Ernteauffälle

2000	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	37.7	36.0	73.7	99.3%
Schienenverkehr	0.1	0.4	0.5	0.7%
Total	37.8	36.4	74.2	100.0%
in % des Totals	51.0%	49.0%	100.0%	
2005	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	32.5	30.6	63.1	97.3%
Schienenverkehr	0.2	1.5	1.8	2.7%
Total	32.8	32.1	64.9	100.0%
in % des Totals	50.5%	49.5%	100.0%	
Veränderung in %	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	
Strassenverkehr	-13.7%	-14.9%	-14.3%	
Schienenverkehr	86.1%	266.5%	225.2%	
Total	-13.4%	-11.6%	-12.5%	

Folgende Gründe sind für die Veränderung der Kosten durch Ernteauffälle verantwortlich:

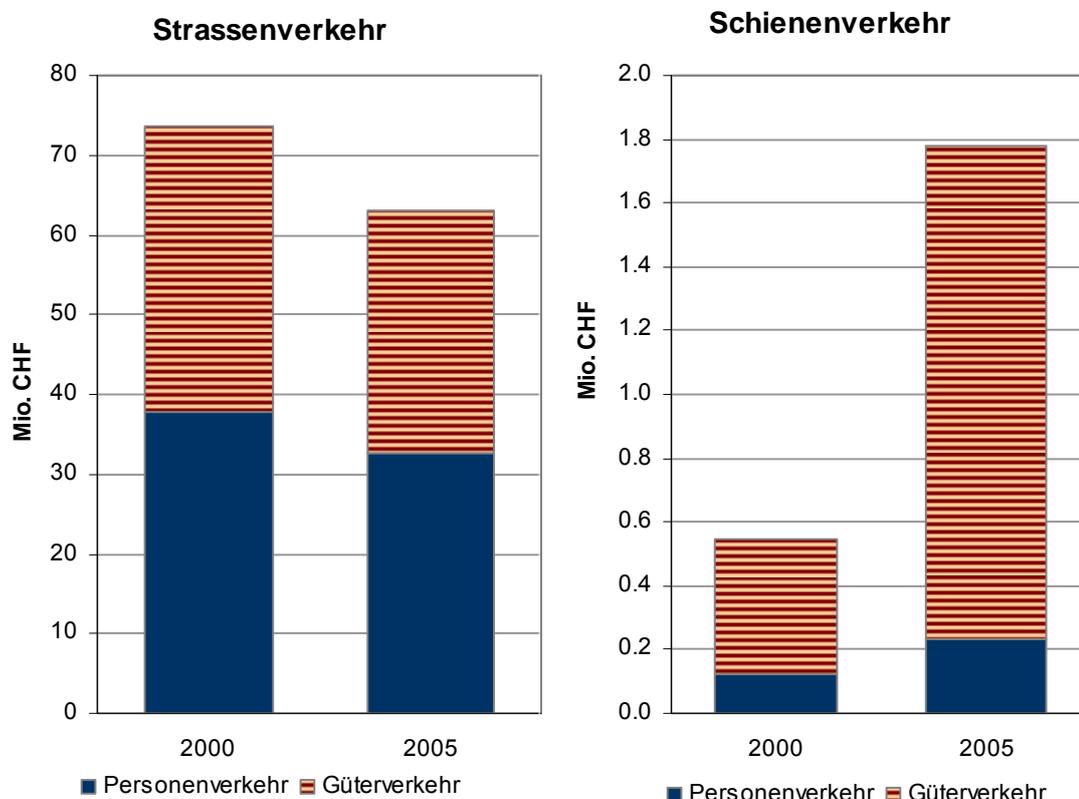
- Die Ozonimmissionen haben leicht zugenommen (Alpennordseite +5%, Tessin +3%).
- Bei den Ertragsmengen sowie den Produzentenpreisen war die Entwicklung je nach Pflanzensorte unterschiedlich. Beim Weizen, der im Jahr 2005 für 30% der Kosten verantwortlich ist, haben die Ertragsmengen von 2000 bis 2005 um 7% abgenommen und der Produzentenpreis ist gar um 21% gefallen. Ebenfalls zurückgegangen sind die Ernterträge sowie die Preise bei den Kartoffeln, beim Körnermais sowie den Trauben. Bei den Zuckerrüben blieben Erträge und Preise praktisch gleich hoch. Deutlich zugenommen haben die Ertragsmengen und Produzentenpreise dagegen bei Raps und Sonnenblumen. Beim Gemüse sind die Ernterträge um knapp 8% gestiegen. Die Preise stiegen bei den

²¹⁴ Beim vorgenommenen Vergleich gilt es zu berücksichtigen, dass die Angaben für das Jahr 2000 nicht auf das Preisniveau 2005 angepasst werden, so dass die ausgewiesene Kostenzunahme bei einer realen bzw. preisbereinigten Betrachtung etwas kleiner wäre.

Tomaten um 9%, bei den Karotten um 20% und beim restlichen Frischgemüse sogar um 25%. Insgesamt lagen die Ernteerträge (in CHF) der hier massgebenden Nutzpflanzenarten im Jahr 2005 fast 10% tiefer als fünf Jahre zuvor.

- Die gesamten Kosten durch Ernteauffälle infolge der Ozonbelastung haben zwischen 2000 (134 Mio. CHF) und 2005 (131 Mio. CHF) minim abgenommen (-2%). Die beiden oben beschriebenen Effekte hielten sich also in etwa die Waage. Eine deutliche Veränderung gab es dagegen bei den verkehrsbedingten NO_x-Emissionen: Der Anteil des Verkehrs an den gesamten NO_x-Emissionen ging von 55.4% im Jahr 2000 auf 49.5% im Jahr 2005 zurück. In absoluten Zahlen sanken die NO_x-Emissionen des Verkehrs um 24%, während die restlichen NO_x-Emissionen im gleichen Zeitraum lediglich um 3% abgenommen haben. Der Rückgang der verkehrsbedingten Kosten durch Ernteauffälle von 12.5% ist also hauptsächlich auf die Reduktion des Verkehrsanteils an den gesamten NO_x-Emissionen zurückzuführen.
- Für den **Strassenverkehr** gelten obige Aussagen ebenfalls: Die NO_x-Emissionen sind zwischen 2000 und 2005 um 25% zurückgegangen, d.h. der Anteil an den gesamten NO_x-Emissionen ging von 55% auf 48% zurück. Diese Veränderung erklärt den Rückgang der Kosten des Strassenverkehrs von 14%.

Grafik 9-5: Vergleich der Berechnungen für die Jahre 2000 und 2005: Kosten durch Ernteauffälle



- Die deutliche Zunahme der Kosten durch Ernteauffälle beim **Schieneverkehr** (von 0.5 Mio. CHF auf 1.8 Mio. CHF) ist vollständig auf die Veränderung der NO_x-Emissionen zurückzuführen. Diese betragen gemäss aktuellster Submission des Treibhausgasinventars 2005 1'163 Tonnen (= 1.4% der gesamten NO_x-Emissionen) (FOEN 2008). Bei der Studie für die Berechnung der Werte des Jahres 2000 lagen die NO_x-Emissionen mit 410 t noch massiv tiefer (= 0.4% der gesamten NO_x-Emissionen). Diese Veränderung der NO_x-Emissionen des Schienenverkehrs ist allerdings nicht direkt auf eine Zunahme der Fahrleistung der Diesellokomotiven zurückzuführen, sondern auf ganz neue Berechnungsgrundlagen (Infras 2007). Das aktuellste Treibhausgasinventar (FOEN / BAFU 2008) sowie das EMEP-Inventar (EMEP 2008) basieren bereits auf diese neuen Berechnungsgrundlagen. Diese aktualisierte Berechnungsmethodik hat zur Folge, dass beim Schienenverkehr die NO_x-Emissionen höher liegen als bei der früheren Methodik (Details siehe Annex D). Gemäss dem aktuellsten Treibhausgasinventar betragen die NO_x-Emissionen des Schienenverkehrs im Jahr 2000 1'292 Tonnen (FOEN 2008). Demnach sind die NO_x-Emissionen zwischen 2000 und 2005 effektiv sogar leicht gesunken (-10%). Die Zunahme der Kosten durch Ernteauffälle beim Schienenverkehr ist folglich allein auf diese neue Berechnungsmethodik der NO_x-Emissionen zurückzuführen.
- Wenn man die externen Kosten des Schienenverkehrs für das Jahr 2000 auf der Basis der aktuellsten Emissionsdaten berechnet, erhält man Gesamtkosten von 1.72 Mio. CHF. Die Kostensteigerung zwischen 2000 und 2005 betrug also beim Schienenverkehr – wenn man die methodische Änderung bei der Emissionsberechnung korrigiert – effektiv nur 3%, und nicht 225% wie es die Tabelle 9-11 suggeriert.

9.2 Waldschäden

9.2.1 Bewertungsmethodik

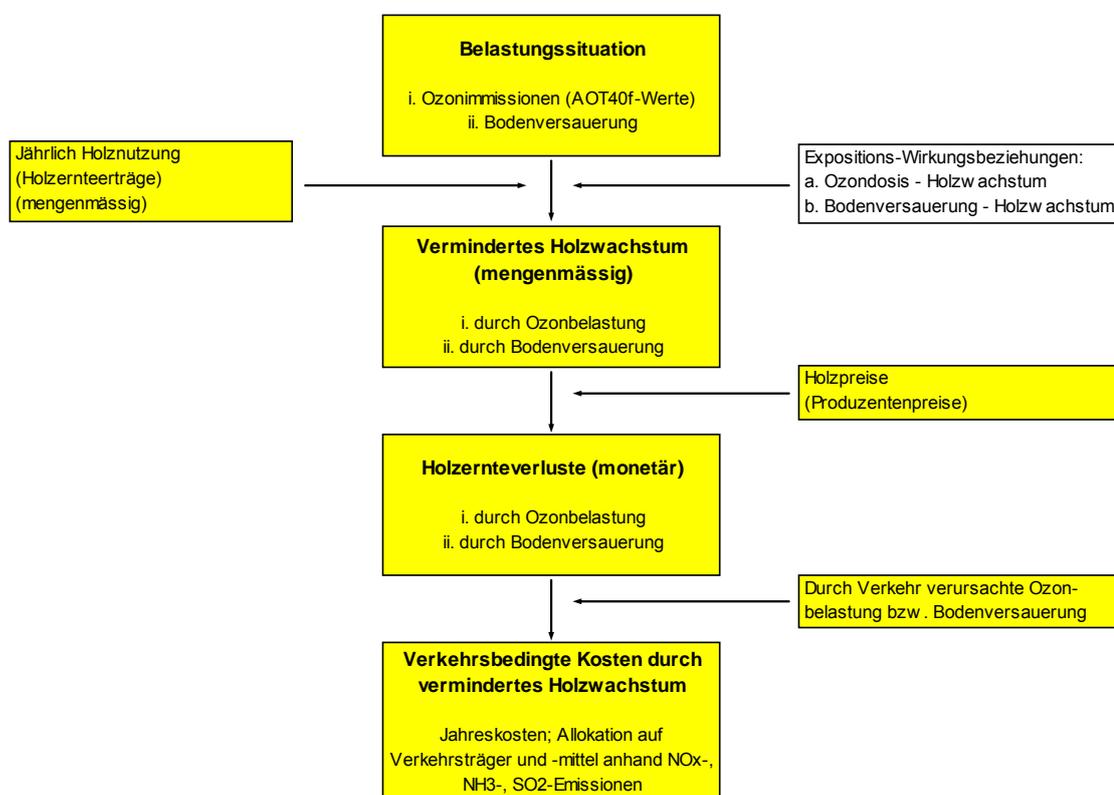
Anthropogen verursachte Luftschadstoffemissionen können in der Biosphäre zu unterschiedlichen Schäden führen. In diesem Kapitel stehen die durch Luftverschmutzung verursachten Waldschäden im Zentrum. Luftschadstoffe aus dem Verkehr können den Wald auf verschiedene Arten schädigen. Negative Effekte auf den Wald können beispielsweise übermässiger Stickstoffeintrag, Bodenversauerung sowie Ozonbelastung haben. Die Folgen für den Wald sind divers. Unter anderem können die erwähnten Effekte zu einem veränderten Wachstum von Stamm, Trieben oder Wurzeln sowie zu einem gestörten Nährstoffhaushalt führen. Insgesamt sind die Luftschadstoffe für den Wald ein zusätzlicher Stressfaktor. Sekundäre Folgen der anthropogenen Luftschadstoffe sind beispielsweise verminderte Standfestigkeit der Bäume (kann zu erhöhtem Windwurfisiko führen), Kronenverlichtungen, vermindertes Stammwachstum sowie erhöhte Anfälligkeit auf Schädlinge. Detaillierte, quantifizierbare Zusammenhänge zwischen Ursache und Wirkungen sind heute aber erst teilweise bekannt. Eine Schwierigkeit liegt darin, dass das hoch komplexe Ökosystem Wald nebst menschlichen Einflüssen auch von einer Vielzahl anderer äusserer Faktoren (z.B. Klima, natürliche Bodenbeschaffenheit, etc.) beeinflusst wird.

Für eine Reihe der erwähnten Einflüsse von Luftschadstoffen auf den Wald sind keine quantitativen Aussagen möglich (da Dosis-Wirkungszusammenhänge nicht bekannt oder nicht quantifizierbar) oder aber die Einflüsse sind zu gering. Für die folgenden zwei Schadensbereiche lassen sich quantitative Aussagen machen. Beide Bereiche betreffen Schadenskosten für die Forstwirtschaft:

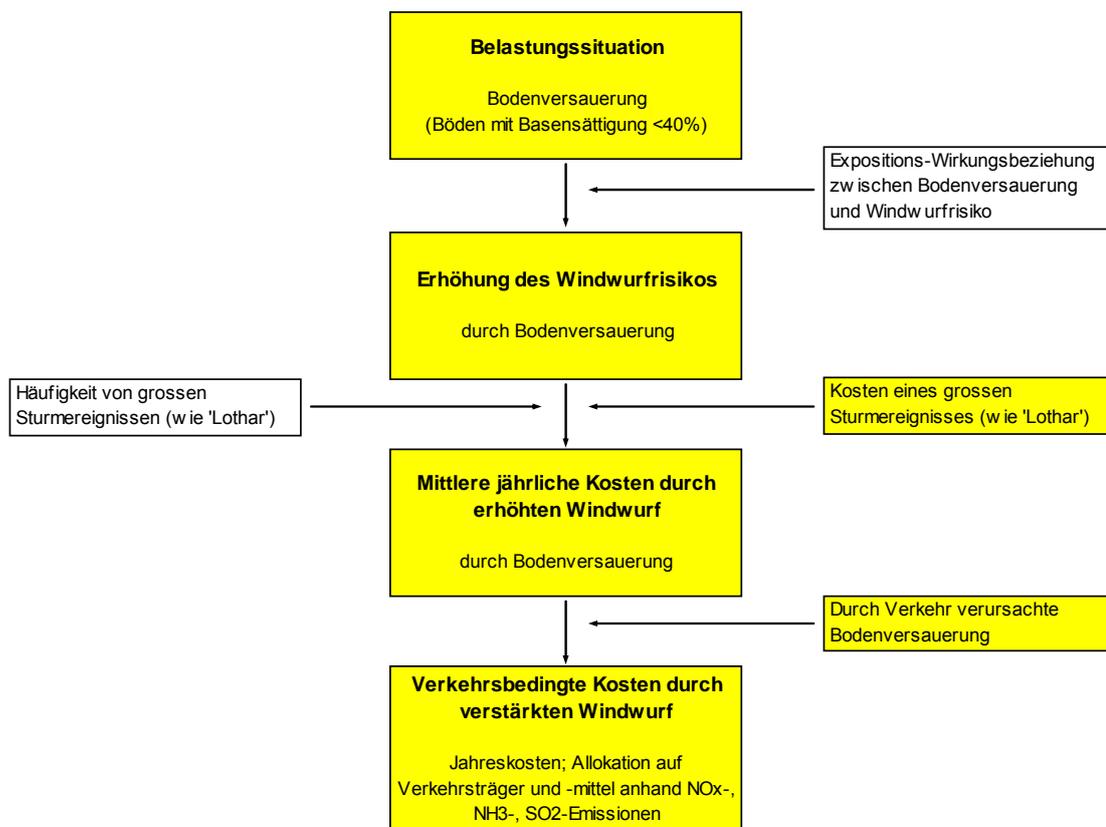
- a. Aufgrund von reduziertem Holzwachstum (infolge der Ozonbelastung sowie der Bodenversauerung) sinkt der Holzertrag. Dies kann in der Forstwirtschaft zu Ertragsausfällen führen.
- b. Aufgrund des erhöhten Windwurftrisikos und den damit verbundenen häufigeren Sturmschäden fallen für die Forstwirtschaft Zusatzkosten für die Räumung und Wiederaufforstung sowie Mindererträge bei der Holzverwertung an. Die infolge Luftverunreinigungen gesunkene Stabilität unserer Wälder führt nicht nur zu einem Zusatzaufwand infolge zunehmender Sturmschäden sondern erhöht ganz allgemein den Aufwand für Forstschutz-, Verjüngungs- und Waldpflegemassnahmen.

Die folgenden beiden Grafiken zeigen das detaillierte Vorgehen bei der Berechnung der beiden Kostenaspekte der Waldschäden: a. Kosten durch vermindertes Holzwachstum, b. Kosten durch verstärkten Windwurf. Beide Kostenkategorien werden mittels Schadenskostenansatz berechnet. Die Methodik ist identisch wie in Infrac (2006).

**Grafik 9-6: Methodik zur Berechnung der Waldschäden:
a. Kosten durch vermindertes Holzwachstum**



**Grafik 9-7: Methodik zur Berechnung der Waldschäden:
b. Kosten durch verstärkten Windwurf**



9.2.2 Neue Erkenntnisse aus der nationalen und internationalen Forschung

Der Kostenbereich Waldschäden durch Luftverschmutzung wird bei internationalen Studien zu externen Kosten nur selten abgedeckt. Seit der erstmaligen Quantifizierung der verkehrsbedingten Ernteauffälle in der Schweiz (Infras 2006) gab es keine grundlegend neuen Erkenntnisse oder neuen Berechnungsmethoden für diesen Kostenbereich.

9.2.3 Mengengerüst

a) Vermindertem Holzwachstum (durch Ozon und Bodenversauerung)

Ozonbelastung

Als Grundlage für die Ozonbelastung werden Ozonimmissionsmesswerte aus dem nationalen Messprogramm NABEL (Nationales Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe) verwendet. Entscheidend ist dabei der so genannte AOT40f-Wert, das heisst der AOT-Wert für Wälder

(forests)²¹⁵. Da die Ozonimmissionen der einzelnen Jahre zum Teil stark variieren, wird ein Durchschnittswert der Jahre 2001 bis 2005 verwendet. Entscheidend sind die Immissionen in ländlichen, verkehrsfernen Gebieten in allen Höhenlagen. Weil Holzwirtschaft auch in den Bergregionen betrieben wird und dort die Ozonimmissionen teilweise sehr unterschiedlich sind, geschieht die Berechnung differenziert nach den drei Regionen Mittelland/Jura, Alpen/Voralpen sowie Tessin (Alpensüdseite). Wiederum werden die Messwerte derjenigen NABEL-Stationen als Grundlage genommen, welche die Vorgaben (ländliche Gebiete, verkehrsfern) am besten erfüllen. Für die Region Mittelland/Jura wird der Mittelwert der vier Stationen Tänikon (TG), Payerne (VD), Lägeren (ZH) und Chaumont (NE) verwendet, für die Region Alpen/Voralpen der Mittelwert der Stationen Rigi (SZ) und Davos (GR) und für die Alpensüdseite (Tessin) wiederum die Messwerte der beiden Stationen Magadino und Lugano. Die folgende Tabelle zeigt die entsprechenden durchschnittlichen Ozonbelastungen (AOT 40f) an den genannten Messstationen.

Tabelle 9-12: Ozonimmissionen (AOT40f) an ausgewählten NABEL-Messstationen: Durchschnittswerte der Jahre 2001-2005

NABEL-Messstation	Ozonimmissionen: AOT40f (in ppm*h)
Mittelland/Jura	
Messstation Tänikon	19.88
Messstation Payerne	20.31
Messstation Lägeren	22.18
Messstation Chaumont	26.87
Durchschnitt Mittelland/Jura	22.31
Voralpen/Alpen	
Messstation Rigi	22.59
Messstation Davos	26.73
Durchschnitt Voralpen/Alpen	24.66
Tessin	
Messstation Magadino	27.44
Messstation Lugano	32.44
Durchschnitt Tessin	29.94

Quelle: NABEL-Messwerte. Spezifische Datenbereitstellung durch das BAFU (Februar 2008). Die Daten beziehen sich auf eine Messhöhe von 4m über Boden. Für die Berechnung der Schadenswirkung auf Wälder müssen die Werte noch auf die mittlere Baumhöhe (ca. 20m) korrigiert werden, weil die Ozonimmissionen auf Baumhöhe etwas höher sind. Für die Korrektur der Werte wird gemäss den Angaben im europäischen Mapping Manual vorgegangen (UNECE 2004, S. III-23). Der Korrekturwert von 4m auf 20m Höhe beträgt 1.04.

²¹⁵ Der AOT40-Wert für den Wald (AOT40f) zeigt die Summe aller 1-Stunden-Ozonkonzentrationen über 40 ppb, welche zwischen 1. April und 30. September gemessen werden.

Bodenversauerung: Anteil von Wäldern mit versauerten Böden

13% der Schweizer Waldflächen weisen eine Basensättigung von $\leq 15\%$ auf, weitere 20% der Flächen zeigen eine Basensättigung von zwischen 15 und 40%. Insgesamt liegen die Basensättigung also in 33% aller Flächen unter 40% (Quelle: IAP 2004). In dieser Studie wird deshalb mit einem Anteil an versauerten Waldböden von 33% gerechnet.

Expositions-Wirkungsbeziehungen

i. Ozonbelastung → Holzwachstum

Wie bei den Ernteausfällen durch Ozon in der Landwirtschaft werden auch beim Holzwachstum analoge Expositions-Wirkungsbeziehungen verwendet. Die Formel für den Zusammenhang zwischen dem Stammvolumen (und damit dem Holzertrag) und der Ozonkonzentration lautet folgendermassen (Braun et al. 1999, Karlsson et al. 2005):

$$\text{Relatives Stammvolumen (in \%)} = 100 + m * \text{AOT40f (in ppm*h)}$$

Der Rückgang des Stammvolumens bei einer bestimmten Ozonbelastung (AOT40f) wird relativ zum Ernteertrag eines Baumes an einem unbelasteten Standort berechnet (Referenzwert). Ein unbelasteter Standort mit einer natürlichen Hintergrundbelastung an Ozon weist einen AOT40f-Wert von 0 ppm*h auf. Die folgende Tabelle zeigt die Expositions-Wirkungsbeziehungen verschiedener Baumarten.

Tabelle 9-13: Daten zur Expositions-Wirkungsbeziehung zwischen Ozonbelastung und Stammvolumen (=Ernteertrag) bei verschiedenen Baumarten

Baumart	Prozentuale Reduktion des Stammvolumens pro zusätzlicher ppm*h Ozonbelastung (Steigung m)
Buche (<i>Fagus silvatica</i>)	-3.51%
Eiche (<i>Quercus petraea</i>)	-0.38%
Birke (<i>Betula pendula</i>)	-0.49%
Fichte (<i>Picea abies</i>)	-0.26%
Föhre (<i>Pinus silvestris</i>)	-0.48%

Die Werte m beziehen sich auf die Dosis-Wirkungsbeziehung: Relatives Stammvolumen (in %) = $100 - m * \text{AOT40f}$ (in ppm*h). Quelle für diese Werte: Infras (2006) basierend auf Braun et al. (1999) (Buche) sowie Karlsson et al. (2005) (restl. Baumarten).

ii. Bodenversauerung → Holzwachstum

Die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate von Holz (Volumenzunahme in $\text{m}^3/(\text{ha} * \text{a})$) auf versauerten Böden ist um 33% (Laubbäume) bzw. 49% (Nadelbäume) reduziert (Quelle: Infras 2006 basierend auf WGE 2004, S. 25 bzw. Ouimet et al. 2001).

Holznutzung (Holzernteerträge)

Die folgende Tabelle zeigt die Holznutzung im Jahr 2005 für verschiedene Holzarten.

Tabelle 9-14: Jährliche Ernteerträge für verschiedene Holzarten

Holzart	Jährliche Holznutzung (Ernteerträge) (in 1'000 m ³)
Stamm-/Rundholz	
Nadelholz	3'152
Laubholz	311
Total	3'462
Industrieholz	
Nadelholz	383
Laubholz	176
Total	559
Energie-/Brennholz	
Nadelholz	479
Laubholz	644
Total	1'124
Gesamttotal	5'145

Quellen: Bei den Ernteerträgen (jährl. Holznutzung) handelt es sich um Durchschnittswerte der Jahre 2001-2005.
Quelle: BAFU (2007).

Verkehrsanteil an der Ozonbelastung bzw. an NO_x- und VOC-Emissionen

Der Anteil des Strassen- und Schienenverkehrs an der Ozonbelastung beträgt wie bei den Erntausfällen 49.5% (= Verkehrsanteil der NO_x-Emissionen, vgl. Kapitel 9.1.3).

Verkehrsanteil an der Bodenversauerung

Für die Versauerung von Böden sind folgende anthropogenen Schadstoffe verantwortlich: Stickoxide (NO_x), Ammoniak (NH₃), Schwefeldioxid (SO₂). Gemäss Angaben des BAFU beträgt in der Schweiz der relative Beitrag dieser drei Stoffe zur Bodenversauerung bei den Stickoxiden 28%, beim Ammoniak 47% und beim Schwefeldioxid 25% (BUWAL 2005). Der Verkehrsanteil (Strassen- und Schienenverkehr) an diesen drei Schadstoffen wiederum beträgt bei den Stickoxiden 49.5%, beim Ammoniak 2.2% und beim Schwefeldioxid lediglich 0.4% (Datengrundlagen: FOEN (2008) und BUWAL (2004)). Somit beträgt der **Gesamtanteil des Strassen- und Schienenverkehrs an der Bodenversauerung 15.0%**. Davon wiederum ist die Strasse für 97.5% der Versauerung verantwortlich, der Schienenverkehr für 2.5%

b) Verstärkter Windwurf (infolge Bodenversauerung)

Bodenversauerung: Anteil von Wäldern mit versauerten Böden

Der Anteil an versauerten Waldböden beträgt in der Schweiz 33% (siehe oben).

Expositions-Wirkungsbeziehung (Bodenversauerung → Windwurfisiko)

Für den Sturm Lothar konnten grobe Dosis-Wirkungszusammenhänge zwischen Bodenversauerung und Windwurfisiko aufgezeigt werden (Braun et al. 2002, Mayer et al. 2005, IAP 2004). Demnach ist das Windwurfisiko beim Sturm „Lothar“ auf versauerten Böden (Basensättigung $\leq 40\%$) bei Fichten 3.6 Mal und bei Buchen 4.8 Mal höher als auf unversauerten Böden. In dieser Studie wird deshalb für Nadelbäume der Wert von 3.6 und für Laubbäume der Wert von 4.8 verwendet. Geht man von einem Anteil an versauerten Waldböden von 33% aus und berücksichtigt man den Umstand, dass beim Sturm Lothar 77% der betroffenen Bäume Nadelhölzer waren und 23% Laubhölzer (Quelle: BUWAL 2003), dann ergibt sich eine durch die Versauerung bedingte Risikoerhöhung von 95% (d.h. das Risiko steigt von 1.00 auf 1.95).

Häufigkeit von grossen Sturmereignissen (wie ‚Lothar‘)

Mit Methoden der Extremstatistik lässt sich der Wiederkehrwert (d.h. die Häufigkeit) eines Sturms wie Lothar ermitteln. Demnach gibt es einen Sturm wie Lothar im Durchschnitt ungefähr alle 15 Jahre (Quelle: BUWAL 2005, WSL/BUWAL 2001). Die Wahrscheinlichkeit eines Sturms wie Lothar beträgt also 0.067 pro Jahr.

9.2.4 Wertgerüst

a) Vermindert Holzwachstum: Produzentenpreise Holz

Die folgende Tabelle zeigt den Durchschnitt der Produzentenpreise für verschiedene Holzarten in den Jahren 2001 – 2005.

Tabelle 9-15: Produzentenpreise für verschiedene Holzarten

Holzart	Produzentenpreise Holz (in CHF/m ³)
Stamm-/Rundholz	
Nadelholz	87.8
Laubholz	127.1
Industrieholz	
Nadelholz	50.3
Laubholz	42.5
Energie-/Brennholz	
Nadelholz	67.3
Laubholz	80.7

Quellen: Bei den Produzentenpreisen handelt es sich um Durchschnittswerte der Jahre 2001-2005. Die Werte beziehen sich jeweils auf Rohholz, d.h. die Produzentenpreise für Industrie- und Energieholz wurden jeweils auf einen m³ Rohholz umgerechnet. Quellen: BAFU (2007) und BFS (2005) sowie BFE (2004) (für Umrechnung).

b) Verstärkter Windwurf: Kosten eines grossen Sturmereignisses (wie ‚Lothar‘)

Auf Basis von Studien zu den ökonomischen Folgen von ‚Lothar‘ (BUWAL 2003, BUWAL 2004) können die Gesamtkosten des Lothar-Sturmes quantifiziert werden. Demnach setzen sich die Kosten zusammen aus a. Einkommensverlusten von Waldeigentümern (389 Mio. CHF), hauptsächlich verursacht durch den Holzpreiszerfall, sowie b. Ausgaben der öffentlichen Hand für Pflege- und Aufrüstemassnahmen und Folgeschäden von Lothar (393 Mio. CHF). Weitere Details sind in Infrac (2006) beschrieben.

Insgesamt betragen damit die Gesamtkosten des Sturmes ‚Lothar‘ 782 Mio. CHF (Wert für 2000). Passt man diesen Betrag mit Hilfe der Nominallohnentwicklung auf das Jahr 2005 an, ergeben sich Gesamtkosten von 842 Mio. CHF pro Sturmereignis.

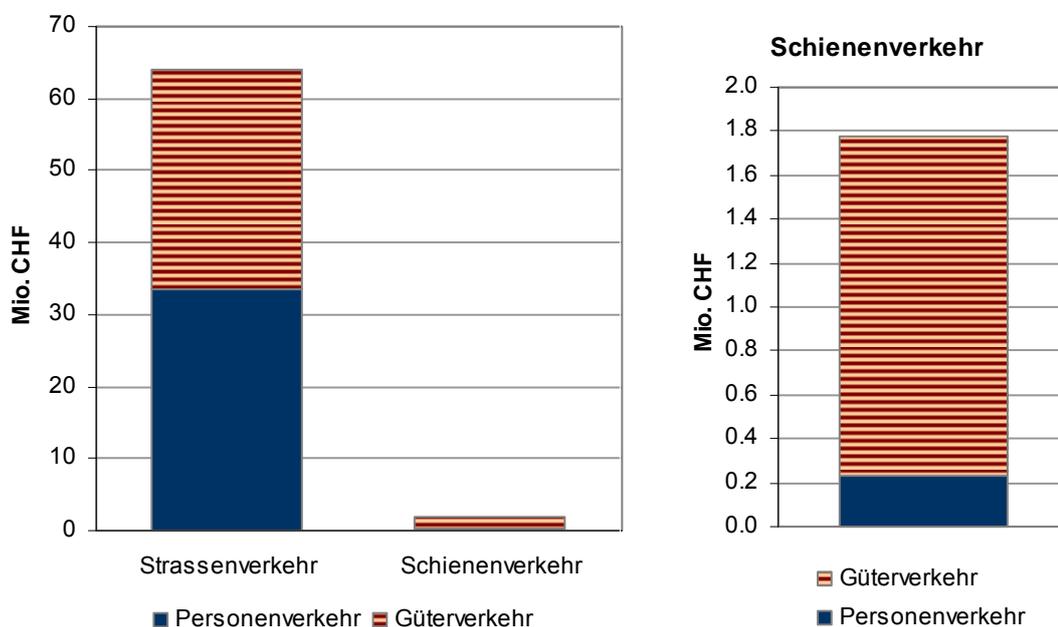
9.2.5 Ergebnisse

a) Gesamtverkehr

Die folgende Tabelle zeigt die Kosten durch Waldschäden. Insgesamt betragen im Jahr 2005 die Waldschäden durch Ozonbelastung und Bodenversauerung 204 Mio. CHF. 32% dieser Kosten (66 Mio. CHF) sind durch den Verkehr verursacht, davon 97% durch den Strassenverkehr.

Tabelle 9-16: Verkehrsbedingte Kosten durch Waldschäden 2005 (in Mio. CHF)

	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	33.5	30.6	64.1	97.3%
Schienenverkehr	0.2	1.5	1.8	2.7%
Total	33.8	32.1	65.9	100.0%
in % des Totals	51.2%	48.8%	100.0%	
Gesamte Waldschäden			204.2	

Grafik 9-8: Verkehrsbedingte Kosten durch Waldschäden 2005, Strassen- und Schienenverkehr (in Mio. CHF)**b) Aufteilung der Kosten auf die verschiedenen Ursachen**

Die Tabelle 9-17 zeigt die Aufteilung der Kosten nach den drei Ursachenbereichen: Vermindertes Holzwachstum durch Ozon, vermindertes Holzwachstum durch Bodenversauerung, verstärkter Windwurf durch Bodenversauerung. Am relevantesten sind die Kosten, die durch vermindertes Holzwachstum infolge der Ozonbelastung anfallen.

Tabelle 9-17: Aufteilung der Kosten durch Waldschäden 2005 nach Ursache (in Mio. CHF)

	Vermindertes Holzwachstum, durch:		Verstärkter Windwurf	Total
	Ozon	Versauerung		
Total Kosten	102.3	74.6	27.3	204.2
Verkehrsbedingte Kosten	50.6 (77%)	11.2 (17%)	4.1 (6%)	65.9
<i>Strasse</i>				
Personenverkehr	25.3	6.0	2.2	33.5
Güterverkehr	23.8	4.9	1.8	30.6
Total Strasse	49.2	10.9	4.0	64.1
<i>Schiene</i>				
Personenverkehr	0.18	0.04	0.01	0.23
Güterverkehr	1.20	0.25	0.09	1.54
Total Schiene	1.39	0.29	0.10	1.78

c) Aufteilung der Kosten auf die Fahrzeugkategorien

Die folgenden beiden Tabellen sowie die anschliessende Grafik zeigen den Kostenanteil der einzelnen Fahrzeugkategorien. Basis für die Allokation der Kosten auf die einzelnen Fahrzeugkategorien bilden die NO_x-Emissionen (für die vom Ozon verursachten Kosten) sowie die Emissionen der säurebildenden Substanzen NO_x, NH₃ und SO₂.

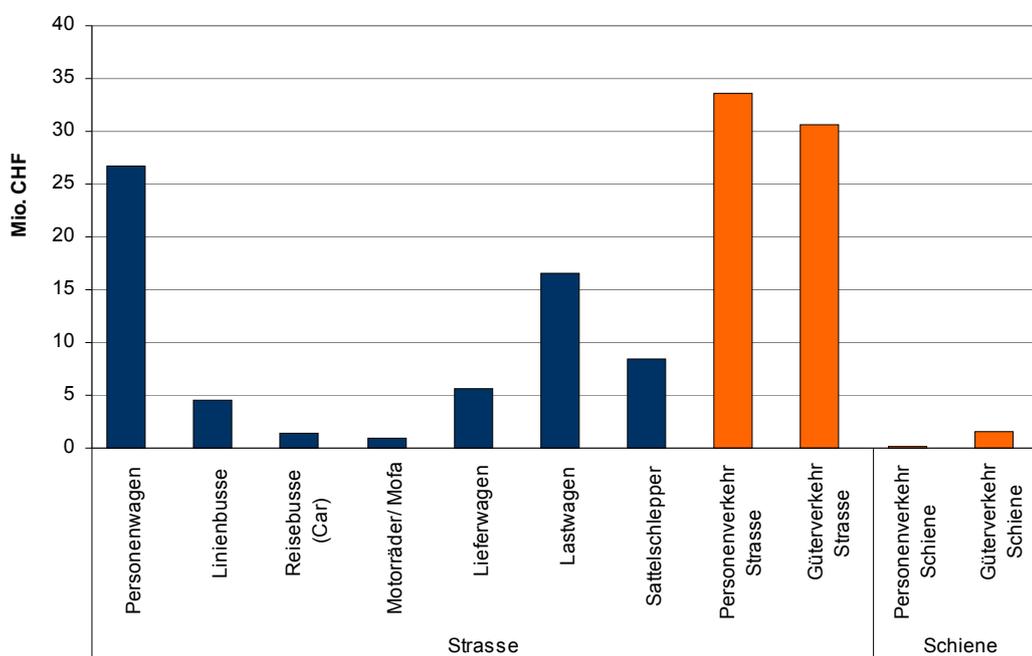
Tabelle 9-18: Aufteilung der Kosten durch Waldschäden 2005 auf die Fahrzeugkategorien: Strassenverkehr

	Personenverkehr					Güterverkehr				Total
	PW	Bus	Car	MZ	Total	Li	LW	SS	Total	
Kostenanteil	41.5%	7.0%	2.2%	1.5%	52.3%	8.8%	25.9%	13.1%	47.7%	100.0%
Waldschäden, in Mio. CHF	26.6	4.5	1.4	1.0	33.5	5.6	16.6	8.4	30.6	64.1

PW = Personenwagen, Bus = öffentliche Linienbusse, Car = Privatcars/Reisebusse, MZ = Motorisierte Zweiräder (Motorrad und Motorfahrrad), Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper.

Tabelle 9-19: Aufteilung der Kosten durch Waldschäden 2005 auf die Fahrzeugkategorien: Schienenverkehr

	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
Kostenanteil	13.1%	86.9%	100%
Waldschäden, in Mio. CHF	0.23	1.54	1.78

Grafik 9-9: Aufteilung der Kosten durch Waldschäden 2005 auf die Fahrzeugkategorien

9.2.6 Bandbreiten

a) Zusammenfassung der Annahmen und Bandbreiten

Die Grundlagen für die Berechnung der verkehrsbedingten Kosten durch Waldschäden sind mit gewissen Unsicherheiten verbunden. Einige Inputgrössen basieren auf sehr robusten Daten, d.h. die Unsicherheit ist praktisch null. Bei anderen Inputgrössen dagegen gibt es grössere Unsicherheiten. Die Tabelle 9-20 zeigt für alle relevanten Inputgrössen den Wissensstand bzw. die Grösse der Unsicherheit. Zudem ist dargestellt, innerhalb welcher Bandbreite die jeweiligen Inputparameter variieren.

Im Rahmen einer Monte-Carlo-Simulation wurden alle mit Unsicherheit behafteten Inputgrößen variiert. Bei den Waldschäden wurde für alle Inputgrößen eine Standardnormalverteilung angenommen, bei denen die in der Tabelle 9-20 dargestellten Bandbreiten das 95%-Vertrauensintervall darstellen.

Tabelle 9-20: Übersicht über Inputdaten, Annahmen und Bandbreiten bei den Kosten durch Waldschäden

Bereich / Inputgrösse	Wissenstand	Vorgehen	Bandbreite
Belastungssituation			
Ozonimmissionen	Messungen mit geringen Unsicherheiten	best guess	± 5%
Bodenversauerung (Anteil vers. Böden)	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	
Effekte / Schäden			
Expositions-Wirkungsbeziehung Ozon > Reduktion Holzwachstum	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 25%
Expositions-Wirkungsbeziehung Bodenversauerung > Red. Holzwachstum bzw. Windwurfisiko	Wissen mit grossen Unsicherheiten	best guess	± 100%
Jährliche Holznutzung	Gesichertes Wissen	Statistik/Datenauswertg.	
Wertgerüst			
Holzpreise	Gesichertes Wissen mit Schwankungen	Datenauswertung Jahresschwankungen	± 5%
Verkehrsanteil			
Verkehrsbedingter Anteil an NOx-Emissionen bzw. NH3, SO2-Emis.	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 5%

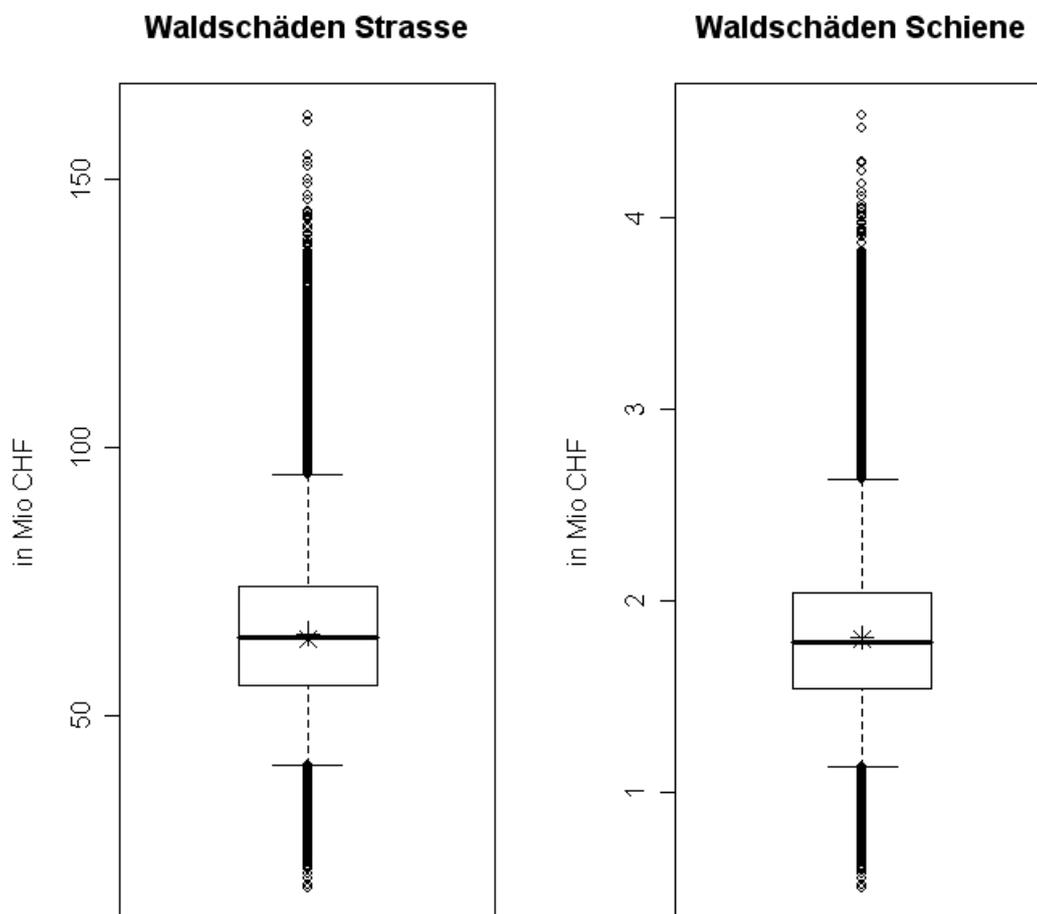
b) Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation

Die Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation sind in der Tabelle 9-21 dargestellt. Das 95%-Konfidenzintervall der Kosten durch Waldschäden liegt beim Strassenverkehr zwischen 41 und 95 Mio. CHF, beim Schienenverkehr zwischen 1.1 und 2.6 Mio. CHF. Die untenstehende Grafik visualisiert die Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation.

Tabelle 9-21: Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation für die Kosten durch Waldschäden in Mio. CHF

	Basisrechnung	95%-Konfidenzintervall	95%-Konfidenzintervall
Strasse	64	41 - 95	-37% - 48%
Schiene	1.8	1.1 - 2.6	-36% - 48%
Total Strasse+Schiene	66	42 - 98	-37% - 48%

Grafik 9-10: Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation für die Kosten durch Waldschäden



Erläuterung: Die Begrenzung der rechteckigen Box entspricht dem 25%- bzw. 75%-Quantil, d.h. 50% aller Simulationen liegen innerhalb der Box. Der Strich in der Box ist der Median (=50%-Quantil), das „+“-Zeichen der Mittelwert und das „x“-Zeichen das Ergebnis aus der Basisrechnung. Der untere bzw. obere Querstrich nach der gestrichelten Linie („Whisker“) ist das 2.5%- bzw. 97.5%-Quantil, so dass 95% innerhalb dieser Werte liegen. Die Kreise ausserhalb dieser Querstriche zeigen Ausreisser (da eine Million Simulationen durchgeführt wurden, gibt es relativ viele Ausreisser).

c) Zusätzliche Unterschätzungen

Wie in Kapitel 9.2.1 erwähnt, sind für einige Einflüsse von Luftschadstoffen auf den Wald keine quantitativen Aussagen möglich (Dosis-Wirkungszusammenhänge nicht bekannt oder nicht quantifizierbar). Dazu gehören z.B. die Kosten zusätzlicher Naturgefahren infolge geschädigter Wälder. Die ausgewiesenen Zahlen unterschätzen folglich die tatsächlichen Waldschäden tendenziell.

9.2.7 Vergleich mit den bisherigen Ergebnissen für das Jahr 2000

In Tabelle 9-22 und Grafik 9-11 werden die Ergebnisse mit den bisherigen Berechnungen für das Jahr 2000 verglichen.²¹⁶ Die Kosten infolge verkehrsbedingter Waldschäden sind zwischen 2000 und 2005 um 6.3% zurückgegangen. Wie bei den Ernteauffällen verlief die Entwicklung beim Strassen- und Schienenverkehr unterschiedlich: Die durch den Strassenverkehr verursachten Kosten durch Waldschäden haben um 8% abgenommen, die Kosten beim Schienenverkehr dagegen waren 2005 dreieinhalb Mal höher als 2000.

Tabelle 9-22: Vergleich der Berechnungen für die Jahre 2000 und 2005: Kosten durch Waldschäden

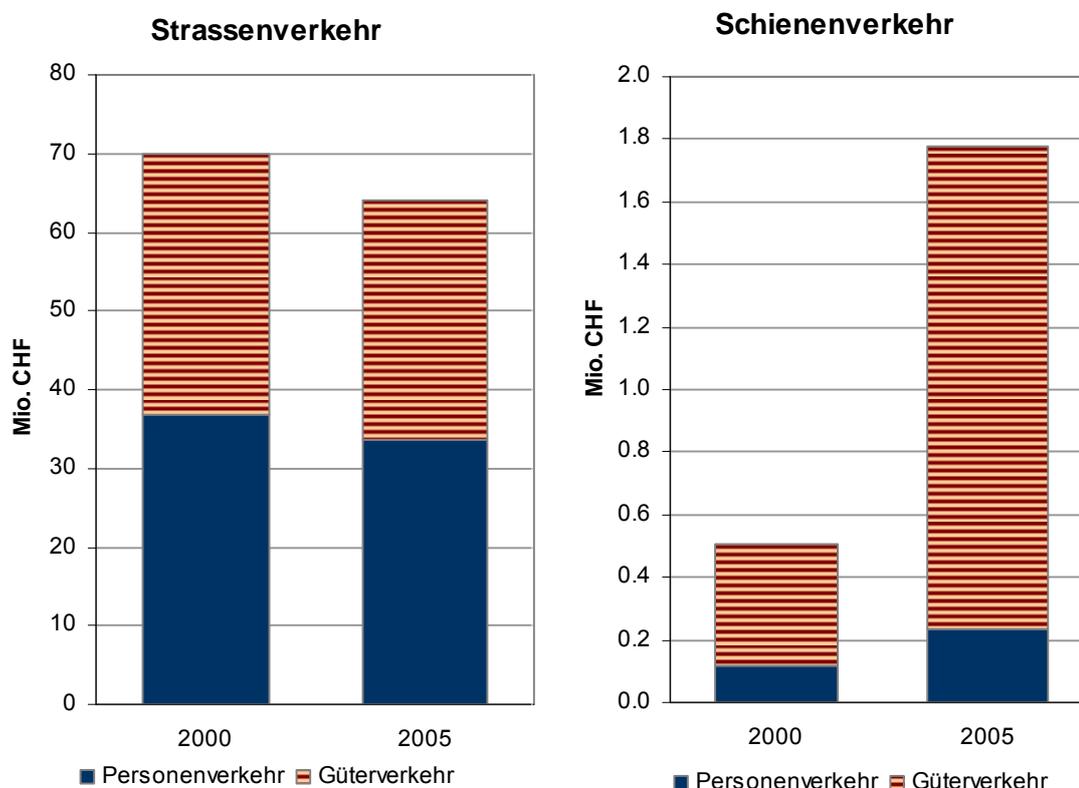
2000	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	36.8	33.1	69.8	99.3%
Schienenverkehr	0.1	0.4	0.5	0.7%
Total	36.9	33.5	70.4	100.0%
in % des Totals	52.4%	47.6%	100.0%	
2005	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	33.5	30.6	64.1	97.3%
Schienenverkehr	0.2	1.5	1.8	2.7%
Total	33.8	32.1	65.9	100.0%
in % des Totals	51.2%	48.8%	100.0%	
Veränderung in %	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	
Strassenverkehr	-8.8%	-7.5%	-8.2%	
Schienenverkehr	101.2%	296.2%	251.5%	
Total	-8.5%	-4.0%	-6.3%	

Folgende Gründe sind für die Veränderung der Kosten durch Waldschäden verantwortlich:

- Die Ozonimmissionen haben deutlich zugenommen (Mittelland +19%, Alpen +12%, Tessin +13%).
- Die jährlichen Holzernteerträge haben gegenüber der Studie für das Jahr 2000 insgesamt um 14% zugenommen. Am deutlichsten war die Zunahme beim Brennholz (+22%), am geringsten beim Stamm-/Rundholz (+11%).
- Die Holzpreise dagegen sind klar gesunken: Die Brennholzpreise fielen um rund 5%. Beim Stamm-/Rundholz und Industrieholz gingen die Preise beim Nadelholz um rund 15% zurück, beim Laubholz gar um knapp 25%.

²¹⁶ Beim vorgenommenen Vergleich gilt es zu berücksichtigen, dass die Angaben für das Jahr 2000 nicht auf das Preisniveau 2005 angepasst werden, so dass die ausgewiesene Kostenzunahme bei einer realen bzw. preisbereinigten Betrachtung etwas kleiner wäre.

Grafik 9-11: Vergleich der Berechnungen für die Jahre 2000 und 2005: Kosten durch Waldschäden



- Die gesamten Kosten durch Waldschäden infolge Ozonbelastung und Bodenversauerung (d.h. nicht nur die durch den Verkehr verursachten Kosten) lagen 2005 bei 204 Mio. CHF und damit 4% höher als 2000 (196 Mio. CHF). Die Kosten des verminderten Holzwachstums infolge der Ozonbelastung stiegen um 12%, während die Kosten des verminderten Holzwachstums infolge Bodenversauerung um 6% zurückgingen. Bei den Ozonschäden wurden die niedrigeren Holzpreise durch die Zunahme der Ozonimmissionen wettgemacht, während die Bodenversauerung als in etwa konstant angenommen wurde. Die Kosten durch verstärkten Windwurf (infolge Bodenversauerung) haben ebenfalls um 8% zugenommen. Diese Zunahme ist allein auf die Zunahme des Kostensatzes pro Sturmergebnis zurückzuführen.
- Obwohl die gesamten Kosten durch Waldschäden insgesamt zugenommen haben, reduzierten sich die verkehrsbedingten Waldschadenskosten insgesamt um 6% (vermindertes Holzwachstum durch Ozon: +0.3%, vermindertes Holzwachstum durch Bodenversauerung: -26%, Kosten durch verstärkten Windwurf: -15%). Grund dafür ist der deutliche Rückgang des Verkehrsanteils und den Emissionen der Ozonvorläufersubstanz NO_x sowie den Säure bildenden Substanzen NH_3 , NO_x und SO_2 . Bei den NO_x -Emissionen ist der Verkehrsanteil von 55.4% im Jahr 2000 auf 49.5% im Jahr 2005 zurückgegangen. Bei der Versauerung nahm der Verkehrsanteil sogar noch deutlicher ab, nämlich von 19% auf 15%.

- Die unterschiedliche Entwicklung des **Strassen- und Schienenverkehrs** ist wie bei den Ernteaussfällen allein auf die Veränderung der NO_x-Emissionen zurückzuführen. Während diese beim Strassenverkehr zwischen 2000 und 2005 um 25% zurückgegangen sind, haben die NO_x-Emissionswerte beim Schienenverkehr von 410 t auf 1'163 t zugenommen. Diese Steigerung beruht allerdings nicht auf einer effektiven Zunahme der Emissionen, sondern auf einer neuen Berechnungsmethodik: Diese aktualisierte Berechnungsmethodik hat zur Folge, dass beim **Schieneverkehr** die NO_x-Emissionen höher liegen als bei der früheren Methodik (Details siehe Annex D). Gemäss dem aktuellsten Treibhausgasinventar betragen die NO_x-Emissionen des Schienenverkehrs im Jahr 2000 1'292 Tonnen. Demnach sind die NO_x-Emissionen zwischen 2000 und 2005 effektiv sogar leicht gesunken (-10%). Die Zunahme der Kosten durch Waldschäden beim Schienenverkehr ist folglich allein auf diese neue Berechnungsmethodik der NO_x-Emissionen zurückzuführen.
- Wenn man beim Schienenverkehr die externen Kosten durch Waldschäden für das Jahr 2000 auf der Basis der aktuellsten Emissionsdaten berechnet, erhält man Gesamtkosten von 1.57 Mio. CHF. Die Kostensteigerung zwischen 2000 und 2005 betrug also beim Schienenverkehr – wenn man die methodische Änderung bei der Emissionsberechnung korrigiert – effektiv nur 13%, und nicht 252% wie es die Tabelle 9-22 suggeriert. (siehe auch Kapitel 9.1.7, Ernteaussfälle).

9.3 Schäden an Böden

9.3.1 Bewertungsmethodik

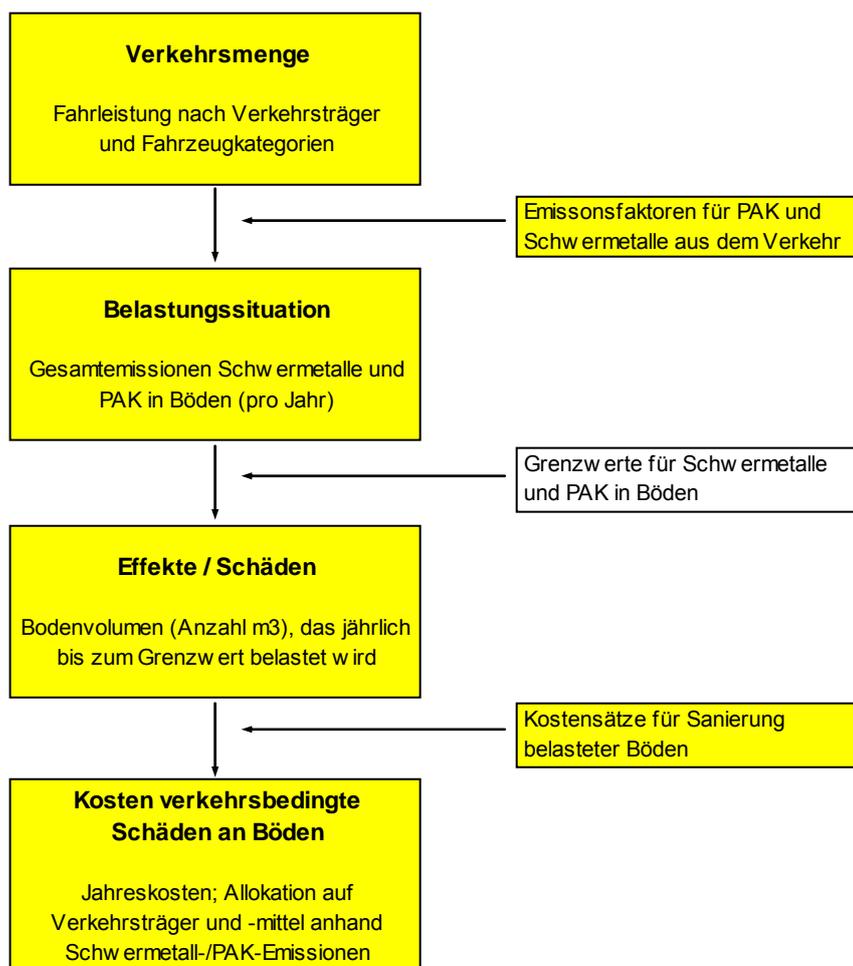
Die wichtigsten Umweltwirkungen des Verkehrs auf den Boden umfassen die Bodenverschmutzung entlang Verkehrswegen durch Schwermetalle und PAK (polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe), Bodenversauerung, Überdüngung des Bodens mit Stickstoff sowie Bodenbelastungen beim Bau von Verkehrswegen sowie bei Unfällen und Lecks. Detaillierte Ausführungen zu diesen Umweltwirkungen sind in Infrac (2006) zu finden (Annex).

Die Überdüngung und Versauerung von Böden ist in der Schweiz hauptsächlich bei Waldböden ein Problem. Diese Schadensaspekte wurde bereits im obigen Kapitel 9.2 behandelt. Bei Bodenverschmutzungen, die beim Bau von Strassen und Schienen sowie durch Lecks und Unfälle entstehen, handelt es sich grundsätzlich um interne Kosten, die vom Verursacher getragen werden müssen. Selbstverständlich ist dies in der Praxis nicht immer der Fall, z.B. wenn Schäden nicht entdeckt werden. Das Ausmass dieser unbemerkten, nicht vom Verursacher getragenen Schäden lässt sich jedoch nicht quantifizieren. Somit bleiben die Bodenverschmutzungen entlang von Verkehrswegen durch Schwermetalle und PAK als relevante Kostenaspekte.

Weil genaue Expositions-Wirkungsbeziehungen fehlen und damit die Schadenskosten nicht verlässlich bestimmt werden können, bietet sich bei der Berechnung der durch den Verkehr verursachten externen Kosten im Bereich Boden der **Reparaturkostenansatz** an. Dazu werden die Kosten für die Sanierung der mit Schwermetallen bzw. PAK verschmutzten Böden

berechnet. Diese Berechnungsmethodik basiert auf der Überlegung, dass Böden mit einer Schadstoffbelastung oberhalb eines bestimmten Grenzwertes nicht mehr langfristig fruchtbar sind und gar eine potenzielle Gefährdung für Pflanzen, Tiere sowie allenfalls auch Menschen darstellen.

Grafik 9-12: Methodik zur Berechnung der Schäden an Böden (Aktualisierungen hervorgehoben)



Die Grafik 9-12 zeigt das Vorgehen bei der Quantifizierung der aktuellen, jährlichen verkehrsbedingten Schäden an der Bodenqualität. Die wichtigste Inputgrösse bilden die jährlich emittierten Mengen an Schwermetallen und PAK. Werden diese Emissionsmengen den Grenzwerten für die maximal zulässigen Schwermetall- bzw. PAK-Konzentrationen gegenüber gestellt, kann das Volumen des Bodens berechnet werden, das durch diese Emissionsmenge jährlich bis zu einem bestimmten Grenzwert verschmutzt wird. Dieses Bodenvolumen muss jährlich saniert werden. Um die jährlichen Sanierungskosten zu berechnen, muss dieses verschmutzte Bodenvolumen daher mit einem Kostensatz für den Aushub, den Ersatz und die Entsorgung des belasteten Bodenvolumens multipliziert werden. Diese Berechnungen werden für die wichtigsten Schwermetalle (Zink, Cadmium, Blei, Kupfer) sowie

PAK vorgenommen. Die Schadenskosten für die einzelnen Schadstoffe werden jedoch nicht addiert, weil angenommen wird, dass die entsprechenden Belastungen auf demselben Bodenkompartment anfallen. Dies ist insofern realistisch, als dass z.B. beim Strassenverkehr die Schwermetalle zum allergrössten Teil aus dem Abrieb von Reifen und Strassenbelag stammen und damit die verschiedenen Stoffe in etwa an denselben Stellen auftreten. Somit muss ein Boden nur einmal saniert werden, auch wenn er unterschiedliche Schadstoffe enthält. Am Ende ist für die Kostenberechnung also jener Stoff relevant, der jährlich das grösste Bodenvolumen bis zur kritischen Konzentration (Grenzwert) belastet und damit die grössten Kosten verursacht. Die Berechnungsmethodik ist identisch wie in Infrac (2006).

9.3.2 Neue Erkenntnisse aus der nationalen und internationalen Forschung

Der Kostenbereich der verkehrsbedingten Bodenschäden wird bei internationalen Studien zu externen Kosten nur teilweise abgedeckt. Seit der erstmaligen Quantifizierung der verkehrsbedingten Bodenschäden in der Schweiz (Infrac 2006) gab es keine grundlegend neuen Erkenntnisse oder neuen Berechnungsmethoden für diesen Kostenbereich. Im neuen EU-Handbuch zu den externen Kosten des Verkehrs (IMPACT-Studie: Infrac / CE Delft et al. 2007) werden die externen Kosten durch Boden- und Wasserverschmutzung jedoch explizit thematisiert. Die im EU-Handbuch empfohlene Berechnungsmethodik orientiert sich am oben beschriebenen Reparaturkostenansatz, der bereits für Infrac (2006) so angewandt wurde. Nicht genauer erwähnt werden die Bodenschäden im EU-Projekt HEATCO (Bickel et al. 2006).

9.3.3 Mengengerüst

a) Emissionsmengen von Schwermetallen und PAK

Für die jährlichen Emissionsmengen von Schwermetallen (Zink, Cadmium, Kupfer, Blei) und PAK aus dem Strassen- und Schienenverkehr gab es drei Datengrundlagen: Für den Strassenverkehr wurden, soweit vorhanden, die Emissionsfaktoren aus dem Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs²¹⁷ verwendet und mit aktuellen Fahrleistungszahlen multipliziert. Für den Schienenverkehr konnten aus einer neuen wissenschaftlichen Studie der EAWAG (Burkhardt et al. 2008) Daten zu den jährlichen Schwermetallemissionen verwendet werden. Diese Werte unterscheiden sich zum Teil massiv von den Werten aus der Ökobilanz-Datenbank Ecoinvent, die für die Berechnung der Werte des Jahres 2000 die Grundlage bildete (Infrac 2006). Die neue EAWAG-Studie stellt aber den aktuellsten Stand der Wissenschaft dar und wird daher als verlässlichere Datengrundlage angesehen. Für die restlichen Substanzen (PAK-Emissionen des Schienen- und Strassenverkehrs sowie Kupferemissionen des Strassenverkehrs) stammen die Emissionsfaktoren aus der Datenbank Ecoinvent (Ecoinvent 2008).

²¹⁷ BUWAL (2004a), Handbuch Emissionsfaktoren, Version 2.1 und BUWAL (2004b), Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1980 – 2030.

Tabelle 9-23: Jährliche Emissionsmengen von Schwermetallen und PAK in Böden durch den Strassen- und Schienenverkehr

	Gesamtemissionen pro Jahr (in kg/a)	Datenquelle
Strassenverkehr		
Cadmium	77	BUWAL (2004a), BUWAL (2004b)
Zink	301'332	BUWAL (2004a), BUWAL (2004b)
Blei	4'142	BUWAL (2004a), BUWAL (2004b)
Kupfer	20'355	Ecoinvent (2008)
PAK	1'790	Ecoinvent (2008)
Schienenverkehr		
Cadmium	2	Burkhardt et al. (2008) (EAWAG)
Zink	19'800	Burkhardt et al. (2008) (EAWAG)
Blei	3	Burkhardt et al. (2008) (EAWAG)
Kupfer	46'600	Burkhardt et al. (2008) (EAWAG)
PAK	11.9	Ecoinvent (2008)

b) Grenzwerte

Die verschiedenen Grenzwerte (Richt-, Prüf- und Sanierungswerte) von Schwermetallen und PAK in Böden sind in der eidgenössischen „Verordnung über Belastungen des Bodens“ (VBBo) festgehalten und in der Tabelle 9-24 dargestellt und haben sich 2000 nicht verändert.

Tabelle 9-24: Grenzwerte von Schwermetallen und PAK in Böden

Schadstoff	Richtwert	Prüfwert *	Sanierungswert **
Cadmium	0.8	2	30
Zink	150	300	2000
Blei	50	200	2000
Kupfer	40	150	1000
PAK (Summe der 16 Leitsubstanzen)	1	20	100

Die Werte geben die Totalgehalte der Schadstoffe an. Die Werte sind in mg/kg Trockensubstanz (für Böden bis 15% Humus) bzw. in mg/dm³ Boden (für Böden über 15% Humus) angegeben. *: Werte für den Nahrungs- bzw. Futterpflanzenanbau. **: Werte für die Landwirtschaft.

Quelle: Infrac (2006) bzw. Prüfwert für Zink aus BUWAL (2001), alle restlichen Grenzwerte stammen aus der Eidgenössischen „Verordnung über Belastungen des Bodens“ (VBBo).

Die entscheidende Frage ist, welcher der Grenzwerte (Richt-, Prüf- oder Sanierungswert) für die Berechnung des belasteten Bodenvolumens verwendet wird. Aus naturwissenschaftlicher Sicht müsste es der Richtwert sein. Denn ab einer Schadstoffbelastung des Bodens über dem Richtwert muss mit Schäden an der Bodenökologie gerechnet werden. Praktisch dürfte aber der Prüfwert relevanter sein, weil ab diesem Wert die Bodenfruchtbarkeit eingeschränkt ist und solcher Boden eine potenziell Gefährdung für Pflanzen, Tiere sowie allenfalls auch

Menschen darstellt. Gemäss Wegleitung „Bodenaushub“ des BAFU (BUWAL 2001) müssen Böden mit Schadstoffbelastungen oberhalb des Prüfwertes im Übrigen als Abfall in Deponien entsorgt werden. In der Praxis werden Böden natürlich in der Regel erst bei einer Belastung oberhalb des Sanierungswertes effektiv saniert. Doch in dieser Studie sollen nicht die effektiven Sanierungskosten berechnet werden, sondern die gesamten Schadenskosten, welche durch die Belastung von Böden mit Schadstoffen aus dem Verkehr entstehen. Und weil die Schädigung der Böden bereits ab Erreichen der Richtwerte, spätestens oberhalb der Prüfwerte vorliegt, sind diese Werte für die Berechnung der Schadenskosten relevant. Deshalb wird für die Kostenberechnung in dieser Studie wie bereits in Infrac (2006) der Prüfwert verwendet. Dieses Vorgehen haben im Rahmen von Infrac (2006) auch Fachleute empfohlen.

Es zeigt sich, dass im Strassenverkehr Zink der relevante Schadstoff ist und im Schienenverkehr Kupfer.

9.3.4 Wertgerüst

In der ARE-Studie für die Berechnung der externen Kosten durch Schäden an Böden im Jahr 2000 wurde mit einem spezifischen Sanierungskostensatz von 100 CHF / m³ gerechnet (Infrac 2006). Dieser Wert setzt sich zusammen aus den Kosten für die Entsorgung (Deponierung) von verschmutztem Bodenmaterial (65 CHF / m³), den Ersatz durch unbelastetes Material (20 CHF / m³) sowie den Kosten für den Aushub sowie den Transport (15 CHF / m³). Für die vorliegende Studie wird ebenfalls dieser Ausgangswert verwendet, allerdings unter Berücksichtigung der Entwicklung der Tiefbaupreise zwischen 2000 und 2005 (Baupreisindex Tiefbau, BFS 2008). Damit ergibt sich ein Sanierungskostensatz von **106.8 CHF / m³**.

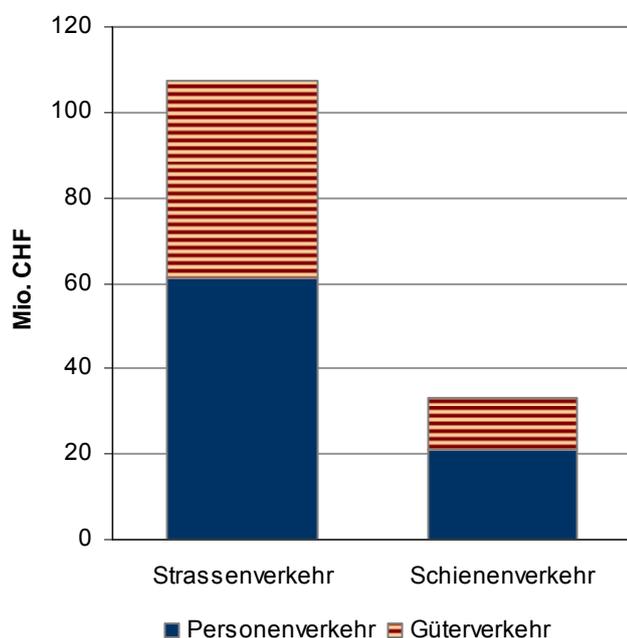
9.3.5 Ergebnisse

a) Gesamtverkehr

Folgende Tabelle und Grafik zeigen die Kosten der verkehrsbedingten Bodenschäden. Im Jahr 2005 betrug die Kosten durch Bodenschäden des Strassen- und Schienenverkehrs 140 Mio. CHF. Davon war der Strassenverkehr für rund drei Viertel der Kosten (107 Mio. CHF) verantwortlich, der Schienenverkehr für knapp einen Viertel (33 Mio. CHF).

Tabelle 9-25: Verkehrsbedingte Kosten durch Bodenschäden 2005, Strassen- und Schienenverkehr (in Mio. CHF)

	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	61.2	46.0	107.3	76.4%
Schienenverkehr	21.0	12.2	33.2	23.6%
Total Verkehr	82.2	58.2	140.4	100.0%
in % des Totals	58.6%	41.4%	100.0%	

Grafik 9-13: Verkehrsbedingte Kosten durch Bodenschäden 2005, Strassen- und Schienenverkehr (in Mio. CHF)**b) Aufteilung der Kosten auf die Fahrzeugkategorien**

Die folgenden beiden Tabellen sowie die anschliessende Grafik zeigen den Kostenanteil der einzelnen Fahrzeugkategorien. Basis für die Allokation der Kosten auf die einzelnen Fahrzeugkategorien bilden die Emissionen der Schwermetalle und PAK.

Tabelle 9-26: Aufteilung der Kosten durch Bodenschäden 2005 auf die Fahrzeugkategorien: Strassenverkehr

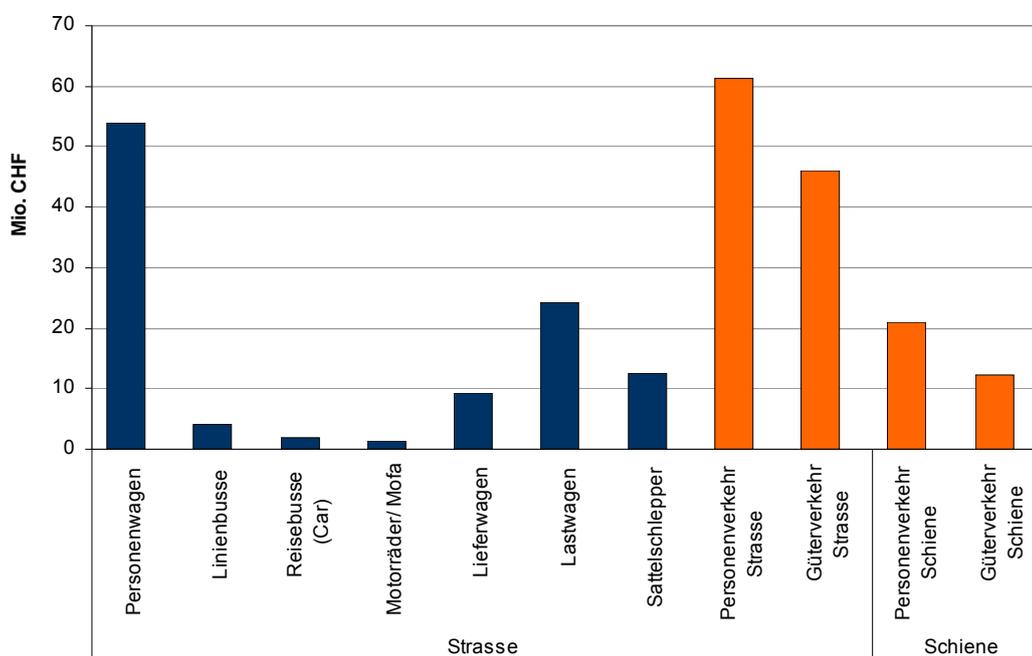
	Personenverkehr					Güterverkehr				Total
	PW	Bus	Car	MZ	Total	Li	LW	SS	Total	
Kostenanteil	50.4%	3.8%	1.7%	1.3%	57.1%	8.5%	22.7%	11.7%	42.9%	100.0%
Bodenschäden, in Mio. CHF	54.0	4.0	1.8	1.4	61.2	9.2	24.3	12.6	46.0	107.3

PW = Personenwagen, Bus = öffentliche Linienbusse, Car = Privatscars/Reisebusse, MZ = Motorisierte Zweiräder (Motorrad und Motorfahrrad), Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper.

Tabelle 9-27: Aufteilung der Kosten durch Bodenschäden 2005 auf die Fahrzeugkategorien: Schienenverkehr

	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
Kostenanteil	63.3%	36.7%	100%
Bodenschäden, in Mio. CHF	21.0	12.2	33.2

Grafik 9-14: Aufteilung der Kosten durch Bodenschäden 2005 auf die Fahrzeugkategorien



9.3.6 Bandbreiten

a) Zusammenfassung der Annahmen und Bandbreiten

Die Grundlagen für die Berechnung der verkehrsbedingten Kosten durch Bodenschäden sind mit gewissen Unsicherheiten verbunden. Einige Inputgrössen basieren auf sehr robusten Daten, d.h. die Unsicherheit ist praktisch null. Bei anderen Inputgrössen dagegen gibt es grössere Unsicherheiten. Die Tabelle 9-28 zeigt für alle relevanten Inputgrössen den Wissensstand bzw. die Grösse der Unsicherheit. Zudem ist dargestellt, innerhalb welcher Bandbreite die jeweiligen Inputparameter variieren.

Im Rahmen einer Monte-Carlo-Simulation wurden alle mit Unsicherheit behafteten Inputgrößen variiert. Bei den Inputgrößen wurde für die Emissionsmengen und den Sanierungskostensatz eine Standardnormalverteilung angenommen, bei denen die in der Tabelle 9-28 dargestellten Bandbreiten das 95%-Vertrauensintervall darstellen. Bei den Grenzwerten für Schwermetallen und PAK in Böden scheint dagegen eine asymmetrische Verteilung plausibler. Dies zeigt vor allem auch ein Vergleich der Prüfwerte (für Berechnung hier relevant) mit den Richtwerten (Minimalwerte) und den Sanierungswerten (Maximalwerte), die nicht symmetrisch sind, sondern vielmehr um ein Vielfaches über bzw. unter den Prüfwerten liegen. Aus diesem Grund wurde für die Grenzwerte eine asymmetrische Verteilung gewählt: eine Chi-Quadratverteilung mit 15 Freiheitsgraden. Bei dieser Verteilung liegen die Unter- bzw. Obergrenzen des 95%-Vertrauensintervalls in etwa bei der Hälfte des Durchschnittswertes (d.h. -50%) bzw. beim doppelten Durchschnittswert (d.h. +100%).

Tabelle 9-28: Übersicht über Inputdaten, Annahmen und Bandbreiten bei den Kosten durch Bodenschäden

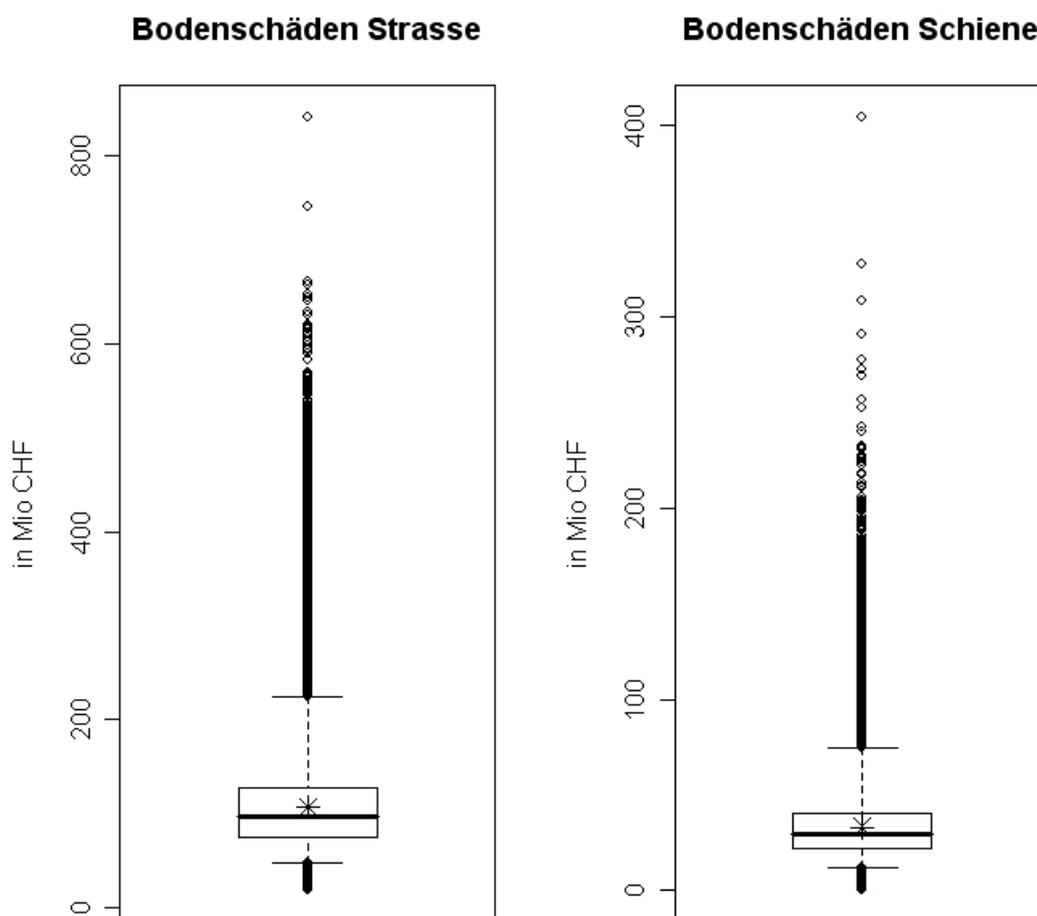
Bereich / Inputgrösse	Wissenstand	Vorgehen	Bandbreite
Belastungssituation: Emissionsmengen von Schwermetallen und PAK			
Strasse	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 25%
Schiene	Wissen mit erheblichen Unsicherheiten	best guess	± 50%
Effekte / Schäden			
Strasse: Grenzwerte für Schwermetalle und PAK in Böden (hier: Zink)	Wissen mit erheblichen Unsicherheiten	Vergleich mit Richt- und Sanierungswerten	-50%/+100%
Schiene: Grenzwerte für Schwermetalle und PAK in Böden (hier: Kupfer)	Wissen mit erheblichen Unsicherheiten	Vergleich mit Richt- und Sanierungswerten	-50%/+100%
Wertgerüst			
Spezifische Bodensanierungskosten	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 25%

b) Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation

Die Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation sind in der Tabelle 9-29 dargestellt. Das 95%-Konfidenzintervall der Kosten durch Bodenschäden liegt beim Strassenverkehr zwischen 47 und 225 Mio. CHF, beim Schienenverkehr zwischen 12 und 74 Mio. CHF. Damit ist die gesamte Unsicherheit der Ergebnisse deutlich grösser als bei den Ernteaufällen und den Waldschäden. Die untenstehende Grafik visualisiert die Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation. Die Verteilung der Werte ist sehr rechtsschief, d.h. dass die Schwankungsbreite gegen oben deutlich grösser ist als gegen unten. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Emissionsmenge durch die Grenzwerte dividiert wird. Deshalb ergeben sich für hohe Emissionen und geringe Grenzwerte in den Simulationen hohe Kosten. Da durch die rechtsschiefe Verteilung dividiert wird, befinden sich die Basisrechnung und über dem Median.

Tabelle 9-29: Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation für die Kosten durch Bodenschäden in Mio. CHF

	Basisrechnung	95%-Konfidenzintervall	95%-Konfidenzintervall
Strasse	107	47 - 225	-56% - 110%
Schiene	33	12 - 74	-65% - 124%
Total Strasse+Schiene	140	70 - 266	-50% - 89%

Grafik 9-15: Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation für die Kosten durch Bodenschäden

Erläuterung: Die Begrenzung der rechteckigen Box entspricht dem 25%- bzw. 75%-Quantil, d.h. 50% aller Simulationen liegen innerhalb der Box. Der Strich in der Box ist der Median (=50%-Quantil), das „+“-Zeichen der Mittelwert und das „x“-Zeichen das Ergebnis aus der Basisrechnung. Der untere bzw. obere Querstrich nach der gestrichelten Linie („Whisker“) ist das 2.5%- bzw. 97.5%-Quantil, so dass 95% innerhalb dieser Werte liegen. Die Kreise ausserhalb dieser Querstriche zeigen Ausreisser (da eine Million Simulationen durchgeführt wurden, gibt es relativ viele Ausreisser).

c) Zusätzliche Unterschätzungen

Wie in Kapitel 9.3.1 erwähnt, sind in den vorliegenden Berechnungen jene Schadensaspekte nicht berücksichtigt, die nicht quantifiziert werden können (aufgrund mangelnder Datengrundlagen oder unbekannter Dosis-Wirkungszusammenhänge). Dazu gehören u.a. unentdeckte Bodenverschmutzungen durch Lecks und Unfälle sowie allfällige Kosten infolge Bodenversauerung und Überdüngung (in dieser Studie ist der Einfluss der Versauerung nur bei den Waldschäden abgedeckt, nicht aber bei anderen Ökosystemen). Die ausgewiesenen Zahlen unterschätzen folglich die tatsächlichen Schäden an Böden tendenziell.

9.3.7 Vergleich mit den bisherigen Ergebnissen für das Jahr 2000

In der folgenden Tabelle und Grafik werden die Ergebnisse mit den bisherigen Berechnungen für das Jahr 2000 verglichen.²¹⁸ Die Kosten durch verkehrsbedingte Bodenschäden sind zwischen 2000 und 2005 um gut ein Drittel gestiegen. Die Zunahme der durch den Strassenverkehr verursachten Kosten betrug jedoch nur 4%, während die Kosten beim Schienenverkehr extrem gestiegen sind (von 1 Mio. CHF auf 33 Mio. CHF). Die enorme Zunahme beim Schienenverkehr ist auf eine völlig neue Datengrundlage bei den Schwermetallemissionen des Schienenverkehrs zurückzuführen, welche auf einer aktuellen Forschungsstudie der EAWAG basieren (Burkhardt et al. 2008).

Die Zunahme der Kosten durch Bodenschäden ist auf folgende Gründe zurückzuführen:

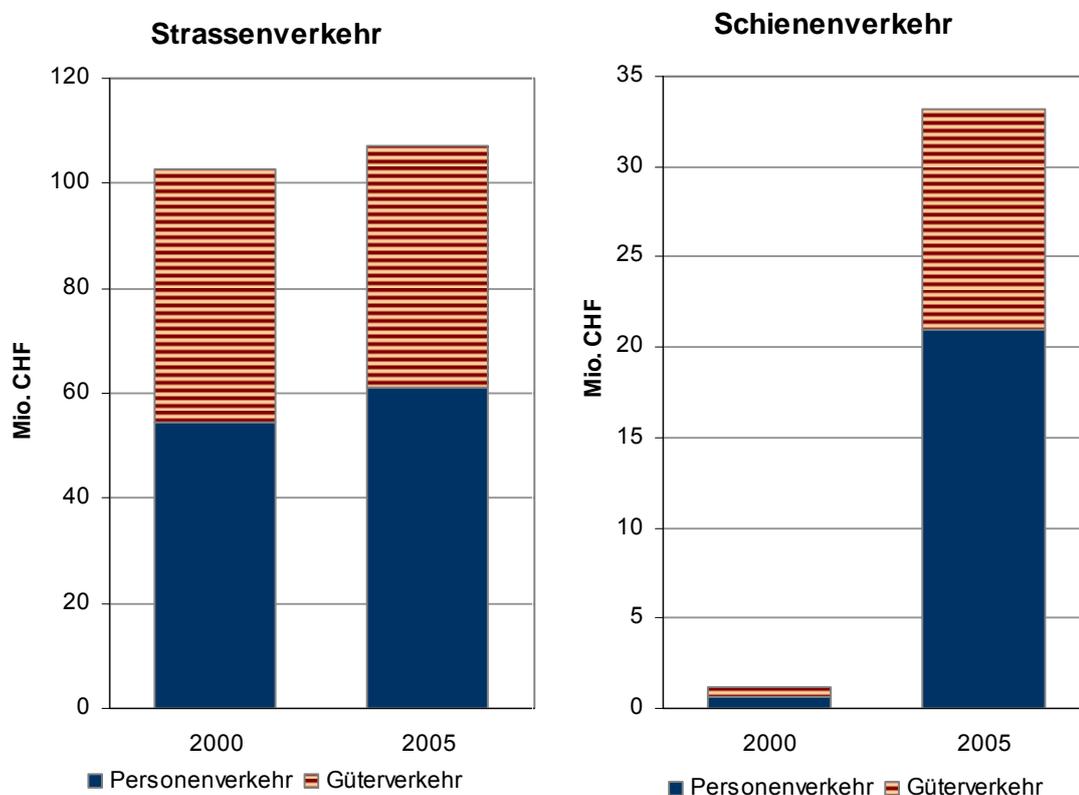
- Beim **Strassenverkehr** ist 2000 und 2005 Zink der relevante Schadstoff, da Zink potenziell das grösste Bodenvolumen bis zum Grenzwert verschmutzt. Die Zinkemissionen haben zwischen 2000 und 2005 leicht abgenommen (-2%). Die spezifischen Kosten für die Sanierung von belasteten Böden haben von 2000 bis 2005 um knapp 7% zugenommen (Basis Baupreisindex Tiefbau). Die Verschiebungen der Kosten zwischen Personenverkehr (Zunahme) und Güterverkehr (Abnahme) ist auf die veränderten Emissionen zurückzuführen. Der Grund dafür liegt hauptsächlich in den vom BFS angepassten Fahrleistungszahlen, die beim Güterverkehr für 2005 deutlich tiefer liegen als noch bei der Kostenrechnung für 2000.

²¹⁸ Beim vorgenommenen Vergleich gilt es zu berücksichtigen, dass die Angaben für das Jahr 2000 nicht auf das Preisniveau 2005 angepasst werden, so dass die ausgewiesene Kostenzunahme bei einer realen bzw. preisbereinigten Betrachtung etwas kleiner wäre.

Tabelle 9-30: Vergleich der Berechnungen für die Jahre 2000 und 2005: Kosten durch Bodenschäden

2000	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	54.3	48.5	102.9	98.9%
Schienenverkehr	0.6	0.5	1.1	1.1%
Total	55.0	49.0	104.0	100.0%
in % des Totals	52.9%	47.1%	100.0%	
2005	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	61.2	46.0	107.3	76.4%
Schienenverkehr	21.0	12.2	33.2	23.6%
Total	82.2	58.2	140.4	100.0%
in % des Totals	58.6%	41.4%	100.0%	
Veränderung in %	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	
Strassenverkehr	12.7%	-5.2%	4.3%	
Schienenverkehr	3'196%	2'362%	2'831%	
Total	49.6%	18.7%	35.0%	

Grafik 9-16: Vergleich der Berechnungen für die Jahre 2000 und 2005: Kosten durch Bodenschäden



- Beim **Schieneverkehr** liegen dank einer neuen wissenschaftlichen Studie der EAWAG (Burkhardt et al. 2008) völlig neue Emissionsdaten für Schwermetalle aus dem Schienenverkehr vor. Diese Werte unterscheiden sich zum Teil massiv von den Werten aus der Ökobilanz-Datenbank Ecoinvent, die für die Berechnung der Werte des Jahres 2000 die Grundlage bildete (Infras 2006). Da Ecoinvent auf Daten von älteren Studien zurückgreift, werden für die vorliegende Studie die Emissionsdaten von Burkhardt et al. (2008) verwendet (lediglich beim PAK wird auf Ecoinvent-Zahlen zurückgegriffen, da solche bei Burkhardt et al. (2008) nicht vorliegen). Beim Zink verursacht der Schienenverkehr gemäss Burkhardt et al. (2008) insgesamt Emissionen von 19'800 kg pro Jahr (Ecoinvent-Wert für 2000: 520 kg; Infras 2006), die Kupferemissionen liegen gar bei 46'600 kg pro Jahr (Ecoinvent für 2000: 150 kg). Die extreme Zunahme der Kosten durch Bodenschäden ist somit vollständig mit dieser neuen Datenbasis der Schwermetallemissionen zu erklären und nicht auf eine effektive Zunahme der Emissionen. Diese neuen Daten führten auch dazu, dass neu Kupfer der relevante Schadstoff ist, während es bisher Cadmium war.
- Würden beim Schienenverkehr die alten Emissionsgrundlagen verwendet, betrüge die Zunahme der Emissionen lediglich 15%. Berücksichtigt man dazu noch die Kostensteigerung für die Sanierung von belasteten Böden (+7%), läge die gesamte Kostensteigerung zwischen 2000 und 2005 bei den vom Schienenverkehr verursachten Bodenschäden bei lediglich 22% (und nicht bei 2'830%). Die enorme Zunahme der Kosten verglichen mit der letzten Studie für 2000 ist also hauptsächlich auf die neuen Datengrundlagen für Schwermetallemissionen zurückzuführen und nur zu einem geringen Teil auf eine effektive Emissionszunahme.

9.4 Zusatzkosten in städtischen Räumen

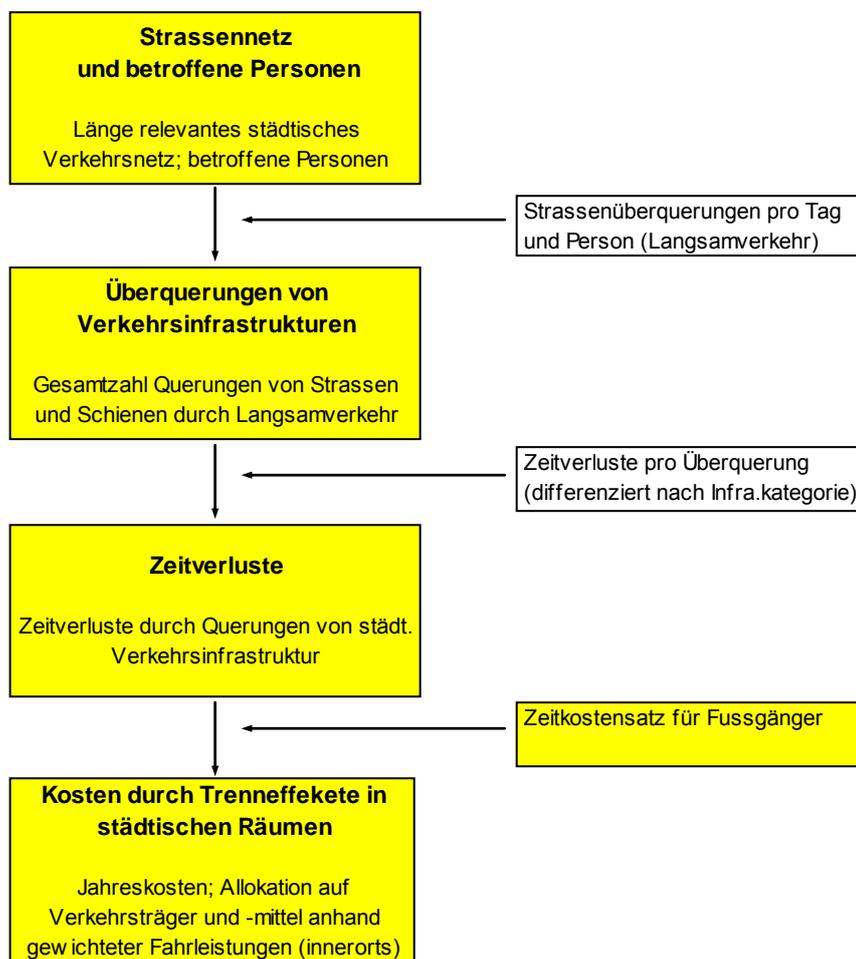
9.4.1 Bewertungsmethodik

In städtischen Räumen entstehen durch zwei Effekte zusätzliche externe Kosten:

- **Räumliche Trenneffekte** durch Strassen- und Schieneninfrastruktur im städtischen Raum: Für Fussgänger ergeben sich bei der Querung von Strassen und Schienen Wartezeiten und damit Zeitverluste. Diese Kosten sind als externe Kosten zu betrachten. Die genaue Berechnungsmethodik ist in der folgenden Grafik beschrieben. Die Vorgehensweise basiert auf Infras/IWW (2000) und wurde auch in Infras (2006) so angewandt.
- **Raumknappheitseffekte**: Vor allem bei grösseren Strassen ergeben sich Knappheitseffekte bezüglich Raumverfügbarkeit für Fahrräder. Ein detaillierter Beschrieb der Berechnungsmethodik ist in Infras/IWW (2000) und Infras/IWW (2004) zu finden. Diese Kostenkategorie macht jedoch lediglich einen sehr geringen Teil der Zusatzkosten in städtischen Räumen aus.

Die Berechnungsmethodik ist identisch wie in Infras (2006).

Grafik 9-17: Methodik zur Berechnung der Kosten durch Trenneffekte in städtischen Räumen (Aktualisierungen hervorgehoben)



9.4.2 Neue Erkenntnisse aus der nationalen und internationalen Forschung

Der Themenbereich der Zusatzkosten in städtischen Räumen wird bei internationalen Studien zu externen Kosten nur teilweise abgedeckt. Seit der erstmaligen Quantifizierung der verkehrsbedingten Ernteauffälle in der Schweiz (Infras 2006) gab es keine grundlegend neuen Erkenntnisse oder neuen Berechnungsmethoden für diesen Kostenbereich. Die Berechnung der Zusatzkosten in städtischen Räumen gemäss der oben beschriebenen Methodik wurde seither jedoch auch bei internationalen Studien z.B. zur Berechnung der externen Verkehrskosten Deutschlands (Infras 2007) sowie des Baskenlands (Leber/Infras 2006) angewandt. Im neuen EU-Handbuch zu den externen Kosten des Verkehrs (Infras / CE Delft et al. 2007) werden die Zusatzkosten in städtischen Räumen ebenfalls thematisiert. Die im EU-Handbuch empfohlene Berechnungsmethodik deckt sich mit dem oben beschriebenen Vorgehen dieser Studie, das auch bereits für INFRAS (2006) so angewandt wurde. Nicht erwähnt werden die Zusatzkosten in städtischen Räumen im EU-Projekt HEATCO (Bickel et al. 2006).

9.4.3 Mengengerüst

a) Räumliche Trenneffekte

Die wichtigsten Inputgrössen sind die Anzahl von Trenneffekten betroffenen Personen sowie die Länge der relevanten städtischen Verkehrsinfrastruktur. In Anlehnung an internationale Studien basiert die Berechnung auf allen Städten mit 50'000 und mehr Einwohnerinnen und Einwohnern. In der Schweiz fallen damit insgesamt 8 Städte in diese Kategorie (Zürich, Genf, Basel, Bern, Lausanne, Winterthur, St. Gallen, Luzern). Die Anzahl betroffener Personen basiert zum einen auf der Einwohnerzahl, zum anderen auf dem Pendlersaldo dieser Städte. Die verwendeten Daten sind in der Tabelle 9-31 aufgeführt.

Im Weiteren muss das städtische Strassennetz hinsichtlich der Trennwirkung charakterisiert werden. Die Trennwirkung ist von der Verkehrsmenge, der Anzahl Spuren, der zulässigen Höchstgeschwindigkeit sowie baulicher Rahmenbedingungen (Gehwege, Leitplanken, etc.) abhängig. Dazu wird die städtische Strasseninfrastruktur in drei Strassentypen eingeteilt: Typ A Gemeindestrasse, Typ B städtische Hauptstrasse (2- bis 3-spurig), Typ C Stadtautobahn (mind. 4 spurig). Die relevanten Strassenlängen sind ebenfalls in der folgenden Tabelle zu finden.

Tabelle 9-31: Basisdaten städtische Strassennetze 2005 (Städte > 50'000 EinwohnerInnen)

	Strassen- länge	Einwoh- ner	Pend- lersaldo	Total betrof- fene Bevöl- kerung	Strassen- Typ A	Strassen- Typ B	Strassen- Typ C
	km	in 1'000	in 1'000	in 1'000	km	km	km
Zürich	790	379	183	562	560	123	9.8
Genf	182	185	68	253	129	28	2.3
Basel	314	166	77	244	222	49	3.9
Bern	350	129	85	214	248	55	4.3
Lausanne	217	129	48	177	154	34	2.7
Winterthur	295	96	10	106	209	46	3.7
St. Gallen	171	73	27	100	121	27	2.1
Luzern	136	60	28	88	97	21	1.7

Quellen: BFS (2008) und BFS (2003). Bemerkungen: Pendlersaldo ist die Summe der Zupendler abzüglich aller Wegpendler. Die Aufteilung in Strassen-Typ A, B und C erfolgt anhand der Pilotrechnung für die Stadt Zürich (79%, 19% und 2%). Es wurde zusätzlich angenommen, dass 10% der Strassen des Typs A, 20% des Typs B und 30% des Typs C keine Trennwirkung aufweisen, da diese Anteile abseits von Fussgängerwunschnlinien liegen. Diese Anteile wurden in der obigen Tabelle bereits abgezogen.

Für die Anzahl Überquerungen pro betroffener Person und Tag sowie den Zeitverlusten werden die gleichen Grundlagendaten wie in Infrac (2006) verwendet:

Tabelle 9-32: Anzahl Überquerungen und Zeitverluste

Charakterisierung	Strassen-Typ A Gemeindestrasse	Strassen-Typ B städtische Haupt- strasse 2- bis max. 3- spurig	Strassen-Typ C Stadtautobahn (Nati- onalstrasse), 4-spurig
Überquerungen pro Tag ²¹⁹	3	2	1.5
Zeitverluste beim Überque- ren in Sekunden	10	45	260

Quelle: Infrac (2006), EWS (1997).

Berechnet man die gesamten Zeitverluste der betroffenen Bevölkerung pro Tag ergibt sich ein plausibler Wert von ca. 40 Sekunden pro Person und Tag (Erläuterung siehe Fussnote 219). Insgesamt errechnen sich jährliche Zeitverluste von ca. 7.1 Mio. Stunden für die 8 grössten Schweizer Städte.

Berechnet man die gesamten Zeitverluste der betroffenen Bevölkerung pro Tag ergibt sich ein plausibler Wert von ca. 40 Sekunden pro Person und Tag. Insgesamt errechnen sich jährliche Zeitverluste von ca. 7.1 Mio. Stunden für die 8 grössten Schweizer Städte.

Für das städtische Bahnnetz wurde ein analoges Vorgehen gewählt. In einer Pilotrechnung (Infrac/IWW 2000) wurden in der Stadt Zürich alle trennungswirksamen Bahnlinien erhoben. Insgesamt fallen ca. 21.5 km Bahnlinien in diese Kategorie. Diese Strecken wurden wie Strassen des Typs C behandelt. Die Hochrechnung auf die 8 Städte ergibt aggregierte Zeitverluste in der Grössenordnung von 1.9 Mio. Stunden pro Jahr.

b) Raumknappheitseffekte (Kosten Fahrradinfrastruktur)

Die Berechnung der Raumknappheitseffekte erfolgt auf der Basis von Fallbeispielrechnungen, wie sie bereits für Infrac/IWW (2004) und Infrac (2006) durchgeführt wurden. Die Berechnung für die gesamten Raumknappheitskosten in städtischen Räumen für die Schweiz erfolgt ebenfalls auf Basis der Länge des städtischen Strassennetzes (Typ B und C).

²¹⁹ Die angegebenen Werte für die Anzahl Überquerungen pro Tag gelten nicht für die gesamte Bevölkerung (d.h. Summe von Einwohnern und Pendlersaldo). Die Werte gelten nur für die effektiv von einer Strasse betroffenen Personen. Von den Strassen des Typs A sind natürlich am meisten Personen betroffen, weil dieser Strassentyp die grösste Länge aufweist. Die Strassen des Typs C dagegen sind viel weniger dicht, was zur Folge hat, dass insgesamt auch weniger Personen betroffen sind. Die angegebenen Werte für die Anzahl Überquerungen pro Tag beziehen sich also auf die effektiv von einer Strasse betroffenen Personen.

9.4.4 Wertgerüst

Zeitkostensatz für Fussgänger

In der ARE-Studie für die Berechnung der Zusatzkosten in städtischen Räumen im Jahr 2000 wurde mit einem Zeitkostensatz für Fussgänger von 10.0 CHF pro Stunde gerechnet (Infras 2006). Dieser Ausgangswert wird in dieser Studie ebenfalls verwendet. Allerdings wird der Zeitkostensatz auf Basis der Nominallohnentwicklung zwischen 2000 und 2005 angepasst (BFS 2008). Damit ergibt sich ein Zeitkostensatz von **10.8 CHF pro Stunde**.

Kostensätze Raumknappheitseffekte (Kosten Fahrradinfrastruktur)

Die Kostensätze bei den Raumknappheitseffekten (Kostensätze für Infrastrukturkosten des Fahrradverkehrs: Velospuren und Velowege) wurden gegenüber 2000 mittels Baupreisindex (Tiefbau) auf das Jahr 2005 angepasst (BFS 2008).

9.4.5 Ergebnisse

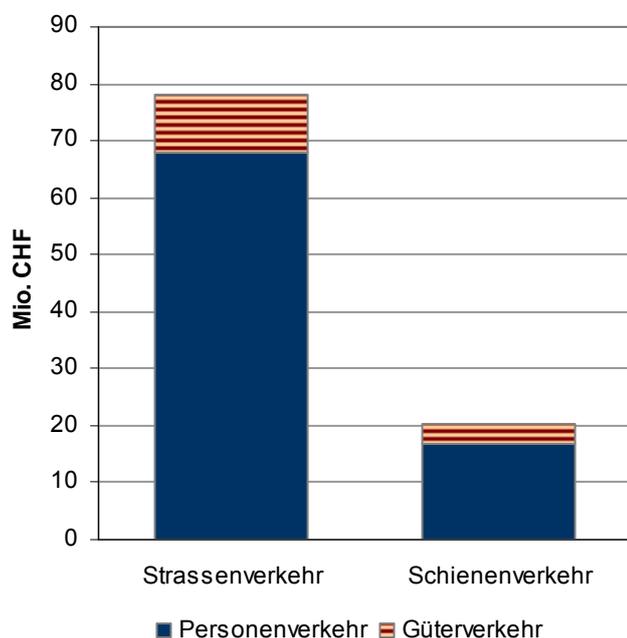
a) Gesamtverkehr

Die folgende Tabelle zeigt die Kosten der Zusatzkosten in städtischen Räumen. Im Jahr 2005 beliefen sich diese Kosten auf knapp 100 Mio. CHF. Der Strassenverkehr verursachte dabei knapp 80%, der Schienenverkehr gut 20% der Kosten.

Tabelle 9-33: Zusatzkosten in städtischen Räumen 2005, Strassen- und Schienenverkehr (in Mio. CHF)

	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	68.1	10.2	78.2	79.4%
Schienenverkehr	16.7	3.6	20.3	20.6%
Total Verkehr	84.8	13.7	98.5	100.0%
in % des Totals	86.1%	13.9%	100.0%	

Grafik 9-18: Zusatzkosten in städtischen Räumen 2005, Strassen- und Schienenverkehr (in Mio. CHF)



b) Aufteilung der Kosten auf die verschiedenen Kostenkategorien

Die Tabelle 9-34 zeigt die Aufteilung der Kosten nach den zwei Kostenbereichen räumliche Trenneffekte (Zeitverzögerungen für Fussgänger) und Raumknappheitseffekte. Die räumlichen Trenneffekte verursachen 97 Mio. CHF, während die Raumknappheitseffekte mit 2 Mio. CHF nur rund 2% der Gesamtkosten ausmachen und damit praktisch vernachlässigbar sind.

Tabelle 9-34: Aufteilung der Zusatzkosten in städtischen Räumen 2005 nach Kostenkategorie (in Mio. CHF)

	Strasse	Schiene	Total
Räumliche Trenneffekte	76.4	20.3	96.7
Raumknappheitseffekte	1.8	0.0	1.8
Total	78.2	20.3	98.5

c) Aufteilung der Kosten auf die Fahrzeugkategorien

Die folgenden Tabellen und Grafiken zeigen den Kostenanteil der einzelnen Fahrzeugkategorien. Basis für die Allokation der Kosten auf die einzelnen Fahrzeugkategorien im Strassenverkehr bilden die mit PW-Einheiten (PCU: passenger car units) gewichteten Innerorts-Fahrleistungen. Im Schienenverkehr werden die Kosten anhand der Zugkm verteilt.

Tabelle 9-35: Aufteilung der Zusatzkosten in städtischen Räumen 2005 auf die Fahrzeugkategorien: Strassenverkehr

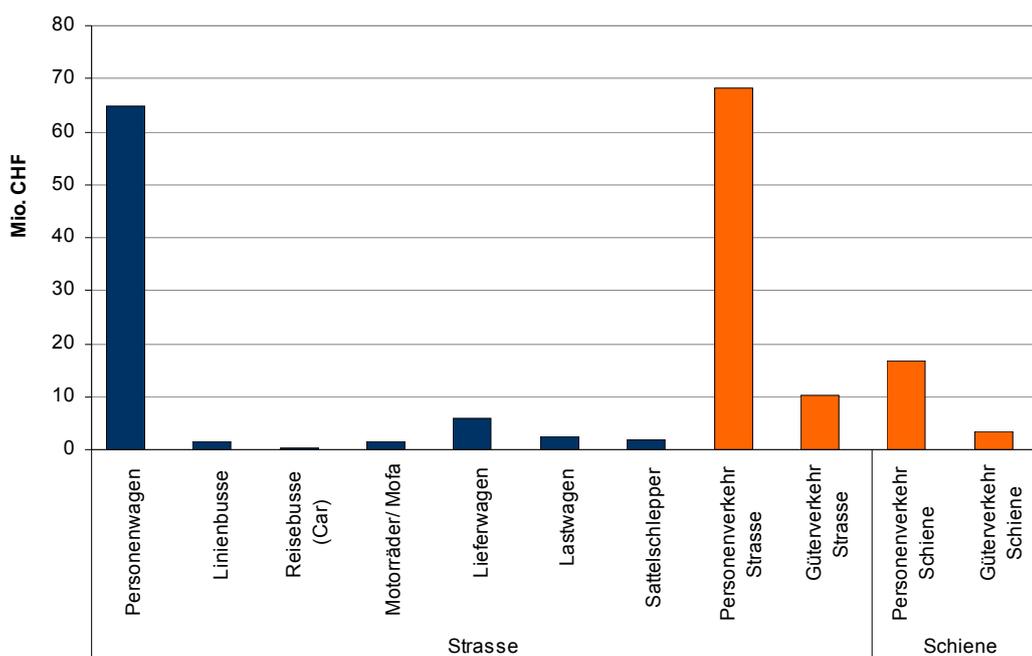
	Personenverkehr					Güterverkehr				Total
	PW	Bus	Car	MZ	Total	Li	LW	SS	Total	
Kostenanteil	82.8%	1.8%	0.3%	2.1%	87.0%	7.6%	3.2%	2.2%	13.0%	100.0%
Zusatzkosten in städt. Räumen, in Mio. CHF	64.8	1.4	0.2	1.7	68.1	5.9	2.5	1.7	10.2	78.2

PW = Personenwagen, Bus = öffentliche Linienbusse, Car = Privatscars/Reisebusse, MZ = Motorisierte Zweiräder (Motorrad und Motorfahrrad), Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper.

Tabelle 9-36: Aufteilung der Zusatzkosten in städtischen Räumen 2005 auf die Fahrzeugkategorien: Schienenverkehr

	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
Kostenanteil	82.4%	17.6%	100%
Zusatzkosten in städt. Räumen, in Mio. CHF	16.7	3.6	20.3

Grafik 9-19: Aufteilung der Zusatzkosten in städtischen Räumen 2005 auf die Fahrzeugkategorien



9.4.6 Bandbreiten

a) Zusammenfassung der Annahmen und Bandbreiten

Die Grundlagen für die Berechnung der Zusatzkosten in städtischen Räumen sind mit gewissen Unsicherheiten verbunden. Einige Inputgrössen basieren auf sehr robusten Daten, d.h. die Unsicherheit ist praktisch null. Bei anderen Inputgrössen dagegen gibt es grössere Unsicherheiten. Die Tabelle 9-37 zeigt für alle relevanten Inputgrössen den Wissensstand bzw. die Grösse der Unsicherheit. Zudem ist dargestellt, innerhalb welcher Bandbreite die jeweiligen Inputparameter variieren.

Im Rahmen einer Monte-Carlo-Simulation wurden alle mit Unsicherheit behafteten Inputgrössen variiert. Bei den Zusatzkosten in städtischen Räumen wurde für alle Inputgrössen eine Standardnormalverteilung angenommen, bei denen die in der Tabelle 9-37 dargestellten Bandbreiten das 95%-Vertrauensintervall darstellen.

Tabelle 9-37: Übersicht über Inputdaten, Annahmen und Bandbreiten bei den Zusatzkosten in städtischen Räumen

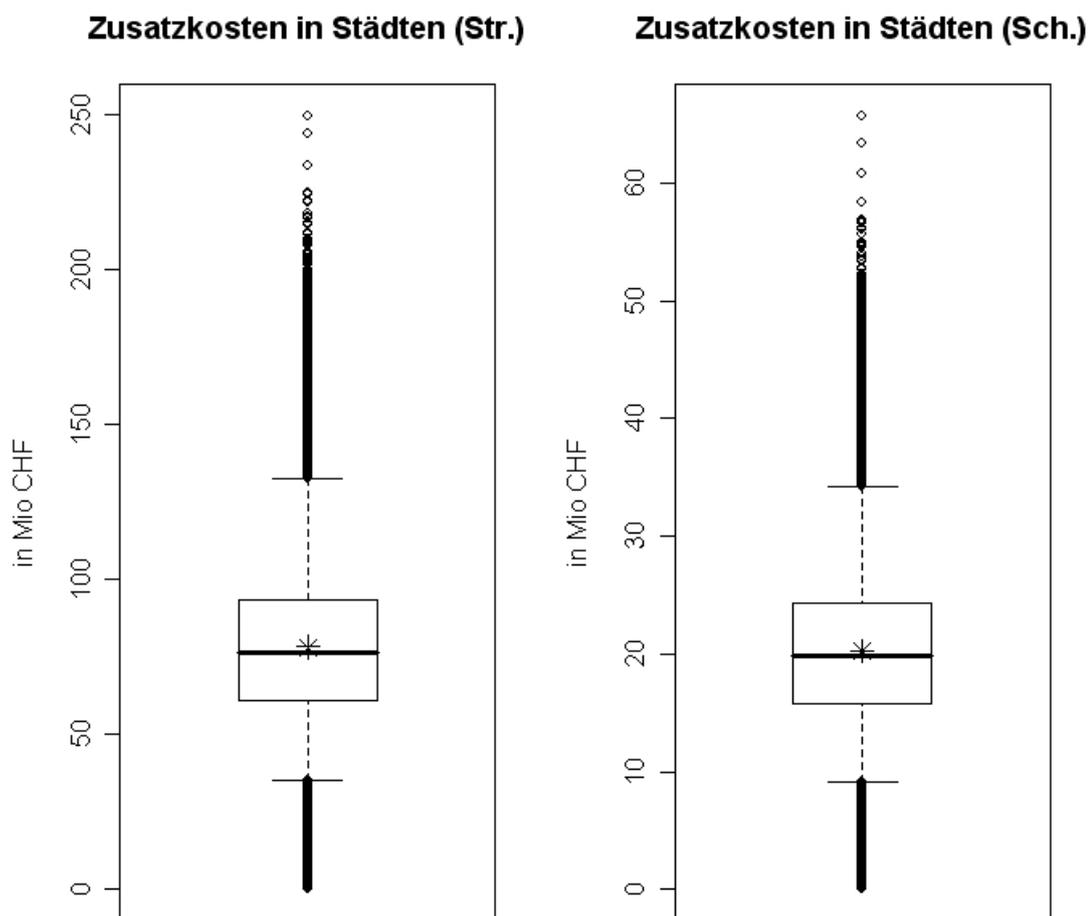
Bereich / Inputgrösse	Wissenstand	Vorgehen	Bandbreite
Belastungssituation			
Betroffene Personen	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 25%
Länge Strassennetz und für Trenneffekte relevanter Anteil	Wissen mit geringen Unsicherheiten	best guess	± 5%
Effekte / Schäden			
Zeitverluste (# Strassenüberquerungen * spezif. Zeitverlust pro Querung)	Wissen mit erheblichen Unsicherheiten	best guess	± 50%
Wertgerüst			
Zeitwert für Fussgänger	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	± 25%

b) Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation

Die Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation sind in der Tabelle 9-38 dargestellt. Das 95%-Konfidenzintervall der Zusatzkosten in städtischen Räumen liegt beim Strassenverkehr zwischen 35 und 132 Mio. CHF, beim Schienenverkehr zwischen 9 und 34 Mio. CHF. Die untenstehende Grafik visualisiert die Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation.

Tabelle 9-38: Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation für die Zusatzkosten in städtischen Räumen in Mio. CHF

	Basisrechnung	95%-Konfidenzintervall	95%-Konfidenzintervall
Strasse	78	35 - 132	-55% - 69%
Schiene	20	9 - 34	-55% - 69%
Total Strasse+Schiene	99	44 - 167	-55% - 69%

Grafik 9-20: Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation für die Zusatzkosten in städtischen Räumen

Erläuterung: Die Begrenzung der rechteckigen Box entspricht dem 25%- bzw. 75%-Quantil, d.h. 50% aller Simulationen liegen innerhalb der Box. Der Strich in der Box ist der Median (=50%-Quantil), das „+“-Zeichen der Mittelwert und das „x“-Zeichen das Ergebnis aus der Basisrechnung. Der untere bzw. obere Querstrich nach der gestrichelten Linie („Whisker“) ist das 2.5%- bzw. 97.5%-Quantil, so dass 95% innerhalb dieser Werte liegen. Die Kreise ausserhalb dieser Querstriche zeigen Ausreisser (da eine Million Simulationen durchgeführt wurden, gibt es relativ viele Ausreisser).

9.4.7 Vergleich mit den bisherigen Ergebnissen für das Jahr 2000

In der folgenden Tabelle und Grafik werden die Ergebnisse mit den bisherigen Berechnungen für das Jahr 2000 verglichen.²²⁰ Die Zusatzkosten in städtischen Räumen haben zwischen 2000 und 2005 um 11% zugenommen. Die Kostensteigerung war beim Strassen- und Schienenverkehr in etwa gleich gross.

Die Zunahme der Zusatzkosten in städtischen Räumen ist auf zwei Gründe zurückzuführen:

- Die Anzahl betroffenen Personen in städtischen Räumen (Städte >50'000 Einwohner) stieg zwischen 2000 und 2005 um 3.2% (städtische Wohnbevölkerung: +2.7%, Pendler-saldo: +4.1%).
- Der verwendete Zeitkostensatz der Fussgänger lag 2005 8% über dem Wert von 2000 (Basis Nominallohnentwicklung 2000 bis 2005).

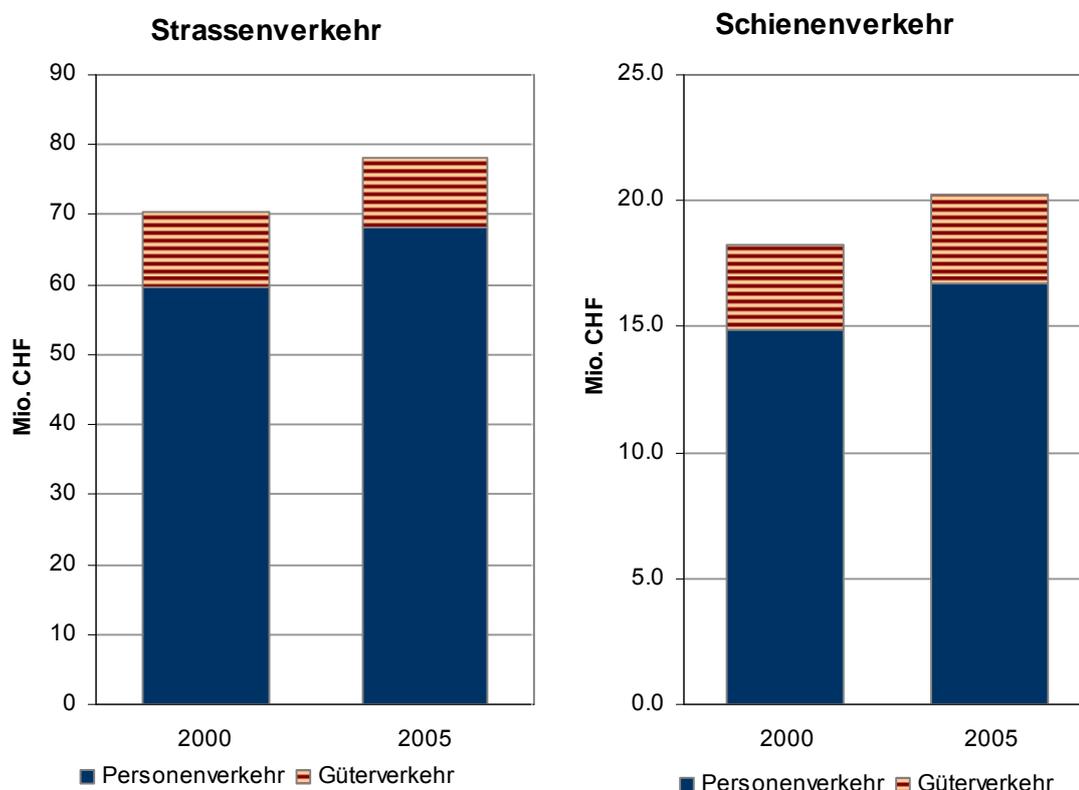
Diese beiden Werte wirken additiv und führen insgesamt zu einer Zunahme der Kosten in städtischen Räumen von 11%. Aufgrund der Veränderung der Fzkm innerorts bzw. der Zugkm ergeben sich Verschiebungen zwischen dem Personen- und Güterverkehr (insbesondere die Reduktion der Fzkm im Güterverkehr durch das BFS).

Tabelle 9-39: Vergleich der Berechnungen für die Jahre 2000 und 2005: Zusatzkosten in städtischen Räumen

2000	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	59.6	10.9	70.5	79.4%
Schienenverkehr	14.9	3.3	18.2	20.6%
Total	74.5	14.2	88.7	100.0%
in % des Totals	83.9%	16.1%	100.0%	
2005	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	68.1	10.2	78.2	79.4%
Schienenverkehr	16.7	3.6	20.3	20.6%
Total	84.8	13.7	98.5	100.0%
in % des Totals	86.1%	13.9%	100.0%	
Veränderung in %	Personenverkehr	Güterverkehr	Total	
Strassenverkehr	14.3%	-6.9%	11.0%	
Schienenverkehr	12.1%	6.9%	11.1%	
Total	13.9%	-3.7%	11.1%	

²²⁰ Beim vorgenommenen Vergleich gilt es zu berücksichtigen, dass die Angaben für das Jahr 2000 nicht auf das Preisniveau 2005 angepasst werden, so dass die ausgewiesene Kostenzunahme bei einer realen bzw. preisbereinigten Betrachtung etwas kleiner wäre.

Grafik 9-21: Vergleich der Berechnungen für die Jahre 2000 und 2005: Zusatzkosten in städtischen Räumen



9.5 Kosten vor- und nachgelagerter Prozesse

9.5.1 Bewertungsmethodik

Die Methodik für den Bereich der Externen Kosten aus vor- und nachgelagerten Prozessen orientiert sich an der in Infras (2006) detailliert beschriebenen Methodik.²²¹ Es sollen dabei die nicht unmittelbar mit dem direkten Betrieb der Fahrzeuge verbundenen Folgeschäden, die durch den Strassen- und Schienenverkehr für das Jahr 2005 in der Schweiz verursacht werden, quantifiziert werden. Die vor- und nachgelagerten Prozesse lassen sich grob in 3 verschiedene Kategorien unterteilen:

- Herstellung, Unterhalt und Entsorgung von Fahrzeugen
- Herstellung, Transport und Bereitstellung der Treibstoffe bzw. der Traktionsenergie
- Herstellung, Unterhalt und Entsorgung der Verkehrsinfrastruktur.

²²¹ Siehe Infras (2006), Externe Kosten des Strassen- und Schienenverkehrs 2000, Kapitel 5 (Zusätzliche Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse)

Bei all diesen Prozessen treten zahlreiche Umweltbelastungen auf. Die Extraktion von Erdöl für die Treibstoffherstellung führt beispielsweise zu Boden- und Gewässerverschmutzung, zur Emission von Treibhausgasen und weiteren Luftschadstoffen, der Transport der Rohstoffe in die Schweiz verursacht weitere Belastungen der Gewässer und der Atmosphäre, die nachgelagerte Verarbeitung von Rohöl in Raffinerien verbraucht Energie und bei der Betankung der Fahrzeuge kommt es ebenfalls zur Emission von Luftschadstoffen. Bei der Produktion von Strom für die Traktionsenergie beim Schienenverkehr ist auch mit verschiedenen Umweltbelastungen verbunden, der Bau von Kraftwerken benötigt Energie, verbraucht Raum in teilweise sensiblen Regionen, je nach Strom-Mix werden bei der Verbrennung von Kohle, Erdgas oder Öl in Kraftwerken Treibhausgase und weitere Luftschadstoffe freigesetzt bzw. Gewässer belastet. Ähnliche Prozesse treten bei der Herstellung der Fahrzeuge und der Bereitstellung von Rohmaterialien für Fahrzeuge (z.B. Stahl, Aluminium) und Verkehrsinfrastruktur auf.

Um die ökonomischen Folgekosten für die Gesellschaft zu quantifizieren, müssten theoretisch sämtliche Prozessketten detailliert dokumentiert werden, die dabei anfallenden Umweltbelastungen sowie die davon betroffenen Personen bzw. Ökosysteme detailliert erfasst werden und mit Hilfe von Dosis-Wirkungs-Beziehungen die dadurch entstehenden Schäden quantifiziert und schliesslich bewertet werden. Aufgrund der starken Vernetzung der Weltwirtschaft treten die Umweltbelastungen global auf, die Bewertung der resultierenden Schäden ist jedoch stark vom regionalen bzw. nationalen Kontext abhängig.²²² Es daher kaum möglich, sämtliche Umweltbelastungen zu erfassen und verlässlich zu quantifizieren. Aus diesem Grund fokussiert der Berechnungsansatz lediglich auf globalen Umweltbelastungen, bei denen der Ort der Emission praktisch unbedeutend für den entstehenden Schaden ist. Dies trifft vor allem auf Treibhausgase zu.

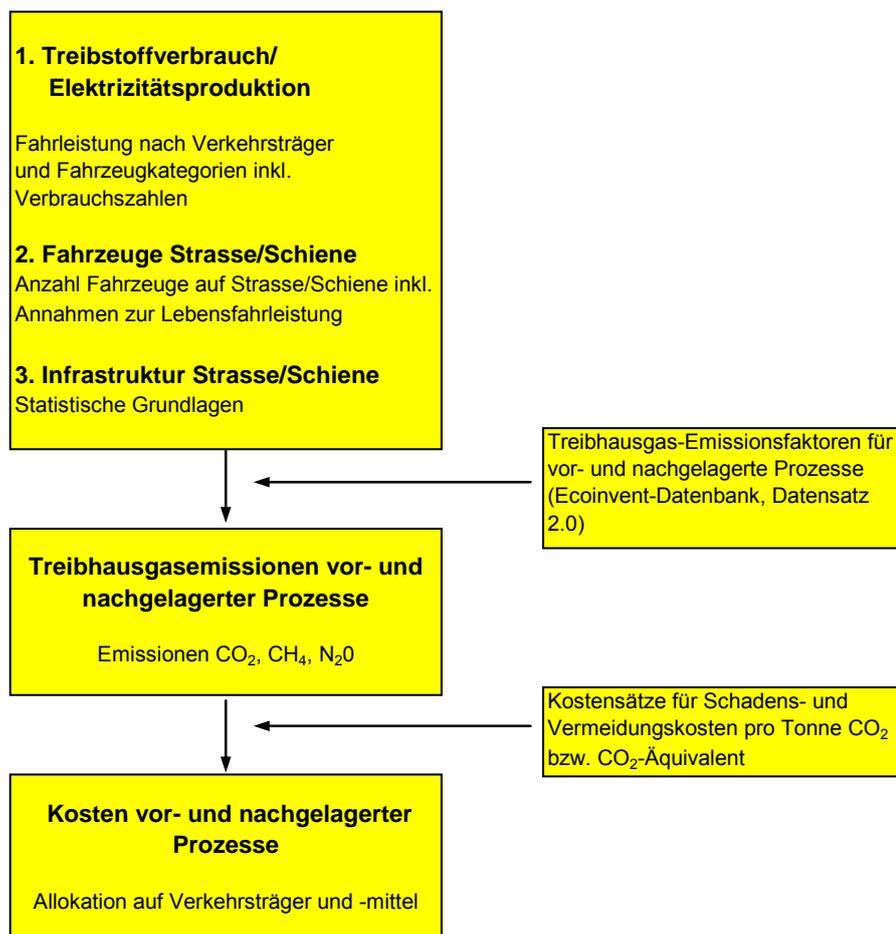
Die folgenden Berechnungen erfassen daher die Emission von Treibhausgasen sämtlicher vor- und nachgelagerter Prozesse des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz im Jahr 2005. Dabei wird nicht berücksichtigt, ob diese Treibhausgase in der Schweiz selbst oder im Ausland emittiert werden. Diese Treibhausgasemissionen werden schliesslich mit der im Kapitel 'Klima' detailliert beschriebenen Methodik bewertet.

Es wird also ein at least Ansatz verwendet, weil ausschliesslich die treibhausgasbedingten Folgeschäden bewertet werden, nicht aber alle weiteren Umweltbelastungen, die im ursächlichen Zusammenhang mit dem Strassen- und Schienenverkehr in der Schweiz stehen.

Die folgende Grafik gibt einen Überblick über das Vorgehen.

²²² Beispielsweise führt die Emission von Feinstaub (PM10, PM2.5) einer Fahrzeugfabrik im dicht besiedelten Gebiet zu Gesundheitsschäden bei Anwohnern, während die Emission der gleichen Menge an Feinstaub beim Ferntransport auf dem offenen Meer nur sehr geringe Schäden nach sich zieht. Die Bewertung der Schäden einer Fabrik auf den Anwohnern ist zusätzlich vom Value of Statistical Life (VOSL) abhängig, der je nach Land unterschiedlich hoch ist, weil er über das Pro-Kopf-Einkommen angepasst wird.

Grafik 9-22: Methodik zur Berechnung der vor- und nachgelagerten Prozesse (Aktualisierungen hervorgehoben)



9.5.2 Neue Erkenntnisse aus der nationalen und internationalen Forschung

Wichtigste neue Datengrundlage ist die überarbeitete und aktualisierte Ecoinvent Datenbank²²³, die für verschiedenste Prozesse auf unterschiedlichem Aggregationsniveau die mit der Produktion, Unterhalt und Entsorgung eines bestimmten Gutes zusammenhängenden Energieverbräuche und Emissionen quantifiziert. Diese Datenbank stellt eine für Europa nahezu einmalige Datengrundlage dar²²⁴, die noch dazu viele Schweiz-spezifische Prozessketten detailliert beschreibt und quantifiziert.

²²³ Ecoinvent (2007), Ecoinvent data Version 2.0

²²⁴ Ecoinvent-Daten werden z.B. auch in der TREMOVE Datenbank verwendet

9.5.3 Mengengerüst

a) Precombustion / Stromproduktion

Auch bei der Gewinnung, dem Transport sowie der Bearbeitung von Treibstoffen werden Treibhausgase freigesetzt.²²⁵ Insgesamt werden pro Liter Benzin an der Tankstelle ca. 580 g CO₂-Äquivalente und pro Liter Diesel ca. 500 g CO₂-Äquivalente freigesetzt (Quelle: Jungbluth, 2007).²²⁶ Der Verbrauch an Diesel- und Benzin für die Strasse wurde basierend auf aufdatierten Verbrauchsfaktoren aus BUWAL (2004) sowie einem aktualisierten Fahrleistungsmengengerüst bestimmt. Beim Schienenverkehr wurde der Dieselverbrauch anhand des 'Nationalen Treibhausgasinventars (NIR = National Inventory Report)' bestimmt. Der Traktionsstromverbrauch beruht auf BFS (2007).²²⁷

Für die Bahnstromproduktion wurde der aktuelle Bahnstrom-Mix (SBB) basierend auf Ecoinvent (2007) verwendet. Der Wasserkraftanteil beim von der SBB zu Traktionszwecken produzierte bzw. zugekaufte Strom betrug 2005 ca. 75%, die restlichen 25% kommen zu einem Grossteil aus Kernkraftwerken in Frankreich (ca. 20%) sowie der Schweiz (ca. 5%). Aufgrund des weitgehenden Fehlens von fossilen Energieträgern sind die CO₂-Emissionen des Bahnstroms vergleichsweise gering und betragen knapp 20 g CO₂-Äquivalente pro verbrauchte kWh.²²⁸

b) Herstellung, Unterhalt und Entsorgung der Fahrzeuge

Insbesondere bei der Produktion und dem Unterhalt von Fahrzeugen werden Treibhausgase emittiert, die Emissionen bei der Entsorgung sind weniger bedeutend. Die folgende Grafik zeigt die Emissionen von CO₂-Äquivalenten pro Fzkm für Produktion, Unterhalt und Entsorgung für verschiedene Fahrzeugtypen im Strassenverkehr.

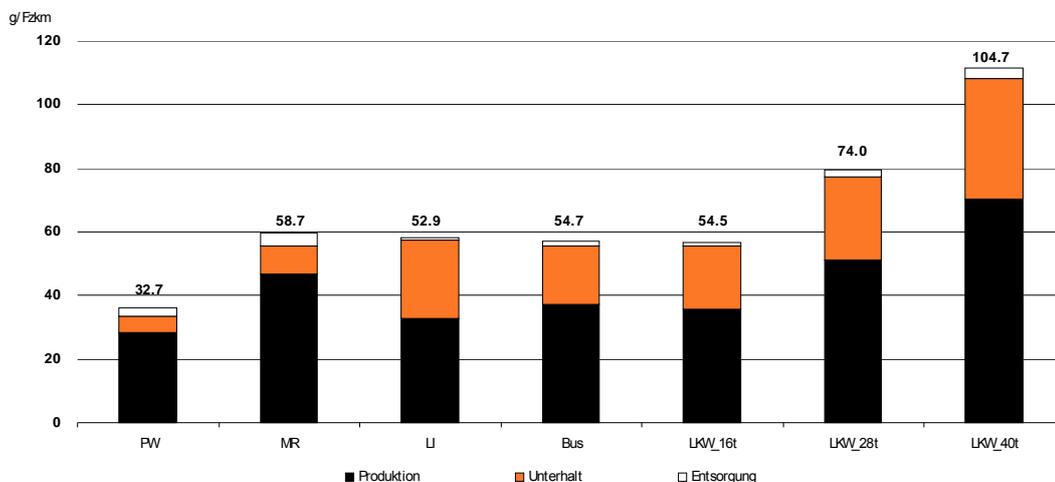
²²⁵ Jungbluth (2007), Erdöl.

²²⁶ Zum Vergleich: Bei der Verbrennung von 1 l Benzin / 1 l Diesel werden 2.34 kg CO₂ / 2.61 kg CO₂ freigesetzt.

²²⁷ BFS (2007) ÖV-Statistik, Zeitreihen Eisenbahnen.
Online: <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/11/07/02/02.Document.64941.xls> (03/2008)

²²⁸ Zum Vergleich: die Produktion einer kWh mit dem durchschnittlichen Europäischen Kraftwerkpark (sog. UCTE Mix) verursacht über 500 g CO₂-Äquivalente pro produzierte Kilowattstunde.

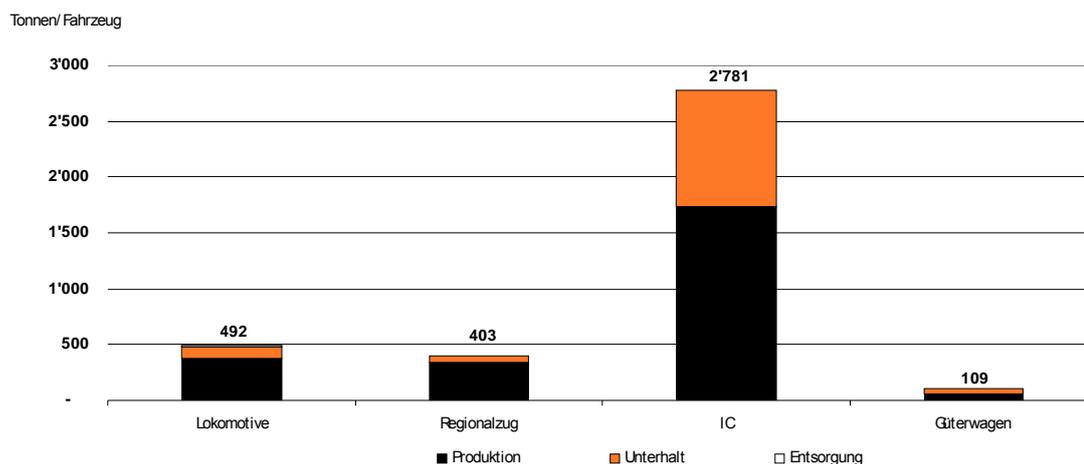
Grafik 9-23: Treibhausgasemissionen im Produktlebenszyklus verschiedener Strassenfahrzeuge (in g CO₂-Äquivalente pro Fahrzeugkilometer)



Quelle: Darstellung basiert auf Ecoinvent (2007), Datensatz 2.0. Die Werte pro Fzkm wurden auf Basis der durchschnittlichen Lebensfahrleistung berechnet.

Im Schienenverkehr dominieren ebenfalls die Herstellung und der Unterhalt der Fahrzeuge die Lebenszyklusemissionen von Treibhausgasen:

Grafik 9-24: Treibhausgasemissionen im Produktlebenszyklus der Infrastruktur (in Tonnen CO₂-Äquivalente pro Fahrzeug)

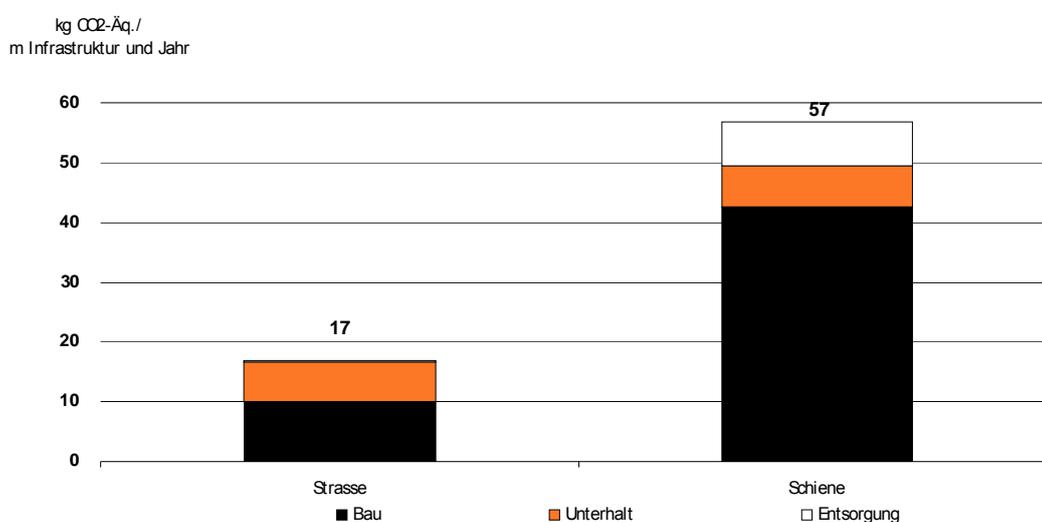


Quelle: Darstellung basiert auf Ecoinvent (2007), Datensatz 2.0. Bemerkungen: Regionalzug: Komposition mit 4 Wagen. IC: IC2000 Komposition der SBB.

c) Bau, Unterhalt und Entsorgung der Infrastruktur

Insbesondere beim Bau sowie beim Unterhalt der Infrastruktur werden Treibhausgase ausgestossen. Die folgende Grafik zeigt die auf ein Jahr umgerechnete jährliche Emission von Treibhausgasen aus dem Bau, dem Unterhalt und der Entsorgung der Strassen- und Schieneninfrastruktur (pro m Infrastruktur). Grundlage für die Berechnung ist ein durchschnittlicher Meter Strassen- und Schieneninfrastruktur, der sämtlichen Strassenklassen sowie Streckentypen anteilmässig repräsentiert.

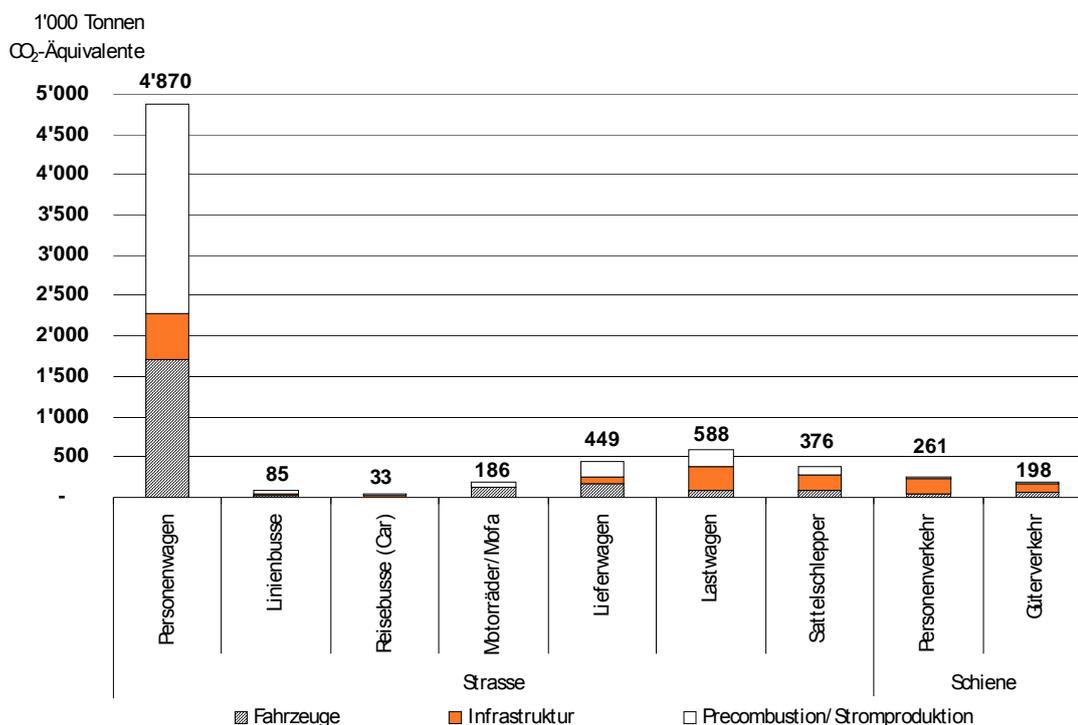
Grafik 9-25: Treibhausgasemissionen im Produktlebenszyklus der Infrastruktur (in kg CO₂-Äquivalente pro Meter Infrastruktur und Jahr)



d) Gesamtemissionen

Die folgende Figur zeigt die Gesamtemissionen aus vor- und nachgelagerten Prozessen im Strassen- und Schienenverkehr für das Jahr 2005.

Grafik 9-26: Treibhausgasemissionen durch vor- und nachgelagerte Prozesse in der Schweiz 2005 (in 1'000 Tonnen CO₂-Äquivalente)



Im Strassenverkehr dominieren bei den vor- und nachgelagerten Prozessen insbesondere die sog. Precombustion der Treibstoffe sowie die bei Fahrzeugproduktion und -unterhalt anfallenden Treibhausgasemissionen. Beim Schienenverkehr zeigt sich, dass vor allem die Infrastruktur für den Grossteil der Treibhausgasemissionen verantwortlich ist. Die zu 75% auf Wasserkraft und 25% auf Kernenergie basierte Stromproduktion der Bahnen führt zu sehr geringen Treibhausgasemissionen.

Im Vergleich zu den direkten Emissionen aus dem Betrieb der Fahrzeuge (Verbrennung von Treibstoffen) haben die Emissionen aus vor- und nachgelagerten Prozessen im Strassenpersonenverkehr einen Anteil von ca. 45% und im Strassengüterverkehr vom ca. 55%. Beim Schienenverkehr übersteigen die Emissionen aus vor- und nachgelagerten Prozessen die Betriebsemissionen um das 6-fache, weil bei den Betriebsemissionen nur die Treibhausgasemissionen von Diesellokomotiven berücksichtigt werden, die nur einen sehr geringen Anteil der Traktionsleistung in der Schweiz ausmachen.

9.5.4 Wertgerüst

Die Bewertung der Treibhausgasemissionen erfolgt wie beim Klima mit einem kurzfristigen Kostensatz von 40 CHF / t CO₂, einem langfristigen Kostensatz von 140 CHF / t CO₂ und einem zentralen Kostensatz von 90 CHF / t CO₂ (vgl. Kapitel 7.4).

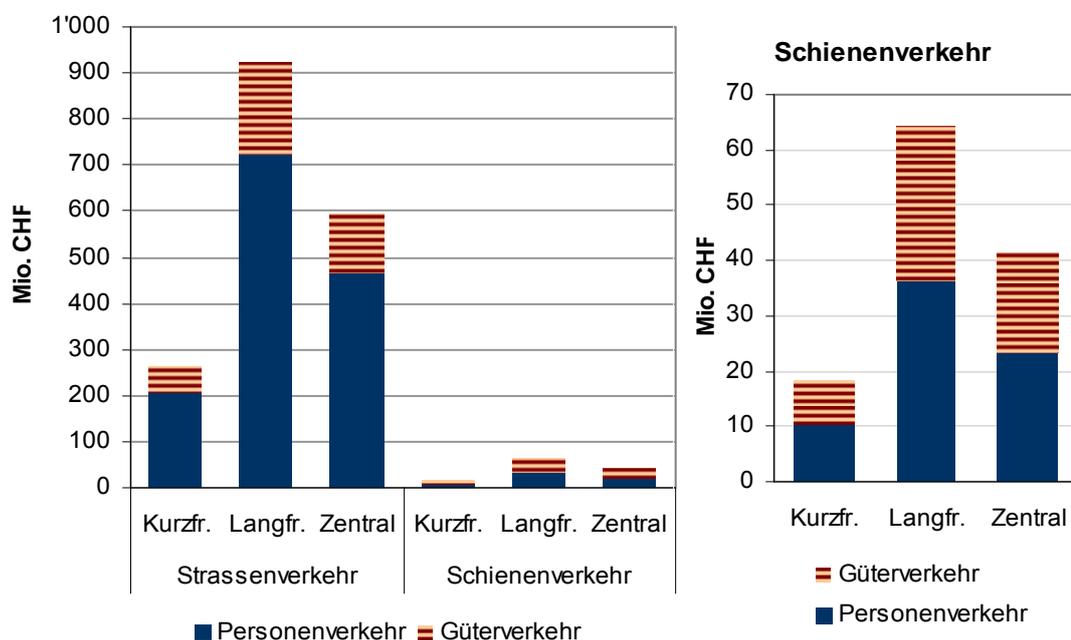
9.5.5 Ergebnisse

a) Gesamtkosten

Die folgende Tabelle und Grafik zeigen die Klimakosten der vor- und nachgelagerten Prozesse des Verkehrs für das Jahr 2005. Die Kosten werden für die drei Bewertungsansätze bei den Klimakosten getrennt ausgewiesen. Insgesamt betragen die Klimakosten für die vor- und nachgelagerten Prozesse für den zentralen Bewertungsansatz 634 Mio. CHF, knapp 94% davon fallen beim Strassenverkehr an. Der Personenverkehr ist für ca. 77% der Gesamtkosten verantwortlich, der Rest entfällt auf den Güterverkehr.

Tabelle 9-40: Verkehrsbedingte Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse 2005, Strassen- und Schienenverkehr (in Mio. CHF)

	Bewertungs- satz Klimakosten	Personenver- kehr	Güterverkehr	Total	in % des To- tals
Strassenverkehr	Kurzfr.	207	56	263	93.5%
	Langfr.	724	198	922	93.5%
	Zentral	466	127	593	93.5%
Schienenverkehr	Kurzfr.	10.4	7.9	18.4	6.5%
	Langfr.	36.5	27.8	64.3	6.5%
	Zentral	23.5	17.9	41.3	6.5%
Total Verkehr	Kurzfr.	217	64	282	100.0%
	Langfr.	761	226	986	100.0%
	Zentral	489	145	634	100.0%
in % des Totals		77.1%	22.9%	100.0%	

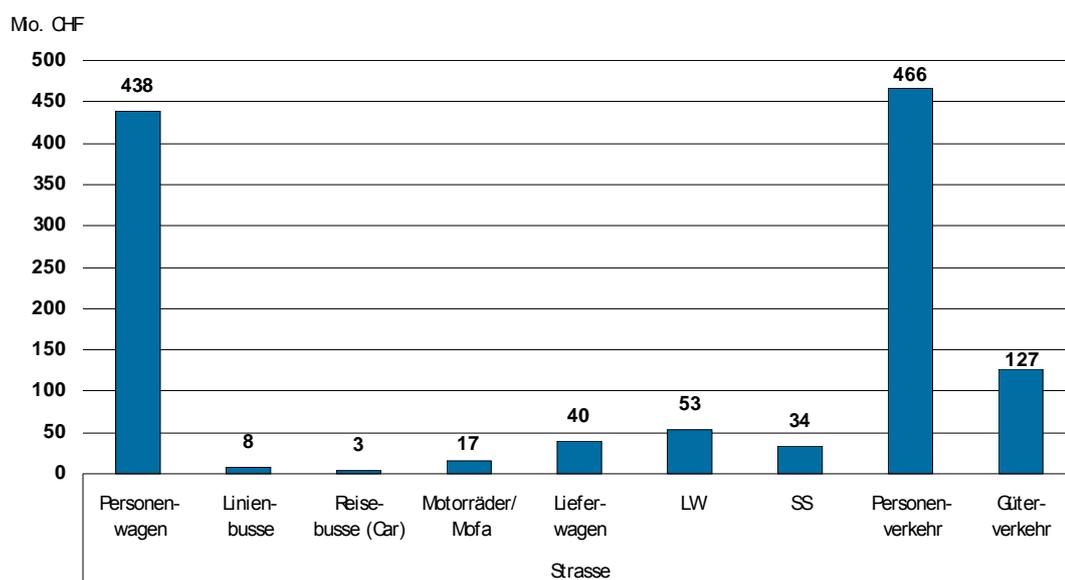
Grafik 9-27: Verkehrsbedingte Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse 2005, Strassen- und Schienenverkehr (in Mio. CHF)**b) Kosten des Strassenverkehrs**

Beim Strassenverkehr sind die Emissionen des Personenverkehrs für ca. 79% aller Emissionen aus vor- und nachgelagerten Prozessen verantwortlich, der Güterverkehr für 21% (vgl. folgende Tabelle und Grafik).

Tabelle 9-41: Aufteilung der Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse 2005 auf die Fahrzeugkategorien: Strassenverkehr

	Personenverkehr					Güterverkehr				Total
	PW	Bus	Car	MZ	Total	Li	LW	SS	Total	
Emissionen										
CO ₂ -Äquivalente (1'000 t)	4'870	85	33	186	5'170	450	590	380	1'410	6'580
%-Anteile	74.0%	1.3%	0.5%	2.8%	78.6%	6.8%	9.0%	5.8%	21.4%	100.0%
Kosten, in Mio. CHF (zentraler Wert)	438	8	3	17	466	40	53	34	127	593

PW = Personenwagen, Bus = öffentliche Linienbusse, Car = Privatscars/Reisebusse, MZ = Motorisierte Zweiräder (Motorrad und Motorfahrrad), Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper. Quelle für Emissionen: Ecoinvent (2007), Treibhausgas-Emissionen des Strassenverkehrs; Werte angepasst mit aktuellen Fahrleistungsdaten des Jahres 2005.

Grafik 9-28: Verkehrsbedingte Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse 2005, Strassenverkehr (in Mio. CHF)

9.5.6 Bandbreiten

a) Zusammenfassung der Annahmen und Bandbreiten

Für die Resultate der Kosten vor- und nachgelagerter Prozesse werden im Rahmen einer Monte-Carlo-Simulation die Auswirkungen der mit verschiedenen Unsicherheiten verbundenen Inputdaten und Berechnungsschritte detailliert untersucht. Die nachfolgende Aufzählung sowie die Tabelle zeigen die unterstellten Schwankungsbreiten:

- Wichtigster Parameter mit Unsicherheiten ist der Bewertungssatz für die Klimakosten. Es wurde eine Normalverteilung unterstellt, die um ± 50 CHF / Tonne CO₂ bzw. $\pm 56\%$ um den zentralen Wert von 90 CHF / Tonne CO₂ streut (Begründung siehe Kapitel 7).
- Sämtliche Treibhausgasemissionen aus vor- und nachgelagerten Prozessen beruhen auf der Ecoinvent (2007) Datenbank, Version 2.0. Die Datenbank gibt für die aggregierten Resultate der Treibhausgasemissionen²²⁹ keine Schwankungsbreiten an, diese liegen nur auf Ebene der ungewichteten Emissionen in verschiedene Umweltkompartimente vor.
- Die Emissionsberechnung der Fahrzeugherstellung, -unterhalt und -entsorgung wie auch sämtliche Emissionen der Infrastruktur weist naturgemäss verschiedenen Unsicherheiten auf. Diese liegen z.B. darin begründet, dass für die Emissionen bei der Fahrzeugherstellung anhand einiger weniger Beispielfahrzeuge erfolgt ist und deren Zusammensetzung nicht mit derjenigen des Schweizerischen Fahrzeugparks übereinstimmt. Weiter müssen

²²⁹ Alle Treibhausgasemissionen wurden mit sog. Global warming potential (GWP 100 Jahre, IPCC) gewichtet und als sog. CO₂-Äquivalente ausgedrückt.

Emissionen bei der Herstellung auf den gesamten Produktlebenszyklus anhand einer Lebensfahrleistung umgelegt werden, die je nach Fahrzeugtyp stärker schwanken kann. Für all die notwendigen Parameter haben einerseits die Spezialisten von Ecoinvent sowie die Autoren dieser Studie zahlreiche Annahmen getroffen. Wir nehmen für die Fehlerrechnung deshalb für alle Fahrzeug- und Infrastrukturprozesse eine Schwankungsbreite von $\pm 25\%$ an und gehen von einer Normalverteilung aus.

- Bei den Berechnungen der Emissionen für Precombustion / Stromproduktion wird eine Schwankungsbreite von $\pm 10\%$ sowie eine Normalverteilung angenommen, da hier einfachere Prozessketten vorliegen, die zu einer genaueren Emissionsbestimmung führen.

Tabelle 9-42: Übersicht über Annahmen und Bandbreiten bei der Berechnung der Kosten aus vor- und nachgelagerten Prozessen

Bereich / Annahme	Wissenstand	Vorgehen	Bandbreite
Verkehrsleistung/Mengengerüste			
Fahrleistung pro Fahrzeugtyp	Gesichertes Wissen	Datenauswertung	
Energieverbrauch Strasse und Bahnen	Gesichertes Wissen	Datenauswertung	
Mengengerüste Fahrzeuge + Rollmaterial	Gesichertes Wissen	Datenauswertung	
Mengengerüste Infrastruktur Strasse + Schiene	Gesichertes Wissen	Datenauswertung	
Emissionen			
Emissionen Fahrzeugherstellung Strasse	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	$\pm 25\%$
Emissionen Infrastruktur Strasse	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	$\pm 25\%$
Emissionen Precombustion Strasse	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	$\pm 10\%$
Emissionen Fahrzeugherstellung Schiene	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	$\pm 25\%$
Emissionen Infrastruktur Schiene	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	$\pm 25\%$
Emissionen Stromproduktion/Precombustion Schiene	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	$\pm 10\%$
Wertgerüst			
Bewertungsansatz Klimakosten	Wissen mit Unsicherheiten	best guess	$\pm 56\%$

b) Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation

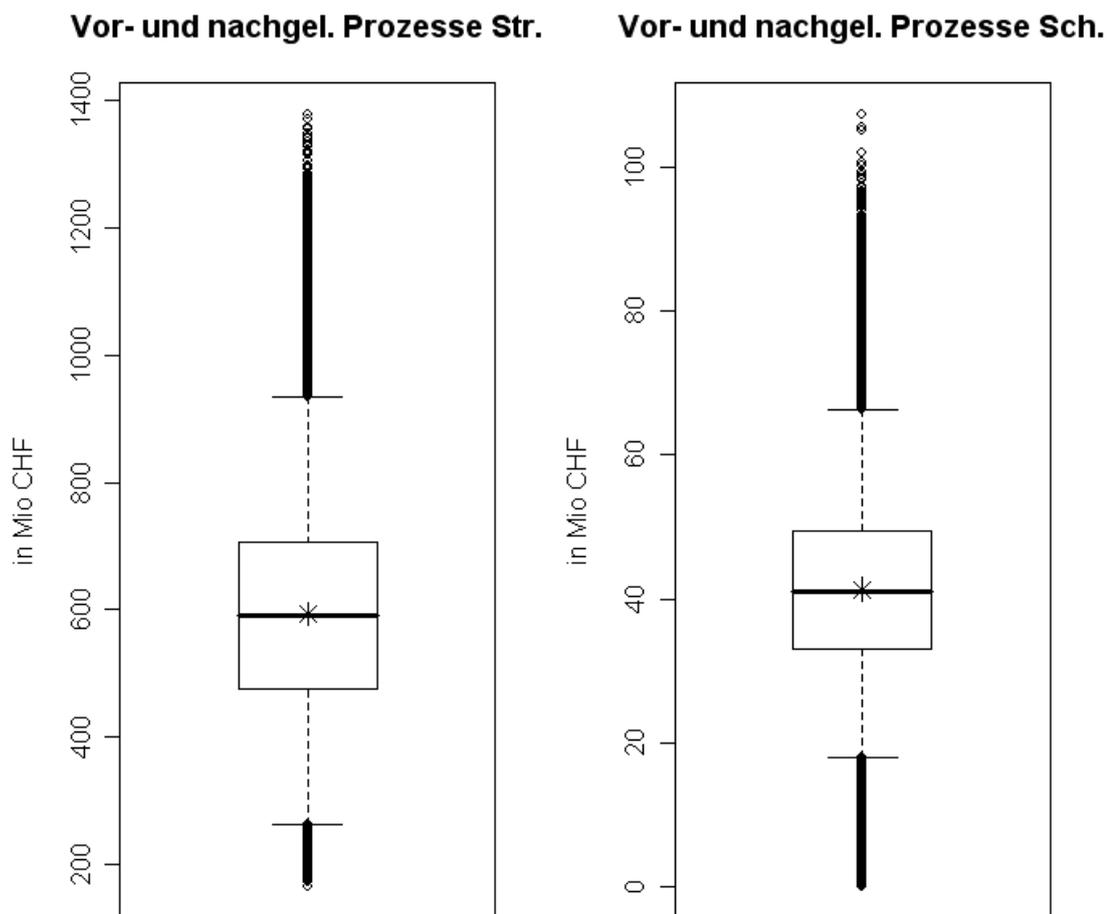
Die Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation werden in der folgenden Tabelle und Grafik dargestellt. Die Schwankungsbreiten sind hauptsächlich durch den Schwankungsbereich des Klimakostensatzes begründet. Im Strassenverkehr liegt das 95%-Konfidenzintervall der Gesamtkosten zwischen ca. 260 und 930 Mio. CHF. Das präsentierte Resultat der Basisrechnung von 593 Mio. CHF könnte also um 56% unter- bzw. um 58% überschritten werden. Für den Schienenverkehr sind vergleichbare Schwankungsbereiche zu beobachten.

Tabelle 9-43: Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation für die Kosten aus vor- und nachgelagerten Prozesse Mio. CHF

	Basisrechnung	95%-Konfidenzintervall	95%-Konfidenzintervall
Strasse	593	262 - 934	-56% - 58%
Schiene	41	18 - 66	-56% - 60%
Total Strasse+Schiene	634	281 - 998	-56% - 57%

Die Verteilung der Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation wird in der folgenden Grafik gezeigt. Aufgrund der unterstellten Normalverteilung der Input-Parameter ist der Basiswert der Berechnung nahezu identisch mit dem Modus und dem arithmetischen Mittel der Verteilung.

Grafik 9-29: Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation für die Kosten aus vor- und nachgelagerten Prozesse Mio. CHF



Erläuterung: Die Begrenzung der rechteckigen Box entspricht dem 25%- bzw. 75%-Quantil, d.h. 50% aller Simulationen liegen innerhalb der Box. Der Strich in der Box ist der Median (=50%-Quantil), das „+“-Zeichen der Mittelwert und das „x“-Zeichen das Ergebnis aus der Basisrechnung. Der untere bzw. obere Querstrich nach der gestrichelten Linie („Whisker“) ist das 2.5%- bzw. 97.5%-Quantil, so dass 95% innerhalb dieser Werte liegen. Die Kreise ausserhalb dieser Querstriche zeigen Ausreisser (da eine Million Simulationen durchgeführt wurden, gibt es relativ viele Ausreisser).

c) Zusätzliche Unter- oder Überschätzungen

Wie bereits einleitend erläutert, stellt die ausschliessliche Bewertung der Klimakosten vor- und nachgelagerter Prozesse eine "at least" Berechnung dar, die zahlreiche weitere Umweltbelastungen von mit dem Verkehr zusammenhängenden Prozessen aus methodischen

Gründen sowie aufgrund fehlender Detailinformationen nicht berücksichtigt. Dies gilt sowohl für die Basisrechnung als auch für das 95%-Intervall aus der Monte-Carlo-Simulation. Wichtigste nicht berücksichtigte Bereiche sind:

- Quantifizierung der Emissionen aus der Fahrzeugherstellung und dem Infrastrukturbau und -unterhalt:

Die bei der Herstellung der Rohstoffe (Stahl, Kunststoffe, Glas, etc.) und aller Zwischenproduktionsstufen der Fahrzeugproduktion anfallenden Luftverschmutzungskosten können nicht berücksichtigt werden, da keine globalen Informationen über die Expositionssituation vorhanden sind.

Gewässerbelastungen, Eingriffe in Natur und Landschaft sowie den Boden durch den Abbau von Rohmaterialien werden ebenfalls nicht quantifiziert.

- Quantifizierung der Emissionen aus der Treibstoffherstellung sowie Stromproduktion:

Bei den verschiedenen Prozessketten zur Herstellung von Benzin und Dieseltreibstoffen treten sowohl in den rohölfördernden Staaten wie auch entlang der verschiedenen Transportwegen und am Ort der Verarbeitung in Raffinerien zahlreiche Belastungen durch Luftverschmutzung, Emissionen in Oberflächengewässer sowie ins Grundwasser sowie nachhaltige Beeinträchtigung von z.T. einzigartiger Ökosysteme. Die daraus resultierenden Kosten sind mit Sicherheit nicht vernachlässigbar, können aber aufgrund fehlender detaillierter Daten in dieser Studie nicht berücksichtigt werden.

9.5.7 Vergleich mit den bisherigen Ergebnissen für das Jahr 2000

Wie die nachfolgende Tabelle für den Strassen- und Schienenverkehr zeigt, nehmen die Kosten aus vor- und nachgelagerten Prozessen zwischen 2000 und 2005 um 53% zu.

Im Strassenverkehr steigen die Kosten des Personenverkehrs um knapp 60%, während im Güterverkehr ein Anstieg um ca. 45% zu verzeichnen ist. Gesamthaft nehmen die Kosten im Strassenverkehr um ca. 56% zu. Das Gesamtwachstum im Schienenverkehr ist mit knapp 20% deutlich geringer. Die wichtigsten Gründe für die Veränderungen sind die folgenden:

- Veränderungen des Klimakostensatzes für die Bewertung der CO₂-Emissionen um ca. 56% (vgl. Kapitel 7.7).
- Beim Strassengüterverkehr ist die Zunahme unterproportional. Hauptgrund hierfür sind hauptsächlich veränderte verkehrstatistische Inputdaten für die Kostenallokation Personenverkehr-Güterverkehr. Diese würden streng genommen auch die Verteilung im Jahr 2000 betreffen, da die Zeitreihen der Fahr- und Verkehrsleistung von Lieferwagen wie auch Schweren Nutzfahrzeugen auch rückwirkend nach unten korrigiert wurden.
- Der Rückgang beim Schienenverkehr beruht auf starken Veränderungen bei den Grundlagendaten aus Ecoinvent für die Bewertung der mit der Infrastruktur zusammenhängenden Treibhausgasemissionen. Diese stiegen zwar für den Infrastrukturbau pro km durchschnittliche Bahnstrecke um ca. 16% an, dafür war der Rückgang beim Unterhalt (-79%) sowie bei der Entsorgung (-63%) deutlich, sodass die gesamten Infrastruktur-Emissionen

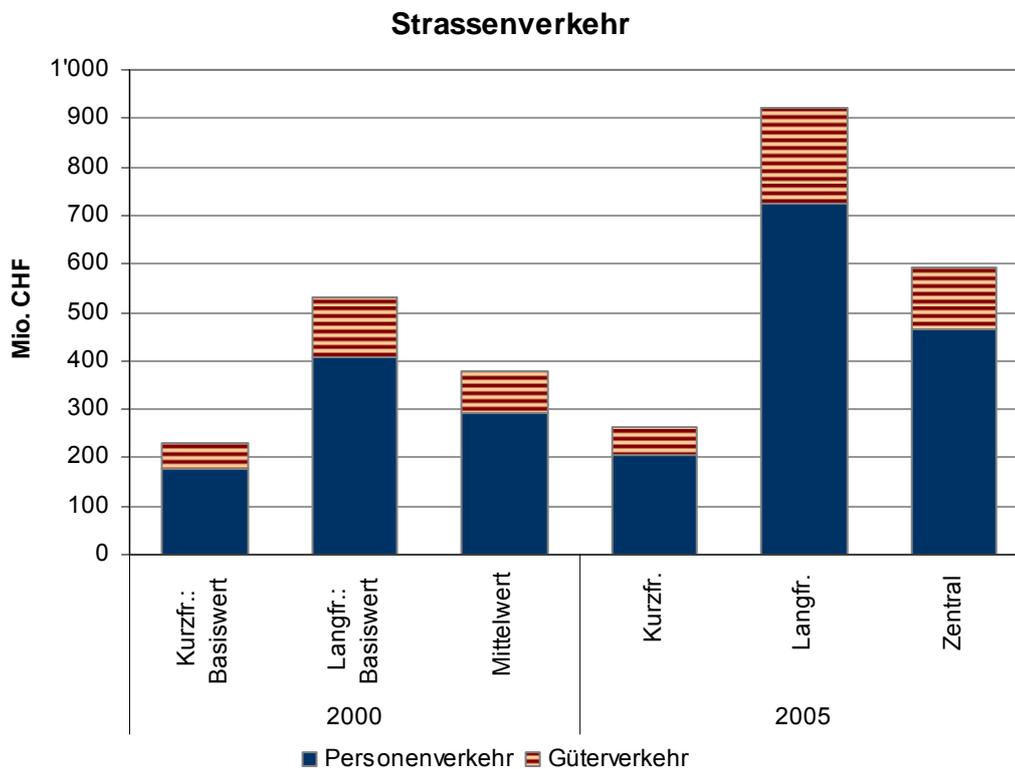
um 37% zurückgingen. Entsprechend geringer ist daher auch der Kostenanstieg beim Schienenverkehr.

Tabelle 9-44: Vergleich der Berechnungen für die Jahre 2000 und 2005: Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse

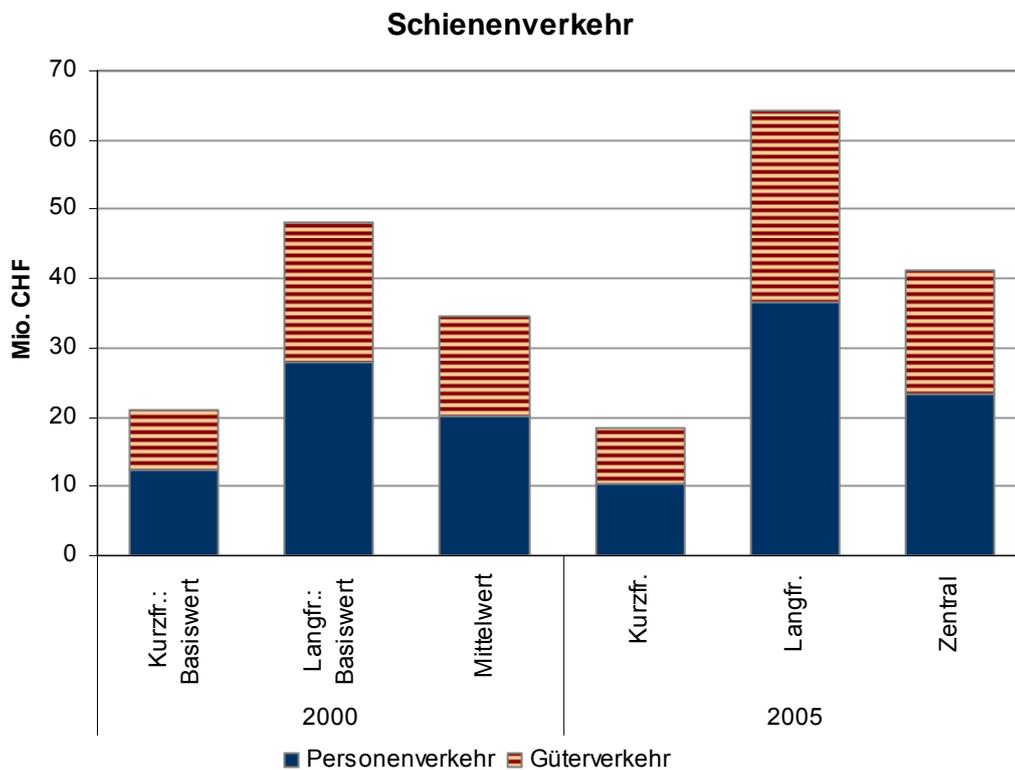
2000		Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strasse	Kurzfr.: Basiswert	178	53	231	
	Langfr.: Basiswert	407	122	529	
	Mittelwert (Langfr./Kurzfr.)	293	88	380	91.7%
Schiene	Kurzfr.: Basiswert	12	9	21	
	Langfr.: Basiswert	28	20	48	
	Mittelwert (Langfr./Kurzfr.)	20.1	14.4	34.5	8.3%
Total	Kurzfr.: Basiswert	190	62	252	
	Langfr.: Basiswert	435	142	577	
	Mittelwert (Langfr./Kurzfr.)	313	102	415	100.0%
in % des Totals		75.4%	24.6%	100.0%	
2005		Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Totals
Strassenverkehr	Kurzfr.	207	56	263	
	Langfr.	724	198	922	
	Zentraler Wert	466	127	593	93.5%
Schienenverkehr	Kurzfr.	10	8	18	
	Langfr.	37	28	64	
	Zentraler Wert	23	18	41	6.5%
Total	Kurzfr.	217	64	282	
	Langfr.	761	226	986	
	Zentraler Wert	489	145	634	100.0%
in % des Totals		77.1%	22.9%	100.0%	
Veränderung 2000-2005 in %		Personenverkehr	Güterverkehr	Total	
Strassenverkehr		+59.2%	+45.1%	+55.9%	
Schienenverkehr		+16.6%	+24.1%	+19.7%	
Total		+56.4%	+42.2%	+52.9%	

Die beiden nachfolgenden Grafiken zeigen die Veränderungen 2000-2005 für den Strassen- und Schienenverkehr jeweils für den kurzfristigen- und langfristigen Basiswert sowie für den Mittelwert (2000) sowie den Zentralen Wert (2005).

Grafik 9-30: Vergleich der Berechnungen für die Jahre 2000 und 2005: Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse im Strassenverkehr



Grafik 9-31: Vergleich der Berechnungen für die Jahre 2000 und 2005: Kosten durch vor- und nachgelagerte Prozesse im Schienenverkehr



10 Zusammenfassung der externen Kosten

In diesem abschliessenden Kapitel werden die Ergebnisse der verschiedenen Bereiche aus den Kapiteln 1 bis 9 zusammengefasst. Dabei beschränken wir uns auf die externen Kosten des Verkehrs. Die sozialen Unfallkosten und die Gesundheitskosten der gesamten Luftverschmutzung, die in Kapitel 1 und 5 berechnet wurden, werden hier also nicht mehr erwähnt.

Die externen Kosten können aus Sicht Verkehrsträger oder aus Sicht Verkehrsteilnehmende dargestellt werden (vgl. Kapitel 3.4.4). Aus Sicht Verkehrsträger werden nur jene Kosten als extern betrachtet, die von der Allgemeinheit getragen werden. Aus Sicht Verkehrsteilnehmende sind auch diejenigen Kosten zu berücksichtigen, die nicht beim Verursacher, aber bei anderen Verkehrsteilnehmern anfallen. Im Folgenden konzentrieren wir uns auf die **Sicht Verkehrsträger**, d.h. auf jene Kosten, die das Verkehrssystem auf die Allgemeinheit abwälzt. Da die Kosten aus Sicht Verkehrsträger tiefer sind, ist dies eine vorsichtige Abschätzung der externen Kosten. Ergänzend werden jedoch die Ergebnisse aus Sicht Verkehrsteilnehmende ebenfalls ausgewiesen. Die Unterscheidung zwischen Sicht Verkehrsträger und Sicht Verkehrsteilnehmende ist nur bei den Unfallkosten relevant. Die Unfallkosten sind aus Sicht Verkehrsteilnehmende etwa doppelt so gross wie aus Sicht Verkehrsträger.

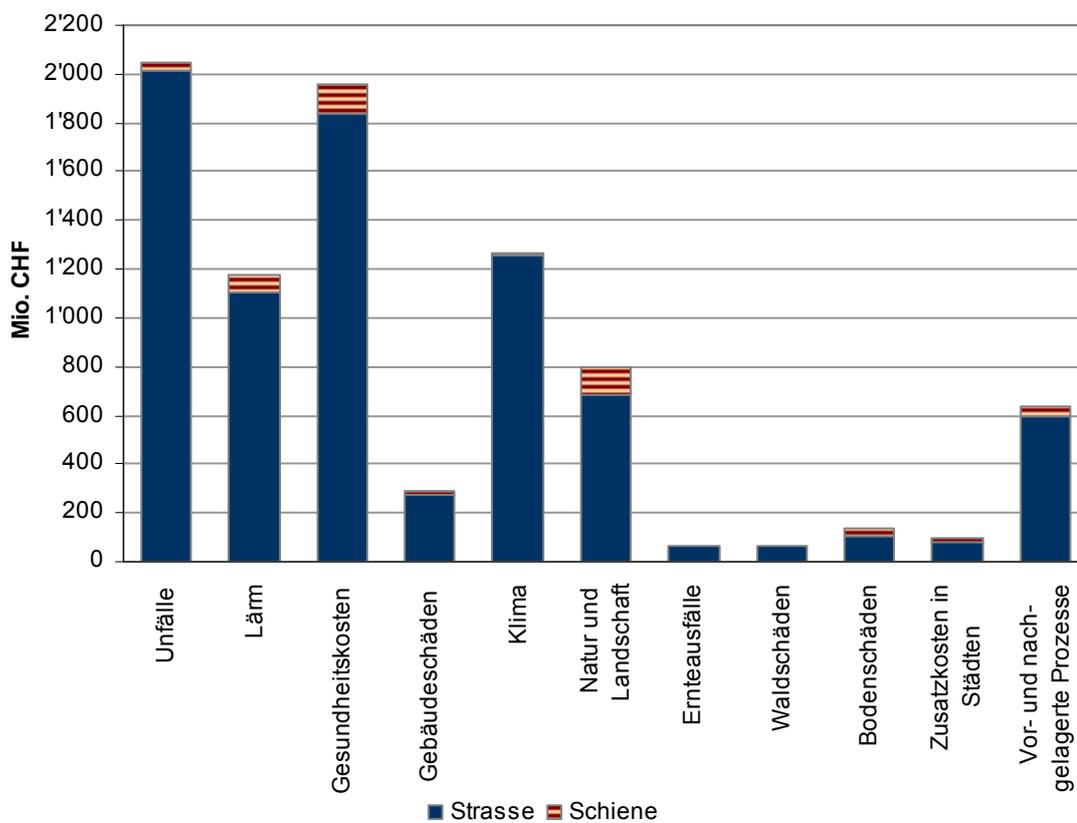
10.1 Gesamtverkehr

In der Tabelle 10-1 und der Grafik 10-1 werden die Ergebnisse aus den vorangehenden Kapiteln zusammengefasst. Im Gesamtverkehr entstehen insgesamt externe Kosten von 8.5 Mrd. CHF (aus Sicht Verkehrsteilnehmende gar 10.6 Mrd. CHF). Rund 95% dieser Kosten werden durch den Strassenverkehr verursacht, nur 5% entfallen auf den Schienenverkehr. Je nach Bereich schwankt dieser Anteil zwischen 76% (Bodenschäden) und 98% (Unfälle).

Tabelle 10-1: Externe Kosten des Verkehrs im Jahr 2005 in Mio. CHF

	Strasse	Schiene	Total	Total in %
Unfälle (Sicht Verkehrsträger)	2'016.8	29.8	2'046.7	24.0%
Lärm	1'100.7	73.7	1'174.4	13.8%
Gesundheitskosten der Luftverschmutzung	1'833.8	120.5	1'954.3	22.9%
Gebäudeschäden der Luftverschmutzung	273.9	15.4	289.2	3.4%
Klima	1'256.4	7.2	1'263.7	14.8%
Natur und Landschaft	687.1	110.1	797.2	9.3%
Ernteauffälle	63.1	1.8	64.9	0.8%
Waldschäden	64.1	1.8	65.9	0.8%
Bodenschäden	107.3	33.2	140.4	1.6%
Zusatzkosten in städtischen Räumen	78.2	20.3	98.5	1.2%
Vor- und nachgelagerte Prozesse	592.8	41.3	634.1	7.4%
Total (Sicht Verkehrsträger)	8'074.3	455.0	8'529.3	100.0%
Anteil an Total	94.7%	5.3%	100.0%	
Total (Sicht Verkehrsteilnehmende)	10'155.1	467.1	10'622.2	
Anteil an Total	95.6%	4.4%	100.0%	

Grafik 10-1: Externe Kosten des Verkehrs im Jahr 2005 in Mio. CHF



Betrachtet man die Bedeutung der verschiedenen Bereiche, so dominieren die Unfallkosten und die Gesundheitskosten der Luftverschmutzung, die zusammen beinahe 50% der Kosten (4.0 Mrd. CHF) verursachen. Klima und Lärm machen noch je etwa 14% (1.2 Mrd. CHF) aus, Natur und Landschaft bzw. vor- und nachgelagerte Prozesse noch 9% bzw. 7% (0.8 bzw. 0.6 Mrd. CHF). Die übrigen fünf Bereiche liegen alle unter 0.3 Mrd. CHF und machen zusammen 0.7 Mrd. CHF aus.

10.2 Strassenverkehr

10.2.1 Berücksichtigte Fahrzeugkategorien

Bevor die Ergebnisse des Strassenverkehrs präsentiert werden, soll kurz darauf eingegangen werden, welche Fahrzeugkategorien in den verschiedenen Bereichen berücksichtigt werden (vgl. folgende Tabelle):

- Im Unfallbereich liegen sehr detaillierte Daten nach einer Vielzahl von Fahrzeugkategorien vor.²³⁰

²³⁰ Die Fahrzeugkategorien Bus Trolley und Tram werden bei den Unfällen wie in Ecoplan (2002, Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr der Schweiz 1998) zusammengefasst. Prinzipiell ist eine Aufteilung möglich, jedoch aufwändig.

Tabelle 10-2: Berücksichtigte Fahrzeugkategorien in den verschiedenen Bereichen

	Personenverkehr										Güterverkehr				
	PW	Bus	Trolley	Tram	Car	MR	Mofa	Fahrrad	Fuss-	Total	Li	LW	SS	Traktor,	Total
Unfälle	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Lärm	X	X	X	X	X	X	X	0	0	X	X	X	X	-0	X
Gesundheitsschäden	X	X	X ¹	n.v.	X		X	n.v.	0	X	X	X	X	n.v.	X
Gebäudeschäden	X	X	n.v.	n.v.	X		X	n.v.	0	X	X	X	X	n.v.	X
Klima	X	X	n.v.	n.v.	X		X	0	0	X	X	X	X	n.v.	X
Natur und Landschaft	X	X	0	0	X		X	0	0	X	X	X	X	n.v.	X
Ernteausfälle	X	X	n.v.	n.v.	X		X	0	0	X	X	X	X	n.v.	X
Waldschäden	X	X	n.v.	n.v.	X		X	0	0	X	X	X	X	n.v.	X
Bodenschäden	X	X	n.v.	n.v.	X		X	0	0	X	X	X	X	n.v.	X
Zusatzkosten in städtischen Räumen	X	X	n.v.	n.v.	X		X	0	0	X	X	X	X	n.v.	X
Vor- und nachgelagerte Prozesse	X	X	n.v.	n.v.	X		X	n.v.	0	X	X	X	X	n.v.	X

n.v. = nicht verfügbar. PW = Personenwagen. Bus = öffentlicher Bus, Car = Privatcar, MR = Motorrad, Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper, Arb.m. = Arbeitsmaschine.

¹ Ohne Emissionen bei der Stromproduktion.

- Im Lärmbereich ist beinahe dieselbe Differenzierung nach Fahrzeugkategorien möglich. Fahrräder und Fussgänger erzeugen jedoch keinen Lärm. Zudem kann bei Traktoren und Arbeitsmaschinen angenommen werden, dass der Lärmbeitrag nicht relevant ist.²³¹
- Im Bereich Gesundheitsschäden der Luftverschmutzung lassen die Datengrundlage keine so detaillierte Aufteilung nach Fahrzeugkategorien zu:
Bei den Trolleybussen werden lediglich die Emissionen durch Aufwirbelung etc. berücksichtigt. Bei Trams wird die Aufwirbelung als gering betrachtet, genaue Zahlen liegen jedoch nicht vor. Die Emissionen durch die Stromproduktion bei Trolleybus und Tram können nicht mit einbezogen werden.

²³¹ Traktoren verkehren meist auf Strassen, auf denen ein durchschnittliches Lärmniveau von 55 dB(A) nicht erreicht wird. Auf dichter befahrenen Strassen mit Lärmniveaus über 55 dB(A) machen sie jedoch nur einen geringen Anteil des Verkehrs aus. Arbeitsmaschinen verursachen vor allem Lärm auf Baustellen. Dann zählt dieser Lärm aber nicht zum Verkehrslärm, der hier zu berechnen ist, sondern zum Baulärm.

Auch Fahrräder führen zu Aufwirbelung, es sind dazu jedoch keine Daten verfügbar. Bei Fussgängern gilt im Prinzip dieselbe Aussage, doch können die Aufwirbelung aufgrund der geringen Geschwindigkeit als vernachlässigbar betrachtet werden.

Mofas und Motorräder können aufgrund der Datenlage nur gemeinsam ausgewiesen werden.

Traktoren sind bei der Berechnung der Immissionen Teil der Land- und Forstwirtschaft und Arbeitsmaschinen sind Teil von Industrie und Gewerbe. Folglich können hier keine detaillierten Werte ausgewiesen werden.

- In allen anderen Bereichen liegen zu den Fahrzeugkategorien Trolleybus, Tram, Fahrrad, Fussgänger sowie Traktor und Arbeitsmaschinen entweder keine Daten vor oder die Auswirkungen sind vernachlässigbar.

10.2.2 Ergebnisse für den Strassenverkehr

In der Tabelle 10-3 werden die Ergebnisse des Strassenverkehrs auf die einzelnen Fahrzeugkategorien aufgeteilt bzw. die entsprechenden Ergebnisse aus den Kapiteln 1 bis 9 übernommen. Gesamthaft fallen im Strassenverkehr externe Kosten von 8'074 Mio. CHF an (aus Sicht Verkehrsteilnehmende sind es 10'155 Mio. CHF).

Davon sind 76% oder 6'134 Mio. CHF auf den Personenverkehr zurückzuführen und 24% oder 1'941 Mio. CHF auf den Güterverkehr (vgl. Grafik 10-2). Betrachtet man die einzelnen Fahrzeugkategorien, so sind die Personenwagen mit 57% dominant, gefolgt von den Lastwagen mit 10%, motorisierten Zweirädern (Motorräder und Mofas) und Lieferwagen mit je knapp 9% sowie den Fahrrädern und Sattelschleppern mit je 6%. Es ist allerdings zu beachten, dass der Anteil des öffentlichen Verkehrs mit 2% unterschätzt wird, da in vielen Bereichen die externen Kosten des ÖV nicht bestimmt werden konnten (dies gilt auch für Traktoren und Arbeitsmaschinen und in geringerem Ausmass für Fahrräder). Deshalb ist auch die Schätzung der gesamten externen Kosten des Strassenverkehrs etwas zu tief.

Grafik 10-2: Aufteilung der externen Kosten auf die Fahrzeugkategorien

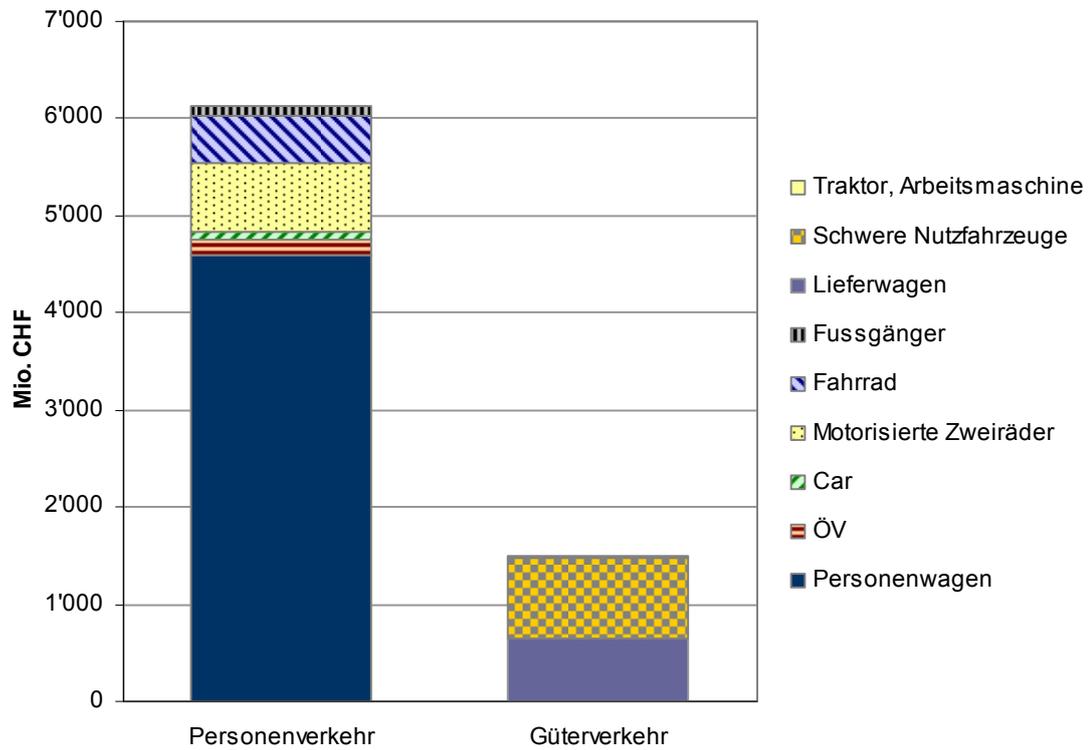


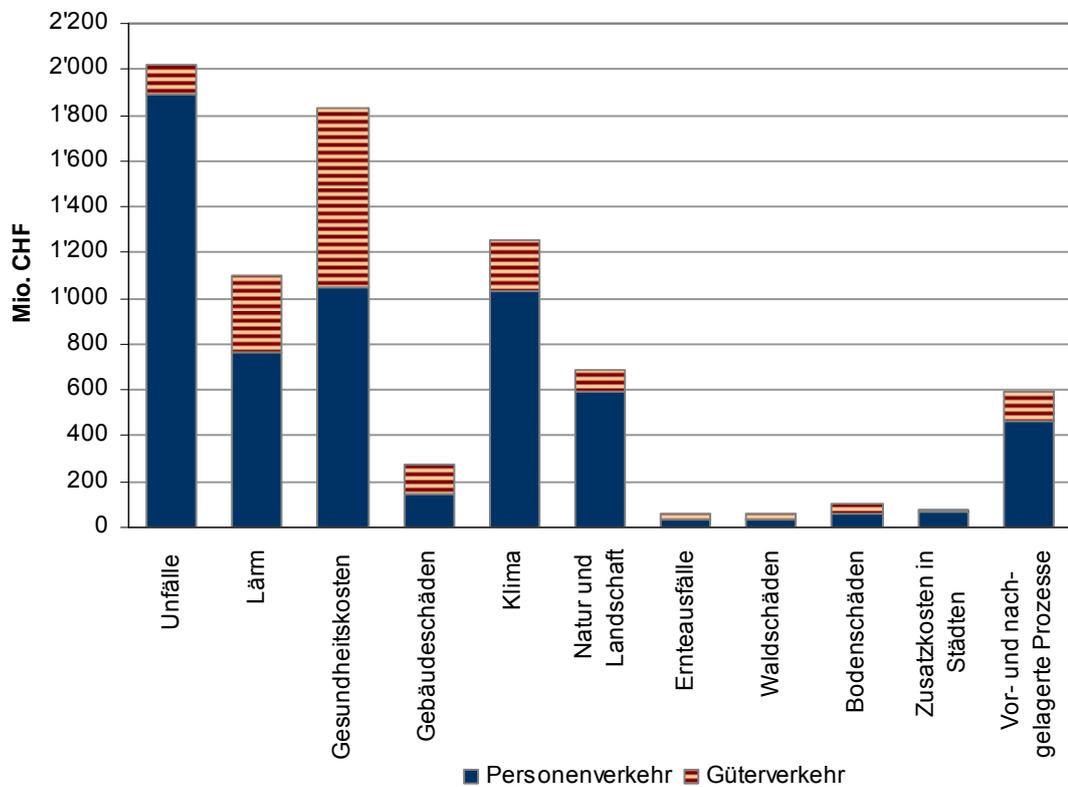
Tabelle 10-3: Externe Kosten des Strassenverkehrs im Jahr 2005 in Mio. CHF

	Personenverkehr										Güterverkehr					Gesamttotal			
	PW	Bus	Trolley	Tram	Car	MR	Mofa	Fahrrad	Fussgänger	Total	Total in %	Li	LW	SS Traktor, Arb.m.	Total	Total in %	Total	Total in %	
Unfälle (Sicht Verkehrsträger)	884.0	7.8			19.3	271.0	128.3	475.9	106.1	1'892.5	30.9%	63.2	29.9	15.5	15.7	124.3	6.4%	2'016.8	25.0%
Lärm	500.6	25.3	0.3	1.2	11.7	227.2	1.4	0.0	0.0	767.7	12.5%	98.2	156.9	77.8	-0	333.0	17.2%	1'100.7	13.6%
Gesundheitskosten der Luftverschmutzung	922.3	65.5	5.7	n.v.	15.5	37.6	n.v.	n.v.	0.0	1'046.7	17.1%	252.1	352.8	182.3	n.v.	787.1	40.6%	1'833.8	22.7%
Gebäudeschäden der Luftverschmutzung	127.5	9.1	n.v.	n.v.	2.1	5.2	n.v.	n.v.	0.0	143.9	2.3%	41.6	58.3	30.1	n.v.	130.0	6.7%	273.9	3.4%
Klima	980.8	22.8	n.v.	n.v.	7.7	18.9	0.0	0.0	0.0	1'030.1	16.8%	81.4	94.9	50.1	n.v.	226.3	11.7%	1'256.4	15.6%
Natur und Landschaft	574.9	5.1	0.0	0.0	2.3	9.5	0.0	0.0	0.0	591.7	9.6%	38.9	34.5	22.0	n.v.	95.4	4.9%	687.1	8.5%
Ernteauffälle	25.6	4.5	n.v.	n.v.	1.4	1.0	0.0	0.0	0.0	32.5	0.5%	5.6	16.6	8.4	n.v.	30.6	1.6%	63.1	0.8%
Waldschäden	26.6	4.5	n.v.	n.v.	1.4	1.0	0.0	0.0	0.0	33.5	0.5%	5.6	16.6	8.4	n.v.	30.6	1.6%	64.1	0.8%
Bodenschäden	54.0	4.0	n.v.	n.v.	1.8	1.4	0.0	0.0	0.0	61.2	1.0%	9.2	24.3	12.6	n.v.	46.0	2.4%	107.3	1.3%
Zusatzkosten in städtischen Räumen	64.8	1.4	n.v.	n.v.	0.2	1.7	0.0	0.0	0.0	68.1	1.1%	5.9	2.5	1.7	n.v.	10.2	0.5%	78.2	1.0%
Vor- und nachgelagerte Prozesse	438.3	7.7	n.v.	n.v.	3.0	16.7	n.v.	n.v.	0.0	465.7	7.6%	40.4	53.0	33.8	n.v.	127.1	6.6%	592.8	7.3%
Total (Sicht Verkehrsträger)	4'599.4	164.8			66.6	720.8	475.9	106.1	6'133.7	100.0%	642.0	840.3	442.6	15.7	1'940.6	100.0%	8'074.3	100.0%	
Anteil an Total	57.0%				0.8%	8.9%	5.9%	1.3%	76.0%		8.0%	10.4%	5.5%	0.2%	24.0%		100.0%		
Total (Sicht Verkehrsteilnehmende)	6'100.6	194.6			161.9	880.3	524.3	117.2	7'978.8		772.7	899.4	469.6	34.5	2'176.3		10'155.1	100.0%	
Anteil an Total	60.1%	1.9%			1.6%	8.7%	5.2%	1.2%	78.6%		7.6%	8.9%	4.6%	0.3%	21.4%		100.0%		

n.v. = nicht verfügbar. PW = Personenwagen. Bus = öffentlicher Bus, Car = Privatar. MR = Motorrad. Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Saateis Schlepper.
Aus der Sicht Verkehrsteilnehmende sind höhere Unfallkosten zu berücksichtigen als aus der Sicht Verkehrsträger.

Die Bedeutung der verschiedenen Kostenbereiche wird in Tabelle 10-3 und Grafik 10-3 illustriert. Im Strassenverkehr sind die Unfälle mit 25% am bedeutendsten (aus Sicht Verkehrsteilnehmende sind es gar 40%), gefolgt von den Gesundheitskosten der Luftverschmutzung mit 23%, den Klimaschäden mit 16% und dem Lärm mit 14%. Die anderen Kostenbereiche liegen unter 10%. Betrachtet man den Personen bzw. Güterverkehr einzeln, sieht man dass hier Unterschiede bestehen. Die Unfallkosten sind im Personenverkehr mit 31% viel bedeutender als im Güterverkehr mit 6%. Dafür sind die Gesundheitskosten im Güterverkehr viel gewichtiger (41% versus 17%). Klima sowie Natur und Landschaft sind im Personenverkehr je etwa 5% wichtiger als im Güterverkehr, dafür ist es beim Lärm und den Gebäudeschäden umgekehrt (ebenfalls je etwa 5% Differenz).

Grafik 10-3: Externe Kosten des Strassenverkehrs im Jahr 2005 in Mio. CHF



10.3 Schienenverkehr

In der Tabelle 10-4 werden die Ergebnisse für den Schienenverkehr präsentiert (vgl. auch Grafik 10-4). Insgesamt entstehen externe Kosten von 455 Mio. CHF (aus Sicht Verkehrsteilnehmende 467 Mio. CHF – im Gegensatz zum Strassenverkehr ist die Zunahme also nur gering).

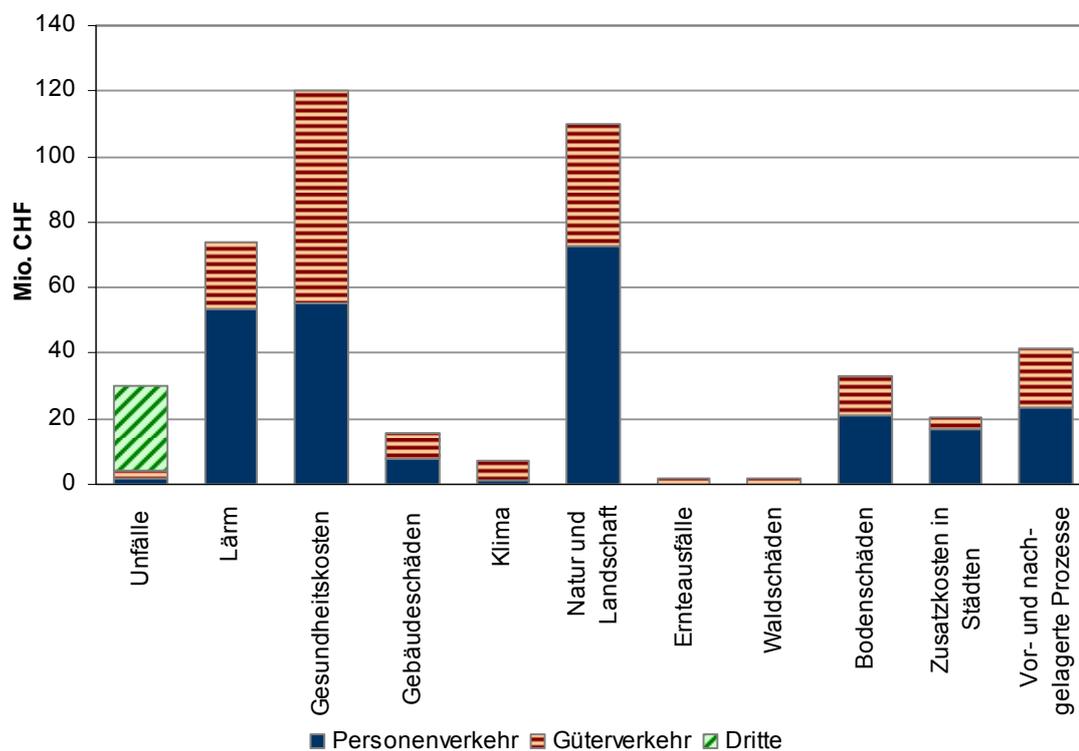
Davon entfallen 56% oder 254 Mio. CHF auf den Personenverkehr, 39% oder 176 Mio. CHF auf den Güterverkehr und 6% oder 26 Mio. CHF auf durch Dritte verursachte Unfälle.

Im Schienenverkehr sind vor allem die Gesundheitskosten der Luftverschmutzung mit 27% und die Kosten für Natur und Landschaft mit 24% bedeutend. Auch der Lärm ist mit 16% ein wichtiger Kostenbestandteil. Alle anderen Bereiche tragen weniger als 10% zu den Kosten bei. Es bestehen jedoch teilweise grössere Unterschiede zwischen dem Personen- und Güterverkehr: Die Gesundheitskosten sind im Güterverkehr mit 37% deutlich wichtiger als im Personenverkehr mit 22%, dafür sind Lärm sowie Natur und Landschaft im Personenverkehr um 9% bzw. 8% wichtiger als im Güterverkehr.

Tabelle 10-4: Externe Kosten des Schienenverkehrs im Jahr 2005 in Mio. CHF

	Personen- verkehr	Personen- verkehr in %	Güter- verkehr	Güter- verkehr in %	Dritte	Total	Total in %
Unfälle (Sicht Verkehrsträger)	1.6	0.6%	2.6	1.5%	25.6	29.8	6.6%
Lärm	53.3	21.0%	20.4	11.6%	-	73.7	16.2%
Gesundheitskosten der Luftverschmutzung	55.2	21.8%	65.3	37.1%	-	120.5	26.5%
Gebäudeschäden der Luftverschmutzung	7.9	3.1%	7.5	4.2%	-	15.4	3.4%
Klima	0.9	0.4%	6.3	3.6%	-	7.2	1.6%
Natur und Landschaft	72.9	28.8%	37.2	21.1%	-	110.1	24.2%
Ernteausfälle	0.2	0.1%	1.5	0.9%	-	1.8	0.4%
Waldschäden	0.2	0.1%	1.5	0.9%	-	1.8	0.4%
Bodenschäden	21.0	8.3%	12.2	6.9%	-	33.2	7.3%
Zusatzkosten in städtischen Räumen	16.7	6.6%	3.6	2.0%	-	20.3	4.5%
Vor- und nachgelagerte Prozesse	23.5	9.3%	17.9	10.2%	-	41.3	9.1%
Total (Sicht Verkehrsträger)	253.5	100.0%	175.9	100.0%	25.6	455.0	100.0%
Anteil an Total	55.7%		38.6%		5.6%	100.0%	
Total (Sicht Verkehrsteilnehmende)	258.6		182.8		25.7	467.1	
Anteil an Total	55.4%		39.1%		5.5%	100.0%	

Grafik 10-4: Externe Kosten des Schienenverkehrs im Jahr 2005 in Mio. CHF



10.4 Kostensätze pro Kilometer

10.4.1 Strassenverkehr

a) Kosten pro Fahrzeugkilometer

In der folgenden Tabelle und Grafik werden die Kosten pro Fzkm dargestellt. Im Personenverkehr fallen durchschnittlich Kosten von 10 Rp / Fzkm an. Dieser Wert wird vor allem von der dominanten Kategorie Personenwagen mit 9 Rp / Fzkm bestimmt. Motorräder und Mofas verursachen mit 28 bzw. 93 Rp / Fzkm deutlich höhere Kosten, was auf die wesentlich höheren Unfallkosten (insbesondere der Mofas) und die hohen Lärmkosten der Motorräder zurückzuführen ist (in allen anderen Bereichen verursachen die Zweiräder geringere Kosten als die Personenwagen).²³²

Im Güterverkehr belaufen sich die Kosten auf durchschnittlich 35 Rp / Fzkm oder 3.5-mal mehr als im Personenverkehr. Dabei verursachen die Lieferwagen mit 19 Rp / Fzkm erwartungsgemäss deutlich tiefere Kosten als die Lastwagen mit 51 Rp / Fzkm und die Sattelschlepper mit 54 Rp / Fzkm. Tatsächlich haben die Sattelschlepper in allen Bereichen höhere

²³² Bei den Fahrrädern betragen die Unfallkosten pro Fzkm bei 1'957 Mio. Fzkm (=pkm) 24.3 Rp / Fzkm. Für Trolleybusse und Trams sind die Werte in Tabelle 10-5 zu tief, da bei diesen beiden Fahrzeugkategorien viele Bereiche nicht quantifiziert werden konnten (deshalb wird das Total kursiv und nicht fett dargestellt).

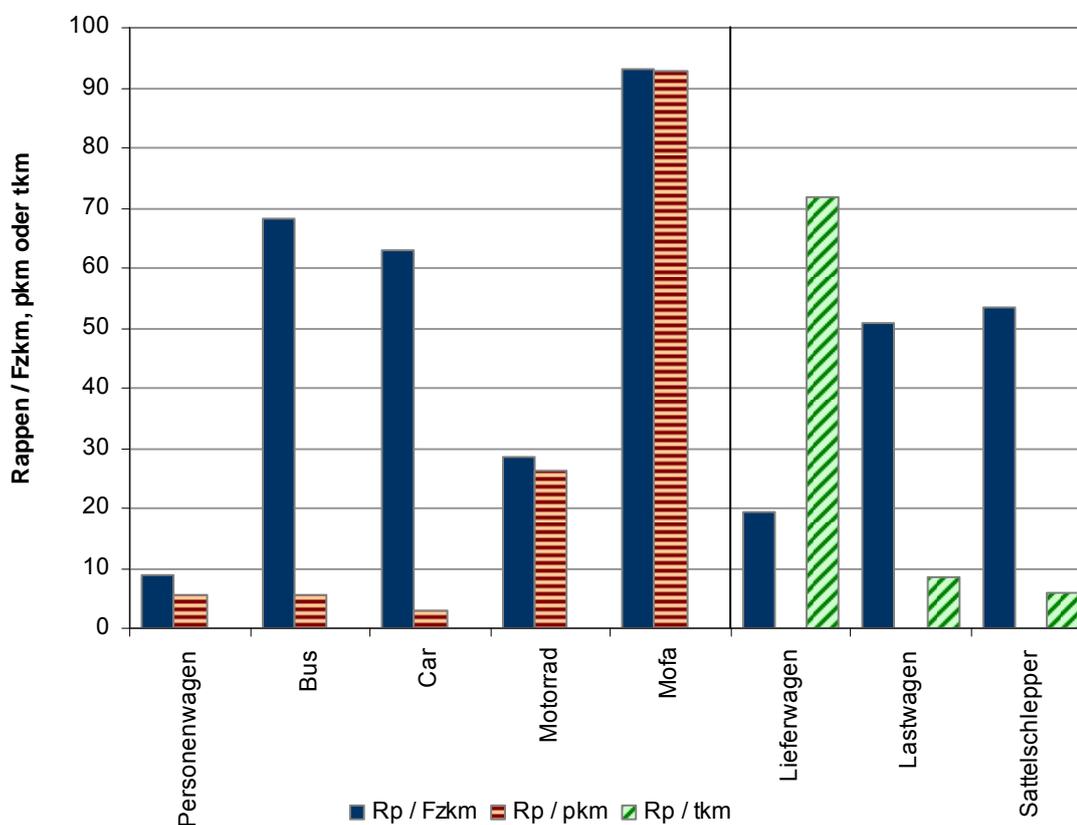
Kosten als die Lastwagen, die wiederum in allen Bereichen höhere Kosten verursachen als die Lieferwagen.

Tabelle 10-5: Externe Kosten des Strassenverkehrs im Jahr 2005 in Rappen pro Fzkm

in Rp / Fzkm	Personenverkehr								Güterverkehr				Gesamt- total
	PW	Bus	Trolley	Tram	Car	MR	Mofa	Total	Li	LW	SS	Total	
Mio. Fzkm	52'080	229	30	41	106	2'059	146	54'691	3'301	1'422	705	5'428	60'119
Unfälle (Sicht Verkehrsträger)	1.70	2.61			18.23	13.16	87.87	2.40	1.91	2.11	2.20	2.00	2.36
Lärm	0.96	11.04	0.96	2.98	11.04	11.04	0.96	1.40	2.98	11.04	11.04	6.13	1.83
Gesundheitskosten der Luftverschmutzung	1.77	28.64	19.20	n.v.	14.66	1.71		1.91	7.64	16.58		14.50	3.05
Gebäudeschäden der Luftverschmutzung	0.24	3.96	n.v.	n.v.	2.03	0.24		0.26	1.26	4.10	4.27	2.39	0.46
Klima	1.88	9.95	n.v.	n.v.	7.23	0.86		1.88	2.46	6.67	7.10	4.17	2.09
Natur und Landschaft	1.10	2.21	0	0	2.21	0.43		1.08	1.18	2.43	3.12	1.76	1.14
Ernteausfälle	0.05	1.96	n.v.	n.v.	1.34	0.04		0.06	0.17	1.17	1.19	0.56	0.10
Waldschäden	0.05	1.96	n.v.	n.v.	1.34	0.04		0.06	0.17	1.17	1.19	0.56	0.11
Bodenschäden	0.10	1.76	n.v.	n.v.	1.74	0.06		0.11	0.28	1.71	1.78	0.85	0.18
Zusatzkosten in städtischen Räumen	0.12	0.62	n.v.	n.v.	0.19	0.08		0.12	0.18	0.18	0.25	0.19	0.13
Vor- und nachgelagerte Prozesse	0.84	3.35	n.v.	n.v.	2.83	0.76		0.85	1.22	3.72	4.79	2.34	0.99
Total (Sicht Verkehrsträger)	8.83	68.06	22.77	5.59	62.84	28.41	93.04	10.15	19.45	50.86	53.50	35.46	12.44
Total (Sicht Verkehrsteilnehmende)	11.71	77.99	32.70	15.52	152.73	36.15	93.04	13.42	23.41	55.02	57.33	39.46	15.77

n.v. = nicht verfügbar, PW = Personenwagen, Bus = öffentlicher Bus, Car = Privatcar, MR = Motorrad, Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper. Quelle für Fzkm: Bundesamt für Statistik (Internet).

Grafik 10-5: Externe Kosten des Strassenverkehrs in Rappen pro Fzkm, pkm und tkm



b) Kosten pro Personen- bzw. Tonnenkilometer

Grafik 10-5 zeigt ergänzend zu den fahrleistungsspezifischen Kennzahlen (Kosten pro Fzkm) auch jene zur Verkehrsleistung (Kosten pro pkm oder tkm).²³³ Bezogen auf die pkm sind die Kosten von Cars mit 3.0 Rp / pkm am geringsten (vgl. auch Tabelle 10-6),²³⁴ gefolgt von den Bussen und den Personenwagen mit je 5.5 Rp / pkm. Motorräder mit 26 Rp / pkm und insbesondere Mofas mit 93 Rp / pkm verursachen jedoch deutlich höhere externe Kosten (wiederum vor allem wegen den hohen Unfall- und Lärmkosten).

Im Güterverkehr werden die Kosten auf die Tonnenkilometer bezogen. Die für den Warentransport eingesetzten Lastwagen und Sattelschlepper verursachen mit 9 bzw. 6 Rp / tkm deutlich tiefere Kosten als die Lieferwagen mit 72 Rp / tkm. Die Sattelschlepper haben also gegenüber den Lastwagen trotz höherer Kosten pro Fzkm tiefere Kosten pro tkm, weil die Sattelschlepper im Durchschnitt 10.2 Tonnen transportieren, während es bei den Lastwagen lediglich 5.4 Tonnen sind.

Tabelle 10-6: Externe Kosten des Strassenverkehrs im Jahr 2005 in Rappen pro pkm bzw. pro tkm

	Personenverkehr in Rp / pkm								Güterverkehr in Rp / tkm			
	PW	Bus	Trolley	Tram	Car	MR	Mofa	Total	Li	LW	SS	Total
Mio. pkm bzw. Mio. tkm	83'348.0	2'779.7	722.1	1'457.5	2'235.0	2'222.0	146.0	92'910.3	893.4	7'728.0	7'213.8	15'835.2
Unfälle (Sicht Verkehrsträger)	1.06		0.16		0.86	12.20	87.87	1.41	7.07	0.39	0.22	0.69
Lärm	0.60	0.91	0.04	0.08	0.52	10.23	0.96	0.83	11.00	2.03	1.08	2.10
Gesundheitskosten der Luftverschmutzung	1.11	2.36	0.79	n.v.	0.70	1.59		1.13	28.22		2.36	4.97
Gebäudeschäden der Luftverschmutzung	0.15	0.33	n.v.	n.v.	0.10	0.22		0.15	4.66	0.75	0.42	0.82
Klima	1.18	0.82	n.v.	n.v.	0.34	0.80		1.11	9.11	1.23	0.69	1.43
Natur und Landschaft	0.69	0.18	0	0	0.10	0.40		0.64	4.35	0.45	0.30	0.60
Ernteauffälle	0.03	0.16	n.v.	n.v.	0.06	0.04		0.04	0.63	0.21	0.12	0.19
Waldschäden	0.03	0.16	n.v.	n.v.	0.06	0.04		0.04	0.63	0.21	0.12	0.19
Bodenschäden	0.06	0.14	n.v.	n.v.	0.08	0.06		0.07	1.03	0.31	0.17	0.29
Zusatzkosten in städtischen Räumen	0.08	0.05	n.v.	n.v.	0.01	0.07		0.07	0.66	0.03	0.02	0.06
Vor- und nachgelagerte Prozesse	0.53	0.28	n.v.	n.v.	0.13	0.71		0.50	4.52	0.69	0.47	0.80
Total (Sicht Verkehrsträger)	5.52	5.55	0.99	0.24	2.98	26.34	92.75	5.98	71.86	8.67	5.97	12.16
Total (Sicht Verkehrsteilnehmende)	7.32	6.15	1.59	0.84	7.24	33.52	92.75	7.90	86.49	9.44	6.34	13.53

n.v. = nicht verfügbar, PW = Personenwagen, Bus = öffentlicher Bus, Car = Privatcar, MR = Motorrad, Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper. Quelle für pkm und tkm: Bundesamt für Statistik (Internet).

²³³ Die Kennzahlen pro pkm bzw. pro tkm sind etwas tiefer als diejenigen pro Fzkm, weil im Personenverkehr der Besetzungsgrad über einer Person pro Fahrzeug liegt und weil im Güterverkehr mehrere Tonnen pro Fahrzeug transportiert werden (ausser bei den Lieferwagen).

²³⁴ Aus Sicht Verkehrsteilnehmer sind die ausgewiesenen Kosten der Busse geringer als diejenigen der Cars, bei denen relativ hohe Unfallkosten dazukommen.

10.4.2 Schienenverkehr

a) Kosten pro Zugkilometer

Wie die folgende Tabelle zeigt, betragen die Kosten pro Zugkm im Personenverkehr 155 Rp / Zugkm und im Güterverkehr 505 Rp / Zugkm, also 3.3-mal mehr. Der Personenverkehr hat in allen Bereichen tiefere Kosten. Entscheidend für den Unterschied zwischen Personen- und Güterverkehr sind vor allem die 5.6-mal höheren Gesundheitskosten, die 44% des Unterschieds erklären.

Tabelle 10-7: Externe Kosten des Schienenverkehrs im Jahr 2005 in Rappen pro Zugkm

in Rp / Zugkm	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
Mio. Zugkm	163.615	34.845	198.460
Unfälle (Sicht Verkehrsträger)	1.01	7.33	2.12
Lärm	32.59	58.45	37.13
Gesundheitskosten der Luftverschmutzung	33.73	187.37	60.70
Gebäudeschäden der Luftverschmutzung	4.82	21.42	7.74
Klima	0.58	18.06	3.65
Natur und Landschaft	44.55	106.72	55.46
Ernteausfälle	0.14	4.44	0.90
Waldschäden	0.14	4.43	0.89
Bodenschäden	12.83	34.98	16.72
Zusatzkosten in städtischen Räumen	10.21	10.21	10.21
Vor- und nachgelagerte Prozesse	14.34	51.25	20.82
Total (Sicht Verkehrsträger)	154.94	504.67	216.34
Total (Sicht Verkehrsteilnehmende)	158.06	524.58	222.42

Quelle für Zugkm: Bundesamt für Statistik (Internet).

b) Kosten pro Personen- bzw. Tonnenkilometer

In Tabelle 10-8 werden die Kosten pro Personenkilometer und für den Güterverkehr pro Tonnenkilometer bzw. Nettotonnenkilometer ausgewiesen.²³⁵ Im Personenverkehr belaufen sich die externen Kosten auf 1.6 Rp pro pkm, im Güterverkehr auf 1.7 Rp pro Ntkm (bzw. 1.5 Rp. pro tkm).

²³⁵ Dabei ist zu beachten, dass in den offiziellen Statistiken jeweils die Tonnenkm angegeben werden (manchmal auch als Nettotonnenkm bezeichnet). Dies entspricht den durch die Bahn transportierten Tonnen. Bei den Nettotonnenkm wird jedoch auch das Gewicht der Lastwagen bzw. Container (rollende Autobahn, unbegleiteter kombinierter Verkehr) herausgerechnet und somit die Kosten pro tatsächlich transportierten Gütermenge berechnet (manchmal auch als Netto-Nettotonnenkm bezeichnet).

Tabelle 10-8: Externe Kosten des Schienenverkehrs im Jahr 2005 in Rappen pro pkm, tkm oder Ntkm

	Personenverkehr in Rp / pkm	Güterverkehr in Rp / tkm	Güterverkehr in Rp / Ntkm
Mio. pkm, tkm oder Ntkm	16'144	11'677	10'149
Unfälle (Sicht Verkehrsträger)	0.010	0.022	0.025
Lärm	0.330	0.174	0.201
Gesundheitskosten der Luftverschmutzung	0.342	0.559	0.643
Gebäudeschäden der Luftverschmutzung	0.049	0.064	0.074
Klima	0.006	0.054	0.062
Natur und Landschaft	0.451	0.318	0.366
Ernteausfälle	0.001	0.013	0.015
Waldschäden	0.001	0.013	0.015
Bodenschäden	0.130	0.104	0.120
Zusatzkosten in städtischen Räumen	0.103	0.030	0.035
Vor- und nachgelagerte Prozesse	0.145	0.153	0.176
Total (Sicht Verkehrsträger)	1.570	1.506	1.733
Total (Sicht Verkehrsteilnehmende)	1.602	1.565	1.801

Quelle für pkm, tkm und Ntkm: Bundesamt für Statistik (Internet).

10.4.3 Vergleich Strasse und Schiene

Die folgende Tabelle fasst die vergleichbaren Ergebnisse des Strassen- und Schienenverkehrs zusammen, d.h. die Werte pro pkm bzw. pro tkm (im Schienenverkehr pro Ntkm, damit im Strassen- und Schienenverkehr nur die transportierten Tonnen betrachtet werden).

Im Personenverkehr sind die externen Kosten auf der Strasse 3.8-mal höher als auf der Schiene.²³⁶ Dabei verursacht der Strassenverkehr in allen Bereichen höhere Kosten ausser bei den (geringen) Kosten für Bodenschäden und in städtischen Räumen. Gross sind die Vorteile der Schiene vor allem bei den Klimakosten (189-mal geringere Kosten²³⁷) und bei den Unfällen (138-mal geringere Kosten). Da die Unterschiede bei den Unfallkosten gross sind, ist aus Sicht Verkehrsteilnehmende der Unterschied mit einem Faktor 4.9 statt 3.8 nochmals spürbar grösser.

Im Güterverkehr führt die Strasse zu 7-mal höheren Kosten pro tkm als der Schienenverkehr, wobei die Strasse in allen Kostenbereichen höhere Kosten verursacht als die Schiene. Besonders ausgeprägt sind die Unterschiede bei den Unfällen (Faktor 27) und dem Klima (Fak-

²³⁶ Es ist darauf hinzuweisen, dass eine zusätzliche bahnreisende Person keine höheren Kosten verursacht, eine zusätzliche autofahrende Person jedoch schon. Diese Aussage gilt natürlich nur für zusätzliche Autofahrten, nicht für zusätzliche Insassen in einem bereits fahrenden Auto.

²³⁷ In der Kostenkategorie 'Klima' werden bei der Schiene nur die Klimakosten aus der direkten Verbrennung von Dieseltreibstoffen in Diesellokomotiven berücksichtigt. Die (relativ tiefen) Treibhausgasemissionen aus der Stromproduktion werden in der Kostenkategorie 'Vor- und nachgelagerte Prozesse' erfasst und bewertet.

tor 23²³⁸). Aber auch in vier weiteren Bereichen beträgt der Faktor mehr als 10 (Ernteauffälle, Waldschäden, Gebäudeschäden und Lärm). Der Unterschied bei den Gesundheitskosten (Faktor 7.7) ist aufgrund der hohen absoluten Werte ebenfalls bedeutend.

Tabelle 10-9: Vergleich der Kosten pro pkm und pro tkm im Strassen- und Schienenverkehr

	Personenverkehr			Güterverkehr		
	Strasse in Rp / pkm	Schiene in Rp / pkm	Strasse / Schiene	Strasse in Rp / tkm	Schiene in Rp / Ntkm	Strasse / Schiene
Unfälle (Sicht Verkehrsträger)	1.41	0.010	138.4	0.69	0.025	27.2
Lärm	0.83	0.330	2.5	2.10	0.201	10.5
Gesundheitskosten der Luftverschmutzung	1.13	0.342	3.3	4.97	0.643	7.7
Gebäudeschäden der Luftverschmutzung	0.15	0.049	3.2	0.82	0.074	11.2
Klima	1.11	0.006	188.5	1.43	0.062	23.0
Natur und Landschaft	0.64	0.451	1.4	0.60	0.366	1.6
Ernteauffälle	0.04	0.001	24.2	0.19	0.015	12.7
Waldschäden	0.04	0.001	25.0	0.19	0.015	12.7
Bodenschäden	0.07	0.130	0.5	0.29	0.120	2.4
Zusatzkosten in städtischen Räumen	0.07	0.103	0.7	0.06	0.035	1.8
Vor- und nachgelagerte Prozesse	0.50	0.145	3.4	0.80	0.176	4.6
Total (Sicht Verkehrsträger)	5.98	1.570	3.8	12.16	1.733	7.0
Total (Sicht Verkehrsteilnehmende)	7.90	1.602	4.9	13.53	1.801	7.5

10.5 Bandbreiten

In der folgenden Tabelle werden die Ergebnisse zu den Bandbreiten der Berechnungen zusammengefasst. Dabei ist Folgendes zu beachten:²³⁹

- Die Intervallsgrenzen des 95%-Konfidenzintervalls für den Strassen- bzw. Schienenverkehr ergeben sich nicht einfach als Addition der Intervallsgrenzen in den einzelnen Bereichen, denn hohe Ergebnisse beim einen externen Effekt und tiefe Ergebnisse beim anderen gleichen sich gegenseitig etwas aus. Damit ist die Bandbreite des Strassen- bzw. Schienenverkehrs kleiner als die Addition der Bandbreiten der einzelnen Bereiche.
- Einige Unsicherheiten treten nicht nur in einem Bereich auf, sondern in zwei oder mehreren Bereichen. So fließt beispielsweise der VOSL (und seine Unsicherheit) in die Bereiche Unfälle, Gesundheitsschäden und Lärm ein oder der Kostensatz pro Tonne CO₂ wird für die Klimaschäden und die Kosten der vor- und nachgelagerten Prozesse benötigt. Fällt der VOSL (oder der Kostensatz pro Tonne CO₂) also hoch aus, so ist er in allen betroffenen Bereichen hoch. Folglich sind gewisse Unsicherheiten nicht unabhängig voneinander.

²³⁸ In der Kostenkategorie 'Klima' werden bei der Schiene nur die Klimakosten aus der direkten Verbrennung von Dieseltreibstoffen in Diesellokomotiven berücksichtigt. Die (relativ tiefen) Treibhausgasemissionen aus der Stromproduktion werden in der Kostenkategorie 'Vor- und nachgelagerte Prozesse' erfasst und bewertet.

²³⁹ Wir beschränken uns bei der Zusammenfassung auf die Sicht Verkehrsträger, Teilergebnisse für die Sicht Verkehrsteilnehmer im Unfallbereich finden sich im Kapitel 3.6.2.

Dies führt dazu, dass das Intervall grösser ausfällt als wenn zwischen den Berechnungen für die einzelnen Bereiche vollständige Unabhängigkeit unterstellt werden könnte.

Um diese Effekte aufzufangen wurde zusätzlich zu den bereichsspezifischen Simulationen auch eine Monte-Carlo-Simulation für das Total des Strassen- und Schienenverkehrs durchgeführt. Wie die folgende Tabelle zeigt, schwanken die externen Kosten im **Strassenverkehr zwischen 6.0 Mrd. CHF und 12.2 Mrd. CHF** (eine einfache Addition der Intervallgrenzen würde 4.2 bis 14.9 Mrd. CHF und damit ein um 72% grösseres Konfidenzintervall ergeben). Das 95%-Konfidenzintervall unterschreitet den Basiswert von 8.1 Mrd. CHF also um 25% und überschreitet ihn um 52%. Damit ist die Schwankungsbreite aufgrund des oben beschriebenen Effektes kleiner als in den meisten einzelnen Bereichen, was auf den ersten Blick überraschend sein mag.

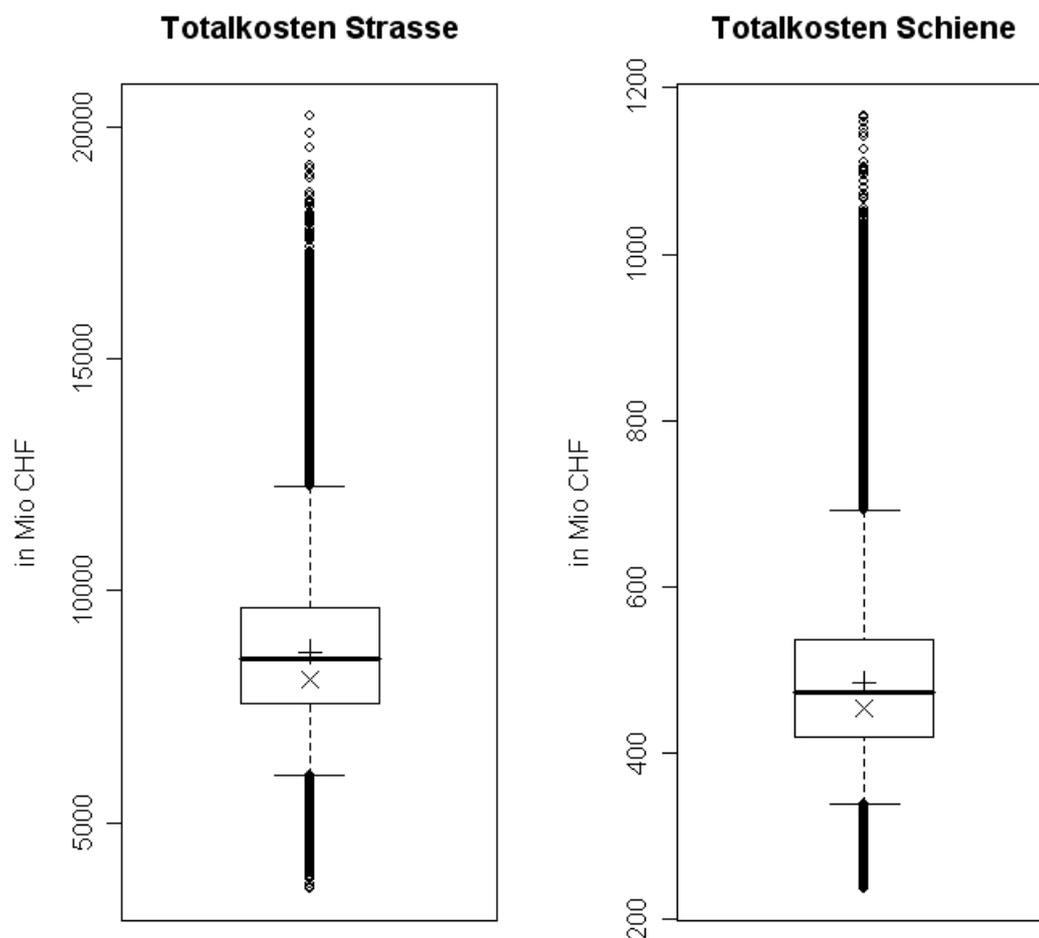
Tabelle 10-10: Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulationen für die externen Kosten in Mio. CHF

	Basisrechnung	95%-Konfidenzintervall	95%-Konfidenzintervall
Strassenverkehr			
Unfälle	2'017	1'271 - 3'592	-37% - 78%
Lärm	1'101	367 - 2'587	-67% - 135%
Gesundheitskosten der Luftverschmutzung	1'834	885 - 3'974	-52% - 117%
Gebäudeschäden der Luftverschmutzung	274	169 - 391	-38% - 43%
Klima	1'256	558 - 1'963	-56% - 56%
Natur und Landschaft	687	483 - 891	-30% - 30%
Ernteauffälle	63	45 - 83	-29% - 32%
Waldschäden	64	41 - 95	-37% - 48%
Bodenschäden	107	47 - 225	-56% - 110%
Zusatzkosten in städtischen Räumen	78	35 - 132	-55% - 69%
Vor- und nachgelagerte Prozesse	593	262 - 934	-56% - 58%
Total	8'074	6'021 - 12'247	-25% - 52%
Schieneverkehr			
Unfälle	30	20 - 49	-31% - 65%
Lärm	74	31 - 160	-58% - 117%
Gesundheitskosten der Luftverschmutzung	120	58 - 261	-52% - 117%
Gebäudeschäden der Luftverschmutzung	15	9 - 22	-39% - 43%
Klima	7	3 - 11	-56% - 56%
Natur und Landschaft	110	78 - 142	-29% - 29%
Ernteauffälle	1.8	1.3 - 2.3	-29% - 32%
Waldschäden	1.8	1.1 - 2.6	-36% - 48%
Bodenschäden	33	12 - 74	-65% - 124%
Zusatzkosten in städtischen Räumen	20	9 - 34	-55% - 69%
Vor- und nachgelagerte Prozesse	41	18 - 66	-56% - 60%
Total	455	329 - 708	-28% - 56%
Total Gesamtverkehr	8'529	6'378 - 12'934	-25% - 52%

Im **Schieneverkehr** liegt das 95%-Konfidenzintervall **zwischen 329 und 708 Mio. CHF** (eine einfache Addition der Intervallgrenzen würde 241 bis 826 Mio. CHF und damit ein um 54% grösseres Konfidenzintervall ergeben). Die Bandbreite liegt also um 28% unter bzw. um 56% über der Basisrechnung von 455 Mio. CHF und ist damit leicht grösser als im Strassen-

verkehr. Auch im Schienenverkehr ist die Schwankungsbreite geringer als in den meisten einzelnen Bereichen.

Grafik 10-6: Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulationen für die externen Kosten in Mio. CHF



Erläuterung: Die Begrenzung der rechteckigen Box entspricht dem 25%- bzw. 75%-Quantil, d.h. 50% aller Simulationen liegen innerhalb der Box. Der Strich in der Box ist der Median (=50%-Quantil), das „+“-Zeichen der Mittelwert und das „x“-Zeichen das Ergebnis aus der Basisrechnung. Der untere bzw. obere Querstrich nach der gestrichelten Linie („Whisker“) ist das 2.5%- bzw. 97.5%-Quantil, so dass 95% innerhalb dieser Werte liegen. Die Kreise ausserhalb dieser Querstriche zeigen Ausreisser (da eine Million Simulationen durchgeführt wurden, gibt es relativ viele Ausreisser).

Das 95%-Konfidenzintervall der externen Kosten des **Gesamtverkehrs** liegt **zwischen 6.378 und 12.934 Mrd. CHF**. Die Schwankungsbreite liegt also um -25% unter bzw. $+52\%$ über der Basisrechnung. Diese Schwankungsbreite ist leicht kleiner als im Strassenverkehr (-25.2% bis 51.6% versus -25.4% bis 51.7%), was wiederum darauf zurückzuführen ist, dass sich grosse Werte im Strassenverkehr mit kleinen Werten beim Schienenverkehr etwas ausgleichen.

Die Grafik 10-6 zeigt, dass die Kosten rechtsschief verteilt sind bzw. die Schwankungsbreite gegen oben grösser ist als gegen unten. Dies gilt nicht nur für das 95%-Konfidenzintervall, sondern auch für die Ausreisser ausserhalb dieses Intervalls, die unten nahe an der Intervallgrenze liegen, oben hingegen teilweise deutlich darüber sind. Die Grafik zeigt auch, dass die Basisrechnung im Strassen- und Schienenverkehr unter dem Modus und dem Mittelwert der Verteilung liegt und somit eine vorsichtige Schätzung darstellt.

Zusätzliche Unter- oder Überschätzungen

Nicht alle Unsicherheiten können quantifiziert und in die Monte-Carlo-Simulation aufgenommen werden. Die oben ausgewiesenen Werte und Bandbreiten **unterschätzen die wahren Kosten** aus folgenden Gründen:

- Allgemein: In vielen Bereichen wurden bei der **Wahl der Kostensätze** entsprechend dem at least Ansatz **vorsichtige** Schätzungen verwendet, obwohl teilweise auch deutlich höhere Kostensätze begründet werden könnten.
- Unfälle: Im **Schieneverkehr** wird das Unfallgeschehen (insbesondere die **Sachschäden**) noch immer nicht vollständig erfasst.
- Lärm: Es wurden **nur** die Auswirkungen des **Lärms am Wohnort** untersucht. Weitere Lärmkosten werden nicht berücksichtigt (Auswirkungen des Lärms in Schutz- und Erholungsgebieten, am Arbeitsplatz sowie in der Schule, Verluste durch Auszonung oder Nicht-Einzonung von Grundstücken, Kosten von Schallschutzmassnahmen, Lärmfluchtkosten, Baulärm).
- Lärm: Würde das **minimale Lärmniveau**, unter dem keine Mietzinsausfälle entstehen, von 55 dB(A) auf 50 dB(A) gesenkt, so würden sich die Lärmkosten etwa verdoppeln.
- Luft: Die Gesundheitseffekte durch **Ozon** können nicht quantifiziert werden, da die für die Gesundheitsschäden nötigen Ozon-Expositionsdaten fehlen. Der Einbezug dürfte die Gesundheitskosten um ca. 10% erhöhen.
- **Klima**: Die Schätzung der Klimakosten ist aufgrund der globalen Dimension auch in der Basisrechnung mit grossen Unsicherheiten behaftet. Der Streubereich widerspiegelt unterschiedliche Bewertungsansätze und Bezüge zum Verkehr. Unwägbare **Grossrisiken** (wie beispielsweise unumkehrbare Klimaschocks, z.B. Kippen des Golfstroms) sind in den Berechnungen nicht berücksichtigt.
- **Schäden an Gewässern**: Nicht erfasst sind in diesem Bericht die verschiedenen Arten von verkehrsbedingten Schäden an Gewässern. Gemäss Infrac (2006) hat der Verkehr zwar diverse negative Einflüsse auf die Gewässerqualität, diese sind aber entweder internalisiert oder aber die entstehenden Kosten sind nicht quantifizierbar. Durch das Weglassen dieser Effekte werden die tatsächlichen Kosten tendenziell unterschätzt.
- **Kosten vor- und nachgelagerter Prozesse**: Bei den vor- und nachgelagerten Prozessen werden ausschliesslich die Emissionen von Treibhausgasen erfasst und bewertet. Die Emissionen weiterer Luftschadstoffe sowie eventuell auftretende Schäden an Gewässern und am Boden können auf Basis der vorhandenen Daten nicht quantifiziert werden.

10.6 Vergleich mit bisherigen Ergebnissen für das Jahr 2000²⁴⁰

10.6.1 Strassenverkehr

In der folgenden Tabelle werden die Vergleiche aus den Kapiteln 1 bis 9 zusammengefasst. Wie aus der Tabelle ersichtlich wird, haben sich die externen Kosten des Strassenverkehrs zwischen 2000 und 2005 um 25% erhöht (von 6'541 auf 8'074 Mio. CHF).²⁴¹ Es ist aber zu betonen, dass es sich bei dieser Zunahme um reale Änderungen (z.B. Preisniveau, Bevölkerungswachstum) und methodische Anpassungen (z.B. SonBase, Anpassung des Kostensatzes pro Tonne CO₂ aufgrund neuer Forschungsergebnisse) handelt. Die Zunahme darf somit nicht in die Zukunft fortgeschrieben werden.

Während 2005 leicht tiefere Ernteauffälle und Waldschäden ausgewiesen werden, ist bei allen anderen Bereichen eine Zunahme zu erkennen. Diese fällt vor allem beim Klima sowie den vor- und nachgelagerten Prozessen mit je gut 50% besonders deutlich aus. Die Zunahme der Kosten ist das Ergebnis unterschiedlicher und zum Teil gegenläufiger Effekte. Die wichtigsten Gründe für die Zunahme der externen Kosten lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Preisanpassungen zwischen 2000 und 2005 führen zu um ca. 8% höheren Kosten.
- Die Nettoproduktionsausfälle (als Teil der Unfallkosten, Lärmkosten und Gesundheitskosten) nehmen zusätzlich um 18% zu, da das BFS neu auch die betrieblichen Vorsorgeansprüche mit berücksichtigt.
- Lärm: Die SonBase weist für den Strassenverkehr deutlich höhere Lärmbelastungen aus als die bisherigen Hochrechnungen.
- Gesundheitskosten: Das Bevölkerungswachstum und die erhöhte Lebenserwartung führen beide zu höheren Gesundheitskosten durch die Luftverschmutzung.
- Klimakosten und vor und nachgelagerte Prozesse: Erhöhung des Kostensatzes pro Tonne CO₂ aufgrund aktueller internationaler Studien zu Schadensszenarien (z.B. Stern Report oder IPCC) sowie verschärfte Reduktionsvorgaben für die europäische Klimapolitik nach Kyoto für den Zeitraum bis 2020/2030.

Die Tabelle 10-11 zeigt auch, dass die Zunahme im Personenverkehr mit 29% höher ausfällt als im Güterverkehr mit 14%. Dies ist vor allem auch darauf zurückzuführen, dass das BFS

²⁴⁰ Beim Vergleich mit den Ergebnissen für das Jahr 2000 beschränken wir uns auf die Sicht Verkehrsträger (Ergebnisse für die Sicht Verkehrsteilnehmende sind in Kapitel 3.7 zu finden).

²⁴¹ Bei den Ergebnissen für das Jahr 2000 fällt auf, dass es einige wenige Abweichungen gegenüber der Synthese des ARE gibt (ARE 2007, Bewertung der externen Kosten des Strassen- und Schienenverkehrs in der Schweiz für das Jahr 2000. Synthese):

- Die Staukosten werden im vorliegenden Bericht nicht berücksichtigt (vgl. Einleitung zu Kapitel 10).
- Die Unfallkosten stimmen mit dem Kapitel 2.1 der Synthese überein.
- Die Kosten in sensiblen Regionen und durch Erschütterungen (nur Schiene) fehlen in der Zusammenstellung: Da die Kosten dieser Bereiche nur sehr klein sind (unter 50 Mio. CHF), wurde darauf verzichtet, diese Bereiche zu aktualisieren.

zwischen 2000 und 2005 die Fahrleistungen des Güterverkehrs aufgrund neuer Erkenntnisse nach unten korrigiert hat.²⁴²

Tabelle 10-11: Vergleich der Berechnungen der externen Kosten für die Jahre 2000 und 2005: Strassenverkehr in Mio. CHF

2000	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
Unfälle	1'508.7	116.8	1'625.5
Lärm	549.9	319.5	869.4
Gesundheitskosten der Luftverschmutzung	870.7	654.7	1'525.4
Gebäudeschäden der Luftverschmutzung	129.1	116.6	245.6
Klima	661.5	164.6	826.1
Natur und Landschaft	552.1	109.9	662.0
Ernteausfälle	37.7	36.0	73.7
Waldschäden	36.8	33.1	69.8
Bodenschäden	54.3	48.5	102.9
Zusatzkosten in städtischen Räumen	59.6	10.9	70.5
Vor- und nachgelagerte Prozesse	292.6	87.6	380.2
Total	4'753.0	1'698.2	6'451.1
2005	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
Unfälle	1'892.5	124.3	2'016.8
Lärm	767.7	333.0	1'100.7
Gesundheitskosten der Luftverschmutzung	1'046.7	787.1	1'833.8
Gebäudeschäden der Luftverschmutzung	143.9	130.0	273.9
Klima	1'030.1	226.3	1'256.4
Natur und Landschaft	591.7	95.4	687.1
Ernteausfälle	32.5	30.6	63.1
Waldschäden	33.5	30.6	64.1
Bodenschäden	61.2	46.0	107.3
Zusatzkosten in städtischen Räumen	68.1	10.2	78.2
Vor- und nachgelagerte Prozesse	465.7	127.1	592.8
Total	6'133.7	1'940.6	8'074.3
Veränderung zwischen 2000 und 2005	Personenverkehr	Güterverkehr	Total
Unfälle	25.4%	6.4%	24.1%
Lärm	39.6%	4.2%	26.6%
Gesundheitskosten der Luftverschmutzung	20.2%	20.2%	20.2%
Gebäudeschäden der Luftverschmutzung	11.5%	11.5%	11.5%
Klima	55.7%	37.5%	52.1%
Natur und Landschaft	7.2%	-13.2%	3.8%
Ernteausfälle	-13.7%	-14.9%	-14.3%
Waldschäden	-8.8%	-7.5%	-8.2%
Bodenschäden	12.7%	-5.2%	4.3%
Zusatzkosten in städtischen Räumen	14.3%	-6.9%	11.0%
Vor- und nachgelagerte Prozesse	59.2%	45.1%	55.9%
Total	29.1%	14.3%	25.2%

²⁴² Deshalb sind bei den Kennzahlen pro Kilometer nicht genau dieselben Veränderungen zu erkennen wie bei den gesamten Kosten.

10.6.2 Schienenverkehr

Im Schienenverkehr ist im Gegensatz zum Strassenverkehr nur eine geringe Zunahme der Kosten festzustellen (vgl. Tabelle 10-12): Die ausgewiesenen externen Kosten sind 2005 um 9% höher (455 anstatt 417 Mio. CHF). Wie im Strassenverkehr ist diese Zunahme auf reale und methodische Änderungen zurückzuführen und darf somit nicht in die Zukunft fortgeschrieben werden.

Tabelle 10-12: Vergleich der Berechnungen der externen Kosten für die Jahre 2000 und 2005: Schienenverkehr in Mio. CHF

2000	Personenverkehr	Güterverkehr	Dritte	Total
Unfälle	10.4	2.3	2.4	15.1
Lärm	101.4	27.2		128.6
Gesundheitskosten der Luftverschmutzung	45.9	54.3		100.2
Gebäudeschäden der Luftverschmutzung	5.9	8.1		14.0
Klima	0.3	1.2		1.5
Natur und Landschaft	67.0	36.1		103.0
Ernteauffälle	0.1	0.4		0.5
Waldschäden	0.1	0.4		0.5
Bodenschäden	0.6	0.5		1.1
Zusatzkosten in städtischen Räumen	14.9	3.3		18.2
Vor- und nachgelagerte Prozesse	20.1	14.4		34.5
Total	266.7	148.2	2.4	417.3
2005	Personenverkehr	Güterverkehr	Dritte	Total
Unfälle	1.6	2.6	25.6	29.8
Lärm	53.3	20.4		73.7
Gesundheitskosten der Luftverschmutzung	55.2	65.3		120.5
Gebäudeschäden der Luftverschmutzung	7.9	7.5		15.4
Klima	0.9	6.3		7.2
Natur und Landschaft	72.9	37.2		110.1
Ernteauffälle	0.2	1.5		1.8
Waldschäden	0.2	1.5		1.8
Bodenschäden	21.0	12.2		33.2
Zusatzkosten in städtischen Räumen	16.7	3.6		20.3
Vor- und nachgelagerte Prozesse	23.5	17.9		41.3
Total	253.5	175.9	25.6	455.0
Veränderung zwischen 2000 und 2005	Personenverkehr	Güterverkehr	Dritte	Total
Unfälle	-84.2%	11.5%	970.6%	97.6%
Lärm	-47.4%	-25.2%		-42.7%
Gesundheitskosten der Luftverschmutzung	20.2%	20.2%		20.2%
Gebäudeschäden der Luftverschmutzung	34.4%	-7.6%		10.1%
Klima	173.0%	437.7%		377.1%
Natur und Landschaft	8.9%	3.1%		6.9%
Ernteauffälle	86.1%	266.5%		225.2%
Waldschäden	101.2%	296.2%		251.5%
Bodenschäden	3196.1%	2362.4%		2831.4%
Zusatzkosten in städtischen Räumen	12.1%	6.9%		11.1%
Vor- und nachgelagerte Prozesse	16.6%	24.1%		19.7%
Total	-5.0%	18.7%	970.6%	9.0%

Während sich die Unfallkosten beinahe verdoppelt haben, haben sich die Ernteauffälle und Waldschäden mehr als verdreifacht (+225% bzw. +252%) und die Klimakosten beinahe verfünffacht (+377%). Diese Zunahmen beruhen allerdings nur zu einem geringen Teil auf effektiven Kostensteigerungen, sondern hauptsächlich auf veränderte Berechnungsmethoden der Luftschadstoffemissionen (für Details siehe Annex D). Würden die externen Kosten des Jahres 2000 ebenfalls auf Basis der auf neuen Berechnungsmethoden basierenden Emissionsdaten berechnet, wären die effektiven Kostensteigerungen beim Schienenverkehr wesentlich geringer: Bei den Ernteauffällen +3%, bei den Waldschäden +13% und bei den Klimakosten +62%. Abgenommen haben beim Schienenverkehr einzig die Lärmkosten (um 43%). Diese zum Teil deutlichen Veränderungen in den einzelnen Bereichen sind auf folgende Gründe zurückzuführen:

- Wie beim Strassenverkehr führen Preisanpassungen zu einer Zunahme um 8%. Teuerungsbereinigt sind die Kosten des Schienenverkehrs also in etwa konstant geblieben. Die Nettoproduktionsauffälle nehmen aufgrund der neu berücksichtigten betrieblichen Vorsorgeansprüche um zusätzlich +18% zu.
- Unfälle: Die neue Datenbank des BAV erfasst das Unfallgeschehen – insbesondere die Sachschäden – viel besser als die bisherigen Datenquellen. Die neuen Daten erlauben es auch, die Aufteilung auf den Personen- und Güterverkehr sowie auf Dritte präziser vorzunehmen, was zu Veränderungen in den relativen Anteilen dieser drei Verursacher geführt hat (zugunsten des Personenverkehrs und zulasten der Dritten).
- Lärm: SonBase weist für den Schienenverkehr deutlich tiefere Lärmbelastungen aus als die bisherigen Berechnungen. Ausserdem wurde aufgrund neuer Studien die Abnahme der Mietzinse pro dB(A) Lärm um 25% verringert.
- Gesundheitskosten: Das Bevölkerungswachstum und die erhöhte Lebenserwartung führen beide zu höheren Gesundheitskosten durch die Luftverschmutzung.
- Klimakosten: Die Zunahme der Kosten ist auf die Erhöhung des Kostensatzes pro Tonne CO₂ (siehe Strassenverkehr) sowie auf die deutlich höheren CO₂-Emissionen des Schienenverkehrs (infolge überarbeiteter Emissionsgrundlagen) zurückzuführen. Der Hauptgrund für die Kostensteigerung liegt bei den auf einer neuen Methodik beruhenden Emissionsdaten. Die effektive Zunahme der CO₂-Emissionen zwischen 2000 und 2005 betrug lediglich 6%.
- Ernteauffälle / Waldschäden: Deutliche höhere NO_x-Emissionen des Schienenverkehrs, basierend auf überarbeiteten Emissionsgrundlagen (d.h. nicht infolge einer effektiven Emissionszunahme), führen zur Kostensteigerung in diesen beiden Kategorien. Der wichtigste Grund für die Kostensteigerung sind die auf einer neuen Methodik beruhenden Emissionsdaten. Effektiv sind die NO_x-Emissionen von 2000 bis 2005 sogar um 10% gesunken.
- Bodenschäden: Neue Datengrundlagen zu den Schwermetallemissionen des Schienenverkehrs weisen für einige Schwermetalle viel höhere Gesamtemissionen aus.
- Vor und nachgelagerter Prozesse: Zwei gegenläufige Effekte beeinflussen das Ergebnis wesentlich: Der Bewertungsansatz bei den Klimakosten hat zugenommen (siehe oben),

während die Gesamtemissionen der vor- und nachgelagerten Prozesse etwas zurückgegangen sind, insbesondere beim Unterhalt der Bahninfrastruktur.

Wie Tabelle 10-12 zeigt, werden im Personenverkehr für das Jahr 2005 rund 5% tiefere Kosten ausgewiesen als für 2000. Demgegenüber hat sich im Güterverkehr für diese Zeitspanne eine Kostenzunahme von 19% ergeben. Im Personenverkehr ist die Kostenabnahme vor allem auf die Reduktion der Lärmkosten zurückzuführen.

10.6.3 Veränderung der Mengengerüste

Neben der Veränderung der Kosten ist auch von Interesse, wie sich die Umweltbelastung zwischen 2000 und 2005 verändert hat. Die nachstehende Zusammenfassung widerspiegelt ausschliesslich die realen Veränderungen (methodische Anpassungen wurden in diesen Vergleich nicht miteinbezogen):

- Unfälle: Die Zahl der Verletzten und Getöteten hat im Strassenverkehr um 13% bzw. 30% abgenommen. Im Schienenverkehr schwanken die Verunfalltenzahlen relativ stark über die Jahre. 2005 gab es etwas mehr Todesfälle, aber deutlich weniger Schwerverletzte als 2000.
- Lärm: Im Lärm ist keine Aussage über die quantitative Veränderung der Lärmbelastung möglich, da eine vollständig neue Datenbasis verwendet wurde. Qualitativ ist im Strassenverkehr einerseits aufgrund von Lärmsanierungen (Lärmschutzwände und lärmarme Beläge) eine Reduktion zu erwarten. Andererseits führen die Zunahmen des Verkehrsvolumens, der Bevölkerung und der lärmintensiveren grösseren Personenwagen zu einer Erhöhung des Lärms. Welcher Effekt stärker ist, lässt sich ohne zusätzliche Erhebungen nicht feststellen. Im Schienenverkehr haben die Lärmemissionen hingegen trotz der Verkehrszunahme abgenommen. Dies ist auf die Lärmsanierung der Wagen (vor allem im Personen-, aber auch im Güterverkehr) und auf den Bau von Lärmschutzwänden zurückzuführen.
- Gesundheitsschäden und Gebäudeschäden durch Luftverschmutzung: Trotz einer geringen Reduktion der PM10-Emissionen haben die Immissionen zwischen 2000 und 2005 leicht zugenommen, was auf die Witterungsverhältnisse zurückzuführen ist und wahrscheinlich auch mit einer Überschätzung der tatsächlichen Emissionsabnahme zusammenhängt. Zudem sind heute mehr Personen bzw. Gebäude den Schadstoffen ausgesetzt.
- Klima: Gemäss Treibhausgasinventar sind die Treibhausgasemissionen des Strassenverkehrs zwischen 2000 und 2005 um 1.4% gestiegen. Im Schienenverkehr betrug die Zunahme 5.8%.
- Natur und Landschaft: Aufgrund neuer Infrastrukturanlagen hat die Belastung von Natur und Landschaft leicht zugenommen.
- Ernteausfälle und Waldschäden: Die NO_x-Emissionen des Strassen- bzw. Schienenverkehrs haben um 25% bzw. 10% abgenommen.

- Bodenschäden: Die Emissionen der Schwermetalle haben im Strassenverkehr um 2% abgenommen, im Schienenverkehr um 15% zugenommen.
- Zusatzkosten in städtischen Räumen: Die Zahl der betroffenen Personen hat um 3% zugenommen.
- Vor- und nachgelagerte Prozesse: Die Treibhausgasemissionen der vor- und nachgelagerten Prozesse sind im Strassenverkehr konstant geblieben, im Schienenverkehr um 23% zurückgegangen.

11 Anhang A: Kostensätze für die externen Unfallkosten

Die externen Sachschäden, Polizei und Rechtsfolgekosten werden in Tabelle 11-1 dargestellt.

Tabelle 11-2 und Tabelle 11-3 zeigen die externen Kosten pro Unfallopfer aus Sicht Verkehrsträger bzw. aus Sicht Verkehrsteilnehmende für den Strassenverkehr. Die beiden Tabellen sind abgesehen von den Zeilen immaterielle Kosten (und damit auch den Zeilen Total) identisch.

In Tabelle 11-4 bis Tabelle 11-7 werden die externen Kosten pro Unfallopfer für den Schienenverkehr dargestellt. Auch hier sind die jeweiligen Tabellen aus Sicht Verkehrsträger und aus Sicht Verkehrsteilnehmende identisch abgesehen von den immateriellen Kosten (und dem Total). Zudem sind auch die beiden Tabellen für Unfallverursachende (Tabelle 11-4 und Tabelle 11-6) zwischen den beiden Sichtweisen (Verkehrsträger bzw. Verkehrsteilnehmende) vollständig identisch.

Tabelle 11-1: Externe Sachschäden, Polizei- und Rechtsfolgekosten in CHF pro polizeilich registrierten Unfall

	Strasse	Schiene
Sachschäden	-	-
Polizei- und Rechtsfolgekosten	3'101	3'209
Polizeikosten	506	615
Rechtsfolgekosten	2'595	2'595
Administrativkosten	-	-

Tabelle 11-2: Externe Kosten in CHF pro Unfallopfer nach Fahrzeugkategorie: Sicht Verkehrsträger

	Personen wagen	Car	ÖV (Bus, Trolley)	Liefer- wagen	Last- wagen	S. Sat- telschl.	Traktor, Arb.m.	Fahrrad	Mofa	Motorrad	Fuss- gänger	Durch- schnitt
Tote	624'772	531'715	524'793	660'879	649'441	662'406	618'293	733'455	771'292	780'404	664'721	673'203
Med. Heilungsk.	13'306	6'135	5'848	12'493	13'984	14'327	18'822	23'476	23'231	20'606	23'571	17'301
Nettoprod.ausfall	473'789	473'789	473'789	473'789	473'789	473'789	473'789	473'789	473'789	473'789	473'789	473'789
Wiederbesetzung	20'859	20'859	20'859	20'859	20'859	20'859	20'859	20'859	20'859	20'859	20'859	20'859
Administrativk.	3'534	3'683	1'852	4'730	4'286	3'820	2'097	14'167	6'789	11'096	12'018	4'944
Immaterielle K.	113'285	27'249	22'445	149'009	136'524	149'611	102'727	201'164	246'625	254'054	134'485	156'310
Invaliditätsfälle	391'937	334'482	327'125	402'928	404'126	408'590	408'280	489'809	484'734	486'844	463'489	426'141
Med. Heilungsk.	56'284	25'953	24'739	52'846	59'153	60'606	79'617	99'306	98'269	87'163	99'706	73'186
Nettoprod.ausfall	270'368	270'368	270'368	270'368	270'368	270'368	270'368	270'368	270'368	270'368	270'368	270'368
Wiederbesetzung	20'182	20'182	20'182	20'182	20'182	20'182	20'182	20'182	20'182	20'182	20'182	20'182
Administrativk.	8'894	9'269	4'661	11'904	10'786	9'614	5'278	35'655	17'086	27'927	30'247	12'444
Immaterielle K.	36'210	8'710	7'174	47'628	43'638	47'821	32'835	64'299	78'829	81'204	42'986	49'962
Schwerverletzte	60'629	31'582	29'720	65'561	66'202	69'040	69'263	98'609	104'192	101'415	86'630	76'334
Med. Heilungsk.	26'140	12'053	11'490	24'543	27'472	28'147	36'977	46'121	45'639	40'482	46'307	33'990
Nettoprod.ausfall	13'851	13'851	13'851	13'851	13'851	13'851	13'851	13'851	13'851	13'851	13'851	13'851
Wiederbesetzung	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Administrativk.	891	928	467	1'192	1'080	963	529	3'571	1'711	2'797	3'029	1'246
Immaterielle K.	19'747	4'750	3'913	25'975	23'798	26'080	17'907	35'066	42'991	44'286	23'443	27'247
Mittelschwerverletzte	12'850	6'853	6'469	14'077	14'068	14'698	14'277	20'491	21'897	21'491	17'708	16'063
Med. Heilungsk.	4'648	2'143	2'043	4'364	4'885	5'005	6'575	8'200	8'115	7'198	8'234	6'043
Nettoprod.ausfall	3'423	3'423	3'423	3'423	3'423	3'423	3'423	3'423	3'423	3'423	3'423	3'423
Wiederbesetzung	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Administrativk.	171	178	90	229	207	185	101	685	328	537	581	239
Immaterielle K.	4'608	1'108	913	6'061	5'553	6'085	4'178	8'182	10'031	10'333	5'470	6'358
Leichtverletzte	3'110	1'665	1'571	3'488	3'430	3'599	3'314	4'883	5'313	5'285	4'090	3'874
Med. Heilungsk.	828	382	364	777	870	891	1'171	1'461	1'446	1'282	1'467	1'077
Nettoprod.ausfall	926	926	926	926	926	926	926	926	926	926	926	926
Wiederbesetzung	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Administrativk.	40	41	21	53	48	43	24	159	76	124	135	55
Immaterielle K.	1'316	317	261	1'732	1'587	1'739	1'194	2'338	2'866	2'952	1'563	1'816
Durchschnitt Schwerverletzte (Ø Mittelschwer, schwer, invalid)	90'258	64'775	62'659	94'809	95'321	97'673	97'632	126'508	129'364	127'976	115'562	104'441
Med. Heilungsk.	23'313	10'750	10'247	21'889	24'501	25'103	32'978	41'133	40'703	36'104	41'299	30'314
Nettoprod.ausfall	45'378	45'378	45'378	45'378	45'378	45'378	45'378	45'378	45'378	45'378	45'378	45'378
Wiederbesetzung	2'745	2'745	2'745	2'745	2'745	2'745	2'745	2'745	2'745	2'745	2'745	2'745
Administrativk.	1'715	1'787	899	2'295	2'079	1'853	1'017	6'873	3'294	5'384	5'831	2'399
Immaterielle K.	17'108	4'115	3'390	22'502	20'617	22'593	15'513	30'379	37'244	38'366	20'309	23'605
Verletzte (Ø aller Fälle)	13'671	9'315	8'973	14'556	14'567	14'999	14'742	19'633	20'349	20'160	17'608	16'063
Med. Heilungsk.	3'552	1'638	1'561	3'335	3'733	3'825	5'024	6'267	6'202	5'501	6'292	4'619
Nettoprod.ausfall	6'311	6'311	6'311	6'311	6'311	6'311	6'311	6'311	6'311	6'311	6'311	6'311
Wiederbesetzung	333	333	333	333	333	333	333	333	333	333	333	333
Administrativk.	246	257	129	330	299	266	146	988	474	774	838	345
Immaterielle K.	3'229	777	640	4'248	3'892	4'265	2'928	5'735	7'031	7'242	3'834	4'456
Opfer (Tote u. Verletzte)	16'358	11'612	11'241	17'398	17'358	17'846	17'396	22'772	23'651	23'503	20'453	18'952
Med. Heilungsk.	3'595	1'658	1'580	3'375	3'778	3'871	5'085	6'343	6'276	5'567	6'368	4'674
Nettoprod.ausfall	8'366	8'366	8'366	8'366	8'366	8'366	8'366	8'366	8'366	8'366	8'366	8'366
Wiederbesetzung	423	423	423	423	423	423	423	423	423	423	423	423
Administrativk.	261	272	137	349	316	282	155	1'046	501	819	887	365
Immaterielle K.	3'713	893	736	4'884	4'475	4'904	3'367	6'594	8'084	8'328	4'408	5'124

Tabelle 11-3: Externe Kosten in CHF pro Unfallopfer nach Fahrzeugkategorie: Sicht Verkehrsteilnehmende

	Personen- wagen	Car	OV (Bus, Trolley)	Liefer- wagen	Last- wagen	S. Sat- telschl.	Traktor, Arb.m.	Fahrrad	Mofa	Motorrad	Fuss- gänger	Durch- schnitt
Tote	1'660'114	2'569'441	1'943'570	1'979'760	1'982'067	1'923'813	1'333'669	804'675	771'292	1'217'996	729'811	1'363'072
Med. Heilungsk.	13'306	6'135	5'848	12'493	13'984	14'327	18'822	23'476	23'231	20'606	23'571	17'301
Nettoprod.ausfall	473'789	473'789	473'789	473'789	473'789	473'789	473'789	473'789	473'789	473'789	473'789	473'789
Wiederbesetzung	20'859	20'859	20'859	20'859	20'859	20'859	20'859	20'859	20'859	20'859	20'859	20'859
Administrativk.	3'534	3'683	1'852	4'730	4'286	3'820	2'097	14'167	6'789	11'096	12'018	4'944
Immaterielle K.	1'148'627	2'064'975	1'441'222	1'467'890	1'469'150	1'411'018	818'102	272'384	246'625	691'646	199'574	846'179
Invaliditätsfälle	722'866	985'807	780'613	824'485	830'078	811'777	636'937	512'574	484'734	626'713	484'294	646'646
Med. Heilungsk.	56'284	25'953	24'739	52'846	59'153	60'606	79'617	99'306	98'269	87'163	99'706	73'186
Nettoprod.ausfall	270'368	270'368	270'368	270'368	270'368	270'368	270'368	270'368	270'368	270'368	270'368	270'368
Wiederbesetzung	20'182	20'182	20'182	20'182	20'182	20'182	20'182	20'182	20'182	20'182	20'182	20'182
Administrativk.	8'894	9'269	4'661	11'904	10'786	9'614	5'278	35'655	17'086	27'927	30'247	12'444
Immaterielle K.	367'139	660'034	460'662	469'186	469'589	451'008	261'492	87'063	78'829	221'073	63'790	270'467
Schwerverletzte	241'105	386'790	277'035	295'462	298'499	288'923	193'964	111'023	104'192	177'694	97'976	196'589
Med. Heilungsk.	26'140	12'053	11'490	24'543	27'472	28'147	36'977	46'121	45'639	40'482	46'307	33'990
Nettoprod.ausfall	13'851	13'851	13'851	13'851	13'851	13'851	13'851	13'851	13'851	13'851	13'851	13'851
Wiederbesetzung	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Administrativk.	891	928	467	1'192	1'080	963	529	3'571	1'711	2'797	3'029	1'246
Immaterielle K.	200'224	359'958	251'228	255'876	256'096	245'963	142'608	47'481	42'991	120'565	34'789	147'502
Mittelschwerverletzte	54'961	89'735	64'175	67'720	68'271	66'004	43'374	23'388	21'897	39'289	20'355	44'123
Med. Heilungsk.	4'648	2'143	2'043	4'364	4'885	5'005	6'575	8'200	8'115	7'198	8'234	6'043
Nettoprod.ausfall	3'423	3'423	3'423	3'423	3'423	3'423	3'423	3'423	3'423	3'423	3'423	3'423
Wiederbesetzung	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Administrativk.	171	178	90	229	207	185	101	685	328	537	581	239
Immaterielle K.	46'719	83'990	58'620	59'704	59'756	57'391	33'275	11'079	10'031	28'132	8'117	34'417
Leichtverletzte	15'141	25'346	18'059	18'814	18'917	18'257	11'627	5'711	5'313	10'370	4'846	11'891
Med. Heilungsk.	828	382	364	777	870	891	1'171	1'461	1'446	1'282	1'467	1'077
Nettoprod.ausfall	926	926	926	926	926	926	926	926	926	926	926	926
Wiederbesetzung	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Administrativk.	40	41	21	53	48	43	24	159	76	124	135	55
Immaterielle K.	13'348	23'997	16'749	17'058	17'073	16'398	9'507	3'165	2'866	8'038	2'319	9'833
Durchschnitt Schwerverletzte (Ø Mittelschwer, schwer, invalid)	246'609	372'500	276'913	293'979	296'566	288'163	205'663	137'264	129'364	194'059	125'391	208'621
Med. Heilungsk.	23'313	10'750	10'247	21'889	24'501	25'103	32'978	41'133	40'703	36'104	41'299	30'314
Nettoprod.ausfall	45'378	45'378	45'378	45'378	45'378	45'378	45'378	45'378	45'378	45'378	45'378	45'378
Wiederbesetzung	2'745	2'745	2'745	2'745	2'745	2'745	2'745	2'745	2'745	2'745	2'745	2'745
Administrativk.	1'715	1'787	899	2'295	2'079	1'853	1'017	6'873	3'294	5'384	5'831	2'399
Immaterielle K.	173'459	311'840	217'644	221'672	221'862	213'083	123'545	41'134	37'244	104'448	30'138	127'785
Verletzte (Ø aller Fälle)	43'186	67'405	49'419	52'154	52'557	50'959	35'136	21'663	20'349	32'635	19'463	35'729
Med. Heilungsk.	3'552	1'638	1'561	3'335	3'733	3'825	5'024	6'267	6'202	5'501	6'292	4'619
Nettoprod.ausfall	6'311	6'311	6'311	6'311	6'311	6'311	6'311	6'311	6'311	6'311	6'311	6'311
Wiederbesetzung	333	333	333	333	333	333	333	333	333	333	333	333
Administrativk.	246	257	129	330	299	266	146	988	474	774	838	345
Immaterielle K.	32'744	58'867	41'086	41'846	41'882	40'225	23'322	7'765	7'031	19'717	5'689	24'122
Opfer (Tote u. Verletzte)	50'295	78'406	57'747	60'629	61'040	59'193	40'845	25'106	23'651	37'847	22'586	41'565
Med. Heilungsk.	3'595	1'658	1'580	3'375	3'778	3'871	5'085	6'343	6'276	5'567	6'368	4'674
Nettoprod.ausfall	8'366	8'366	8'366	8'366	8'366	8'366	8'366	8'366	8'366	8'366	8'366	8'366
Wiederbesetzung	423	423	423	423	423	423	423	423	423	423	423	423
Administrativk.	261	272	137	349	316	282	155	1'046	501	819	887	365
Immaterielle K.	37'651	67'688	47'242	48'116	48'157	46'252	26'816	8'928	8'084	22'671	6'542	27'737

Tabelle 11-4: Externe Kosten im Schienenverkehr in CHF pro Unfallopfer: Sicht Verkehrsträger für Unfallverursacher

	Medizinische Heilungs- kosten	Netto- produktions- ausfall	Wieder- besetzungs- kosten	Admini- strative Kosten	Immaterielle Kosten	Total
Alle Altersklassen						
Tote	23'964	473'789	20'859	14'931	232'403	765'946
Invaliditätsfälle	101'370	270'368	20'182	37'578	74'284	503'782
Schwerverletzte	47'080	13'851	-	3'764	40'512	105'205
Mittelschwerverletzte	8'371	3'423	-	722	9'453	21'969
Leichtverletzte	1'491	926	-	167	2'701	5'285
Schwerverletzte (Bahn)	41'988	45'378	2'745	7'244	35'096	132'451
Erwerbstätige						
Tote	23'964	606'170	29'920	20'887	274'535	955'477
Invaliditätsfälle	101'370	295'126	26'899	44'810	77'551	545'756
Schwerverletzte	47'080	18'458	-	4'218	40'512	110'267
Mittelschwerverletzte	8'371	4'240	-	808	9'453	22'872
Leichtverletzte	1'491	1'140	-	187	2'701	5'519
Schwerverletzte (Bahn)	41'988	50'373	3'571	8'453	34'918	139'302

Tabelle 11-5: Externe Kosten im Schienenverkehr in CHF pro Unfallopfer: Sicht Verkehrsträger für Nicht-Unfallverursacher

	Medizinische Heilungs- kosten	Netto- produktions- ausfall	Wieder- besetzungs- kosten	Admini- strative Kosten	Immaterielle Kosten	Total
Alle Altersklassen						
Tote	4'836	473'789	20'859	2'349	12'885	514'717
Invaliditätsfälle	20'457	270'368	20'182	5'912	4'118	321'037
Schwerverletzte	9'501	13'851	-	592	2'246	26'189
Mittelschwerverletzte	1'689	3'423	-	114	524	5'750
Leichtverletzte	301	926	-	26	150	1'403
Schwerverletzte (Bahn)	8'473	45'378	2'745	1'140	1'946	59'682
Erwerbstätige						
Tote	4'836	606'170	29'920	3'286	15'220	659'433
Invaliditätsfälle	20'457	295'126	26'899	7'050	4'299	353'831
Schwerverletzte	9'501	18'458	-	664	2'246	30'868
Mittelschwerverletzte	1'689	4'240	-	127	524	6'581
Leichtverletzte	301	1'140	-	29	150	1'620
Schwerverletzte (Bahn)	8'473	50'373	3'571	1'330	1'936	65'683

Tabelle 11-6: Externe Kosten im Schienenverkehr in CHF pro Unfallopfer: Sicht Verkehrsteilnehmende für Unfallverursacher

	Medizinische Heilungs- kosten	Netto- produktions- ausfall	Wieder- besetzungs- kosten	Admini- strative Kosten	Immaterielle Kosten	Total
Alle Altersklassen						
Tote	23'964	473'789	20'859	14'931	232'403	765'946
Invaliditätsfälle	101'370	270'368	20'182	37'578	74'284	503'782
Schwerverletzte	47'080	13'851	-	3'764	40'512	105'205
Mittelschwerverletzte	8'371	3'423	-	722	9'453	21'969
Leichtverletzte	1'491	926	-	167	2'701	5'285
Schwerverletzte (Bahn)	41'988	45'378	2'745	7'244	35'096	132'451
Erwerbstätige						
Tote	23'964	606'170	29'920	20'887	274'535	955'477
Invaliditätsfälle	101'370	295'126	26'899	44'810	77'551	545'756
Schwerverletzte	47'080	18'458	-	4'218	40'512	110'267
Mittelschwerverletzte	8'371	4'240	-	808	9'453	22'872
Leichtverletzte	1'491	1'140	-	187	2'701	5'519
Schwerverletzte (Bahn)	41'988	50'373	3'571	8'453	34'918	139'302

Tabelle 11-7: Externe Kosten im Schienenverkehr in CHF pro Unfallopfer: Sicht Verkehrsteilnehmende für Nicht-Unfallverursacher

	Medizinische Heilungs- kosten	Netto- produktions- ausfall	Wieder- besetzungs- kosten	Admini- strative Kosten	Immaterielle Kosten	Total
Alle Altersklassen						
Tote	4'836	473'789	20'859	2'349	2'157'368	2'659'201
Invaliditätsfälle	20'457	270'368	20'182	5'912	689'566	1'006'485
Schwerverletzte	9'501	13'851	-	592	376'063	400'006
Mittelschwerverletzte	1'689	3'423	-	114	87'748	92'974
Leichtverletzte	301	926	-	26	25'071	26'324
Schwerverletzte (Bahn)	8'473	45'378	2'745	1'140	325'792	383'529
Erwerbstätige						
Tote	4'836	606'170	29'920	3'286	2'548'472	3'192'684
Invaliditätsfälle	20'457	295'126	26'899	7'050	719'893	1'069'425
Schwerverletzte	9'501	18'458	-	664	376'063	404'685
Mittelschwerverletzte	1'689	4'240	-	127	87'748	93'805
Leichtverletzte	301	1'140	-	29	25'071	26'541
Schwerverletzte (Bahn)	8'473	50'373	3'571	1'330	324'136	387'883

12 Anhang B: Abnahme der Mietzinse pro dB(A) Lärm

Internationale Studien

International gibt es relativ viele Studien, die sich mit dem Zusammenhang zwischen dem Lärmniveau und dem Mietpreis befassen. Die Resultate streuen relativ stark, die ermittelte Abnahme des Mietpreises liegt zwischen 0.08 und 2.22% pro dB(A).²⁴³

Internationale Resultate können nicht unbesehen auf die Schweiz übertragen werden: Unterschiede in der nationalen Gesetzgebung im Wohnungsmarkt, unterschiedliche subjektive Lärmempfindungen aufgrund sozio-kultureller Eigenheiten sowie die aktuelle Marktsituation mit einem Angebots- oder Nachfrageüberhang können einen wesentlichen Einfluss auf die feststellbare Mietpreisreduktion haben.²⁴⁴ Studien zeigen z.B., dass die Mietzinsabnahme pro dB(A) in reichen Ländern und in Ländern mit hoher Belastung höher ist.²⁴⁵ Bei gegebener Aussenbelastung hat ausserdem die landestypische Bauweise einen Einfluss darauf, wie gross die Lärmbelastung im Innern der Häuser ist. Da es im internationalen Vergleich in der Schweiz relativ viele Studien gibt, welche die Auswirkungen des Lärms auf die Mietpreise untersuchen, beschränken wir uns deshalb auf Studien aus der Schweiz.

Nationale Studien

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Ergebnisse verschiedener Schweizer Studien für den Tageslärm. Die ersten vier Studien waren bereits für die Berechnungen der Lärmkosten im Jahr 2004 für das Jahr 2000 verfügbar. Daraus wurde abgeleitet, dass die Mietpreisreduktion 0.8% pro dB(A) beträgt (Sensitivität mit 0.66% und 0.9%).²⁴⁶

Seit 2005 wurden mehrere neue Studien publiziert, die in der Tabelle 12-1 gelb hinterlegt sind und für die Berechnung der Lärmkosten im Jahr 2004 noch nicht zur Verfügung standen. Dabei handelt es sich einerseits um vier Studien der Arbeitsgruppe um Professor Baranzini für Genf (und Zürich) und eine Studie der ETH Zürich zusammen mit der Universität Lugano. Es fällt einerseits auf, dass die neuen Studien auf viel grösseren Datensätzen beruhen als die älteren Studien und andererseits, dass die neueren Studien zu teilweise deutlich tieferen Resultaten kommen. Die neuen Studien sollen im Folgenden kurz vorgestellt werden:

- Baranzini und Ramirez (2005)²⁴⁷ finden für die Stadt Genf eine Mietpreisabnahme von 0.28% pro dB(A) Lärmbelastung. Allerdings legt die Studie auch **grosse Unterschiede**

²⁴³ Baranzini und Ramirez (2005), Paying for quietness: the impact of noise on Geneva rents, S. 639.

²⁴⁴ Ecoplan (2001), Externe Lärmkosten des Verkehrs: Hedonic Pricing Analyse, S. 52-53 und Navrud (2002), The State of the Art on Economic Valuation of Noise, S. 14.

²⁴⁵ Navrud (2002), The State of the Art on Economic Valuation of Noise, S. 28.

²⁴⁶ Ecoplan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, S. 56-57.

²⁴⁷ Baranzini und Ramirez (2005), Paying for quietness: the impact of noise on Geneva rents.

zwischen verschiedenen Teilmärkten offen: So hat der Lärm auf dem **Land** einen viel grösseren Einfluss auf die Mieten als in der **Agglomeration**²⁴⁸ (0.63% versus 0.20%). Noch grösser sind die Unterschiede zwischen dem **privaten** (0.15%) und dem **öffentlichen Markt** (staatlich subventionierte Wohnungen, 0.70%). Dies zeigt, dass es problematisch sein kann, die Ergebnisse aus Genf einfach für die ganze Schweiz zu verwenden. Die Studie geht zudem von einem minimalen Lärmniveau von 50 dB(A) aus. Werden Reduktionen erst ab 55 dB(A) zugelassen (wie in der vorliegenden Studie), dürfte der Wert etwas höher sein.

Tabelle 12-1: Verminderung des Mietzinses bei Zunahme des Tageslärms um 1 dB (A)

Autor	Ort und Jahr	Anzahl Beobachtungen	Mietpreisreduktion pro dB
Pommerehne 1987	Stadt Basel 1983-84	200 Mietwohnungen	1.26%
Iten und Maibach 1992	Stadt Zürich 1986	200 Mietwohnungen	0.80%
Soguel 1994	Stadt Neuenburg 1989	390 Mietwohnungen	0.91%
Ecoplan 2001	Kanton Zürich 1995-99	380 Einfamilienhäuser / Eigentumswohnungen	0.66%
Baranzini/Ramirez 2005	Kanton Genf	13'064 Mietwohnungen	0.28%
	Agglomeration Genf	10'018 Mietwohnungen	0.20%
	Land (Restkanton Genf)	3'073 Mietwohnungen	0.63%
	Freier Markt	10'394 Mietwohnungen	0.15%
	Staatlich subventioniert	2'640 Mietwohnungen	0.70%
Baranzini et al. 2006	Kanton Genf	2794 Mietwohnungen	0.22%
Baranzini/Schärer 2007	Kanton Genf	10'396 Mietwohnungen	0.20% – 0.23%
Schaerer et al. (im Erscheinen)	Stadt Genf	3'327 Mietwohnungen	0.17% – 0.20%
	Stadt Zürich	3'194 Mietwohnungen	0.37% – 0.38%
Banfi et al. 2007	Stadt Zürich	6'204 Mietwohnungen	0.2% bzw. 0.44%
	Stadt Lugano	547 Mietwohnungen	0.5%
In dieser Studie verwendeter Wert			0.6%
Monte-Carlo-Simulation: Werte zwischen			0.2% – 0.9%

Gelb hinterlegt sind alle Studien, die seit der Veröffentlichung der ARE-Studie im Jahr 2004 neu publiziert wurden.

- Beispielsweise wird in einer anderen Studie von Baranzini et al. (2006)²⁴⁹ für Genf gezeigt, dass sich bei einem Grenzwert von 50 dB(A) eine Reduktion von 0.18% pro dB(A) ergibt, aber bei einem Grenzwert von 55 dB(A), ein solcher von 0.22% pro dB(A).
- In einer weiteren Studie finden Baranzini und Schaerer (2007)²⁵⁰ wiederum für Genf einen Wert von 0.20 – 0.23% pro dB(A). Auch hier ist jedoch anzumerken, dass der Lärm ab 50

²⁴⁸ Stadt Genf, Carouge, Onex, Chêne-Bougeries und Lancy (Mail von Herrn Baranzini vom 27.11.2007).

²⁴⁹ Baranzini et al. (2006), Feel it or measure it. Perceived versus Measured Noise in Hedonic Models, S. 17 und 20.

dB(A) berücksichtigt wird und dass folglich für einen Grenzwert von 55 dB(A) tendenziell ein höherer Wert zu erwarten ist.

- In einer letzten Studie der Arbeitsgruppe Baranzini untersuchen Schaerer et al. (im Erscheinen)²⁵¹ Daten in Genf und Zürich und finden in Zürich mit 0.38% pro dB(A) einen höheren Wert als für Genf mit 0.20%, wobei der Unterschied nicht statistisch signifikant ist. Allerdings wird in Genf ein Grenzwert von 50 dB(A) verwendet und in Zürich ein solcher von 55 dB(A), so dass zumindest ein Teil des Unterschiedes darauf zurückzuführen sein dürfte.
- Banfi et al. (2007)²⁵² untersuchen mit ihrer Studie den Einfluss von Umweltbelastungen durch Luft, Lärm und Elektrosmog auf die Mietpreise. Das Hauptergebnis der Studie wurde für den Nachtlärm ab 50 dB(A) ermittelt und beträgt 0.31% pro dB(A) für Zürich und 0.60% pro dB(A) für Lugano. Es wurden jedoch auch Schätzungen für die uns interessierende Fragestellung, nämlich Tageslärm ab 55 dB(A) durchgeführt, deren Resultat 0.2% pro dB(A) für Zürich und 0.5% pro dB(A) für Lugano beträgt.²⁵³ Zudem zeigen die Ergebnisse, dass bei einer Erhöhung des Grenzwertes um 5 dB(A), der Schätzwert in Prozent pro dB(A) sich um den Faktor 1.2 bis 2 erhöhen kann.

Neben der Hedonic Pricing Analyse wurde auch noch eine Zahlungsbereitschaftsstudie durchgeführt. Für Lugano ergeben die beiden Methoden identische Ergebnisse, für Zürich resultiert aber ein gut doppelt so hoher Wert (umgerechnet 0.44% pro dB(A)).²⁵⁴ Für die Hochrechnung der Lärmkosten auf die gesamte Stadt Zürich bzw. Lugano wird die Zahlungsbereitschaftsstudie verwendet, d.h. die Autoren vertrauen diesem Ergebnis offenbar stärker. Aus dieser Studie ergibt sich somit eine Mietzinsreduktion von knapp 0.5% pro dB(A).

- In Kanton Genf wird für Berechnungen der Lärmkosten ein Wert von 0.9% pro dB(A) verwendet.²⁵⁵ Es ist jedoch nicht bekannt, auf welchen Grundlagen dieser Wert beruht. Deshalb wird dieser Wert in Tabelle 12-1 nicht aufgeführt.

Schliesslich ist auch noch zu erwähnen, dass im Flugverkehr häufig Reduktionen um 0.8% pro dB(A) Lärmbelastung geschätzt bzw. verwendet werden: Ein Wert von 0.7% pro dB(A) wird als Ergebnis einer Metaanalyse von 33 Schätzungen für 23 Flugplätzen in den USA und

²⁵⁰ Baranzini und Schaerer (2007), A Sight for Sore Eyes: assessing the value of view and landscape use on the housing market.

²⁵¹ Schaerer et al. (im Erscheinen), Using the hedonic approach to value natural land uses in an urban area: an application into Geneva and Zurich.

²⁵² Banfi et al. (2007), Zahlungsbereitschaft für eine verbesserte Umweltqualität am Wohnort.

²⁵³ Mail von A. Horehájová (Mitautorin der Studie) vom 25.10.2007.

²⁵⁴ Banfi et al. (2007), Zahlungsbereitschaft für eine verbesserte Umweltqualität am Wohnort, S. 30.

²⁵⁵ Levental (2007), Geneva noise policy issues – economical aspects.

Kanada angegeben.²⁵⁶ Studien für die Schweiz erzielten Ergebnisse zwischen 0.66% und 0.8%.²⁵⁷

Schlussfolgerungen

Aus den verschiedenen Studien ist eine Festlegung für die vorliegende Aktualisierung der gesamten verkehrsbedingten Lärmkosten in der Schweiz zu treffen. Folgende Überlegungen sind dabei von Bedeutung:

- Die älteren Studien, die bereits 2004 verwendet werden konnten, deuten auf einen Wert um 0.8% pro dB(A) hin. Die neueren Studien ergeben aber teilweise deutlich geringere Ergebnisse.
- Die Studien der Arbeitsgruppe Baranzini deuten für Genf auf einen Wert zwischen 0.2% und 0.3% hin. Da jedoch meist ein Grenzwert von 50 dB(A) verwendet wurde, könnte der Wert für 55 dB(A) auch etwas höher liegen.

In Genf (und auch in Zürich) ist zudem der Wohnungsmarkt durch eine sehr grosse Knappheit gekennzeichnet, so dass eigentlich nicht mehr von einem funktionsfähigen Markt gesprochen werden kann.²⁵⁸ So verfügt der Kanton Genf über den tiefsten Leerwohnungsbestand der Schweiz.²⁵⁹ In einem ausgetrockneten Wohnungsmarkt, können die Qualitätsmerkmale einer Wohnung (z.B. die Wohnlage oder die Lärmbelastung) bei der Wohnungssuche oft nicht mehr im gewünschten Ausmass berücksichtigt werden. Dies kann bei einer ökonomischen Analyse dazu führen, dass der tatsächliche Einfluss des Lärms unterschätzt wird. Deshalb sollten die Ergebnisse für Genf nicht einfach auf die Schweiz übertragen werden.

- So finden Schaerer et al. (im Erscheinen) für Zürich einen höheren Wert von beinahe 0.4% pro dB(A) – also einen Wert der etwa doppelt so hoch ist wie die Schätzung für Genf und dies obwohl auch Zürich einen vergleichsweise ausgetrockneten Wohnungsmarkt hat.
- Für die Städte Zürich und Lugano finden Banfi et al. Werte von knapp 0.5% pro dB(A).
- Zudem zeigen Ergebnisse von Baranzini und Ramirez (2005, vgl. Tabelle 12-1), dass auf dem Land mit deutlich höheren Werten zu rechnen ist als in den Agglomerationen. Die meisten Studien (nicht nur der Arbeitsgruppe Baranzini) beziehen sich jedoch auf Städte. Für einen Schweizer Durchschnitt (der das Land einbezieht) müssen die Schätzungen also tendenziell nach oben korrigiert werden. Die einzigen Schätzungen, die auch das Land

²⁵⁶ Nelson (2004), Meta-Analysis of Airport Noise and Hedonic Property Values.

²⁵⁷ Baranzini und Ramirez (2005, Paying for quietness: the impact of noise on Geneva rents, S. 642) erhalten Ergebnisse zwischen 0.66% und 0.79% pro dB(A), Salvi (2003, zitiert in Nelson (2004), Meta-Analysis of Airport Noise and Hedonic Property Values) findet 0.75% pro dB(A) und Lüscher (2007, The impact of Zurich airport noise on housing prices: a hedonic approach) errechnet aus der Datenbank der Zürcher Kantonalbank einen Wert von 0.8% pro dB(A). Auch Infrass (2007, Aircraft noise, hedonic regressions and political implications in Zurich and Frankfurt) verwendet für eine Studie für den Flughafen Frankfurt einen Wert von 0.8% pro dB(A).

²⁵⁸ Credit Suisse (2002), Wohnen: In den Zentren wird es eng.

²⁵⁹ Credit Suisse Economic Research (2006), Research News: Steigende Leerstände – Vorboten des Abschwungs.

mit einbeziehen, sind die Schätzungen der Arbeitsgruppe Baranzini für den Kanton Genf (Agglomeration 0.20%, Land 0.63%, Total (mit grossem Anteil der Agglomeration) 0.28%) und die Studie von Ecoplan für den Kanton Zürich (Durchschnitt Stadt / Land 0.66%).

Aus all diesen Gründen schlagen wir vor, für die Berechnungen einen Wert von **0.6% pro dB(A)** zu verwenden. Dabei stützen wir uns insbesondere auf die Berechnungen für die Städte Zürich und Lugano, haben diese aber etwas erhöht, da auf dem Land und in den kleineren Städten / Agglomerationen ein grösserer Prozentsatz zu erwarten ist. Zudem deuten auch die älteren Studien selbst für Städte auf höhere Werte.

Für die Untersuchung von Bandbreiten im Rahmen der **Monte-Carlo-Simulation** rechnen wir mit einer linksschiefen Verteilung mit Modalwert 0.6% (wahrscheinlichster Wert). Die Verteilung wird so gewählt, dass 95% der Werte zwischen 0.2% (wie in Genf) und 0.9% liegen.²⁶⁰ Der Wert von 0.9% pro dB(A) mag mit Blick auf die neuen Resultate hoch erscheinen, doch ist zu bedenken, dass neben dem durchschnittlichen Lärmniveau auch die Lärmdynamik eine Rolle spielen könnte (vgl. unten). Für die Abbildung der Bandbreite wird eine **Chi-Quadrat-Verteilung mit 97 Freiheitsgraden** gewählt, die so umgedreht und umskaliert wird, dass das 95%-Konfidenzintervall zwischen 0.2% und 0.9% liegt und der Modus 0.6% beträgt.²⁶¹

Die neuen Studien führen somit zu einer Reduzierung des bisherigen Schätzwertes von 0.8% auf 0.6% pro dB(A) und auch zu einer deutlichen Reduktion des unteren Schätzwertes für die Analyse der Schwankungsbreiten (0.2% statt 0.66%).

Lärmdynamik

Die neuen Studien der Arbeitsgruppe Baranzini zum Mietmarkt Genf zeigen, dass neben dem durchschnittlichen Lärmniveau noch ein weiterer Lärmindikator von Bedeutung ist, nämlich die Lärmdynamik (vgl. Baranzini und Schaerer 2007). Unter der Lärmdynamik versteht man die Differenz zwischen den Lärmniveaus, die in 10% bzw. 90% der Zeit überschritten werden. Nimmt die Lärmdynamik um 1 dB(A) zu, reduziert sich die Miete um 0.76% – 1.05%. Baranzini und Ramirez (2005) zeigen zudem für Genf, dass der Schätzwert für die Lärmdynamik unabhängig vom Schätzwert für das durchschnittliche Lärmniveau ist.

Gemäss diesen Ergebnissen wird also ein einheitliches Lärmniveau als deutlich weniger belästigend empfunden als ein stark schwankendes Lärmniveau. Dies widerspricht teilweise der Lärmwirkungsforschung:

²⁶⁰ Zudem schränken wir die Schwankungen mit den internationalen Resultaten ein (vgl. Text am Anfang von Anhang B): Ergibt die Verteilung Werte unter 0.08%, werden diese Werte auf 0.08% korrigiert.

²⁶¹ Die zu wählende Verteilung muss linksschief sein und das Verhältnis der Abweichung gegen unten zur Abweichung gegen oben muss 4 / 3 (=0.4% / 0.3%) betragen. Da wir für alle anderen schiefen Verteilungen eine Chi-Quadrat-Verteilung verwenden, benutzen wir aus praktischen Überlegungen auch hier eine Chi-Quadrat-Verteilung und spiegeln diese, so dass aus der rechts- eine linksschiefe Verteilung wird: Die Werte X der Chi-Quadrat-Verteilung mit 97 Freiheitsgraden (bei dieser Zahl der Freiheitsgrade beträgt das Verhältnis 4 / 3) werden wie folgt umgerechnet: 1.82% – X * 0.0128%.

- Ein Pegelverlauf mit abwechselnd lärmigen und ruhigen Phasen (Pausenstruktur) wird bei der Ermittlung des Strassenverkehrs- und des Bahnlärms als positiv beurteilt und mit einem entsprechenden Bonus (Pegelkorrektur $K1^{262}$) belohnt. Bei weniger als 31 Fahrten pro Stunde (tags resp. nachts) beträgt dieser Bonus beim Strassenverkehrslärm -5 dB(A), bei weniger als 7.9 Zugsfahrten pro Stunde (tags resp. nachts) beträgt er beim Bahnlärm -15 dB(A).
- Autobahnlärm schwankt – insbesondere in der Nacht – deutlich weniger als der Lärm übriger Strassen. Das Dauergeräusch in der Nacht wird jedoch von vielen Betroffenen als deutlich störend empfunden, vermutlich sogar störender als es zurzeit mit dem Beurteilungspegel L_r ausgewiesen wird.

Die Ergebnisse der Arbeitsgruppe Baranzini zur Lärmdynamik zeigen, dass mit der vorgenommenen Schätzung über das durchschnittliche Lärmniveau möglicherweise nicht das volle Ausmass der Belästigung durch Lärm abgebildet werden kann. Möglicherweise führt auch die Lärmdynamik zu Mietzinsausfällen.

Unseres Wissens wurde die Lärmdynamik international bisher nie in die Berechnungen aufgenommen. Einem Einbezug müsste deshalb eine fundierte Grundlagenstudie zugrunde liegen. Dies würde den Rahmen der vorliegenden Arbeiten bei Weitem sprengen. Wir empfehlen jedoch, diese Frage in einer Grundlagenstudie fundiert zu untersuchen. Je nach den Ergebnissen dieser Studie müsste nachher möglicherweise die Schätzung der externen Lärmkosten nach oben korrigiert werden.

²⁶² Vgl. Lärmschutz-Verordnung Anhang 3 und 4. Siehe auch Ecoplan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, S. 16-17.

13 Anhang C: Berechnung der Unsicherheiten der bevölkerungsgewichteten PM10-Immissionskonzentration

In diesem Anhang wird beschrieben, wie die Unsicherheiten der bevölkerungsgewichteten PM10-Immissionskonzentration bestimmt wurden.

Dazu wird eine Monte-Carlo-Simulation verwendet (vgl. Kap. 2.5.3), um das 95%-Vertrauensintervalle zu bestimmen. Die Simulation wurde mit der Software Crystal Ball v7.2.1 durchgeführt. Die Anzahl Simulationen betrug 20'000.

Ausgangslage bilden die Formeln für die Berechnung der bevölkerungsgewichteten PM10-Immissionskonzentration für das Jahr 2005:

$$c_{2005} = \frac{\gamma_{2005}}{\gamma_{2000}} \cdot c_{2000}$$

$$c_{2005} = \frac{\sum_i p_{2005}^i \cdot \gamma_{2005}^i}{\sum_i p_{2000}^i \cdot \gamma_{2000}^i} \cdot c_{2000}$$

mit

c = bevölkerungsgewichtete PM10-Immissionskonzentration,

γ^i = Immissionsmesswert am NABEL-Messstandort i ,

γ = bevölkerungsgewichtete Mittel der Immissionsmesswerte,

p^i = Anteil der CH-Bevölkerung mit Wohnlage an einem Standort, der dem Standorttyp der Messstation i entspricht,

Tief gestellte Indizes beziehen sich auf die Untersuchungsjahre 2000 und 2005.

Für die Monte Carlo Simulation wird jedem Eingabe-Term eine Unsicherheit U zugeordnet. Für diese gelten im vorliegenden Fall die folgenden Annahmen:

- $c \pm U = [c-U, c+U]$ entspricht dem 95%-Vertrauensintervall. Für die Unsicherheiten wird Normalverteilung vorausgesetzt. In diesem Fall sind die Unsicherheiten symmetrisch bezüglich des Mittelwerts verteilt und U ist gerade doppelt so gross wie die Standardabweichung σ .
- Die Unsicherheit der modellierten PM10-Immissionskonzentration 2000 beträgt $U_{c_{00}} = 10\%$. Diese Annahme stützt sich auf den Vergleich von modellierten und gemessenen Immissionen (SAEFL 2003).
- Die Unsicherheiten der NABEL-Messwerte wurden von der EMPA bestimmt. Für PM10 betragen sie im Jahresmittel $U_{\gamma_{05}^i} = U_{\gamma_{00}^i} = 5\%$ (mündliche Auskunft BAFU) und gelten sowohl für 2000 wie auch für 2005.
- Die Unsicherheiten für die Bevölkerungsanteile je Typ Messstandort sind nicht bekannt. Sie sind aber kaum genauer als 5% und kaum ungenauer als 25%. Um die Empfindlich-

keit gegenüber der Annahme zu testen, wurden mehrere Annahmen simuliert. Für die Resultate wird mit den mittleren Werten $U_{p05}^i = U_{p00}^i = 15\%$ gerechnet.

Für die Unsicherheit der bevölkerungsgewichteten PM10-Immissionskonzentration 2005 ergibt die Monte Carlo Simulation:

$$c_{2005} = \bar{c}_{2005} \pm U = 19.67 \pm 2.73 \mu\text{g} / \text{m}^3$$

Die relative Unsicherheit beträgt²⁶³

$$U / \bar{c}_{2005} = 2.73 / 19.67 \cdot 100\% = 13.9\%$$

Wird die Immission 2005 nach Strassen-, Schienenverkehr und übrigen Emittenten aufgeteilt, kommt eine weitere Unsicherheit hinzu, weil die Aufteilung selber auch mit einer gewissen Unsicherheit behaftet ist. Mit dem Ansatz, dass die Unsicherheit des Anteils Strassenverkehr/Personen proportional zum Anteil selber ist, erhält man:

$$\begin{aligned} \frac{U_{2005,StrasseP}}{c_{2005,StrasseP}} &= \frac{U_{2005}}{\sqrt{c_{2005,StrasseP}^2 + c_{2005,StrasseG}^2 + c_{2005,SchieneP}^2 + c_{2005,SchieneG}^2 + c_{2005,übrige}^2}} \\ &= 1.28 \cdot \frac{U_{2005}}{\bar{c}_{2005}} = 17.8\% \end{aligned}$$

Für die übrigen Anteile gelten analoge Formeln. Die Auswertung der Formeln zeigt, dass die relative Unsicherheit der Anteile ca. **17.8%** beträgt. Durch die Aufteilung der Gesamtimmission in die Anteile wird die die Unsicherheit von 13.9% auf 17.8% erhöht.

Im Rahmen der Monte-Carlo-Simulation verzichten wir darauf, das Ergebnis für die gesamte Luftverschmutzung zu berechnen und konzentrieren uns auf das Ergebnis für den Strassen- und Schienenverkehr.

²⁶³ Um die Sensitivität des Resultats zu testen, wurde die Unsicherheit der Bevölkerungsanteile je Typ Messstandort zwischen 10% und 20% variiert. Die relative Unsicherheit von c bewegte sich zwischen 12% und 16%. Damit ist die berechnete Unsicherheit relativ robust gegenüber der Annahmen für die Unsicherheit bezüglich der Bevölkerungsanteile je Typ Messstandort.

14 Anhang D: Entwicklung der Luftschadstoffemissionen des Schienenverkehrs 2000 – 2005

Die folgende Tabelle zeigt die Entwicklung der Luftschadstoffemissionen des Schienenverkehrs zwischen 2000 und 2005. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf den Daten des Jahres 2000. Diese Emissionsdaten wurden aufgrund neuer Berechnungsmethodiken revidiert.

Tabelle 14-1: Entwicklung der Luftschadstoffemissionen des Schienenverkehrs zwischen 2000 und 2005 (alle Werte in Tonnen)

In Tonnen	2000 'alt' Basiswerte für externe Kostenrechnung 2000	2000 'neu' Werte gemäss aktueller Datenlage	2005 'neu' Aktuelle Datenlage; Basiswerte dieser Studie
Schienenverkehr			
CO ₂	26'347	75'249	79'648
CH ₄	1.44	0.65	0.68
N ₂ O	1.05	2.51	2.64
NO _x	410	1'292	1'163
PM ₁₀	1'000	1'140	1'225
SO ₂	8.8	13.0	0.5
NMVOG	40	175	126
CO	93	568	507

Quellen: FOEN/BAFU (2008), EMEP 2008 (Daten aus Submission 2007), Infrac (2006)

Obige Tabelle 14-1 zeigt die Entwicklung der Luftschadstoffemissionen in der Schweiz beim Schienenverkehr. Die ‚tatsächliche‘ Entwicklung ist den beiden rechten Spalten zu entnehmen, in denen die Emissionsdaten der neusten, aktuell verfügbaren Daten dargestellt sind. Die linke Spalte zeigt die ‚alten‘ Emissionsdaten für das Jahr 2000, die die Grundlage für die letzte Berechnung der externen Kosten des Verkehrs für das Jahr 2000 bildeten. Diese Daten stellten damals den aktuellsten Stand der Forschung dar, wurden aber in den letzten Jahren revidiert und entsprechend angepasst. Aus diesem Grund lagen nach heutiger Erkenntnis die Emissionen von verschiedenen Luftschadstoffen durch den Schienenverkehr im Jahr 2000 deutlich höher als früher angenommen. Dies gilt insbesondere für CO₂, NO_x, NMVOC und CO. Der Grund für die veränderten Emissionsdaten liegt in neuen Berechnungsgrundlagen, auf Basis derer das neuste Treibhausgasinventar (FOEN 2008) sowie weitere Schadstoffinventare (u.a. EMEP 2008) quantifiziert wurden.

Vergleicht man beim Schienenverkehr die in der vorliegenden Studie verwendeten Emissionsdaten des Jahres 2005 (rechte Spalte) mit den Grundlagendaten für die Berechnung der externen Kosten des Verkehrs im Jahr 2000, sieht es so aus, als ob sich z.B. die Emissionen von CO₂ und NO_x zwischen 2000 und 2005 in etwa verdreifacht hätten. Diese starke Änderung ist aber vor allem auf die veränderten methodischen Grundlagen zurückzuführen. Wie

ein Vergleich mit den ‚aktuellsten‘ verfügbaren Daten für das Jahr 2000 (mittlere Spalte) zeigt, betrug die Zunahme der CO₂-Emissionen zwischen 2000 und 2005 im Schienenverkehr lediglich 5.8%, während die NO_x-Emissionen im gleichen Zeitraum sogar um 10% zurückgingen. Ähnliches gilt für die weiteren Luftschadstoffe.

Abkürzungsverzeichnis

AHV	Alters- und Hinterlassenenversicherung
AOT40	Mass für die akkumulierte Ozondosis über einem Schwellenwert von 40ppb
ARA	Abwasserreinigungsanlage
Arb.m.	Arbeitsmaschine
ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
ASTRA	Bundesamt für Strassen
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BAG	Bundesamt für Gesundheit
BAV	Bundesamt für Verkehr
BFE	Bundesamt für Energie
BFS	Bundesamt für Statistik
bfu	Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung
BSV	Bundesamt für Sozialversicherung
BTEX	Monozyklische aromatische Kohlenwasserstoffverbindungen (Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylole)
BUWAL	Ehemals Bundesamt für Umwelt, Wald & Landschaft, seit 1.1.2006 BAFU
BZ	Betriebszählung
CDM	Clean Development Mechanism
CER	Certified Emissions Reduction
CH ₄	Methan
CHF	Schweizer Franken
CO	Kohlenmonoxid
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CO ₂ -eq	CO ₂ -Äquivalente, mit dem jeweiligen Treibhauspotential gewichtete Summe der Treibhausgase CH ₄ , N ₂ O
COI	Cost of illness
dB(A)	Dezibel mit A-Bewertung
DfA	Datenbank der festen Anlagen
DHM25	Digitales Höhenmodell basierend auf der Landeskarte 1:25'000
DTV	Durchschnittlicher Tagesverkehr
€	Euro
EAWAG	Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz
EFH	Einfamilienhaus
EPlan	Emissionsplan
EU	Europäische Union
ExternE	Externalities of Energy
FOEN	Federal Office for the Environment, Englische Bezeichnung des BAFU
Fzkm	Fahrzeugkilometer
GS	Genauigkeitsstufe (in SonBase)
GV	Güterverkehr
HEATCO	Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment

IER	Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung der Universität Stuttgart
IMPACT	Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport
IPCC	Zwischenstaatlicher Ausschuss über Klimaänderung (Intergovernmental Panel on Climate Change)
IV	Invalidenversicherung
Li	Lieferwagen
LRV	Luftreinhalteverordnung
LSVA	Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe
LW	Lastwagen
MFH	Mehrfamilienhaus
Mio.	Millionen
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MR	Motorrad
MWST	Mehrwertsteuer
MZ	Motorisierte Zweiräder (Motorrad und Mofa)
N ₂ O	Lachgas
NABEL	Nationales Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe
NBS	Neubaustrecke
NH ₃	Ammoniak
NHG	Natur- und Heimatschutzgesetz
NIR	National Inventory Report
NMVO	Non-methane volatile organic carbons
NO ₂	Stickstoffdioxid
NO _x	Stickoxide
NPVM-UVEK	Nationales Personenverkehrsmodell des UVEK
O ₃	Ozon
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
Pkm	Personen-Kilometer
PM 2.5	Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von weniger als 2.5 Mikrometer
PM10	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
Rp	Rappen (100 Rappen = 1 CHF)
SAEFL	Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL). Englische Bezeichnung des früheren BUWAL
SN	Schweizer Norm
SNF	Schwere Nutzfahrzeuge
SO ₂	Schwefeldioxid
SonBase	GIS-basierte Lärmdatenbank Schweiz (BAFU)
SS	Sattelschlepper (Sattelzüge und Sattelmotorfahrzeuge)

SSUV	Sammelstelle für die Statistik der Unfallversicherungen
SUVA	Schweizerische Unfallversicherungsanstalt
TEL	Transit Exposure Level (Schallereignispegel einer gesamten Zugsdurchfahrt normiert auf die Durchfahrtszeit)
Tkm	Tonnen-Kilometer
UCTE	Union for the co-ordination of the Transmission of Electricity (Europäischer Stromverbund)
UH-Peri	Unterhaltspereimeter der Nationalstrassen
UNFCCC	UN Framework Convention on Climate Change
UNITE	UNification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency
UNITE	UNification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
Vector 25	digitale Landschaftsmodell der Schweiz, basierend auf der Landeskarte 1:25'000
VLYL	Value of life year lost (verlorenes Lebensjahr)
VOC	Flüchtige organische Verbindungen (volatile organic compounds)
VOSL	Value of statistical life (Wert eines frühzeitigen Todesfalles)
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute
VZ	Volkszählung
WTP	Willingness to pay (Zahlungsbereitschaft)

Literaturverzeichnis

- AEA Technology Environment (2005)
Damages per tonne emission of PM_{2.5}, NH₃, SO₂, NO_x and VOCs from each EU25 Member State (excluding Cyprus) and surrounding seas. Service Contract for Carrying out Cost-Benefit Analysis of Air Quality Related Issues, in particular in the Clean Air for Europe (CAFE) Programme, Didcot, Oxon, UK.
- AEA Technology Environment (2005)
Methodology for the Cost-Benefit analysis for CAFE. Volume 1: Overview of Methodology. Didcot, Oxon, UK.
- AEA Technology Environment (2005)
Methodology for the Cost-Benefit analysis for CAFE. Volume 2: Health Impact Assessment. Didcot, Oxon, UK.
- ARE Bundesamt für Raumentwicklung (2007)
Bewertung der externen Kosten des Strassen- und Schienenverkehrs in der Schweiz für das Jahr 2000. Synthese. Bern.
- BAFU Bundesamt für Umwelt (2007)
Wald und Holz: Jahrbuch 2006. Bern.
- BAFU Bundesamt für Umwelt (2008)
NABEL Messwerte. Hrg. Bundesamt für Umwelt. Online im Internet www.ubst.bafu.admin.ch/cgiluft/m_seit1988.pl?lang=de&kind=PM10_JM.txt (02.03.2008).
- BAFU Bundesamt für Umwelt (2008)
Lärmbelastung in der Schweiz. Grundlagen und statistische Auswertungen anhand der GIS-Applikation „SonBase“, Bern.
- BAG Bundesamt für Gesundheit (2007)
Statistik der obligatorischen Krankenversicherer 2005. Online im Internet: <http://www.bag.admin.ch/themen/krankenversicherung/01156/index.html?lang=de> (Stand 23.11.2007).
- Banfi S., Filippini M., Horehájová A., Pióro D. (2007)
Zahlungsbereitschaft für eine verbesserte Umweltqualität am Wohnort. Schätzungen für die Städte Zürich und Lugano für die Bereiche Luftverschmutzung, Lärmbelastung und Elektromog von Mobilfunkantennen. Umwelt-Wissen Nr. 0717. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Baranzini Andrea, Ramirez José V. (2005)
Paying for quietness: the impact of noise on Geneva rents. In: Urban Studies 42(4): 633-646.
- Baranzini Andrea, Schaerer Caroline (2007)
A Sight for Sore Eyes: assessing the value of view and landscape use on the housing market. Cahier de recherche HES-SO/HEG-GE/C—07/1/1—CH an der Haute école de gestion de Genève.

- Baranzini Andrea, Schaerer Caroline, Ramirez José V., Thalmann Philippe (2006)
Feel it or measure it. Perceived versus Measured Noise in Hedonic Models. Cahier de
recherche HES-SO/HEG-GE/C—06/7/1—CH an der Haute école de gestion de Genève.
- BFE Bundesamt für Energie (2004)
Schweizerische Holzenergiestatistik: Folgerhebung für das Jahr 2003. Bern.
- BFS Bundesamt für Statistik (2003)
Pendlerstatistik 2000 auf Basis der eidgenössischen Volkszählung 2000. Online-
Datenbank: <http://www.media-stat.admin.ch/stat/pendler/pop.php?qmode=ch&q=1>.
Neuchâtel.
- BFS Bundesamt für Statistik (2005)
Die Raumgliederungen der Schweiz. Neuenburg. Online im Internet:
http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/infothek/nomenklaturen/blank/blank/raum_glied/01.html (14.2.2008).
- BFS Bundesamt für Statistik (2005)
Holzpreise, Januar – April 2005, Neuchâtel.
- BFS Bundesamt für Statistik (2007)
BFS-Homepage, Themenbereich 11 'Mobilität und Verkehr'. Online:
<http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/11.html> (Stand 21.11.2007)
- BFS Bundesamt für Statistik (2007)
Die Kosten und Finanzierung des Gesundheitswesens 2005, Online im Internet:
http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/14/05/blank/key/perspektive_der_dir_ektzahler.Document.101672.pdf (23.11.2007).
- BFS Bundesamt für Statistik (2007)
Ständige Wohnbevölkerung nach Alter und Geschlecht. Online:
<http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/01/22/lexi.Document.20563.xls>
(23.11.2007)
- BFS Bundesamt für Statistik (2007)
Statistisches Jahrbuch der Schweiz 2007. Verlag Neue Zürcher Zeitung. Neuenburg.
- BFS Bundesamt für Statistik (2008)
Homepage 'Statistik Schweiz'. <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index.html>. Februar/
März 2008.
- BFS Bundesamt für Statistik (ohne Jahresangabe)
Schweizerischer Baupreisindex. Online im Internet:
<http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/05/05/blank/key/baupreisindex/schweiz.Document.88738.xls> (6.3.2008).
- Bfu Beratungsstelle für Unfallverhütung (2007)
Unfallgeschehen in der Schweiz: bfu-Statistik 2007. Bern. Online im Internet:
http://www.bfu.ch/PDFLib/328_75.pdf (23.11.2007).

- Bickel Peter, Droste-Franke Bert (2006)
Derivation of fall-back values for impact and cost factors for airborne pollutants. Annex D to HEATCO Deliverable 5. IER Deutschland. Stuttgart.
- Bickel Peter, Hunt Alistair, De Jon Gerard, Laird James, Lieb Christoph, Lindberg Gunnar, Mackie Peter, Navrud Stale, Odgaard Thomas, Shies Jeremy, Tavasszy Lori (2006)
HEATCO D5: Proposal for Harmonized Guidelines. Deliverable 5 of HEATCO (Developing Harmonized European Approaches for Transport Costing and Project Assessment).
- BLW Bundesamt für Landwirtschaft (2006)
Agrarbericht 2006. Bern.
- Bosch und Partner (1993)
Faktische Grundlagen für die Ausgleichsabgaberegulierung (Wiederherstellungskosten). Forschungsbericht i.A. der Bundesforschungsanstalt für Naturschutz und Landschaftsökologie (BFANL), Königsdorf.
- Bosch und Partner (1998)
Handlungsanleitung zur flexiblen Ermittlung und Umsetzung von Kompensationsmassnahmen in der Stadt Oberhausen. Beauftragt durch die Stadt Oberhausen. Herne.
- Braun S., B. Rihm, C. Schindler, W. Flückiger (1999).
Growth of mature beech in relation to ozone and nitrogen deposition: an epidemiological approach. *Water, Air, and Soil Pollution* 116 (1999), S. 357-364.
- Braun S., Schindler C., R. Volz, W. Flückiger (2002)
Forest damages by the storm 'Lothar' in permanent observation plots in Switzerland: The signification of soil acidification and nitrogen deposition. *Water, Air and Soil Pollution* 142 (2002), S. 327-340.
- Burkhardt Michael, Rossi Luca, Boller Markus (2008)
Diffuse release of environmental hazards by railways. In: *Desalination* Vol 226 (2008), S. 106-113.
- BUWAL Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (1996)
Troposphärisches Ozon: aktuelle Forschungsergebnisse und ihre Konsequenzen für die Luftreinhaltung. Schriftenreihe Umwelt Nr. 277. Bern.
- BUWAL Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (2001)
Verwertung von ausgehobenem Boden (Wegleitung Bodenaushub). Bern.
- BUWAL Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (2003)
LOTHAR – Ökonomische Auswirkungen, Wald- und Gesamtwirtschaft. Umwelt-Materialien Nr. 157. Bern.
- BUWAL Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (2003)
Modelling of PM10 and PM2.5 ambient concentrations in Switzerland 2000 and 2010. Env. Documentation No. 169. Infras. Bern.

- BUWAL Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (2003)
Pressemitteilung zur Sanasilva-Inventur 2002. BUWAL und WSL. Bern / Birmensdorf.
- BUWAL Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (2004a)
Handbuch Emissionsfaktoren, Version 2.1. CD-ROM. Infrac. Bern.
- BUWAL Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (2004b)
Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1980 – 2030. Schriftenreihe Umwelt Nr. 355. Bern.
- BUWAL Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (2004)
LOTHAR – Rechenschaftsbericht, Materielle und finanzielle Bilanz 2000-2003. Bern.
- BUWAL Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (2005)
LOTHAR – Ursächliche Zusammenhänge und Risikoentwicklung. Umwelt-Materialien Nr. 184. Bern.
- Cline W.R. (1992)
The Economics of Global Warming, Washington D.C.: Institute for International Economics.
- Credit Suisse (2002)
Wohnen: In den Zentren wird es eng. Online im Internet: <http://emagazine.credit-suisse.com/app/article/index.cfm?fuseaction=OpenArticle&aoid=4075&lang=de> (21.11.2007).
- Credit Suisse Economic Research (2006)
Research News: Steigende Leerstände – Vorbote des Abschwungs. Online im Internet: https://entry4.credit-suisse.ch/csfs/research/p/d/de/schweiz/immobilien/media/pdf/060929_research_leerwohnung_de.pdf (21.11.2007).
- De Brabander Bram, Vereeck Lode (2007)
Valuing the Prevention of Road Accidents in Belgium. In: Transport Reviews Vol. 27 (6), S. 715-732.
- E-CO Tech – Norway (Stale Navrud) et al. (2005)
Economic values for key impacts valued in the stated preference surveys. Deliverable 4 of HEATCO (Developing Harmonized European Approaches for Transport Costing and Project Assessment).
- Ecoinvent (2007)
Ecoinvent data Version 2.0, Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Doka G., Heck T., Hellweg S., Hischer, R., Nemecek T., Rebitzer G., Spielmann M., Wernet G. (2007) Overview and Methodology. ecoinvent report No. 1. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf. Ökoinventar-Datensätze aus Ecoinventdatenbank: <http://www.ecoinvent.org>
- Ecoinvent (2007)
Transport Services, Data v2.0 (2007), M. Spielmann, Ch. Bauer., R. Dones, M. Tuchs Schmid. ETH Zürich. ecoinvent report No. 14. Villigen und Uster.

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 (1996)

Monetarisierung der verkehrsbedingten externen Gesundheitskosten. Synthesebericht, GVF-Auftrag Nr. 272. Bern.

Ecoplan (2001)

Externe Lärmkosten des Verkehrs: Hedonic Pricing Analyse, Arbeitspapier (Vorstudie II), Altdorf und Bern.

Ecoplan (2002)

Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr der Schweiz 1998. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung. Altdorf.

Ecoplan (2006)

Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr. Aktualisierung für die Jahre 1999 bis 2004. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung. Bern.

Ecoplan (2007)

Volkswirtschaftliche Kosten der Nichtberufsunfälle in der Schweiz: Strassenverkehr, Sport, Haus und Freizeit. Bfu-report 58.

Ecoplan (2008)

Externe Kosten im Strassenverkehr. Grundlagen für die Durchführung einer Kosten-Nutzen-Analyse. Forschungsauftrag 2005 / 204 des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS). Bern.

Ecoplan, Infras, ISPM (Institut für Sozial- und Präventivmedizin) (2004)

Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz. Aktualisierung für das Jahr 2000. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung, des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft, des Bundesamtes für Energie sowie des Bundesamtes für Gesundheit. Bern.

Ecoplan, Planteam, IHA-ETH (Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie) (2004)

Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz. Aktualisierung für das Jahr 2000. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung, des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft sowie des Bundesamtes für Gesundheit. Bern.

Eidgenössische Finanzkontrolle (2007)

Objektblätter – Geprüfte Wildtierpassagen. Online im Internet:
http://www.efk.admin.ch/pdf/5222BE_Gepruefte_Objekte_Objektblaetter_Publikation.pdf
(12.3.2008).

Eidgenössische Finanzkontrolle (2007)

Protection de l'environnement et routes nationales. Evaluation des normes et standards pour les passages à faune. Online im Internet:
http://www.efk.admin.ch/pdf/5222BE_Schlussbericht_Publikation.pdf

- EMEP (Co-operativ Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-range transmissions of air Pollutants in Europe) (2008)
EMEP activity data and emission database. Online im Internet: <http://webdab.emep.int/>
- European Commission (2005)
ExternE - Externalities of Energy – Methodology 2005 Update. EUR 21951. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg. Online: http://europa.eu.int/comm/research/energy/pdf/kina_en.pdf (11.4.2006).
- European Commission (2007)
Actions - Benefits and Cost of Climate Change Policies and Measures. Online im Internet: http://europa.eu.int/comm/environment/climat/pdf/final_report2.pdf
- European Commission (2008)
Draft Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 2003/87/EC so as to improve and extend the EU greenhouse gas emission allowance trading system, COM(2008) 16 final.
- EWS (1997)
Kommentar zum Entwurf "Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Strassen (EWS)". Aktualisierung der RAS-W'86. Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen. Köln.
- FOEN (Federal Office for the Environment) (2008)
Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990–2006, National Inventory Report and CRF tables 2008. Submission of 15 April 2008 to the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol. Bern.
- Frischknecht R. Tuchschnid M., Faist Emmenegger M., Bauer C., Dones R. (2007)
Strommix und Stromnetz. In: Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz (ed. Dones R.). ecoinvent report No. 6, v2.0. Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Duebendorf, CH, Online-Version under: www.ecoinvent.ch.
- Froelich & Sporbeck (1995)
Gutachten zur Ausgleichsabgabe in Thüringen. Im Auftrag des Thüringer Ministeriums für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt. Plauen, unveröffentlicht.
- Fuhrer J. (2001)
Unterlagen zur Vorlesung "Wirkung von Chemikalien auf Umwelt und Mensch und ihre Vernetzung" am Departement Umweltnaturwissenschaften der ETH Zürich. Prof. Jürg Fuhrer. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau Liebefeld-Bern, Wintersemester 2000/2001.
- Fuhrer J. (2002)
Ozon impacts on vegetation. *Ozone Science & Engineering* 24, 69-74.
- Fuhrer J. (2003)
Agroecosystem responses to combinations of elevated CO₂, ozone, and global climate change. *Agriculture Ecosystems & Environment* 97, 1-20.

- Fuhrer J. (2004)
Von der Ozonmessung zur Risikobeurteilung für Nutzpflanzen. Fachtagung 25 Jahre NABEL Dübendorf, 16.1.2004. BUWAL Umwelt-Materialien Nr. 171 Luft 2004, 51-54.
- Fuhrer J., L. Skärby, M. R. Ashmore (1997)
Critical Levels for ozone effects on vegetation in Europe. Environmental Pollution, Vol. 97, No. 1-2: 91-97.
- HM Treasury (2003)
Green Book, Appraisal and Evaluation in Central Government. Online im Internet: http://www.hm-treasury.gov.uk/economic_data_and_tools/greenbook/data_greenbook_index.cfm
- Holland M., G. Mills, F. Hayes, A. Buse, L. Emberson, H. Cambridge, S. Cinderby, A. Terry, M. Ashmore (2002)
Economic Assessment of Crop Yield Losses from Ozone Exposure. The UNECE International Cooperative Programme on Vegetation. Contract EPG 1/3/170. University of Wales, Bangor (UK).
- Hubacher M. (1994)
Das Unfallgeschehen bei Kindern im Alter von 0 bis 16 Jahren. bfu-Report 24. Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung. Bern.
- Hubacher M., Ewert U. (1997)
Das Unfallgeschehen bei Senioren ab 65 Jahren. bfu-Report 32. Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung. Bern.
- Hubbell Bryan J, Hallberg Aaron, McCubbin Donald, Post Ellen (2005)
Health-Related Benefits of Attaining the 8-hr Ozone Standard. In: Environmental Health Perspectives, Vol. 113 (1), S. 73 – 82.
- Huss Anke, Rössli Martin (2006)
Recommendations for a health impact assessment in the Alpine transit regions. Study prepared in work package 5 of the MONITRAF project (Monitoring of road traffic related effects in the Alpine Space and common measures). Online im Internet: http://www.tirol.gv.at/fileadmin/www.tirol.gv.at/themen/verkehr/service/publikationen/downloads/MONITRAF_health_impact_assessment_huss_roeoesli__eng.pdf (11.2.2008).
- IAP (2004)
Wie geht es unserem Wald? Ergebnisse aus Dauerbeobachtungsflächen von 1984 bis 2004. Bericht 2, W. Flückiger, S. Braun. Institut für Angewandte Pflanzenbiologie (IAP), Schönenbuch.
- IER, ARMINES / ENSMP, PSI, Université de Paris I, University of Bath, VITO, (2004)
NewExt: New Elements for the Assessment of External Costs from Energy Technologies. Publishable Report to the European Commission, DG Research, Technological Development and Demonstration (RTD). Online im Internet: <http://www.ier.uni-stuttgart.de/forschung/projektwebsites/newext/> (6.2.2008).
- Infraconsult (1999)
Kosten und Nutzen im Natur- und Landschaftsschutz. NFP 41-Bericht C1. 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. Zürich/Bern. Online im Internet: <http://www.news-service.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/6815.pdf> (1.4.2008).

Infras (2007)

Aircraft noise, hedonic regressions and political implications in Zurich and Frankfurt. Vortrag von Martin Peter im Rahmen des internationalen Symposiums „Hedonic Pricing in Real Estate“, Genf 27-30. Juni 2007.

Infras (2007)

Externe Kosten des Verkehrs in Deutschland, Aufdatierung 2005 (Schlussbericht). C. Schreyer, M. Maibach, D. Sutter, C. Doll, P. Bickel. Zürich.

Infras (2007)

Schadstoffemissionen und Treibstoffverbrauch des Offroad-Sektors. Unpublizierte Entwurfversion zuhanden des BAFU (November 2007). Infras. Bern.

Infras (2007)

Staukosten des Strassenverkehrs in der Schweiz. Aktualisierung 2000/2005. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung. Zürich. Online: <http://www.are.admin.ch/themen/verkehr/00252/00472/02811/index.html?lang=de> (15.11.2007).

Infras, CE Delft, Fraunhofer Gesellschaft ISI, University of Gdansk (2007)

IMPACT: Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport. Deliverable 1: Handbook on estimation of external costs in the transport sector. Online im Internet: http://ec.europa.eu/transport/costs/handbook/index_en.htm

Infras, IFEU, IVL Stockholm, TNO Delft, TU Graz (2006)

Cost-effectiveness of greenhouse gases emission reductions in various sectors, final report. Framework Service Contract No Entr/05/18 on behalf of DG Enterprise and Industry, European Commission. Zurich/Bern (not published).

Infras, Wüest & Partner (2004)

Verkehrsbedingte Gebäudeschäden. Aktualisierung der externen Kosten. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung, des Bundesamtes für Energie sowie des Bundesamtes für Statistik. Zürich.

Infras/IWW (2000)

External Costs of Transport: Accident, Environmental and Congestion Costs of Transport in Western Europe. Zürich / Karlsruhe.

INFRAS/IWW (2004)

External costs of transport: update study. Karlsruhe/Zürich/Paris: the International Union of Railways (UIC). Online im Internet: http://www.uic.asso.fr/html/environnement/cd_external/pages/introduction.html (14.3.2008).

- IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change (2007)
Climate Change 2007: Synthesis Report, Summary for Policymakers. 4th Assessment Report. Online im Internet: <http://www.ipcc.ch/>
- Jungbluth N. (2007)
Erdöl. In: Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz (Ed. Dones R.). ecoinvent report No. 6-IV, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Duebendorf, CH.
- Karlsson P. E., H. Pleijel, M. Belhaj, H. Danielsson, B. Dahlin, M. Andersson, M. Hansson, J. Munthe, P. Grennfelt (2005)
Economic Assessment of the Negative Impacts of Ozone on Crop Yields and Forest Production: A Case Study of the Estate Östads Säteri in Southwestern Sweden. *Ambio*, Vol. 34, No. 1, p. 32-40.
- Künzli Nino (2007)
Traffic Related Pollution: Risk Factor for the Development of Cardiovascular Diseases? Vortrag an der 11th ETH Conference on Combustion Generated Nanoparticles, 13-15.8. 2007 in Zürich.
- Künzli Nino, Perez Laura, Lurmann Frad, Hricko Andrea, Penfols Bryan, McConnell Rob (2008)
An Attributable Risk Model for Exposures Assumed to Cause Both Chronic Disease and its Exacerbations. In: *Epidemiology* Vol. 19, 2, S. 179 – 185.
- Leber/Infras (2006)
Costes externos del transporte en el Pais Vasco. Leber und Infras im Auftrag des Departamento de Transportes y Obras Publicas Gobierno Vasco. Leioa/Zurich.
- Levental Mario (2007)
Geneva noise policy issues – economical aspects. Vortrag im Rahmen des internationalen Symposiums „Hedonic Pricing in Real Estate“, Genf 27-30. Juni 2007.
- Lindberg Gunnar (2006)
Marginal cost case studies for road and rail transport. Deliverable D3 of GRACE Generalisation of Research on Accounts and Cost Estimation. Funded by the Sixth Framework Programme. ITS, University of Leeds, Leeds.
- Lüscher Adrian (2007)
The impact of Zurich airport noise on housing prices: a hedonic approach. Vortrag im Rahmen des internationalen Symposiums „Hedonic Pricing in Real Estate“, Genf 27-30. Juni 2007.
- Mayer P., P. Brang, M. Dobbertin, D. Hallenbarter, J.-P. Renaud, L. Walthert, S. Zimmermann (2005)
Forest storm damage is more frequent on acidic soils. *Annals of Forest Science* 62 (2005), pp. 303-311.
- Navrud Stale (2002)
The State of the Art on Economic Valuation of Noise. Final Report to European Commission DG Environment 14th April 2002.

- Nellthorp J., Samson T., Bickel P., Doll C. and Lindberg G. (2001)
Valuation Conventions for UNITE, UNITE (UNification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency), Working Funded by the 5th Framework RTD Programme, Leeds, <http://www.its.leeds.ac.uk/projects/unite/> (Stand 22. Mai 2002).
- Nelson Jon P. (2004)
Meta-Analysis of Airport Noise and Hedonic Property Values: Problems and Prospects. In: Journal of Transport Economics and Policy, Vol. 38, No. 1, S. 1-28.
- Nordhaus B. (2006)
The Stern Review on the Economics of Climate Change. Online im Internet: http://nordhaus.econ.yale.edu/stern_050307.pdf (2.4.2008).
- Quimet R., L. Duchesne, D. Houle, P. A. Arp (2001)
Critical Loads and Exceedances of Acid Deposition and Associated Forest Growth in the Northern Hardwood and Boreal Coniferous Forests in Québec, Canad. Water, Air and Soil Pollution (Focus), Vol. 1, pp. 119-134.
- SBB (1999)
Die Neubaustrecke Mattstetten – Rothrist, Informationsbroschüre.
- SBV (Schweizerischer Bauernverband) (2007)
Statistische Erhebungen und Schätzungen über Landwirtschaft und Ernährung 2006, Schweizerischer Bauernverband (SBV). Brugg.
- Schaerer Caroline, Baranzini Andrea, Ramirez José V., Thalmann Philippe (im Erscheinen)
Using the hedonic approach to value natural land uses in an urban area: an application to Geneva and Zurich. In: Public Economics (wird 2008 erscheinen).
- SN 641 821 (2006)
Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr. Diskontsatz. Norm des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute. Zürich.
- Stern, N. (2006)
The Stern Review on the Economics of Climate Change, London HM Treasury, 2006. Online im Internet: http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/sternreview_index.cfm
- Tol, R. (2005)
The marginal damage costs of carbon dioxide emissions: an assessment of the uncertainties. In: Energy Policy, 33: 2064-2074.
- UBA Umweltbundesamt (2007)
Ökonomische Bewertung von Umweltschäden: Methodenkonvention zur Schätzung externer Umweltkosten. Dessau. Online im Internet: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3193.pdf> (17.3.2008).
- UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) (2004)
Mapping Manual 2004. UNECE Convention on long-range transboundary air pollution. Manual on methodologies and criteria for modelling and mapping critical loads & levels and air pollution effects, risks and trends. International Cooperative Programme (ICP) on Effects of Air Pollution on Natural Vegetation and Crops.

Vassanadumrongdee Suijtra, Matsuoka Shunji (2005)

Risk perceptions and Value of a Statistical Life for Air Pollution and Traffic Accidents: Evidence from Bangkok, Thailand. In: The Journal of Risk and Uncertainty, Nr. 30 (3), S. 261 – 287.

Watkiss, P. (2005)

The Impacts and Costs of Climate Change, final Report prepared as task 1 of the project "Modelling support for Future Action: Benefits and Cost of Climate Change Policies and Measures".

Watkiss, P. et al. (2005)

The Social Cost of Carbon (SCC) Review: Methodological Approaches for Using SCC Estimates in Policy Assessment, Final Report November, London: UK DEFRA. Online im Internet: <http://socialcostofcarbon.aeat.com/>

Weitzman M. (2007): A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change, in: Journal of Economic Literature, Vol. XLV, 703-734.

WGE (Working Group on Effects) (2004)

Review and assessment of air pollution effects and their recorded trends. Working Group on Effects (WGE), UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. National Environmental Research Council. United Kingdom.

WSL/BUWAL (2001)

Lothar - Der Orkan 1999: Ereignisanalyse. Herausgeber: Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) sowie Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). Birmensdorf und Bern.