



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Ortsbezogene Massnahmen zur Reduktion der Auswirkungen des Güterverkehrs – Teil 1

**Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesens-
gerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr
der Schweiz TP H**

**Mesures d'atténuation des effets du transport de mar-
chandises au plan local – partie 1 : situation de référence
2010 et 2020**

**Local actions for the reduction of the effects of freight
transport – part 1: reference situation 2010 and 2020**

INFRAS AG
Mario Keller
Lutz Ickert
Philipp Wüthrich

SBB AG
Michael Hafner
Armin Zach

PTV AG
Udo Heidl

Heinz Steven

**Forschungsauftrag SVI 2009/011 auf Antrag der Schweizerischen
Vereinigung der Verkehrsingenieure und der Verkehrsexperten (SVI)**

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen beauftragten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que l' (les) auteur(s) mandaté(s) par l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 "Clôture du projet", qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.

Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

Il contenuto di questo rapporto impegna solamente l' (gli) autore(i) designato(i) dall'Ufficio federale delle strade. Ciò non vale per il modulo 3 «conclusione del progetto» che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e pertanto impegna soltanto questa.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) commissioned by the Federal Roads Office. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.

Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Ortsbezogene Massnahmen zur Reduktion der Auswirkun- gen des Güterverkehrs – Teil 1

**Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesens-
gerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr
der Schweiz TP H**

**Mesures d'atténuation des effets du transport de mar-
chandises au plan local – partie 1 : situation de référence
2010 et 2020**

**Local actions for the reduction of the effects of freight
transport – part 1: reference situation 2010 and 2020**

INFRAS AG
Mario Keller
Lutz Ickert
Philipp Wüthrich

SBB AG
Michael Hafner
Armin Zach

PTV AG
Udo Heidl

Heinz Steven

**Forschungsauftrag SVI 2009/011 auf Antrag der Schweizerischen
Vereinigung der Verkehrsingenieure und der Verkehrsexperten (SVI)**

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Leitung Forschungspaket

Christoph Stucki

Projektleitung

Mario Keller (INFRAS AG)

Mitglieder

Lutz Ickert (INFRAS AG)
Philipp Wüthrich (INFRAS AG)
Armin Zach (SBB AG)
Michael Hafner (SBB AG)
Udo Heidl (PTV)
Heinz Steven

Begleitkommission

Präsident

Ruedi Dieterle (Bundesamt für Strassen)

Mitglieder

Thomas Bögli, GS1 Switzerland
Willi Dietrich, SVI
Frank Furrer, Verband verladende Wirtschaft VAP
Kurt Infanger, Bundesamt für Raumentwicklung
André Kirchhofer, ASTAG
Markus Liechti, Bundesamt für Verkehr
Phillippe Marti, Bundesamt für Statistik
Marc Laube, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme ETHZ
Tommaso Meloni, Bundesamt für Umwelt
Hans Kaspar Schiesser, Verband öffentlicher Verkehr VÖV
Christoph Schreyer, Bundesamt für Verkehr
Thomas Schwarzenbach, Spedlogswiss
Erwin Wieland, Bundesamt für Strassen

KO-Finanzierung des Forschungsauftrags

Bundesamt für Energie (BFE)
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Gesamtprojektleitung

Christoph Stucki c/o Thalent SA, route de Peney 133, CH-1214 Vernier
Christoph.Stucki@thalent.com

Antragssteller

Schweizerische Vereinigung der Verkehrsingenieure und der Verkehrsexperten (SVI)

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von <http://www.mobilityplatform.ch> heruntergeladen werden.

Inhaltsverzeichnis

	Impressum	4
	Zusammenfassung – Faktenblatt	8
	Résumé - fiche technique.....	15
	Summary – fact sheet	21
1	Einleitung	28
1.1	Güterverkehr	28
1.2	Umwelt	30
1.3	Forschungsziel, Fragestellung	31
2	Methodik.....	32
2.1	Systembeschreibung	32
2.1.1	Verkehrsträger, Verkehrsmittel	32
2.1.2	Umweltbelastung	32
2.1.3	Systemdifferenzierung	33
2.2	Beschreibung Referenz-Zustände Z0, Z1 und Mengengerüste.....	33
2.2.1	Strassenverkehr	34
2.2.2	Schienenverkehr	39
2.3	Berechnungsmethoden Betriebsemissionen („Tank-To-Wheel“).....	41
2.3.1	Übersicht Datengrundlagen	41
2.3.2	Luftschadstoffe	42
2.3.3	Energieverbrauch und CO ₂	44
2.3.4	Lärm	45
2.4	Berechnungsmethoden Emissionen der Energiebereitstellung („Well-to-Tank“)	51
2.4.1	Strasse	52
2.4.2	Schiene	52
3	Resultate 2010 (Z0) und 2020/2030 (Z1, Z2).....	55
3.1	Luftschadstoffe	55
3.1.1	Strasse	55
3.1.2	Schiene	69
3.2	Energieverbrauch und CO ₂	70
3.2.1	Strasse	70
3.2.2	Schiene	76
3.3	Lärm	79
3.3.1	Strasse	79
3.3.2	Schiene	88
3.4	Vorprozess-Emissionen („Well-to-tank“)	91
3.4.1	Luftschadstoffe	91
3.4.2	Energieverbrauch/ CO ₂	93
4	Synthese und Folgerungen	96
4.1	Synthese	96
4.1.1	Luftschadstoffe	96
4.1.2	Energie und CO ₂	99
4.1.3	Lärm	102
4.2	Folgerungen und Handlungsbedarf	104
4.2.1	Folgerungen	104
4.2.2	Ziele und Handlungsbedarf	105
	Anhänge	112
	Glossar und Abkürzungen	131
	Literaturverzeichnis	133
	Projektabschluss	135
	Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen	138
	SVI Publikationsliste	145

Aufbau des Forschungspaketes

Organigramm des Forschungspaketes

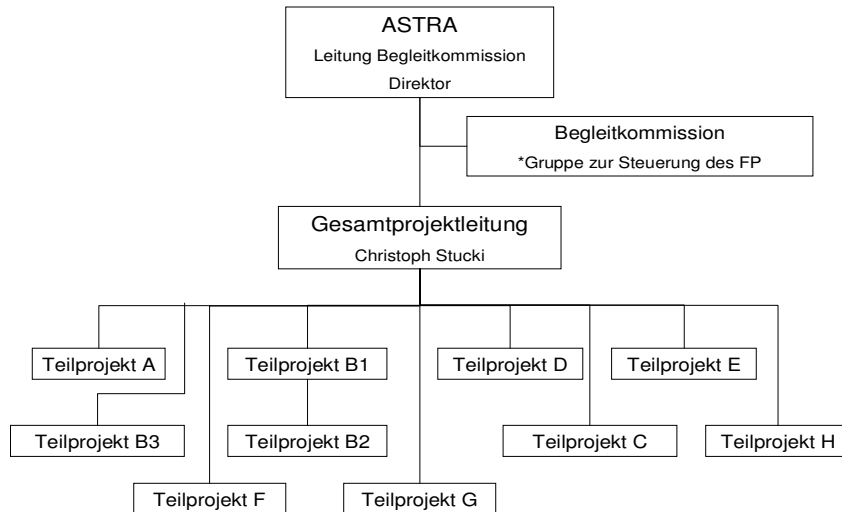


Abb. 1 Beteiligte Teilprojekte und deren Beziehungen.

Liste der Teilprojekte und der beteiligten Forschungsstellen

TP	Titel	Verantwortliche Forschungsstelle	Abschluss	SVI Nr
A	Konzept zur effizienten Erfassung und Analyse der Güterverkehrsdaten	Rapp Trans AG, Zürich	Sommer 2011	2009/002
B1	Güterverkehrsintensive Branchen und Güterverkehrsströme in der Schweiz	Lehrstuhl für Logistik Universität St. Gallen	Frühling 2011	2009/003
B2	Branchenspezifische Logistikkonzepte und Güterverkehrsaufkommen sowie deren Trends	ProgTrans, Basel	Frühling 2012	2010/005
B3	Güterverkehr mit Lieferwagen	Rapp Trans AG, Zürich	Herbst 2012	2010/001
C	Anforderung der Güterlogistik an die Netzinfrastruktur und die langfristige Netzentwicklung in der Schweiz	IVT, ETH Zürich	Sommer 2012	2009/008
D	Regulierung des Güterverkehrs - Auswirkungen auf die Transportwirtschaft	Infras, Zürich	Sommer 2011	2009/004
E	Informationstechnologien in der zukünftigen Transportwirtschaft	Institut für Verkehrswesen Universität Stuttgart	Herbst 2011	2009/005
F	Beeinflussung der Nutzer durch Regulierung und integrierte Bewirtschaftungskonzepte aus Sicht der Nutzer	ProgTrans, Basel	Frühling 2012	2009/009
G	Effizienzsteigerungspotenziale in der Transportwirtschaft durch integrierte Bewirtschaftungsinstrumente aus Sicht der Infrastrukturbetreiber	Ecoplan, Bern	Sommer 2012	2009/010
H	Ortsbezogene Massnahmen zur Reduktion der Auswirkungen des Güterverkehrs	Infras, Bern	Sommer 2012	2009/011

Zusammenfassung – Faktenblatt

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts werden die Umweltauswirkungen des Güterverkehrs auf der Strasse und Schiene untersucht und die Auswirkungen von Massnahmen analysiert, die auf die Reduktion dieser Umweltauswirkungen abzielen. Der Fokus liegt dabei auf den Luftschadstoff-Emissionen (primär NO_x und PM10), dem Energieverbrauch respektive dem CO₂-Ausstoss und den Lärmimmissionen.

Bei den Luftschadstoffen und dem Energieverbrauch/CO₂ werden nebst den Emissionen, die im Betrieb anfallen, auch die Emissionen und Verbräuche für die Energiebereitstellung („Well-to-Wheel“-Ansatz) ausgewiesen. Unterschieden wird jeweils nach den beiden Verkehrsträgern Strasse und Schiene. Zu Vergleichszwecken werden die Belastungen des Güterverkehrs jenen des Gesamtverkehrs gegenübergestellt.

Im ersten, hier vorliegenden Teil der Berichterstattung wird die Referenz-Entwicklung von heute bis 2030 (2020 für die Schiene) dargestellt. Dabei wird die Bedeutung der Umweltauswirkungen des Güterverkehrs ortsbezogen – d.h. netzweit – dargestellt („Umweltatlas“). Im Anschluss daran werden die zu erwartenden Entwicklungen der Umweltauswirkungen den gegenwärtigen Umwelt-Zielvorstellungen gegenübergestellt und daraus der Handlungsbedarf abgeleitet. Der zweite, separate Teil der Berichterstattung widmet sich Frage, mit welchen Massnahmen den negativen Umweltauswirkungen entgegengewirkt werden kann.

Fazit und Folgerungen

Die Situation der **Luftbelastung** durch den Strassenverkehr im Allgemeinen und durch den Strassengüterverkehr im Speziellen wird sich in den nächsten 10 Jahren weiter verschärfen. Dies ist das erwartete Resultat der kontinuierlichen Verschärfung von Emissionsgrenzwerten neu zugelassener Fahrzeuge, sofern die geforderten Absenkungen im realen Betrieb umgesetzt werden können.

Der Strassengüterverkehr kommt auch mit den erwarteten Absenkungen der spezifischen Luftschadstoff-Emissionen nicht in den Bereich des Schienenverkehrs, der aufgrund der überwiegend elektrischen Traktion deutlich geringere spezifische Luftschadstoff-Emissionen aufweist. Im Schienengüterverkehr werden die Partikelemissionen überwiegend durch den Abrieb (Kupfer- und Eisenpartikel) verursacht. Diese Partikelemissionen sind als aber weniger gesundheitsschädlich einzustufen als die Auspuff-Emissionen des Strassenverkehrs.

Auch beim **Energieverbrauch** und bei den CO₂-Emissionen ist die Bahn gegenüber der Strasse im Vorteil. Die Güter lassen sich mit weniger Energieaufwand auf der Schiene transportieren als auf der Strasse. Die heute absehbare Verbesserung der Energieeffizienz beim Strassengüterverkehr reicht nicht aus um das erwartete Verkehrswachstum zu kompensieren, d.h. der Energiebedarf und in der Folge auch der CO₂ –Ausstoss des Strassengüterverkehrs wird weiter zunehmen.

Die Anzahl von übermässigem und schädlichem **Verkehrslärm** betroffener Personen ist nach wie vor hoch, entsprechende Sanierungsprogramme sind im Gang und werden in Zukunft für Verbesserungen sorgen. Allerdings führt das Verkehrswachstum dazu, dass auch 2020 noch namhafte Anteile der Schweizer Wohnbevölkerung von schädlichem Verkehrslärm betroffen sein werden. Der Strassengüterverkehr spielt dabei allerdings eine untergeordnete Rolle: tagsüber sind die Lärmemissionen des Personenverkehrs bedeutender und wegen dem Nachtfahrverbot entstehen durch den Strassengüterverkehr nachts wenig Lärmemissionen. Der Schienenverkehr führt vor allem nachts zu erheblichen Lärmbelastungen, dafür verantwortlich ist namentlich der Güterverkehr, der die Netzkapazitäten in der Nacht nutzt.

Auf den nachfolgenden Seiten sind die wichtigsten Annahmen und Eckwerte der Referenzentwicklung 2010-2020/2030 im Sinne eines „Faktenblatts“ zusammengefasst.

Faktenblatt Referenzentwicklung - Z0 REF (2010) / Z1 REF (2020)		1/4
STRASSE	SCHIENE	
Z0 REF (2010)		
Heutiger Zustand (2010), bezüglich:	Heutiger Zustand bezüglich	
- Mengen (Fahrleistungen gemäss BFS) - Qualität (Flottenzusammensetzungen bezüglich Treibstoffart, Grösse und EURO-Stufe) - Infrastrukturmassnahmen Lärm (national einheitlich erfasste Objekte gemäss ASTRA)	- Mengen (Fahrleistungen gemäss BFS) - Qualität (d.h. heutige Sanierungsquoten bezüglich Rollmaterial) - Infrastrukturmassnahmen Lärm : Lärmschutzwände gemäss DfA SBB	
Z1 REF (2020)		
„business as usual“-Entwicklung bezüglich Mengen (entspr. GV-Perspektiven ARE) und Qualität (Flottenzusammensetzungen) - Lärmschutzinfrastrukturen wie in Z0, pauschale Reduktion -1dB für unspezifische Lärmschutzverbesserungen (z.B. Belagserneuerungen, Reduktionen an der Quelle, etc.).	- Mengen: Entwicklung gemäss Angaben SBB (GV-Perspektiven ARE; „ZEB“) - Qualität: Gleiche Annahmen wie bei Update Emissionsplan 2015 (in Absprache mit BAFU), d.h : SBB Rollmaterial ist zu 100% saniert , übrige/ausl. TU tiefe Sanierungsquote.	

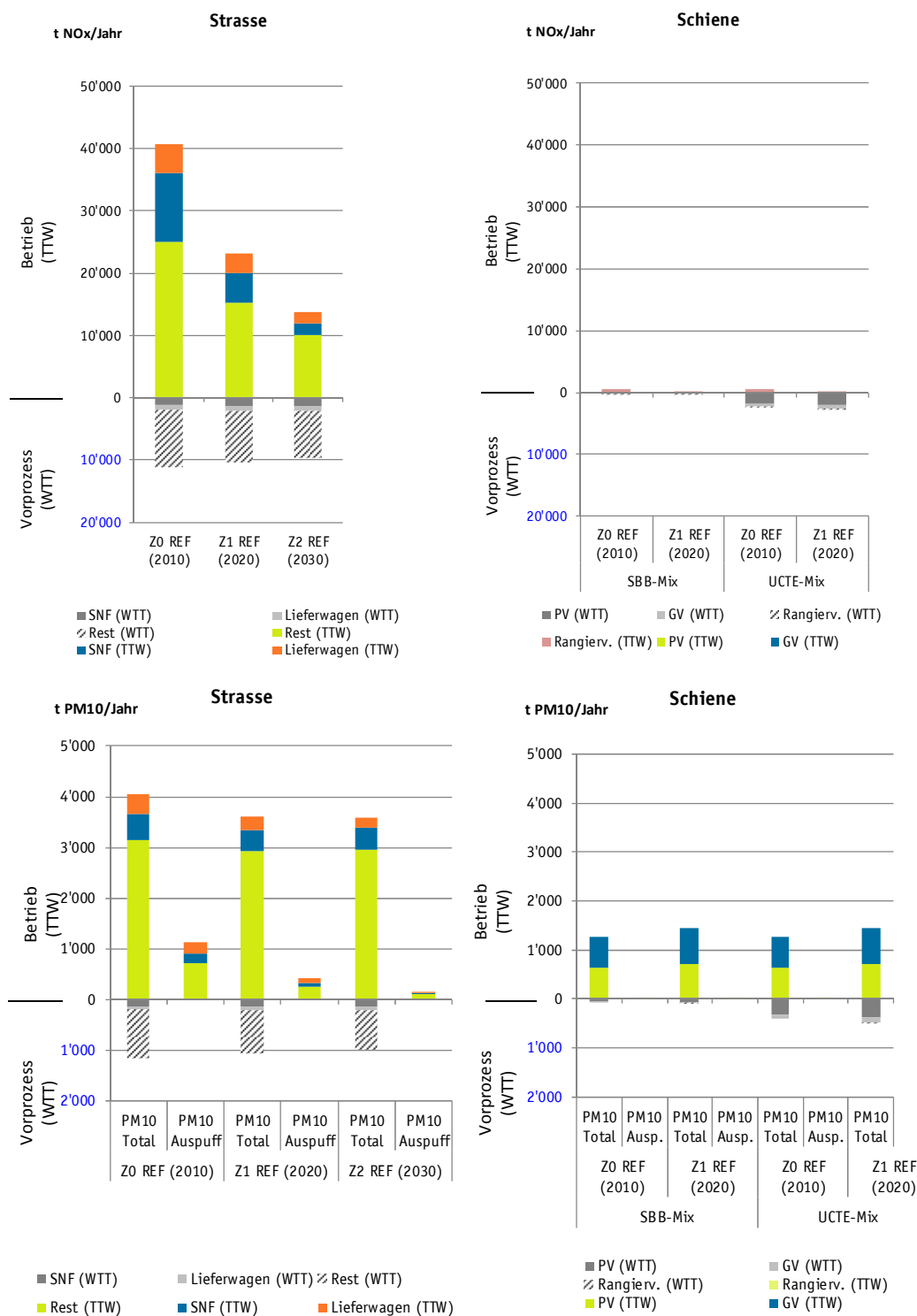
VERKEHR

Strasse	[Mio. Fzkm]		
	Z0 REF (2010)	Z1 REF (2020)	Z1/Z0
Fahrzeugkategorie			
Schwere Nutzfahrzeuge (SNF)	2'304	2'592	+12%
Lieferwagen (LI)	3'802	4'033	+6%
Total Güterverkehr	6'106	6'624	+8%
Rest (PW, Busse, Motorräder)	56'117	61'377	+9%
Total	62'223	68'002	+9%

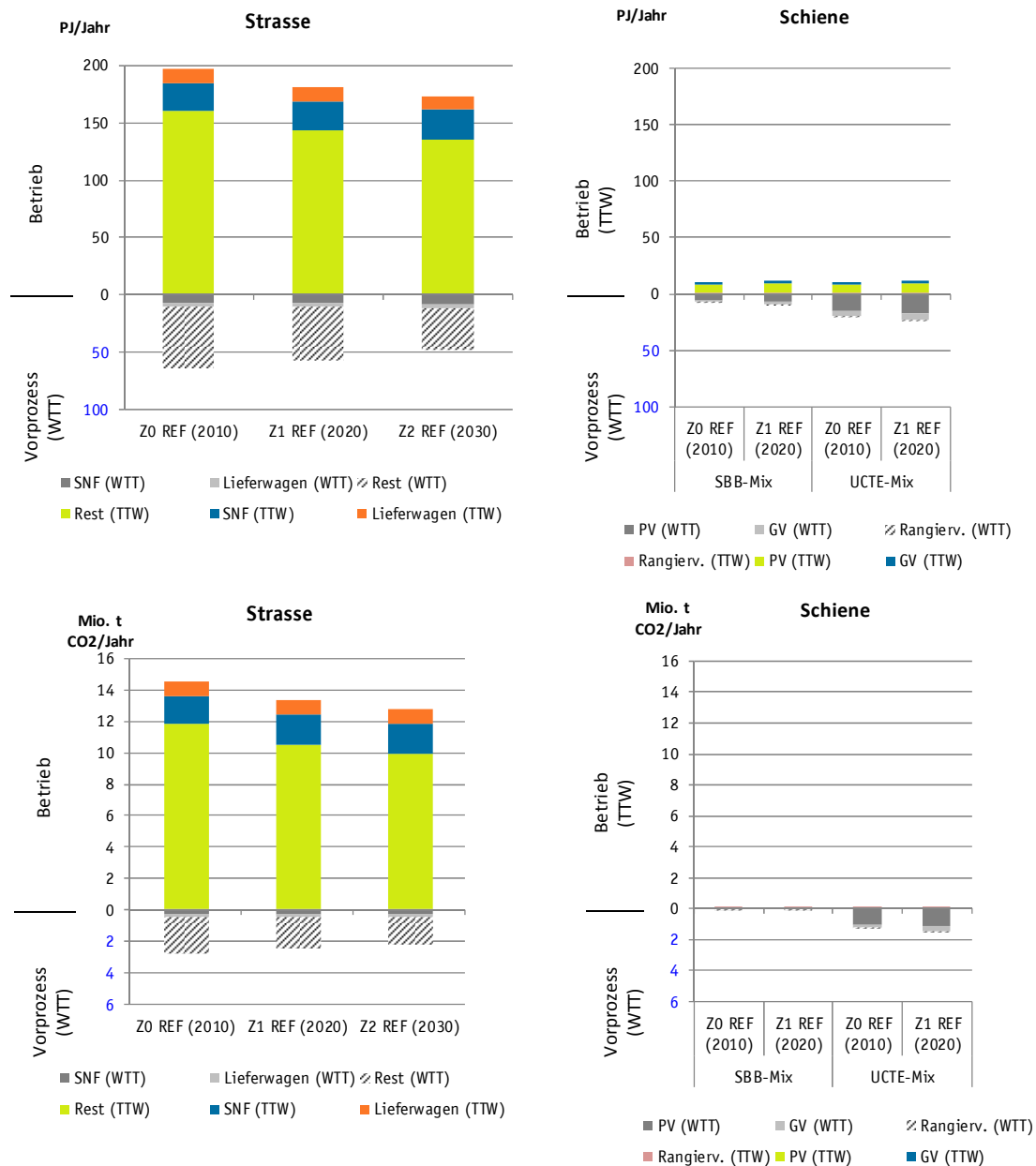
Schiene	[Mio. Zugkm]*		
	Z0 REF (2010)	Z1 REF (2020)	Z1/Z0
Zugskategorie			
Güterverkehr international	17.4	23.3	+34%
Güterverkehr national (inkl. Dienstz.)	12.7	17.0	+34%
Total Güterverkehr	30.1	40.4	+34%
Personenverkehr	182.6	209.4	+15%
Total	212.7	249.7	+17%

* Zugkm = Einheit Fahrleistung Schiene, siehe Anhang I.2

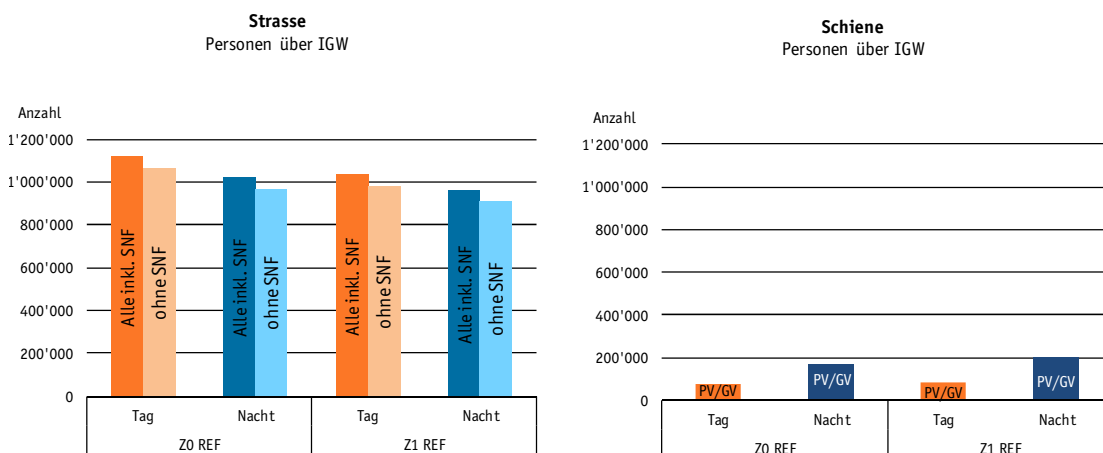
LUFTSCHADSTOFFE - NO_x- UND PARTIKEL-EMISSIONEN



ENERGIEVERBRAUCH UND CO₂-EMISSIONEN



LÄRM-IMMISSIONEN



Fazit und Folgerungen

Die Situation der **Luftbelastung** durch den Strassenverkehr im Allgemeinen und durch den Strassengüterverkehr im Speziellen wird sich in den nächsten 10 Jahren weiter entschärfen. Dies ist das erwartete Resultat der kontinuierlichen Verschärfung von Emissionsgrenzwerten neu zugelassener Fahrzeuge, sofern die geforderten Absenkungen im realen Betrieb umgesetzt werden können.

Der Strassengüterverkehr kommt auch mit den erwarteten Absenkungen der spezifischen Luftschadstoff-Emissionen nicht in den Bereich des Schienenverkehrs, der aufgrund der überwiegend elektrischen Traktion deutlich geringere spezifische Luftschadstoff-Emissionen aufweist. Im Schienengüterverkehr werden die Partikelemissionen überwiegend durch den Abrieb (Kupfer- und Eisenpartikel) verursacht. Diese Partikelemissionen sind als aber weniger gesundheitsschädlich einzustufen als die Auspuff-Emissionen des Strassenverkehrs.

Auch beim **Energieverbrauch** und bei den CO₂-Emissionen ist die Bahn gegenüber der Strasse im Vorteil. Die Güter lassen sich mit weniger Energieaufwand auf der Schiene transportieren als auf der Strasse. Die heute absehbare Verbesserung der Energieeffizienz beim Strassengüterverkehr reicht nicht aus um das erwartete Verkehrswachstum zu kompensieren, d.h. der Energiebedarf und in der Folge auch der CO₂ –Ausstoss des Strassengüterverkehrs wird weiter zunehmen.

Die Anzahl von übermässigem und schädlichem **Verkehrslärm** betroffener Personen ist nach wie vor hoch, entsprechende Sanierungsprogramme sind im Gang und werden in Zukunft für Verbesserungen sorgen. Allerdings führt das Verkehrswachstum dazu, dass auch 2020 noch namhafte Anteile der Schweizer Wohnbevölkerung von schädlichem Verkehrslärm betroffen sein werden. Der Strassengüterverkehr spielt dabei allerdings eine untergeordnete Rolle: tagsüber sind die Lärmemissionen des Personenverkehrs bedeutender und wegen dem Nachtfahrverbot entstehen durch den Strassengüterverkehr nachts wenig Lärmemissionen. Der Schienenverkehr führt vor allem nachts zu erheblichen Lärmbelastungen, dafür verantwortlich ist namentlich der Güterverkehr, der die Netzkapazitäten in der Nacht nutzt.

Handlungsbedarf

Handlungsbedarf lässt sich dort erkennen, wo der heutige Zustand respektive die absehbaren Entwicklungen sich nicht mit den Zielvorstellungen decken. Dies setzt voraus, dass spezifische Umweltziele – basierend auf Verfassungsartikeln, Gesetzen, Verordnungen, Abkommen oder sonstigen verbindlichen Beschlüssen – bestehen und in entsprechender, verbindlicher Form erlassen wurden. Abgeleitet aus den im vorliegenden Forschungsprojekt erarbeiteten Erkenntnissen und den oben genannten umweltseitigen Zielvorgaben, lässt sich der für den Güterverkehr geltenden Handlungsbedarf wie folgt zusammenfassen:

Luftschadstoffe:

- Die Entwicklung der **NO_x – Emissionen** des Strassengüterverkehrs entsprechen den über alle Sektoren angestrebten Reduktionszielen bzw. übertreffen diese (ungefähr Halbierung bis 2020 gegenüber 2010), unter der Annahme, dass alle Sektoren proportional zur Zielerreichung beizutragen hätten. Die bereits getroffenen Massnahmen in Form von Vorschriften (Grenzwerte; EURO VI) für den Luftschadstoffausstoss der Fahrzeuge sind demnach ausreichend, sofern die damit beabsichtigte Absenkung auch im Realbetrieb umgesetzt werden kann. Ein entsprechendes Monitoring („Feldüberwachungsprogramme“) ist angezeigt. Der Beitrag der Schiene an die NO_x – Emissionen ist demgegenüber gering, und die Reduktionen erreichen annähernd die Zielvorstellungen (primär durch Dieserverbrauch im Rangierverkehr bestimmt).
- Problematischer ist die Entwicklung bei den **Feinstaub-Emissionen**. Obwohl dank neuer Motoren- und Filtertechnologie die Partikelemissionen aus dem Verbrennungsprozess beim Strassen- und Schienengüterverkehr (Rangieren) bis 2020 deutlich reduziert werden, so besteht bei den „nicht-Auspuff“-Partikelemissionen aus Bremsen, Abrieb und Aufwirbelung Handlungsbedarf, wenngleich die Toxizität dieser Art von Partikel als weniger gesundheitsschädlich eingestuft werden kann. Die Herausforderung ist insofern gross, da sowohl auf der Strasse als auch bei der Schiene nur wenig taugliche Massnahmen (z.B. Strassenwaschen, Fahrverbote, Schienenschleifen) aktuell bekannt sind, mit denen die „nicht-Auspuff“-Partikelemissionen effizient reduziert werden können.

Energieverbrauch und CO₂- Emissionen:

Im Personenverkehr auf der Strasse dürfte der spezifische Energieverbrauch aufgrund der Vorschriften bezüglich Flottenverbrauchsgrenzwerten in naher Zukunft deutlich sinken, insbesondere aufgrund der absehbaren Weiterführung der Massnahmen über das Jahr 2015 hinaus. So ist in der EU, aber auch in der Schweiz, angedacht, den Zielwert per 2020 auf 95 g CO₂/km abzusenken und den Absenkpfad auch längerfristig fortzuführen. Die zu erwartenden Entwicklungen beim Güterverkehr dürften moderater ausfallen. Beabsichtigt ist ebenfalls die Einführung von Flottenzielwerten für die leichten Nutzfahrzeuge analog zur EU: die Zielwerte von Lieferwagen und leichten Sattelschleppern sollen bis 2017 auf 175 g/km respektive bis 2020 auf 147 g/km vermindert werden. Bei den schweren Nutzfahrzeugen ist noch keine Beschränkung des spezifischen Flotten-Energieverbrauchs (bzw. CO₂-Ausstoss) vorgesehen, auch wenn die Diskussion darüber angelaufen ist. Aufgrund der Heterogenität der Fahrzeuge und deren Einsatzbereichen ist die Festlegung einer verlässlichen Messmethode und darauf aufbauend die Festlegung von Zielen erst zu klären. Auch ist der Energieverbrauch heute bereits ein wichtiger Kosten- und damit Wettbewerbsfaktor, weshalb das Potenzial für zusätzliche Effizienzverbesserungen weniger ausgeprägt ist als etwa beim Personenverkehr. Auch ohne zusätzliche Regulierungen dürfte der spezifische Energieverbrauch aufgrund von technischen Fortschritten leicht sinken. Soll der Güterverkehr aber seinen Beitrag zur angestrebten CO₂-Reduktion leisten, so muss die Energieeffizienz des Güterverkehrs in den nächsten Jahren nochmals deutlich gesteigert werden.

Lärm:

Die Berechnungen zur Trendentwicklung bis 2020 zeigen, dass sowohl durch den Strassen- als auch den Schienenverkehr Immissionsgrenzwertüberschreitungen verursacht werden. Dies läuft den in der LSV (Sanierung bis 2015/2018) bzw. im Gesetz über die Lärmsanierung der Eisenbahnen (Reduktion der bahnlärmbelasteten Personen um zwei Drittel gegenüber dem Ausgangszustand im Jahr 2000) formulierten Zielsetzungen entgegen.

Um die Immissionsgrenzwertüberschreitungen zu reduzieren, sind die bestehenden Anstrengungen (in erster Priorität: Reduktion des Lärms an der Quelle, dann: Lärmschutzbauten, etc.) zu intensivieren. Namentlich der Schienenverkehr ist in der Pflicht, seine Lärmbelastungen insbesondere nachts zu reduzieren, durch Sanierungen am Rollmaterial und durch weitere Massnahmen, die an der Lärmquelle wirken (Schallabsorber, Schienenschleifen, etc.). Während infrastrukturseitige Massnahmen insbesondere in den am stärksten belasteten dicht besiedelten Räumen oft nicht möglich sind, führen Lärmreduktionen an der Quelle zu flächendeckenden Verbesserungen. Der Güterverkehr auf der Strasse spielt u.a. dank dem Nachtfahrverbot gegenüber dem Gesamtverkehr eine vergleichsweise geringere Rolle. Allerdings sind deutlich mehr Personen von schädlichem Strassenverkehrslärm betroffen als von Bahnlärm und gemessen an ihrem Fahrleistungsanteil tragen die schweren Nutzfahrzeuge überproportional zur Lärmerzeugung bei. Deshalb muss auch der Strassengüterverkehr zu Entlastungen der lärmbelasteten Personen beitragen. Die internationalen Bemühungen für die Senkung von Lärmemissionsgrenzwerten müssen daher fortgesetzt werden, im Alleingang hat die Schweiz hier kaum Handlungsmöglichkeiten wegen Handelsabkommen und den bilateralen Verträgen mit der EU. Die Fahrzeughersteller müssen ihre Bemühungen für technische Entwicklungen im Bereich der Lärmreduktion an Reifen und Fahrzeugen weiter treiben, entsprechende Richtlinien sind in Kraft bzw. in Vorbereitung. Lärmgünstige Strassenbeläge, verkehrsberuhigende und verstetigende Massnahmen sowie Geschwindigkeitsreduktionen sind weitere Handlungsfelder, die zur Reduktion der Lärmbelastung führen.

Résumé - fiche technique

Le présent projet de recherche est destiné à analyser d'une part les répercussions sur l'environnement des transports de marchandises routiers et ferroviaires et d'autre part les effets de mesures qui visent à réduire ces répercussions. Ces analyses portent en priorité sur les polluants atmosphériques (avant tout NO_x et PM10), sur la consommation d'énergie, respectivement les émissions de CO₂ et les immissions phoniques.

L'analyse des polluants et de la consommation d'énergie/d'émissions de CO₂ porte sur les substances émises durant l'exploitation, mais aussi sur les émissions et la consommation liées à la fourniture d'énergie (approche „Well-to-Wheel“). Les résultats de l'étude sont ventilés par mode de transport (rail, route). À titre de comparaison, les chiffres relatifs aux polluants émis par le transport de marchandises sont confrontés à ceux du transport global.

La présente première partie du rapport montre l'évolution de la situation de référence entre aujourd'hui et 2030 pour la route et entre aujourd'hui et 2020 pour le rail, en montrant – au plan local – l'importance du transport de marchandises (« Écoatlas »). Puis elle confrontera l'évolution escomptée des effets sur l'environnement et les objectifs actuels dans ce domaine ; les mesures à prendre découleront des résultats de cette comparaison. La deuxième partie du compte-rendu, distincte de la première, est consacrée à la question des mesures à prendre pour lutter contre les répercussions négatives sur l'environnement.

Conclusion

La **pollution atmosphérique** provoquée par le trafic routier en général et plus particulièrement par le trafic routier marchandises continuera de diminuer au cours de la prochaine décennie, du fait du renforcement continu des valeurs limites d'émission des nouvelles voitures immatriculées en Suisse et pour autant que les réductions exigées puissent être réalisées dans la pratique.

Pour ce qui est des polluants atmosphériques spécifiques, les transports de marchandises routiers ne pourront pas rivaliser avec le rail, qui en produit nettement moins en raison du mode de traction électrique. Côté rail, les émissions de particules (cuivre, fer) sont attribuables essentiellement à l'abrasion ; ces particules représentent toutefois une menace sanitaire moins grave que les émissions à l'échappement produites par les transports routiers.

Le rail l'emporte sur la route également en termes de **consommation d'énergie**, et par conséquent d'émissions de CO₂. La quantité d'énergie requise pour transporter des marchandises est moins grande sur le rail que sur la route. S'il l'efficacité énergétique du transport de marchandises routier devrait augmenter, elle ne suffira pas pour autant à compenser l'accroissement prévu du volume de trafic routier. Par conséquent, l'énergie consommée par le trafic marchandises routier et les émissions de CO₂ qui en découlent continueront d'augmenter.

Le nombre de personnes touchées par des **émissions acoustiques nuisibles** restera élevé. Les programmes d'assainissement qui sont en cours pour y remédier provoqueront une amélioration de la situation, mais l'accroissement du volume de trafic prévu pour la décennie à venir a pour effet qu'en 2020, une partie considérable de la population résidente de la Suisse restera exposée à des nuisances acoustiques. La responsabilité du trafic marchandises est toutefois faible dans ce contexte ; durant la journée, les émissions acoustiques sont essentiellement imputables au trafic de personnes et durant la nuit, l'interdiction pour les poids-lourds de circuler la nuit contribue également à réduire les nuisances acoustiques émises par le transport de marchandises routier. Par contre, les émissions acoustiques du rail sont considérables durant la nuit, dans la mesure où le trafic marchandises utilise les capacités nocturnes du réseau. Les principaux hypothèses et résultats de l'évolution des situations de référence 2010-2020/2030 sont résumés dans la présente fiche technique suivante:

Fiche technique Évolution des références - Z0 REF (2010) / Z1 REF (2020)		1/4
ROUTE	RAIL	
Z0 REF (2010)		
Situation actuelle (2010), en termes de	Situation actuelle (2010), en termes de	
- quantités (prestations de transport selon OFS) - qualité (composition des flottes selon type de carburant, taille et classe EURO) - Mesures anti-bruit au niveau des infrastructures (saisie uniformisée des objets selon OFROU)	- quantités (prestations de transport selon OFS) - qualité (taux d'assainissement actuel du matériel roulant) - Mesures anti-bruit infrastructurelles: parois anti-bruit, selon la banque de données des installations fixes (DfA) CFF	
Z1 REF (2020)		
- Évolution quantitative (selon les perspectives TM de l'ARE) et qualitative (composition des flottes) « business as usual » - Infrastructures de lutte contre le bruit comme sous Z0, réduction globale de 1dB pour les améliorations phoniques non spécifiques (p. ex. remplacement de revêtements, réduction à la source, etc.).	- Évolution quantitative: selon informations CFF (perspectives TM; „ZEB“) - Évolution qualitative: hypothèses comme dans plan d'émissions mis à jour en 2015 (d'entente avec l'OFROU), à savoir : matériel roulant CFF assaini à 100% ; taux d'assainissement plus bas dans les entreprises de transport tierces/étrangères	

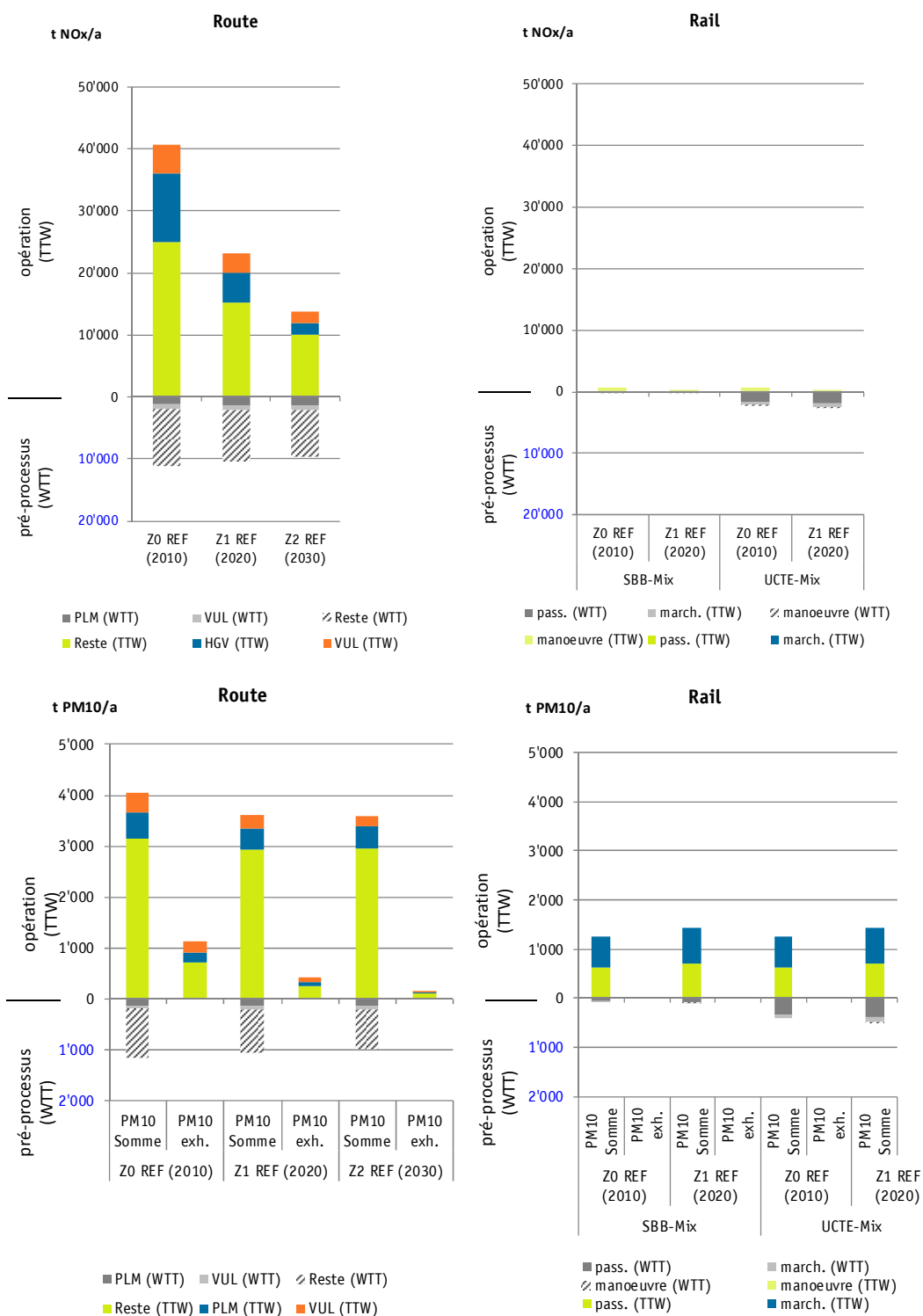
TRANSPORTS

Route	[Mio. vkm]		
Catégorie de véhicules	Z0 REF (2010)	Z1 REF (2020)	Z1/Z0
Poids lourds marchandises (PLM)	2'304	2'592	+12%
Véhicule utilitaires légers (VUL)	3'802	4'033	+6%
Somme transport de marchandises	6'106	6'624	+8%
Reste (VT, bus, motocycles)	56'117	61'377	+9%
Somme	62'223	68'002	+9%

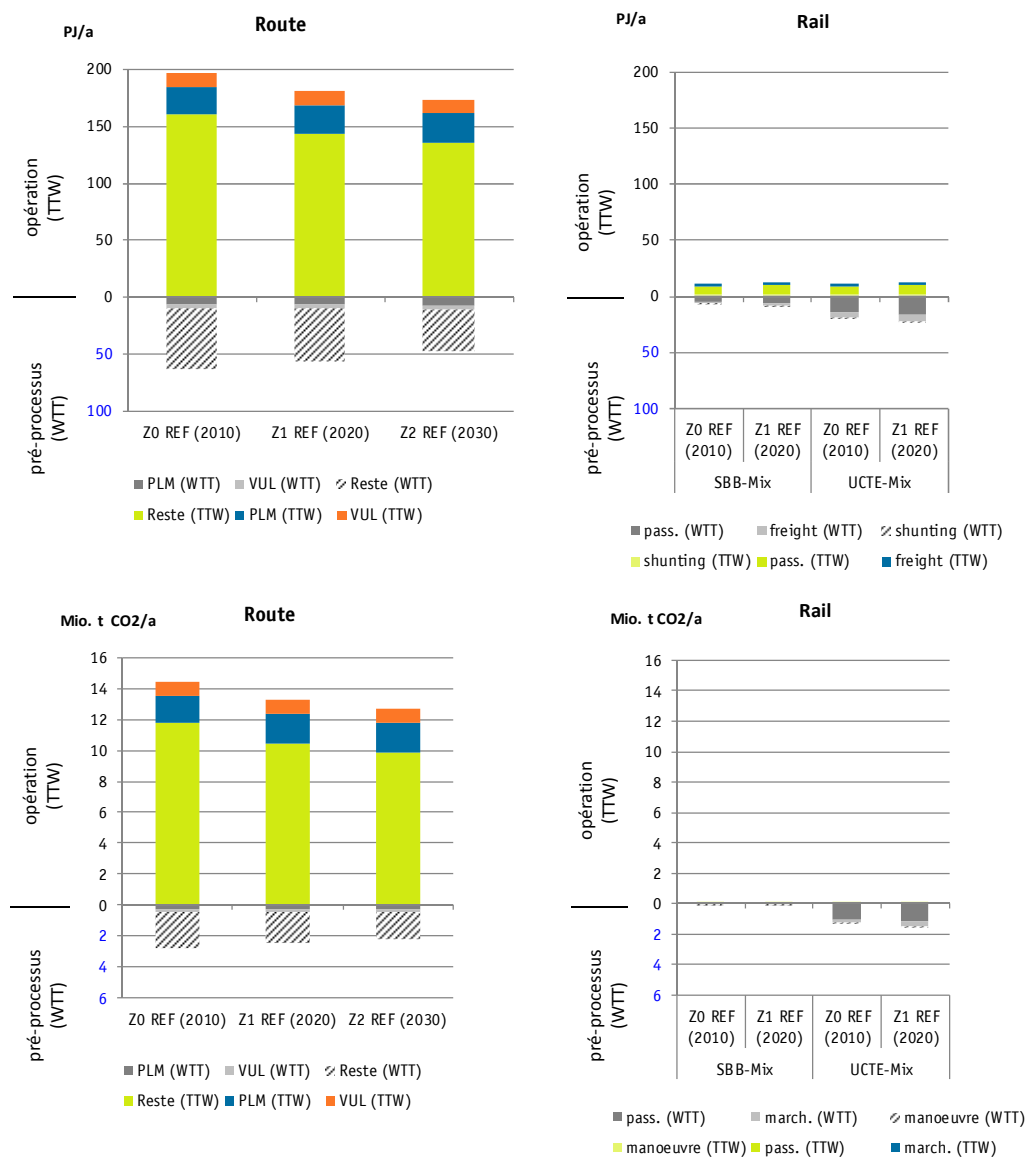
Rail	[Mio. trainkm]		
Catégorie de train	Z0 REF (2010)	Z1 REF (2020)	Z1/Z0
Transport de marchandises international	17.4	23.3	+34%
Transport de marchandises national (trains der service incl.)	12.7	17.0	+34%
Somme transport de marchandises	30.1	40.4	+34%
Transports de passagers	182.6	209.4	+15%
Somme	212.7	249.7	+17%

* trainkm = unité pour les prestations de transport rail, voir "Anhang I.2"

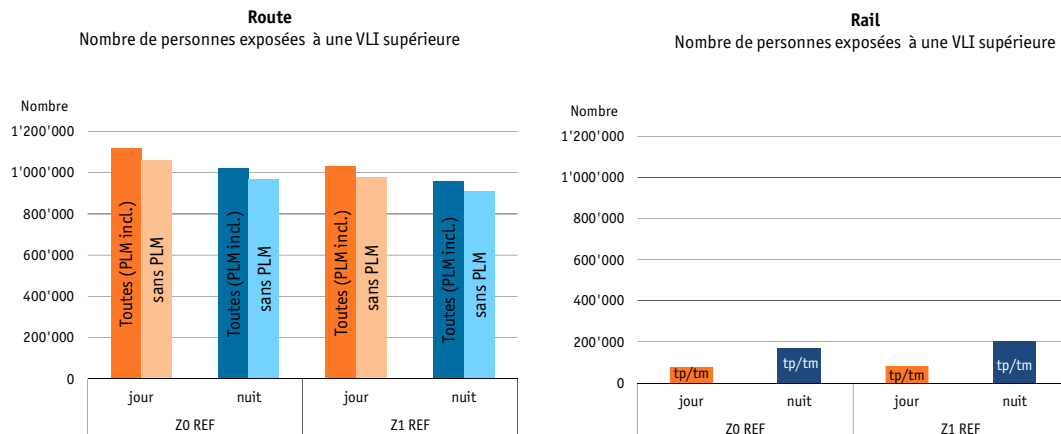
POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES – EMISSIONS DE NO_x ET DE PARTICULES



CONSOMMATION D'ÉNERGIE ET ÉMISSIONS DE CO₂



IMMISSIONS DE BRUIT



Les mesures requises

Lorsque l'état actuel ou les développements prévus sont en contradiction avec les objectifs visés, une intervention s'impose. Il faut donc que les objectifs écologiques spécifiques existent, basés sur des articles constitutionnels, des lois, des ordonnances, des conventions ou d'autres types d'accords contraignants, édictés sous la forme requise. En résumé, on peut déduire du présent travail de recherche et des objectifs mentionnés ci-avant dans le domaine de l'hygiène de l'air que les mesures suivantes s'imposent au niveau du transport de marchandises:

Polluants atmosphériques

- **Émissions de NO_x**: l'évolution des émissions de NO_x dans le domaine du transport de marchandises routier correspond à la réduction visée pour tous les secteurs, voire les dépasse (objectif : réduction de moitié entre 2010 et 2020), si on part du principe que tous les secteurs doivent contribuer proportionnellement aux réductions. Les mesures prises jusqu'ici, à savoir les prescriptions pour l'émission de polluants atmosphériques des véhicules (valeurs limites, EURO VI) sont suffisamment exigeantes, pour autant que les émissions de polluants atmosphériques des véhicules puissent effectivement être réduites au quotidien. Il est donc indiqué de mettre en place un monitoring à cet effet (« programmes de monitoring sur le terrain »). Le rail n'émet que peu de NO_x et les réductions prévues sont pratiquement atteintes, notamment par la réduction de la consommation de diesel dans les mouvements de manœuvre.
- **Émissions de poussières fines**: l'évolution des émissions de poussières fines est plus problématique: les innovations technologiques dans les domaines des filtres et des moteurs permettront de réduire massivement les émissions de particules qui résultent de la combustion dans le trafic de marchandises, tant routier que ferroviaire (manœuvres) d'ici 2020 ; par contre, des mesures devront être prises à propos des particules non émises à l'échappement (freinage, abrasion du revêtement, tourbillonnement), bien qu'elles soient considérées comme moins nuisibles pour la santé. Le défi à relever est de taille, car tant côté rail que côté route, on ne connaît que peu de mesures qui soient aptes à réduire efficacement les particules non émises à l'échappement (p. ex. lavage des routes, interdictions de circuler, meulage des rails).

Consommation d'énergie et émissions de CO₂

On prévoit que le trafic voyageurs routier puisse réduire considérablement sa consommation d'énergie spécifique dans un avenir proche ; cette perspective positive se base sur l'entrée en vigueur de prescriptions qui limitent la consommation de la flotte de véhicules, notamment du fait du prolongement escompté des mesures existantes au-delà de 2015. Aussi bien dans l'Union européenne qu'en Suisse, la valeur visée d'ici 2020 est de 95 grammes de CO₂/km ; il est également prévu de poursuivre ces efforts en faveur de la réduction de ces émissions. Le progrès prévu au niveau du trafic marchandises sera probablement moins spectaculaire. La Suisse prévoit d'introduire des valeurs plus restrictives à atteindre pour la flotte de véhicules utilitaires légers pour rejoindre celles qui prévalent dans l'UE, soit 175 g/km respectivement 147 g/km d'ici 2020 pour les véhicules de livraison et pour les semi-remorques. Si aucune limite de la consommation spécifique (et par conséquent des émissions de CO₂) n'est encore fixée pour les véhicules utilitaires lourds, le débat a été lancé à ce sujet. Il s'agira encore de définir une méthode de mesure fiable, et, partant, des objectifs, en tenant compte de l'hétérogénéité des types de véhicules et de leur domaine d'intervention. La consommation d'énergie étant aujourd'hui déjà un facteur de coût – et donc de compétitivité – important, les améliorations potentielles de l'efficacité énergétique sont donc moins grandes que dans le domaine du transport de voyageurs. On peut donc s'attendre à un léger recul de la consommation d'énergie spécifique même sans réglementations supplémentaires, du seul fait des progrès techniques. Toutefois, si le trafic marchandises est lui aussi appelé à contribuer à la réduction des émissions de CO₂ visées, il s'agira d'accroître encore considérablement l'efficacité énergétique de ce type de trafic au cours des années à venir.

Bruit

Les calculs de tendances à l'horizon de 2020 montrent que le trafic marchandises aussi bien que le trafic voyageurs dépasseront les valeurs limites d'immission fixées. Cette évolution va à l'encontre des objectifs tant de l'ordonnance sur la protection contre le bruit (OPB ; assainissement d'ici 2015/2018) que de la loi sur la réduction du bruit émis par les chemins de fer (réduction de deux tiers du nombre des personnes exposées au bruit du train).

Il s'agira donc de renforcer les efforts existants pour réduire les dépassements des valeurs limites d'immission, la priorité revenant à la réduction du bruit à la source, puis aux ouvrages antibruit, etc. Le rail, en particulier, est appelé à réduire ses émissions acoustiques, notamment durant la nuit, en adaptant son matériel roulant et en prenant d'autres mesures à la source (matériaux d'absorption acoustique, meulage des rails, etc.). Comme il est souvent impossible de prendre des mesures d'assainissement infrastructurelles précisément dans les zones les plus exposées au bruit et les plus densément peuplées, les mesures de réduction du bruit à la source ont l'avantage d'améliorer la situation sur tout le territoire traversé. Le trafic marchandises sur la route joue un rôle moindre, grâce entre autre, à l'interdiction de circulation nocturne. Par contre, les personnes qui sont touchées par des émissions acoustiques nuisibles dues au trafic routier sont plus nombreuses et les véhicules utilitaires lourds contribuent disproportionnellement aux émissions acoustiques (mesuré à leur proportion des prestations de transport). C'est pourquoi le trafic marchandises routier doit également contribuer à la réduction des personnes qui sont touchées par des émissions acoustiques nuisibles. Il convient aussi de maintenir les efforts entrepris au niveau international en vue de réduire les valeurs limites d'immission; à elle seule, la Suisse ne dispose guère de possibilités d'intervenir compte tenu des accords commerciaux et bilatéraux avec l'UE. Les fabricants de véhicules, pour leur part, devront continuer d'améliorer techniquement les pneus et les véhicules en vue de réduire les émissions acoustiques; les directives qui vont dans ce sens sont en vigueur, respectivement en cours de préparation. Parmi les autres types d'intervention qui permettent de réduire la pollution phonique, citons les revêtements routiers qui absorbent le bruit, les mesures de réduction et de régulation du trafic, ainsi que les réductions de vitesse.

Summary – fact sheet

The research project examines environmental effects of road and rail freight transport as well as the effects of actions to reduce these effects. It focusses on air pollution emissions (NO_x and PM10), energy consumption and CO₂-emissions as well as noise exposure.

For air pollution and energy consumption/CO₂-emissions in operation as well as emissions and consumption from energy production (“well-to-wheel”) are examined. Both road and railway transport are assessed and environmental impacts of freight transport are compared to the ones of overall traffic.

The present part (part one) of the report shows the reference trend from today up until 2030 (2020 for rail transport), focussing on the relevance of freight transport on a local level (“environmental atlas”). Subsequently, the reference trend is contrasted with current environmental targets and hence the need for action is discussed. The second, separate part of the report discusses which actions are appropriate to mitigate the negative environmental impacts of freight transport.

Conclusions

Air pollution caused by road transport in general and by road freight transport in particular will continue to improve over the next 10 years. This is the expected result of continuous tightening of emission regulation for new registered vehicles, provided that the legally required reductions can be achieved in real world operation.

Road freight transport will not reach similar specific air pollution emission levels as there are in rail freight transport, even when taking into account the expected improvements. Rail transport produces significantly lower specific air pollution emissions as a result of it being almost fully electrified. In rail freight transport particle emissions are mainly caused by abrasion on rails and overhead contact lines (primarily copper and iron particles). However, these particle emissions are presumably less harmful as the exhaust-emissions of road transport.

Rail transport has similar advantages over road transport in regard to **energy consumption** and CO₂-emissions. The transportation of goods requires less energy when transported by rail. The expected improvements in energy efficiency of road freight transport are not sufficient to compensate the expected growth in mileage, i.e. energy consumption and CO₂-emissions of road freight transport will continue to grow.

The number of people affected by harmful **traffic noise** is still high, even though noise abatement actions are ongoing and will further improve the situation in the future. However, the growth in mileage will result in a substantial share of the Swiss population still being affected by harmful traffic noise even after 2020. Road freight transport plays a subordinate role, though: in the daytime noise emissions of passenger transport is dominating and at night-time road freight transport noise is low as a result of the ban on the movements of heavy goods vehicles at night-time (“Nachtfahrverbot”). Rail freight traffic is the cause for significant noise exposure at night-time using the network capacities in this time of day.

On the following pages the key assumptions and results of the reference trend 2010-2020/2030 are presented as fact sheets:

Fact sheet reference - Z0 REF (2010) / Z1 REF (2020)		1/4
STRASSE	SCHIENE	
Z0 REF (2010)		
today's situation (2010), regarding:	today's situation (2010), regarding	
- quantity (mileage according to FSO) - quality (fleet composition regarding fuel type , size and EURO-class) - noise infrastructure (nationally consistently listed objects)	- quantity (mileage according to FSO) - quality (i.e. today's shares regarding refurbished rolling stock) - noise infrastructure: noise barriers according to DfA SBB	
Z1 REF (2020)		
- business as usual-trend regarding quantities (in line with perspectives for freight transport by ARE) and quality (fleet composition) - noise infrastructure as in Z0, overall reduction of - 1dB for unspecific improvements (e.g. new road surfaces, reduction at the source, etc.).	- quantities: trend according to input by SBB (in line with perspectives for freight transport by ARE; „ZEB“) - quality: same assumptions as for the update „Emissionsplan 2015“ (in coordination with FOEN), i.e. : SBB rolling stock is 100% refurbished ,other/foreign companies with lower refurbishing shares.	

MILEAGE

Road

[Mio. vehkm]

Vehicle category	Z0 REF (2010)	Z1 REF (2020)	Z1/Z0
Heavy goods vehicles (HGV)	2'304	2'592	+12%
Light commercial vehicles (LCV)	3'802	4'033	+6%
Total freight transport	6'106	6'624	+8%
Rest (PC, busses, motorcycles)	56'117	61'377	+9%
Total	62'223	68'002	+9%

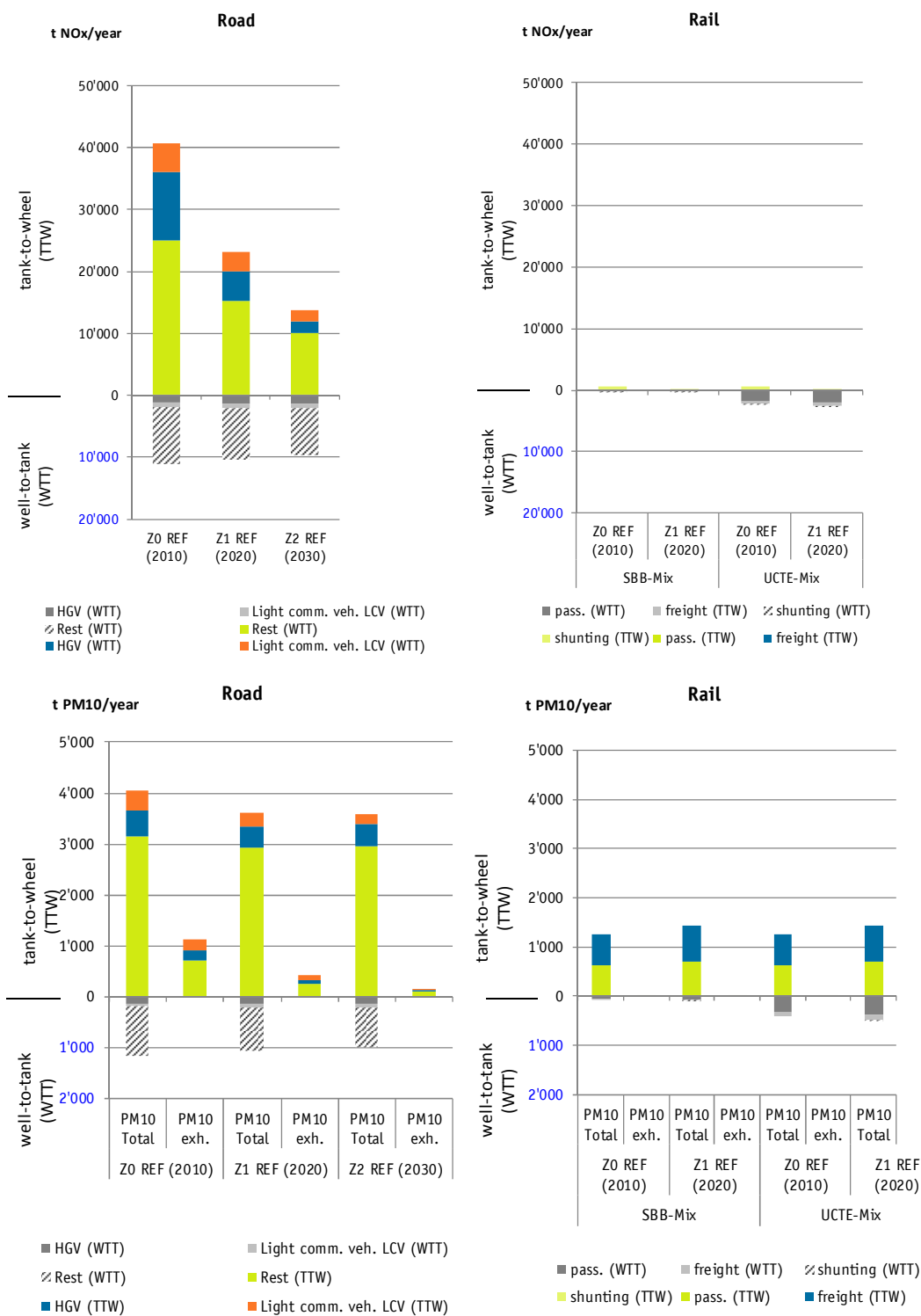
Rail

[Mio. trainkm]*

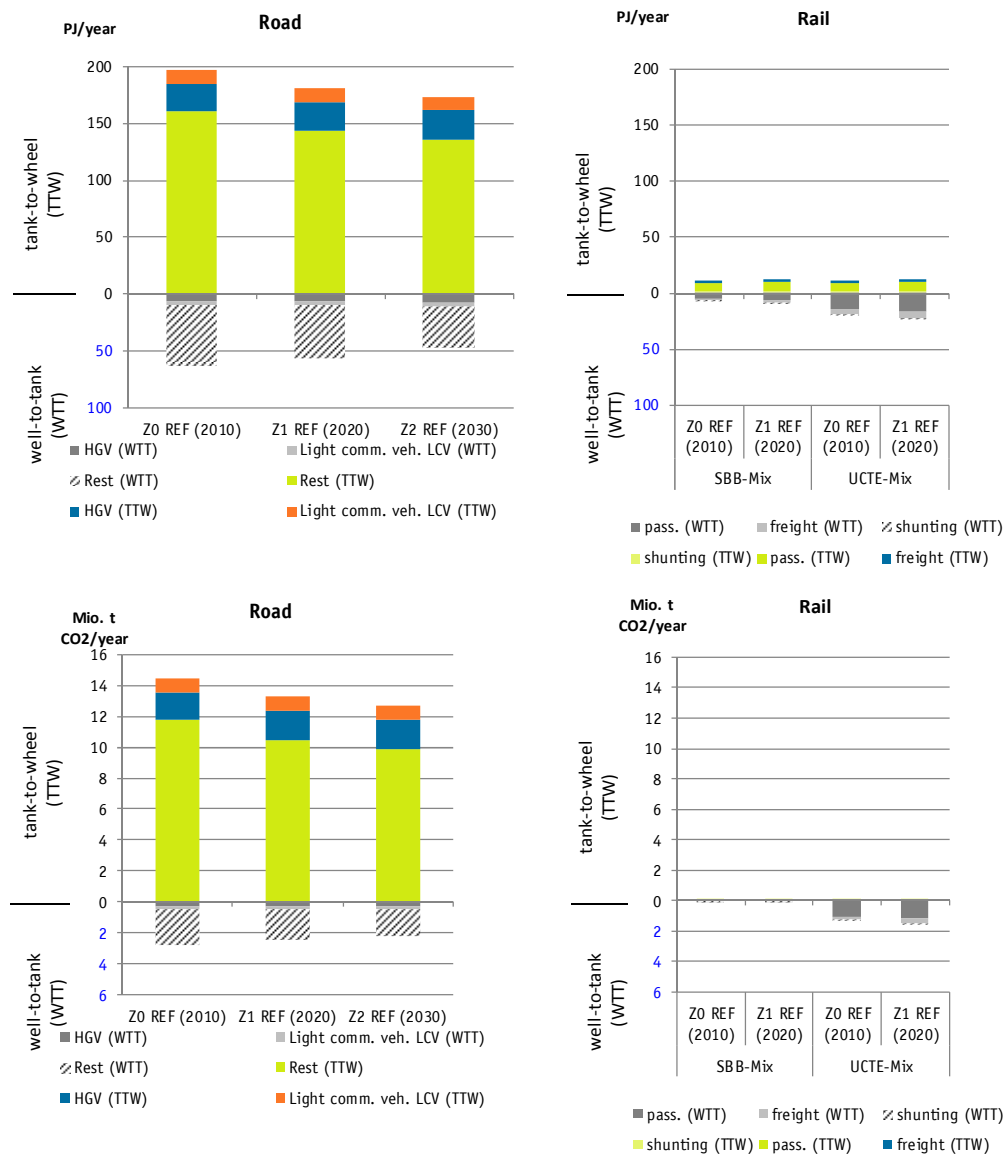
Train category	Z0 REF (2010)	Z1 REF (2020)	Z1/Z0
Freight transport international	17.4	23.3	+34%
Freight transport national (incl. service trains)	12.7	17.0	+34%
Total freight transport	30.1	40.4	+34%
Passenger transport	182.6	209.4	+15%
Total	212.7	249.7	+17%

* trainkm = unit of mileage rail, see "Anhang I.2"

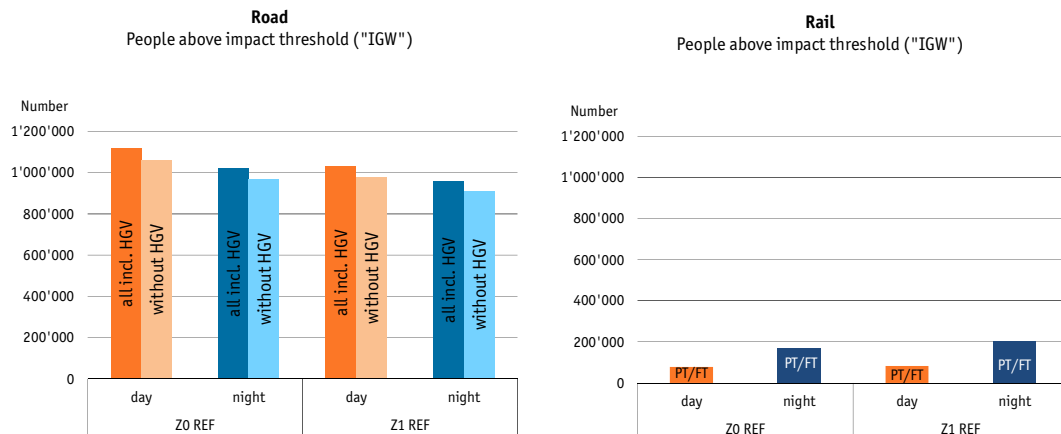
AIR POLLUTANTS - NO_x- AND PARTICLE-EMISSIONS



ENERGY CONSUMPTION AND CO₂ -EMISSIONS



NOISE EXPOSURE



Need for action

Discrepancies between existing environmental targets and the development under the business-as-usual-trend lead to areas with a particular need for action. This presumes that such specific environmental targets exist – based on constitutional articles, legal bills, regulations, decrees, contracts or other binding resolutions. Based on the findings in the current research project and the above mentioned environmental targets, the need for action in the field of freight transport in Switzerland may be summarized as follows:

Air pollutants:

- The reduction of **NO_x-emissions** of road freight transport are in line with the reduction targets across all sectors (halve the emissions by 2020 regarding 2010), assuming that each sector has to contribute proportionally to the target. The taken actions in the form of pollution regulation (limiting emission thresholds; EURO VI) for air pollutants seem to be sufficient, assuming that the intended reductions can be converted to actual operation. The establishment of an appropriate field monitoring program is advisable. The contribution of rail transport to the NO_x-emissions on the other hand is small and its reduction complies with the targets (primarily caused by diesel consumption in shunting).
- More problematic are the future trends of **particle emissions**. Even though particle emissions from combustion in road and rail (shunting) freight transport will, thanks to modern motor- and filter technologies, be significantly reduced by 2020, there is still a need for action for non-exhaust particle emissions resulting from abrasion and re-suspension. Although the latter are supposed to be less toxic, the challenge to reduce non-exhaust particle emissions remains critical since only few suitable Actions to reduce non-exhaust emissions are currently known (e.g. watering of roads, ban of driving, rail grinding).

Energy consumption and CO₂-emissions:

As a consequence of the fleet target values for fuel consumption the specific energy consumption of passenger transport is likely to drop significantly in the near future, especially thanks to the intended continuation of actions beyond 2015. In the EU as well as in Swit-

zerland it is being considered to reduce the fleet target value for 2020 to 95 g CO₂/km and to continue to lower these target values also on a long-term scale. In freight transport the foreseeable trend is more moderate: The intention is to introduce fleet target values for light commercial vehicles in line with the EU: the target values should drop from 175 g CO₂/km by 2017 to 147 g CO₂/km by 2020. For heavy goods vehicles no limitations for the specific fleet values for energy consumption (CO₂-emissions, respectively) are in sight, but discussions have been started. Due to the diversity of the vehicles and their range of use the establishment of a reliable measuring method and, building on this, the development of targets remain to be resolved. At the same time energy consumption is already an important cost- and competition factor and therefore the potential for additional improvements in fuel efficiency is less pronounced as in passenger transport. Even without additional regulations the specific energy consumption is expected to drop slightly due to technical improvements. However, if freight transport shall make an adequate contribution to the intended CO₂-reduction targets within the whole transport sector, the energy efficiency of freight transport must again be significantly improved over the next years.

Noise:

The calculations for the reference trend 2020 show that both road and rail transport are causing noise exposure above the impact threshold values. This contradicts the targets according to the Noise Abatement Ordinance (NAO; noise remediation by 2015/2018) and the Federal Act on the Noise Remediation of Railways (reduction of the people affected by harmful railway noise by two thirds), respectively.

In order to reduce the exceedances of the impact thresholds the current efforts (first priority: reduction of noise at source, then: noise abatement constructions, etc.) are to be intensified. Namely railway transport is required to reduce its noise pollution in particular at night-time, be it through remediation of rolling stock or through other actions affecting noise emissions at the source (noise dampers, rail grinding, etc.). While noise abatement infrastructures are often impossible to install, particularly in the most affected densely populated areas, noise reductions at the source result in nationwide improvements. Compared to the total traffic, road freight transport plays a comparably minor role, due to the night driving ban, amongst other reasons. However, the number of people affected by harmful road traffic noise is considerably higher than the one affected by rail traffic noise. Moreover, relative to their share of mileage, the contribution of heavy goods to noise emissions is proportionally higher. Therefore road freight transport has to equally contribute to the reduction of the number of people affected by harmful traffic noise.

The international cooperation in reducing maximum levels of noise emissions must be continued as Switzerland's on its own has limited options due to commercial and bilateral treaties with the EU. Vehicle manufacturers are to intensify their efforts in reducing noise from tires and engines, the corresponding regulations are currently being processed. Low-noise road pavements, speed reductions, traffic calming actions are further possible fields of action to reduce noise pollution.

1 Einleitung

1.1 Güterverkehr

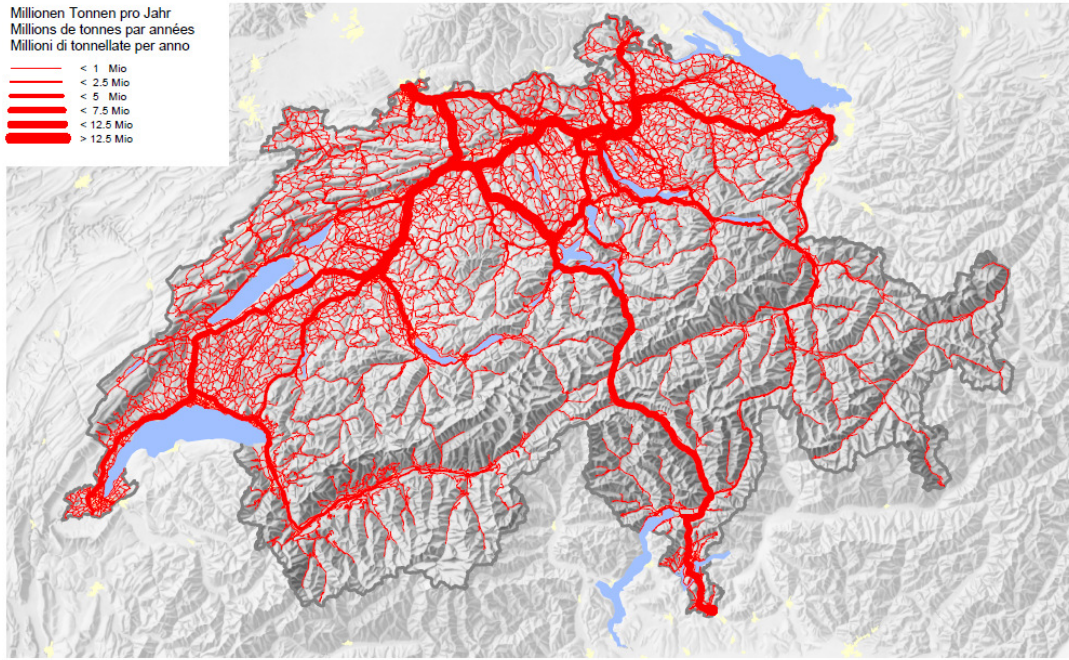
Der kostengünstige, schnelle und zuverlässige Transport von Gütern bildet ein Rückgrat der wirtschaftlichen Entwicklung der Schweiz. Er stellt hohe Anforderungen an eine qualitativ hochstehende, leistungsfähige Infrastruktur, weshalb diese einen wichtigen Standortfaktor für die Schweiz darstellt. Aufgrund ihrer geografischen Lage in Europa im zentralen Alpenbogen ist die Schweiz nicht ausschliesslich mit dem mit der eigenen Versorgung zusammenhängenden Güterverkehr (Binnen, Import-/Exportverkehr = „Verkehrsarten“) beschäftigt, sondern auch in bedeutendem Ausmass mit der Schweiz durchquerendem Verkehr (Transitverkehr). Die relativen Anteile der verschiedenen Güterverkehrsarten variieren, je nach betrachtetem Teilraum oder Korridor (z.B. hohe Transitverkehrsanteile auf den Nord/Süd-Achsen, höhere Binnen- und Import-/Export-Verkehrsanteile auf den Ost-West-Verbindungen). Dieser Umstand ist insofern relevant, da bei den von negativen Umwelt-Auswirkungen betroffenen Personen die Akzeptanz des Güterverkehrs unterschiedlich ist, je nachdem ob es sich um den Teil handelt, wo der nationale Nutzen bzw. Versorgung im Vordergrund steht oder derjenige Teil, wo die Schweiz lediglich als „Durchgangskorridor“ auftritt.

Untenstehende Abbildungen zeigen die regionale Verteilung der Güterverkehrsströme in der Schweiz auf der Strasse und der Schiene. Gut erkennbar sind die für den Güterverkehr bedeutenden Nord/Süd-Achsen zwischen Basel und Chiasso sowie Domodossola (Lötschberg-Simplon-Route) auf der Schiene einerseits und die West-Ost-Verbindungen zwischen St. Margrethen und Lausanne/Genf andererseits. Auch gut sichtbar ist die Bedeutung regionaler Verteilzentren, wie z.B. im Raum Härkingen, wo die Ströme aus verschiedenen Richtungen aufeinandertreffen.

Im Gegensatz zum Strassenverkehr beschränkt sich der Schienengüterverkehr primär auf die Güterverkehrsachsen (lineare Elemente). Das System des Strassengüterverkehrs dagegen ist viel feiner verästelt bzw. flächiger ausgeprägt. D.h. die Feinversorgung der Schweiz durch Güter spielt sich primär auf der Strasse ab, während sich in der Grobverteilung und im internationalen Verkehr Schiene und Strasse das Güterverkehrsangebot aufteilen.

Güterverkehr 2010: Strasse
Trafic marchandises 2010: route
Traffico merci 2010: strada

Millionen Tonnen pro Jahr
 Millions de tonnes par années
 Milioni di tonnellate per anno



Quelle / Source / Fonte : Verkehrsmodellierung VM-UVEK (ARE), INFOPLAN-ARE, BFS-GEOSTAT, swisstopo

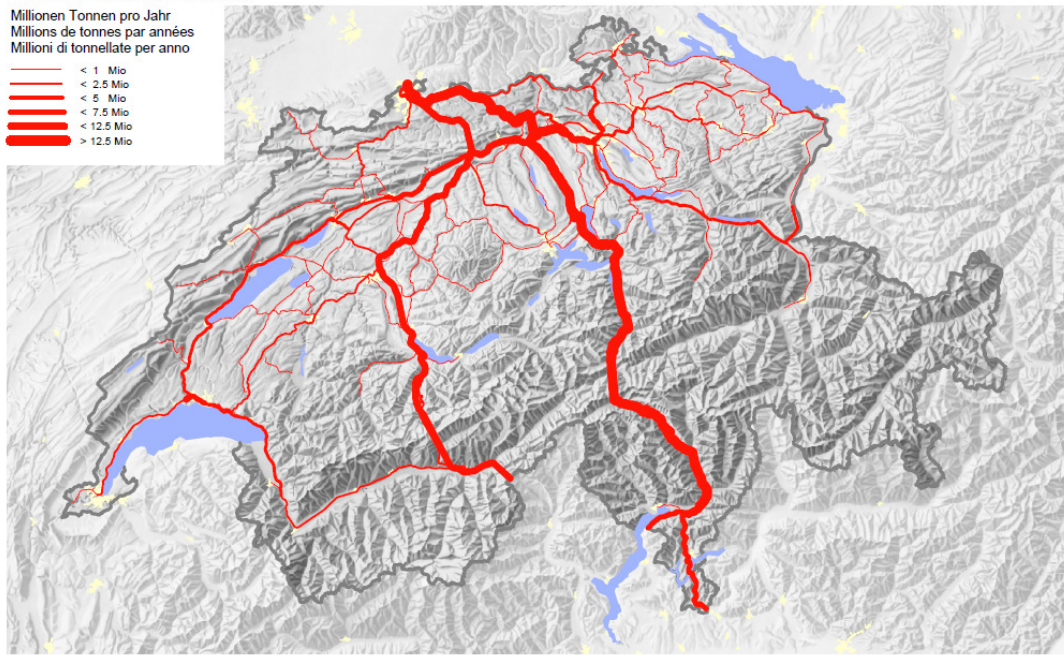
© ARE

Schweizerische Eidgenossenschaft
 Confédération suisse
 Confederazione Svizzera
 Confederaziun svizra

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

Güterverkehr 2010: Schiene
Trafic marchandises 2010: rail
Traffico merci 2010: rotaia

Millionen Tonnen pro Jahr
 Millions de tonnes par années
 Milioni di tonnellate per anno



Quelle / Source / Fonte : Verkehrsmodellierung VM-UVEK (ARE), BAV, INFOPLAN-ARE, BFS-GEOSTAT, swisstopo

© ARE

Schweizerische Eidgenossenschaft
 Confédération suisse
 Confederazione Svizzera
 Confederaziun svizra

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

Abb. 1.1 Güterverkehrsströme Schweiz – Schiene und Strasse 2010, Quelle: ARE

1.2 Umwelt

Die meisten menschlichen Aktivitäten beeinflussen die Umwelt in irgendeiner Art und Weise, die Nutzung der Verkehrsmittel ist hier keine Ausnahme. Dabei sind verschiedene Umweltkomponenten betroffen. In der Forschung (siehe z.B. INFRAS 1995, GVF 1997, Frischknecht et al. 2007, Spielmann et al. 2008), sowie in der gesellschaftlichen und politischen Diskussion stehen meist die negativen Umweltauswirkungen des Verkehrs der in der nachfolgenden Übersicht aufgezählten Komponenten im Vordergrund. Sie sollen auch in vorliegendem Forschungsprojekt den Fokus erhalten (siehe auch BAV 2011a):

- Die **Schadstoffbelastung der Luft** ist eine der bekannten negativen Folgen des Strassenverkehrs. Die Luftverschmutzung durch den Strassenverkehr hat negative Auswirkungen auf Menschen, Ökosysteme, Gebäude, Materialien und das Klima. In stark belasteten Gebieten sind die Menschen einem erhöhten Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen ausgesetzt (BAFU/BFS 2009). Ökosysteme werden durch Stickstoffverbindungen überdüngt oder versauern. Die Ozonbelastung kann in der Landwirtschaft zu Ernteeinbussen führen. Im Gegensatz zum Strassenverkehr verursacht der Schienenverkehr aufgrund der fast vollständigen Elektrifizierung in der Schweiz wenig lokale Luftschadstoff-Emissionen. Die Ausnahme bilden dabei die durch Abrieb (Schiene und Fahrleitung) und beim Bremsen entstehenden Eisenpartikelemissionen und die Emissionen der im Rangierbetrieb oder zu Unterhaltungszwecken eingesetzten Diesellokomotiven.
- **Energieverbrauch:** Für den Betrieb des Verkehrssystems werden endliche Ressourcen (Erdölprodukte als Treibstoff, Uran für die nukleare Stromerzeugung, etc.) eingesetzt. Diese sind – deshalb „endlich“ – nur in beschränktem Ausmass auf der Erde verfügbar. Über die zukünftige Verfügbarkeit fossiler Brennstoffe (Stichwort „peak oil“) bestehen unterschiedliche Schätzungen, wobei man sich grundsätzlich einig ist, dass mit allen Energieträgern haushälterisch umgegangen werden muss. Hohe bzw. stark schwankende Ölpreise, der Stellenwert der Kernenergie insbesondere nach dem Erdbeben in Japan im Jahre 2011, Förderung der erneuerbaren Energien, Entwicklung des Strompreises, Ausgestaltung der künftigen Energieversorgung der Schweiz: Diese und weitere Aspekte der Energieversorgung haben u.a. den Energieverbrauch des Verkehrs verstärkt ins Zentrum der öffentlichen Diskussion gerückt.
- **Klima/Treibhauseffekt:** Beim Auftreffen der Sonnenstrahlen auf die Erde wird die Strahlungsenergie in Wärme umgewandelt. Sog. „Treibhausgase“ verhindern die Rückstrahlung dieser Wärme ins All und führen langfristig zu einer Erderwärmung. Die Treibhausgase (CO₂, Methan, Lachgas, etc.) werden bei Verbrennungsprozessen vom Menschen (anthropogen) zusätzlich verursacht. Der damit verbundene Klimawandel führt global zur Verschiebung der Klimazonen, der Zunahme von Extremwetterereignissen, Überschwemmungen, etc. mit den entsprechenden, mitunter verheerenden Auswirkungen auf die Erdbevölkerung. In den letzten Jahren wurde zudem – nebst der sozialen - die ökonomische, volkswirtschaftliche Seite des Klimawandels (Stichwort „Stern-Report“) ins öffentliche Interesse gerückt.
- **Lärm**¹ kann je nach Art, Intensität und Dauer entweder als notwendiges Übel, als störend oder lästig empfunden werden und sogar gesundheitsschädigend wirken. Obwohl er selten die Intensität erreicht wo Gehörschädigungen auftreten, so wirkt Lärm auf den menschlichen Körper als Stressfaktor und kann über kurz oder lang die Gesundheit beeinträchtigen. Nachts ist das Ruhebedürfnis von Menschen höher. Lärm in der Nacht beeinträchtigt die Schlafentiefe und -qualität und führt unter Umständen zu ungewolltem Aufwachen. Aber auch tagsüber kann die Leistungs- und Konzentrationsfähigkeit bei Menschen sinken, die Lärm ausgesetzt sind. Beim Lärm sind – anders als bei den Luftschadstoffen – primär die Immissionen massgebend, d.h. treten Schallemissionen dort auf, wo keine Menschen (oder Tiere) wohnen, so gelten sie als weniger problematisch.

¹ Zum Begriff „Lärm“: Dieser beinhaltet eine Bewertung. Die physikalische Grösse ist der Schall. Schallemissionen können für Menschen und Tiere unerwünscht und störend sein. Ist dies der Fall, wird von „Lärm“ gesprochen.

- **Weitere Auswirkungen** sind z.B. der Flächenverbrauch, die Belastung des Bodens und der Gewässer durch den Verkehr bzw. die dafür notwendigen Infrastrukturen, Erschütterungen, etc. Diese Aspekte stehen nicht im Fokus der vorliegenden Forschungsarbeit. Unter anderem auch darum, weil es hier um die Umweltbelastungen durch den Güterverkehr geht, während verkehrliche Infrastrukturen in der Regel dem Gesamtverkehr dienen und eine Zuweisung dieser Belastungen zu Personen- bzw. Güterverkehr weit schwieriger wäre als bei der Luft- bzw. Lärmbelastung.

1.3 Forschungsziel, Fragestellung

Im vorliegenden Forschungsprojekt (Teilprojekt H des Forschungspakets „Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz [FP GÜV]“) sollen ortsbezogene Massnahmen zur Reduktion der oben geschilderten Umweltauswirkungen – konkret Luftschadstoffemissionen, Energie/Klimaauswirkungen und Lärmimmissionen - des Güterverkehrs untersucht werden. Die Forschungsarbeit im Teilprojekt H hat zwei Ziele:

- Erstellen einer „**Umweltlandkarte Güterverkehrs Schweiz**“ (Umweltatlas): Diese Aufgabe umfasst die Beschreibung des heutigen Zustands bezüglich der oben genannten Umweltauswirkungen und gibt einen Ausblick über die zukünftigen Referenzentwicklungen in diesen Bereichen – vorliegender **Teil I des Berichts**
- Untersuchen von **Instrumenten zur effizienten Reduktion** der Umweltbelastungen des Güterverkehrs (Massnahmevarianten) – separater **Teil II des Berichts** geht der Frage nach, mit welchen Massnahmen die Umweltauswirkungen des Güterverkehrs gezielt reduziert werden können.

Der Bericht zum Teilprojekt H („Ortsbezogene Massnahmen zur Reduktion der Auswirkungen des Güterverkehrs“) ist demnach in zwei Teile gegliedert. Im vorliegenden ersten Teil werden die Umweltauswirkungen des Güterverkehrs im heutigen Zustand (Z0 REF) und die zukünftige Entwicklung Z1 (bzw. Z2 für die Strasse) dargestellt, sowohl tabellarisch/grafisch als auch ortsbezogen, respektive in Karten („Umweltatlas“). Den Massnahmevarianten, die auf diesen Referenzzuständen aufbauen, widmet sich Teil II (separates Dokument) des Berichts.

2 Methodik

2.1 Systembeschreibung

2.1.1 Verkehrsträger, Verkehrsmittel

Es wird unterschieden zwischen Strassen- und Schienenverkehr. Hauptaugenmerk liegt im Strassenverkehr auf den Transporten mit schweren Nutzfahrzeugen (LKW, Lasten- und Sattelzüge). Da der Lieferwagenverkehr (Fahrzeuge für den Gütertransport mit maximal 3.5t zulässigem Gesamtgewicht) in den letzten Jahren markante Zuwachsraten aufwiesen, wird dieser Verkehr – trotz Unsicherheiten in den Grundlagedaten – ebenfalls in die Betrachtungen aufgenommen.

2.1.2 Umweltbelastung

Leitindikatoren der Umweltbelastung

Die zu untersuchenden Auswirkungen des Güterverkehrs in verschiedenen Umweltkomponenten sind in Kapitel 1 beschrieben worden. Im Vordergrund stehen strategische Fragen im Zusammenhang mit den Umweltauswirkungen des Güterverkehrs. Dazu werden folgende „Leitindikatoren“ untersucht:

- **Luftqualität - Ausstoss von Luftschadstoffen:** Als Leitindikatoren gelten die Stickoxidemissionen (NO_x) und der Feinstaub-Ausstoss (Partikel; Auspuff/nicht-Auspuff, z.B. Aufwirbelung, Bremsen, etc.). Dargestellt werden dabei die Schadstoff-Emissionen. Auf eine Darstellung der Immissionen wird verzichtet, da weitere Einflussgrössen (Hintergrundbelastung, Überlagerung mit anderen Quellen, Meteorologie, etc.) an dieser Stelle nicht im Fokus der Betrachtung stehen und Aussagen zum Güterverkehr als spezifische Schadstoffquelle verwischen würden.
- **Energieverbrauch und Klimagase:** Diese beiden Aspekte sind eng miteinander korreliert (Energieverbrauch und CO_2 -Ausstoss). Folgende Leitindikatoren werden untersucht:
 - **Energieverbrauch:** Gesamtenergieverbrauch inklusive jener Energie, welche für die Produktion und Verteilung der Energie bis zum Benutzer an der Tankstelle bzw. am Stromabnehmer verbraucht wird.
 - **CO_2 -Ausstoss** in Tonnen als Leitindikator für den Klimagasausstoss.
- **Lärm:** Als Leitindikator dienen hier die vom Lärm betroffenen Personen. Darunter wird hier derjenige Teil der Bevölkerung verstanden, der Lärmimmissionen über dem Immissionsgrenzwert (IGW) gemäss Schweizerischer Lärmschutzverordnung (LSV; Grenzwerte siehe Anhang V) ausgesetzt ist².

Betrieb vs. Energieproduktion, „Well-to-Tank (WTT) und „Tank-to-Wheel“ (TTW)

Luftschadstoff- und CO_2 -Emissionen entstehen nicht nur beim Verbrauch der für den Betrieb eines Verkehrsmittels notwendigen Energie („Tank-to-Wheel“), sondern auch bei der Energieproduktion und -verteilung („Well-to-Tank“). Im Falle der elektrischen Energie bezieht sich die CO_2 - und Luftschadstoff-Ausstoss sogar gänzlich auf die Stromproduktion, denn beim Verbrauch der elektrischen Energie selbst entsteht weder CO_2 , noch werden Luftschadstoffe emittiert. Der Aufwand, der für die Energieproduktion notwendig ist, variiert je nach Energieart – ob fossile Energie (Benzin, Diesel) oder Strom – und je nach Art der Produktion (z.B. Wasserkraft, nukleare Erzeugung, fossil-thermische Herstellung, etc.).

Sollen verschiedene Verkehrsträger resp. Energiesysteme für den Antrieb miteinander verglichen werden, müssen die sog. „Well-to-Tank“-Emissionen miteinbezogen werden.

² Lärmbelästigungen betreffen nebst den Wohnstandorten auch die Arbeitsplätze. Als „Leitindikator“ dient hier die Wohnbevölkerung. Die wesentlichen Auswirkungen lassen sich daraus erkennen, auf den Einbezug der Arbeitsplätze wird hier verzichtet, da dadurch keine zusätzlichen Erkenntnisse erwartet werden.

Eine lokalisierte Darstellung (auf den Streckenabschnitten) der WTT-Emissionen macht dagegen wenig Sinn, da die Emissionen für die Energieproduktion nicht während des Betriebs auf dem jeweiligen Streckenabschnitt anfallen, sondern bei der Produktion, z.B. in einem Kraftwerk oder einer Raffinerie, welche sich u.U. weit weg von der Stelle des Energieverbrauchs befinden. Aus diesem Grund fokussiert vorliegender Bericht vorerst auf die Betriebsemissionen und stellt diese räumlich dar (Kapitel 3.1ff.). Anschliessend werden die WTT-Emissionen summarisch nach den einzelnen Verkehrsträgern und –mittel ausgewiesen und den TTW-Emissionen gegenübergestellt (Kapitel 3.4).

2.1.3 Systemdifferenzierung

Die oben beschriebenen Betrachtungsweisen führen zu folgender Systemdifferenzierung entlang den Verkehrsträgern („Strasse“ und „Schiene“) und den oben genannten Umweltbereichen:

Abb. 2.1 Systemdifferenzierung

Verkehrsträger	Luftschadstoff-Emissionen	Energieverbrauch CO ₂ -Emissionen	Lärm-Immissionen
Strassenverkehr	A	B	
	- NO _x , Partikel - Betrieb und Energiebereitstellung	- Betrieb und Energiebereitstellung (Vorprozess)	C
Schienenverkehr	D	E	
	- Partikel aus Bremsen, Fahrleitungsabrieb, etc. - Partikel und NO _x aus Dieselverbrauch Rangierverkehr/Unterhaltszüge - Betrieb und Energiebereitstellung	- Strom- und Dieselverbrauch - Betrieb und Energiebereitstellung (Vorprozess)	F

2.2 Beschreibung Referenz-Zustände Z0, Z1 und Mengengerüste

Als Ausgangsjahr („IST“-Zustand oder Z0) gilt das Jahr 2010. Daneben werden der zukünftige Zustand 2020 (Z1) und darauf aufbauende Massnahme-Varianten dargestellt und untersucht. Für die Luftbelastung und den Energieverbrauch auf der Strasse wird ausserdem die Trendentwicklung 2030 (Z2) präsentiert.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die für die Referenzrechnungen getroffenen Annahmen:

Abb. 2.2 Übersicht Referenzrechnungen

Bezeichnung	Beschreibung	Verkehrsträger	Quantifizierungen (Vekehrsmengen, Qualität)
Z0 REF (2010)	IST-Zustand 2010 (Referenz 2010)	Strasse	Heutiger Zustand bezüglich: - Mengen (Fahrleistungen gemäss BFS) - Qualität (Flottenzusammensetzungen bezüglich Treibstoffart, Grösse und EURO-Stufe) - Infrastruktur Lärm: Lärmschutzwände (national einheitlich erfasste Objekte gemäss ASTRA, wie in SonBase, siehe BAFU 2009a), keine Differenzierung bzgl. Strassenbelag ³
		Schiene	Heutiger Zustand bezüglich - Mengen (Fahrleistungen BFS) - Qualität (d.h. heutige Sanierungsquoten bezüglich Rollmaterial) - Infrastruktur Lärm: Lärmschutzwände wie in SonBase, d.h. gemäss DfA SBB ⁴
Z1 REF (2020) Z2 REF (2030)	BAU-Entwicklung 2020/2030 (Referenz 2020/2030)	Strasse	- BAU bezüglich Mengen (entspr. GVPerspektiven ARE), und Qualität (Flottenzusammensetzungen); - Lärmschutzinfrastrukturen wie in Z0, pauschale Reduktion -1dB für unspezifische aufgrund der Datenlage nicht direkt quantifizierbare Lärmschutzverbesserungen (z.B. Reduktionen an Fahrzeugen u. Reifen).
		Schiene	- Mengen: Entwicklung gemäss Angaben SBB - Qualität: Gleiche Annahmen wie bei Update Emissionsplan 2015 (in Absprache mit BAFU), d.h: SBB Rollmaterial ist zu 100% saniert, übrige/ausl. TU tiefe Sanierungsquote ⁵

„BAU“ = „business as usual“ (Referenzentwicklung unter Berücksichtigung beschlossener Massnahmen)

2.2.1 Strassenverkehr

Fahrleistungen

Die Eckwerte der Fahrleistungen für die Referenzzustände des Strassenverkehrs sind in untenstehender Tabelle zusammengefasst. Die Daten basieren auf den Streckenbelastungen des UVEK-Verkehrsmodells (VMUVEK, Basisjahr 2005), mit eigenen Ergänzungen z.B. zur Entwicklung des Verkehrs über die gesamte Zeitreihe und Hochrechnungen zu weiteren Fahrzeugkategorien, die in VMUVEK nicht enthalten sind. Weitere Details zum Verkehrsmengengerüst Strasse siehe Annex 1.

Insgesamt beruhen die Quantifizierungen der Umweltauswirkungen auf einer Fahrleistung von jährlich rund 62.2 Milliarden Fahrzeugkilometern (Z0 REF 2010) bzw. 68.0 Milliarden Fahrzeugkilometern (Z1 REF 2020). Die Gesamtfahrleistungen des Strassenver-

³ Standardbelag (Splittmastixasphalt, „stone mastic asphalt 0/11“)

⁴ „Datenbank feste Anlagen“ der SBB

⁵ Sanierungsprojekte für ausländische Güterwagen sind in Beratung (z.B. Bundesratsvorschlag zum faktischen Verbot von Graugussbremsen ab 2020; ähnliche Bestrebungen in Deutschland) betreffen aber den Zeithorizont nach 2020. Gleichzeitig ist Flottenzusammensetzung des Schienengüterverkehrs aufgrund der langen Lebensdauer von Güterwagen (rund 40 Jahre, lediglich alle rund 6 Jahre werden Güterwagen in der Werkstatt überholt) relativ träge. Deshalb wurde für die Referenzentwicklung von einer konservativen Prognose bezüglich Bremssysteme von in der Schweiz verkehrenden Güterwagen ausgegangen (d.h. UKV, ROLA: 50-60%, Nah- und Ferngüterzüge: 40% und Post/Ganzzüge: 100% saniert).

kehrs wachsen also in den nächsten 10 Jahren um rund 9%, bzw. um knapp 15% in den nächsten 20 Jahren.

Der schwere Güterverkehr („schwere Nutzfahrzeuge“, bzw. SNF) weist eine Fahrleistung von rund 2.3 Milliarden (Z0 REF 2010) respektive 2.6 Milliarden Fahrzeugkilometern (Z1 REF 2020) pro Jahr auf. Das Wachstum der schweren Nutzfahrzeuge (SNF) von 2010 bis 2020 beträgt 12% und bis 2030 rund 18%.

Der Anteil der SNF am Gesamtverkehr beträgt insgesamt 3.7%, der Lieferwagenanteil beträgt rund 6.1%, insgesamt macht der Güterverkehr knapp 10% der gesamten Fahrleistungen auf der Strasse aus.

*Abb. 2.3 Fahrleistungen Strasse nach Fahrzeugkategorien in Mio. Fzkm/Jahr
Referenzzustände 2010/2020/2030*

Total Schweiz auf allen Strassenkategorien

Fahrzeugkategorie	Z0 REF (2010)	Z1 REF (2020)	Z2 REF (2030)
Personenwagen (PW) ⁶	53'339	58'353	61'215
Lieferwagen (LI)	3'802	4'033	4'287
Schwere Nutzfahrzeuge (SNF)	2'304	2'592	2'717
Reisecars (RBUS)	119	115	114
ÖV Busse (LBUS)	250	274	302
Motorräder (MR)	2'409	2'635	2'882
Total alle Fzkat	62'223	68'002	71'517
Anteil SNF an Total	3.7%	3.8%	3.8%

Die Fahrleistungen auf den Autobahnen und Autostrassen der Nord-Süd-Korridore sind aus untenstehender Tabelle ersichtlich: Rund 35% der Fahrleistungen der schweren Nutzfahrzeuge entfallen auf die Nord-Süd-Korridore, beim restlichen Verkehrs sind es lediglich 17%.

⁶ Der Wert der PW-Km für das Jahr 2010 entspricht den derzeitigen Angaben des BFS. Dieser Wert wurde durch das BFS im Jahr 2010 leicht nach unten korrigiert (ca. 5%), während der Emissionsbericht des BAFU (BAFU 2010) noch von damals gültigen Werten ausging. Deshalb besteht hier eine leichte Differenz im Bereich des Personenverkehrs, der jedoch hier nicht im Vordergrund steht, sondern allenfalls bei gesamtverkehrlichen Betrachtungen eine Rolle spielt. Auch die Fahrleistungen der Lieferwagen wurden im Vergleich zum BAFU Bericht 2010 leicht angepasst. Die hier angegebenen Werte basieren auf neuen Grundlagen des ARE (auf Basis des VMUVEK).

*Abb. 2.4 Fahrleistungen Strasse nach Nord-Süd-Korridoren in Mio. Fzkm/Jahr
Referenzzustände 2010/2020*

nur Autobahnen/Autostrassen

Korridor	Z0 REF (2010)			Z1 REF (2020)		
	SNF	Rest	Total	SNF	Rest	Total
Basel-Chiasso (Gotthard)	433	3'937	4'370	487	4'292	4'779
St. Margrethen-Chiasso (San Bernardino)	132	1'985	2'117	149	2'164	2'313
Basel/Genf - Grenze IT (Gd. St. Bernhard/Simplon)	424	6'407	6'832	487	7'136	7'623
Total Nord-Süd-Achsen (ohne Doppelzählung)	816	10'485	11'301	927	11'581	12'508
Anteil an CH-Total	35%	17%	18%	36%	18%	18%

Die folgende Karte zeigt die Streckenbelastungen (durchschnittlicher Tagesverkehr DTV) auf dem Modellnetz:

Güterverkehr SNF 2010

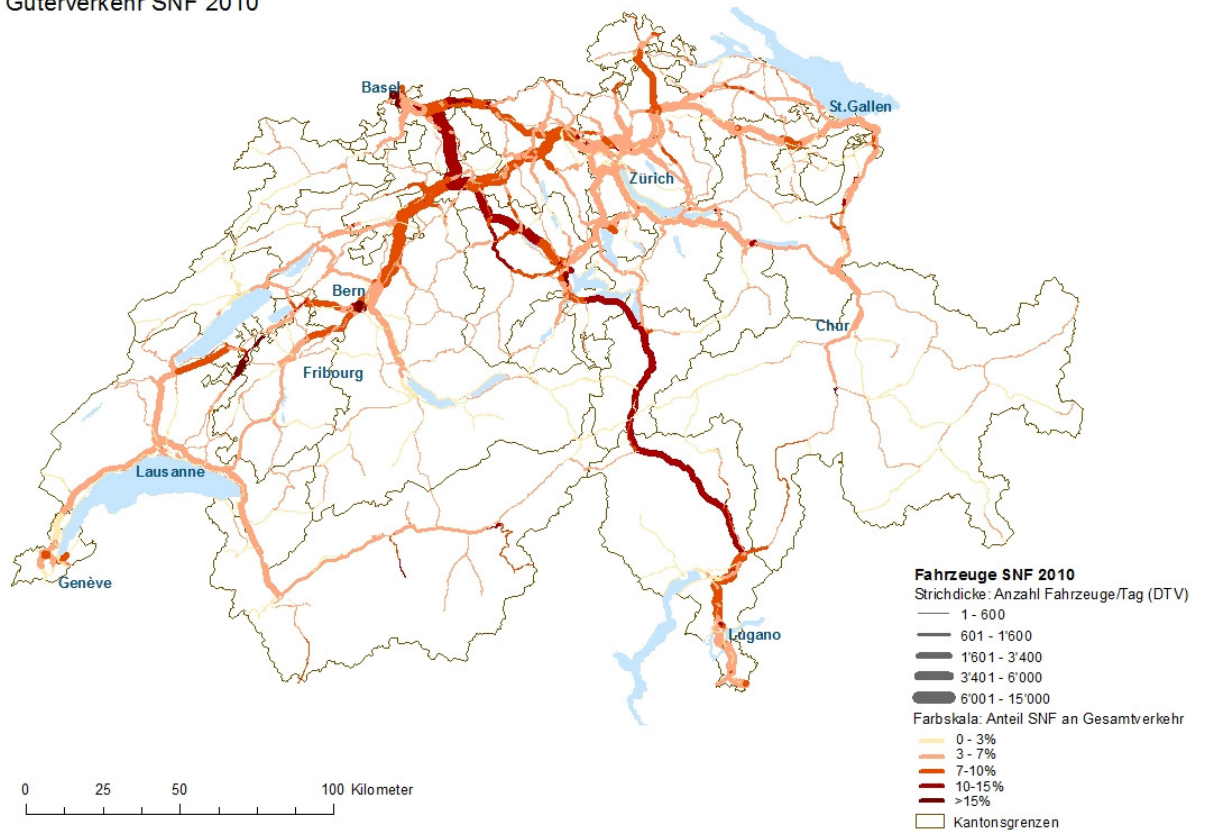


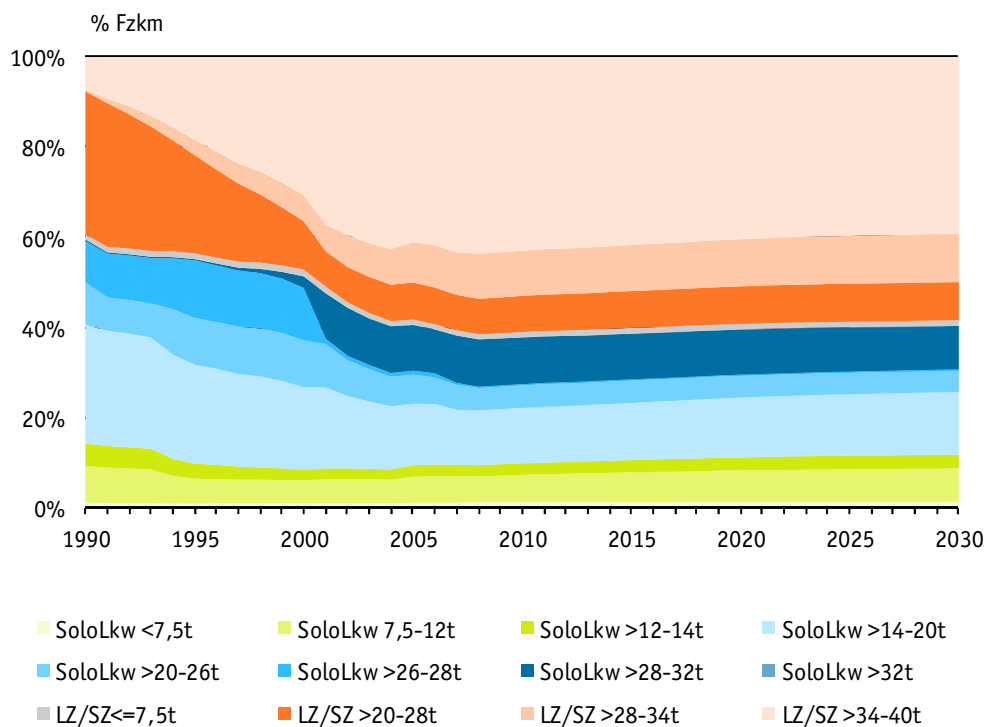
Abb. 2.5 Belastungen Strassennetz 2010 – Schwere Nutzfahrzeuge (SNF) und Gesamtverkehr. Quelle: VMUVEK und eigene Berechnungen

Flottenzusammensetzung

Für die Berechnung der Umweltauswirkungen (Luftschadstoff- und Lärmemissionen, Energieverbrauch) des Strassenverkehrs sind die Zusammensetzung der Fahrzeugflotte bezüglich Gewichtsklassen und Emissionsstufen respektive die Entwicklung derselben relevant. Untenstehende Abbildungen zeigen die Zusammensetzung der schweren Nutzfahrzeugflotte in der Schweiz nach Gewichtsklassen und Emissionsstufen: Die Ablösung der 28-t durch die 40-t-Limite und die Einführung der LSVa im Jahr 2001 haben die Gewichtsklassenverteilung der schweren Nutzfahrzeuge markant verändert. Seither und bis 2030 wird aber davon ausgegangen, dass sich die Grössenklassenverteilung weniger dynamisch entwickelt.

Anders dagegen die Flottenzusammensetzung nach Emissionsstufen: Die Einführung neuer Emissionsgrenzwerte (SNF: EURO IV ab 2005/06; EURO V ab 2008/09; EURO VI ab 2013/14; siehe Anhang IX) durchschnittlich alle 3-5 Jahre führt zu einer kontinuierlichen Erneuerung der SNF-Flotte. Heute (2010) entsprechen rund 50% der schweren Nutzfahrzeuge (fahrleistungsgewichtet) der EURO V-Stufe. Bis 2020 wird die Flotte aus knapp 90% EURO-V oder EURO-VI-Fahrzeugen bestehen.

Nach Gewichtsklassen



Nach EURO-Stufen

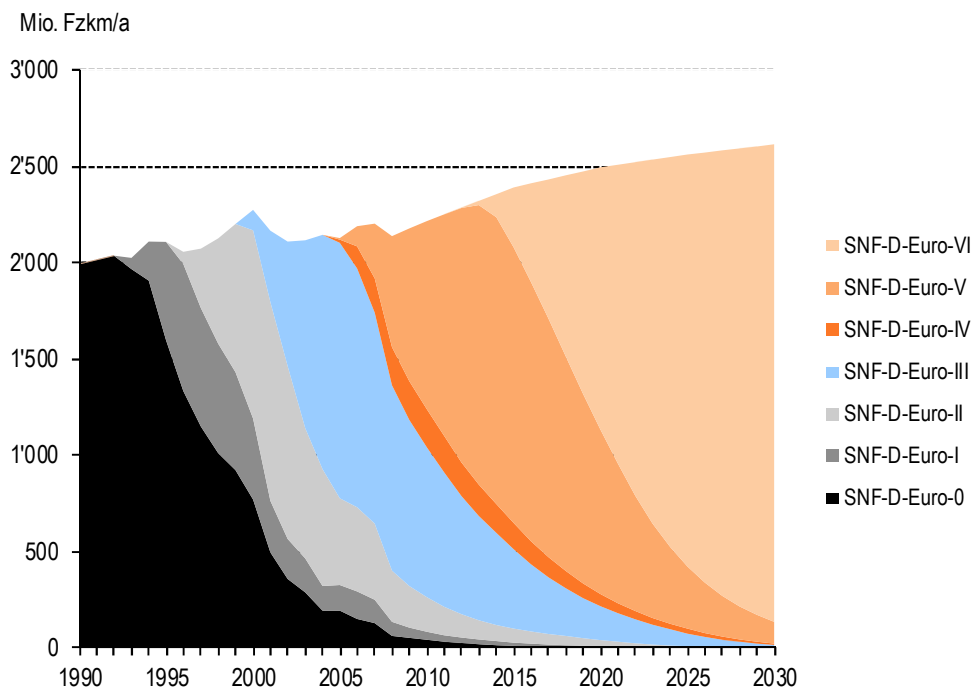


Abb. 2.6 Flottenzusammensetzung SNF 1990 bis 2030 (fahrleistungsgewichtet) – Gewichtsklassen und EURO-Stufen. Für die Referenzzustände Z0 und Z1 REF sind die Flottenzusammensetzung 2010 respektive 2020 relevant (Quelle: BAFU 2010). LZ/SZ = Lasten-/Sattelzüge, SoloLKW = Lastwagen.

2.2.2 Schienenverkehr

Nachfolgende Tabelle zeigt die Fahr- und Verkehrsleistungen des Schienenverkehrs für die Referenzzustände Z0 (2010) und Z1 (2020). Nebst den Fahrleistungen (Zugskilometer) sind auch die Verkehrsleistungen in Brutto-Tonnenkilometern (basierend auf dem Gewicht des gesamten Zugs inklusive Rollmaterial und Lokomotive) angegeben, da dies die für die nachfolgenden Energieberechnungen relevante Grösse darstellt (siehe Kapitel 2.3.3). Das Verkehrsmengengerüst der Schiene basiert auf den verkehrsstatistischen Angaben des Bundesamts für Statistik und Daten zu ausgewählten Netz-Querschnitten der SBB. Für die Prognose des bis 2020 wird die Entwicklung des Schienengüterverkehrs aus den Güterverkehrsperspektiven des ARE bzw. die aktuellen Planungsstände der Angebotsvarianten („ZEB neu“) des Personenverkehrs. Weitere Details zur Herleitung des Mengengerüsts Schienenverkehr sind in Anhang I beschrieben.

Die anschliessenden Berechnungen der Umweltauswirkungen des Schienenverkehrs basieren demnach auf einer Fahrleistung von rund 183 Mio. Zugkilometern für das Jahr 2010 resp. 209 Mio. Zugkilometern für das Jahr 2020. 2010 liegt eine Verkehrsleistung von rund 86.7 Milliarden Brutto-Tonnenkilometern zu Grunde. Bis 2020 steigen die Gesamtverkehrsleistungen auf der Schiene um rund 21%. Im Güterverkehr auf der Schiene beträgt das Wachstum von 2010 bis 2020 knapp 40%, nämlich von 20.1 Milliarden auf 27.8 Milliarden Brutto-Tonnenkilometern.

Der Güterverkehrsanteil an den Gesamtverkehrsleistungen erhöht sich von heute 23% auf rund 27% im Jahr 2020.

Abb. 2.7 Fahr- und Verkehrsleistungen Schiene nach Zugskategorien - Referenzzustände 2010/2010

Fahrleistungen in Mio. Zugkm/Jahr

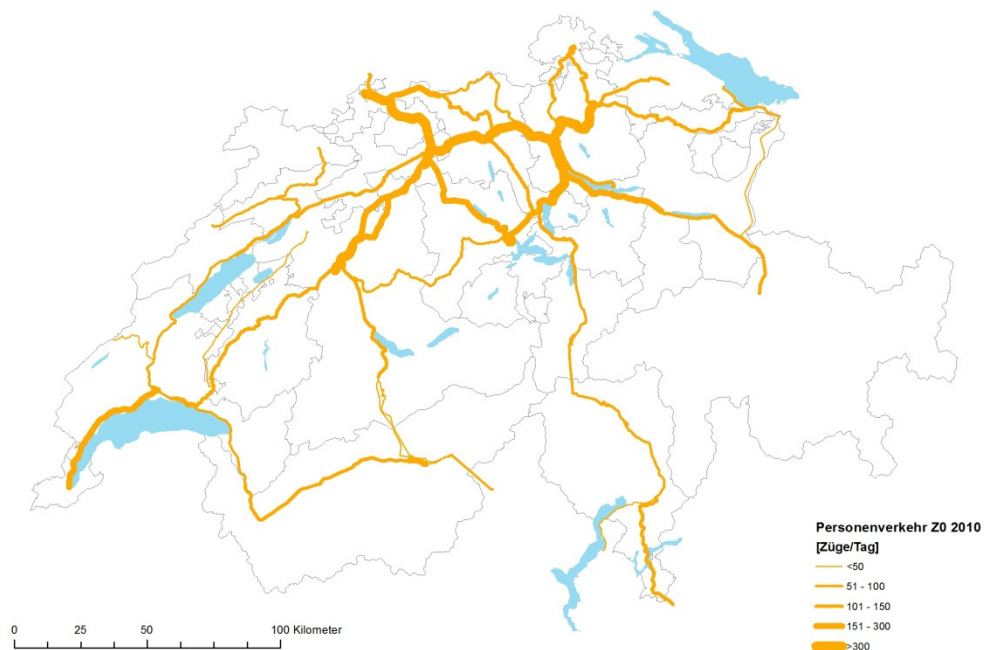
Zugskategorie	Z0 REF (2010)	Z1 REF (2020)
Personen-Fernverkehr	66.1	75.7
Personen-Regionalverkehr	116.6	133.6
Güterverkehr-international	17.4	23.3
Güterverkehr-national (inkl. Dienstzüge)	12.7	17.0
<i>Total Personenverkehr</i>	<i>182.6</i>	<i>209.4</i>
<i>Total Güterverkehr</i>	<i>30.1</i>	<i>40.3</i>
<i>Total Personen-/Güterverkehr</i>	<i>212.7</i>	<i>249.7</i>
<i>Anteil Güterverkehr am Total</i>	<i>14.1%</i>	<i>16.1%</i>

Verkehrsleistungen in Mio. Brutto-tkm/Jahr

Personen-Fernverkehr	33'030	39'923
Personen-Regionalverkehr	33'558	36'777
Güterverkehr-international	16'363	22'113
Güterverkehr-national (inkl. Dienstzüge)	3'695	5'697
<i>Total Personenverkehr</i>	<i>66'588</i>	<i>76'700</i>
<i>Total Güterverkehr</i>	<i>20'058</i>	<i>27'809</i>
<i>Total Personen-/Güterverkehr</i>	<i>86'646</i>	<i>104'509</i>
<i>Anteil Güterverkehr am Total</i>	<i>23.1%</i>	<i>26.6%</i>

Die folgenden Karten zeigen die Streckenbelastungen für den Referenzzustand Z0 (2010) auf dem im vorliegenden Forschungsprojekt verwendeten Modellnetz:

Personenverkehr



Güterverkehr

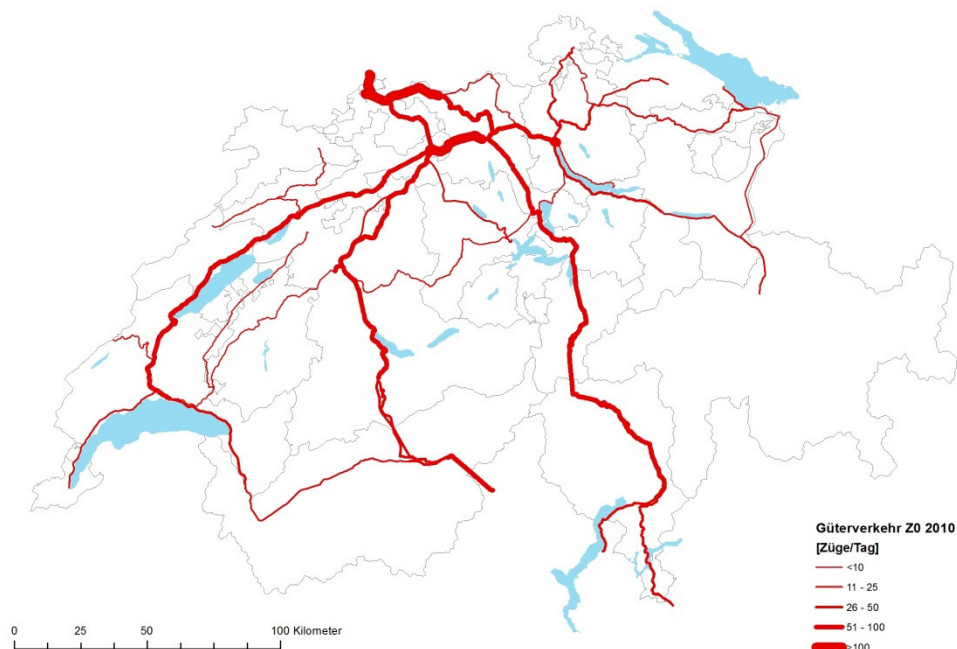


Abb. 2.8 Belastungen Schiene 2010 – Personen-/Güterverkehr. Quelle: SBB

2.3 Berechnungsmethoden Betriebsemissionen („Tank-To-Wheel“)

2.3.1 Übersicht Datengrundlagen

Die Quantifizierung der heutigen bzw. zukünftigen Umweltwirkungen des Güterverkehrs beruht auf folgenden Datengrundlagen:

- **Verkehrsmengengerüste:** Streckenspezifische Verkehrsbelastungen in Fahrzeugen/Zügen pro Abschnitt. Differenziert nach Schadstoff-/Energie-/Lärm-relevanten Kriterien. Die Beschreibungen und Eckwerte dazu sind in Kapitel 2.2 zu finden.
- **Emissions-/Verbrauchsfaktoren:** Spezifische Schadstoff-/Lärm-Emission in g/Fahrzeug-km, g/Tonnen-km bzw. dB/Fahrzeug, etc. Verbrauchsfaktoren in g/Fahrzeug-km bzw. Wh/Brutto-Tonnen-km, etc.
- **Ggf. Ausbreitungsmodelle Emissionen/Immissionen:** Räumlich differenzierte Modelle über die Ausbreitung der (Lärm)-Emissionen an Hand von Dämpfungsdaten, Wohnstandorte der Bevölkerung.

Die in diesem Projekt erarbeiteten Grundlagen basieren weitgehend auf einer Reihe von bestehenden Grundlagen und Vorarbeiten, wobei die Daten für die zu bearbeitenden Fragestellungen weiter entwickelt wurden. Zentral ist, dass mit den erarbeiteten Grundlagen und Modellansätzen nebst den Referenzzuständen in der Folge auch die Auswirkungen der Massnahmevarianten pragmatisch und effizient abgeschätzt werden können.

Folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die verwendeten Datengrundlagen nach Systemteilen:

Abb. 2.9 Übersicht Datengrundlagen

Strassenverkehr			
Element	Luftschadstoffe	Energie/CO2-Emissionen	Lärm
Verkehrsmengengerüst	VMUVEK (Basisjahr 2005) mit eigenen Ergänzungen (Fahrzeugkategorien und Hochrechnungen auf die im vorliegenden Projekt relevanten Referenzjahre)		
Emissionsfaktoren Betrieb (Tank-to-Wheel)		HBEFA 3.1	Lärmemissionsmodell TRANECAM
Emissionsfaktoren Vorprozesse (Well-to-Tank)		Ecoinvent, Version 2010	
Ausbreitungsmodelle			Ausbreitungs-Tool auf Basis Dämpfungsdaten aus SonBase GS1 (LCC/BAFU)
Schienenverkehr			
Verkehrsmengengerüst	Belastungsnetz Schiene auf Basis von SBB-Angaben (Querschnittsdaten)		SBB (auf Basis Emissionsplan 2015)
Emissionsfaktoren Betrieb (Tank-to-Wheel)	- PM10-Emissionen aus Abrieb (Bremsen, Fahrleitungen) auf Basis INFRAS 2007 - PM10 Rangierverkehr aus BAFU 2008	ecoinvent, MobiTool	SBB (auf Basis Emissionsplan 2015)
Emissionsfaktoren Vorprozesse (Well-to-Tank)		Ecoinvent, Version 2010	
Ausbreitungsmodelle			Ausbreitungs-Tool auf Basis Dämpfungsdaten aus SonBase GS1 (LCC/BAFU)

In den folgenden Abschnitten werden die methodischen Details der Berechnungen erläutert:

2.3.2 Luftschadstoffe

Strasse

Folgende **Arten von Luftschadstoffemissionen** können im Strassenverkehr unterschieden werden (siehe auch BAFU 2010):

- *Emissionen von Fahrzeugen mit Motoren im betriebswarmen Zustand („warme Emissionen“)*: Diese sind abhängig vom Fahrverhalten (z.B. Beschleunigung, Geschwindigkeit, etc.) und von der Längsneigung der befahrenen Strecke. Bei den schweren Güterfahrzeugen beeinflusst ausserdem das Gewicht des Fahrzeugs und die Auslastung die Emissionen und den Treibstoffverbrauch. Bei den PM10-Emissionen ist im Betrieb zudem zwischen Partikelemissionen aus dem Verbrennungsprozess (den sog. „Auspuff-PM10-Emissionen“) und den aus Abrieb und Aufwirbelung stammenden nicht-Auspuff-PM10-Emissionen zu unterscheiden. Während erstere durch Filtertechnologie und optimierte Verbrennungsprozesse gesteuert werden, sind letztere direkt von der Fahrleistung abhängig (siehe auch Kapitel 2.2.1). Die „warmen“ Emissionen können direkt einem bestimmten Streckenabschnitt zugewiesen werden.
- Nebst den „warmen“ Emissionen entstehen insbesondere bei benzinbetriebenen Fahrzeugen zusätzliche Emissionen beim Starten bei kaltem Motor und durch die Treibstoff-Verdampfung (als Kohlenwasserstoff-Emissionen). Diese entstehen diffus „in der Fläche“ und können nicht direkt einem Streckenabschnitt zugewiesen werden. Für dieselbetriebene Fahrzeuge – und somit für den Güterverkehr – spielen diese Vorgänge allerdings eine untergeordnete Rolle.

Die **Berechnungsmethodik** der Emissionen im Betrieb von Strassenfahrzeugen ist dieselbe, wie sie für die gesamtschweizerische Berechnung der Luftschadstoffe in BAFU 2010 verwendet wurde. Hier soll lediglich auf die wichtigsten methodischen Grundsätze eingegangen werden, zusätzliche methodische Details können im entsprechenden Bericht nachgelesen werden. Die Berechnungen der Strassenverkehrsemissionen basieren im Wesentlichen auf folgenden Grundlagen:

- Verkehrsaktivitäten, ausgedrückt als Fahrleistungen (Fahrzeug-Kilometer; Fzkm) oder Anzahl Startvorgänge (für Kaltstart-Emissionen); siehe Kapitel 2.2.
- Emissionsfaktoren, d.h. dem spezifischen Schadstoffausstoss pro gefahrenen Fahrzeugkilometer (ausgedrückt in g/Fzkm), siehe Anhang IV.
- Die Emissionen ergeben sich aus der Multiplikation der Fahrleistungen mit den jeweiligen Emissionsfaktoren ($\text{Emission} = \text{Aktivität} \cdot \text{Emissionsfaktor}$).

Fahrleistungen und Emissionsfaktoren werden bezüglich ihres Emissionsverhaltens in ähnliche, so genannte Fahrzeugschichten gegliedert. Eine Fahrzeugschicht umfasst sämtliche Fahrzeuge, die bezüglich Fahrzeugkategorie (Personenwagen, schwere Nutzfahrzeuge, Lieferwagen, etc.), Treibstoffart (Benzin, Diesel, etc.), Gewichtsklasse und Emissionsstufe (EURO-Stufe) gleiche Charakteristiken aufweisen. Sämtliche Fahrzeugschichten zusammen ergeben eine spezifische „Flottenzusammensetzung“.

Daneben werden die Aktivitäten (Fahrleistungen) den so genannten „Verkehrssituationen“ zugewiesen. Eine Verkehrssituation ist durch statische Parameter wie Strassenkategorie (Autobahn, Autostrasse, Hauptverkehrsstrasse, etc.), signalisierte Geschwindigkeit und Raumtyp (städtisch, ländlich) beschrieben. Zusätzlich wird der dynamische Parameter „Verkehrsqualität“ (oder „Level of Service LOS“) unterschieden. Sowohl die Aktivitätsdaten als auch die Emissionsfaktoren müssen also letztlich für diese feinste Gliederung (z.B. Personenwagen, Benzin-1.4-2l Hubraum-EURO5 auf Autobahn, 120 km/h, freier Verkehrsfluss) vorliegen.

Die **Betriebs-Emissionsfaktoren** (Well-to-Wheel) des Strassenverkehrs basieren auf dem Handbuch Emissionsfaktoren für den Strassenverkehr „HBEFA, Version 3.1“ (siehe auch BAFU 2010). Den darin enthaltenen Emissionsfaktoren liegen Emissionsmessungen an Fahrzeugen zugrunde, aus denen mit Hilfe von Modellen die Emissionsfaktoren für sämtliche Fahrzeugschicht/ Verkehrssituations-Kombinationen abgeleitet werden. Wo direkte Fahrzeugmessungen fehlen, z.B. für neue Emissionsstufen oder Antriebskonzepte, werden die Emissionsfaktoren über Absenkraten abgeschätzt, welche sich an den derzeit gültigen oder absehbaren Gesetzgebungen orientieren. Die spezifischen NO_x - Emissionen von EURO-V Fahrzeugen (schwere Nutzfahrzeugen) dürfen beispielsweise nur noch 40% der Emissionen von EURO-III-Fahrzeugen betragen, die spezifischen PM₁₀-Emissionen noch knapp 20% der EURO-III- Emissionen. Untenstehende Figur zeigt die Entwicklung der Luftschadstoff-Grenzwerte für schwere Motorwagen. Erreicht werden diese Absenkungen der spezifischen Emissionen durch verbesserte Motorentechnologie, effizientere Verbrennungsprozesse sowie Weiterentwicklungen von Filter- und Katalysatortechnologien.

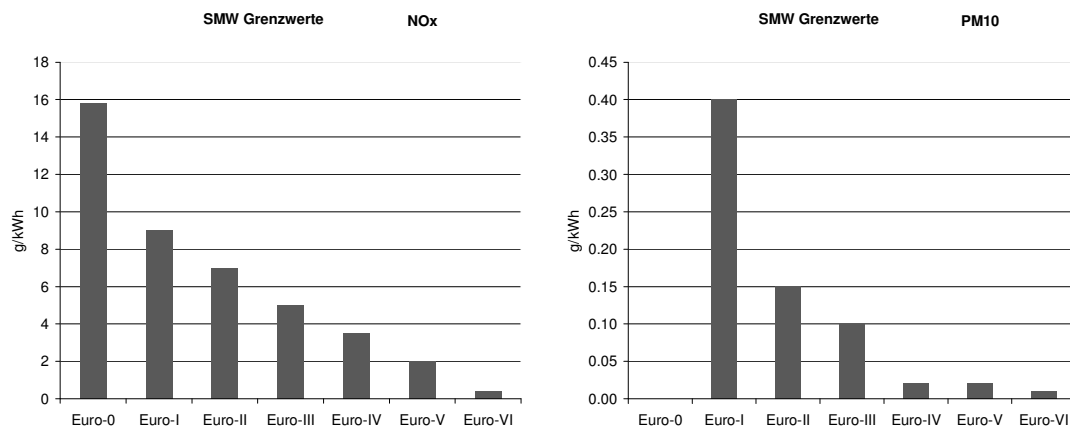


Abb. 2.10 Entwicklung der Abgas-Grenzwerte NO_x und PM₁₀ der schweren Motorwagen (SMW)

Die den im vorliegenden Projekt durchgeführten Luftschadstoff-Berechnungen zugrundeliegenden mittleren Emissionsfaktoren sind in Anhang IV aufgeführt.

Bei den Partikelemissionsfaktoren wird unterschieden zwischen den Emissionen, die durch den Verbrennungsprozess im Motor entstehen (Auspuff-Emissionen) und den Partikelemissionen, die durch Brems-/Reifenabrieb und Aufwirbelung entstehen (nicht-Auspuff-Emissionen). Während erstere durch motorentechnische Massnahmen und vor allem Filtersysteme beeinflusst werden können und somit von der eingesetzten Motorentechnologie abhängig sind (siehe auch Grenzwerte oben), sind die nicht-Auspuff-Emissionen direkt von der Fahrleistung abhängig. Ausserdem sind die nicht-Auspuff-Emissionen empirisch ungleich schwieriger zu erfassen als die Auspuff-Partikelemissionen, da sie von zahlreichen Faktoren (Bremsbeläge, Reifendruck, Fahrbahnbeschaffenheit, Witterung, etc.) abhängen. Die empirische Grundlage für die in Anhang IV aufgeführten nicht-Auspuff-Partikelemissionsfaktoren ist dementsprechend dünner. Trotz dieser Unsicherheiten wird davon ausgegangen, dass die durch Abrieb und Aufwirbelung entstandenen Partikelemissionsfaktoren ein deutlich höheres Niveau aufweisen als die Auspuff-Emissionsfaktoren. 2010 beträgt dieser Faktor (nicht-Auspuff/Auspuff-Emissionen) rund 1.6 bei den SNF und steigt bis 2020 auf Faktor 5.5 aufgrund der Absenkungen bei den Auspuff-Partikel-Emissionen.

Aus Sicht der Massnahmenplanung für die Luftreinhaltung stehen die Auspuff-PM₁₀-Emissionen klar im Vordergrund, da den PM₁₀-Emissionen aus dem Verbrennungsprozess auf Grund der kleineren (PM_{2.5}) Partikeldurchmesser deutlich höhere gesundheitsschädigende Wirkungen zugeschrieben werden als den „grösseren“ Staub-Partikeln aus Abrieb und Aufwirbelung. Je kleiner der Korndurchmesser der Feinstaub-Partikel, desto besser können die Teilchen in die Lunge und Blutbahnen von Lebewesen gelangen und so die Atemwege und das Herz-Kreislauf-System schädigen sowie zu Krebs führen.

Schiene

Der Schienenverkehr in der Schweiz erfolgt praktisch ausschliesslich mit elektrischer Traktion. Daneben werden beim Rangierbetrieb und teilweise auch für den Unterhalt Diesellokomotiven eingesetzt. Luftschadstoffemissionen im Schienenverkehrsbetrieb entstehen demnach bei folgenden Aktivitäten:

- NO_x - und Partikelemissionen beim Betrieb von nicht-elektrifiziertem Schienenverkehr (Diesel-Lokomotiven im Rangierbetrieb, Bauzüge).
- Partikelemissionen durch Abrieb an Bremsen, Rad, Schiene und Fahrleitungen im Fahrbetrieb.

Zu diesen beiden Aspekten sind in der Schweiz Studien verfasst worden: BAFU 2008 befasst sich u.a. mit dem Luftschadstoffen des Rangierbetriebs in der Schweiz. Die Partikelemissionen aus Abrieb wurden in INFRAS 2007 letztmals untersucht. Während in diesen Studien die Gesamtfracht der Emissionen quantifiziert und auch die Art der Partikelemissionen beschrieben werden konnte, liegen in diesen Arbeiten keine für die vorliegende Studie nutzbaren Emissionsfaktoren vor, mit deren Hilfe die räumliche Verteilung der Emissionsfrachten zuverlässig abgeschätzt werden könnten. Vielmehr wurde in INFRAS 2007 explizit auf zusätzlichen Forschungsbedarf bezüglich rollmaterialabhängigen Emissionsfaktoren und streckenweisen Verkehrsmengengerüsten für die Abschätzung der Partikelemissionen im Schienenverkehr hingewiesen. Da diesbezüglich keine neueren Erkenntnisse vorliegen, muss im Rahmen des vorliegenden Projekts auf eine Neuberechnung der Partikelemissionen verzichtet werden. Es werden aber die Gesamtfrachten (ohne räumliche Differenzierung) präsentiert. Weitere Details zu den Berechnungsmethoden sind direkt in den jeweiligen Berichten (BAFU 2008, INFRAS 2007) nachzuschlagen.

2.3.3 Energieverbrauch und CO₂

Strasse

Der Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen des Strassenverkehrs werden mit derselben Methode berechnet wie die Luftschadstoffe, d.h. die Aktivitäten (Fahrleistungen) werden mit den entsprechenden **Energie-Verbrauchsfaktoren** multipliziert. Diese sind wie die Luftschadstoff-Emissionsfaktoren Bestandteil des Handbuchs für Emissionsfaktoren HBEFA (siehe BAFU 2010). Sie beschreiben zunächst einmal den spezifischen Treibstoffverbrauch in g/km. Die CO₂-Emissionsfaktoren lassen sich direkt aus dem Treibstoffverbrauch ableiten, wobei allerdings der C-Gehalt des Treibstoffs variieren kann. So sinkt etwa bei steigendem Anteil an Bio-Treibstoffen der CO₂-Emissionsfaktor entsprechend ab. In der Schweiz spielen Bio-Treibstoffe (z.B. Biodiesel-Beimischungen) heute praktisch keine Rolle. Auch künftig sind kaum Regulierungen oder Anreizsysteme in Sicht, welche einen nennenswert steigenden Anteil an Bio-Treibstoffen erwarten liessen. Demzufolge wird hier unterstellt, dass der Umrechnungsfaktor (rund 3.15 kg CO₂/kg Treibstoff) heute wie auch in Zukunft gilt.

Für die **künftige Entwicklung** werden bei den Nutzfahrzeugen (wie auch in HBEFA) lediglich eine moderate Absenkung des spezifischen Verbrauchs und damit auch der spezifischen CO₂-Emissionsfaktoren unterstellt. Diese Absenkung bewegt sich zwischen 2010 und 2020 bei rund 0.5% pro Jahr für die schweren Nutzfahrzeuge. Wohl sinkt der spezifische Verbrauch aufgrund des technischen Fortschritts, zumal ein günstiger Treibstoffverbrauch ein wichtiges Argument im Wettbewerb der Hersteller ist. Gleichzeitig nimmt die spezifische Leistung innerhalb der gleichen Gewichtsklassen tendenziell zu, so dass sich kompensatorische Effekte einstellen.

Im Gegensatz zu den schweren Nutzfahrzeugen wurde der Treibstoffverbrauch im Bereich der Personenwagen bisher über freiwillige Vereinbarungen und Zielwerte beeinflusst. Die bisherigen Absenkraten betrugen bei den PW in den letzten Jahren zwar rund 3 bis 4%, über längere Zeit betrachtet lagen sie aber im Mittel bei rund 1.5% pro Jahr, weshalb in der vorliegenden Studie für die Personenwagen dieser Absenkpfad unterstellt wird (im Einklang mit dem Bericht BAFU 2010). Neu soll der Treibstoffverbrauch der PW mit verbindlichen Flottengrenzwerten stärker beeinflusst werden. So soll der heute bei

rund 160 g/km liegende mittlere CO₂-Ausstoss der Neuwagenflotte bis 2015 auf 130 g abgesenkt werden, und mittelfristig besteht die Absicht, diesen Wert noch weiter zu senken (z.B. 95 g CO₂/km bis 2020 oder 2025). Analoge Absichten bestehen auch für die leichten Nutzfahrzeuge: Hier sieht die EU einen Zielwert von 175 g CO₂/km für 2017 vor, und einen Wert von 147 g CO₂/km für 2020. In der Schweiz ist die Konkretisierung vergleichbarer Absichten noch weniger weit, weshalb für die vorliegende Studie (im Sinne der „business-as-usual“-Logik) keine entsprechenden Absenkungen unterstellt wurden.

Schiene

Der Endenergieverbrauch des Schienenverkehrs wird – ähnlich wie im Strassenverkehr – durch die Multiplikation von Aktivitätsdaten (Zugs- bzw. Brutto-Tonnenkilometer) und spezifischen Verbrauchsfaktoren berechnet. Relevante Bezugsgrösse der Aktivitätsdaten sind bei den Energieberechnungen die Brutto-Tonnenkilometer, d.h. die Verkehrsleistung inklusive Güter-/Personen- und Zugsgewicht (Wagen und Lokomotiven).

Die Datenlage hinsichtlich spezifischer Stromverbrauchsfaktoren für den Schienenverkehr ist im Vergleich zum Strassenverkehr weniger gut dokumentiert, da solche Untersuchungen primär betriebsinternen Zwecken dienen. Auch bestehen beim Bahnstromverbrauch gewisse Diskrepanzen in den statistischen Grundlagen (z.B. zwischen den Angaben des BFS bzw. des BAV und den Angaben in der Gesamtenergiestatistik). Bereits dieser Umstand lässt es wenig ratsam erscheinen, aus den statistischen Angaben über den Gesamtenergieverbrauch der Bahnen aggregierte Verbrauchsfaktoren herzuleiten. Sie wären überdies wenig differenziert, da keine Angaben zum Bahnstromverbrauch nach den einzelnen Zuggruppen (z.B. Personen-, Güterverkehr) vorliegen. Der Energieverbrauch der Bahnen wird deshalb auch mittels eines „bottom up“-Ansatz ermittelt. Dazu wurden von den SBB die in der nachstehenden Tabelle aufgeführten mittleren Verbrauchsfaktoren für das Jahr 2010 zur Verfügung gestellt⁷:

Abb. 2.11 Energiefaktoren Schiene in Wh/Brutto-t-km

Faktoren 2020: Mittlere Verbrauchsfaktoren mit reduziertem spezifischem Energieverbrauch wegen Gotthard-Basistunnel (Flachbahn)⁸

Zugskategorie	Z0 REF (2010)	Z1 REF (2020)
Personen-Fernverkehr	23.1	23.0
Personen-Regionalverkehr	39.4	39.2
Güterverkehr-international	22.6	20.7
Güterverkehr-national	34.7	34.5
Dienstzüge	39.7	38.4

2.3.4 Lärm

Lärmemissionen und -immissionen

Für die Berechnung der Lärmemissionen werden für den Strassen- und Schienenverkehr je unterschiedliche Modellansätze angewendet (Beschreibung siehe nächste Abschnitte). Auf der Basis der Lärmemissionen können anschliessend die Lärmimmissionen (Lärmpegel) an den Gebäuden bzw. deren Bewohnern berechnet werden.

Grundlage für die Immissionsberechnung sind die sog. Dämpfungstabellen aus dem Lärmmodell SonBase des BAFU (siehe BAFU 2009a und BAFU 2009b). SonBase ist eine umfassende Lärmdatenbank der Schweiz, die alle für die Analyse der Lärmsituation der Schweiz notwendigen Daten auf der Basis eines geografischen Informationssystems (GIS) gespeichert sind. SonBase enthält für die Lärmquellen Strasse-, Schienen- und

⁷ persönliche Mitteilung SBB (Hr. M. Halder, Bahn-Umwelt-Center, 20.12.2010).

⁸ Die Grundlagen für diese Berechnungen stammen aus Steinmann et al. 2009, wo die Energie-Minderverbräuche auf der Flachbahn-Strecke auf -50% bei UKV, ROLA- bzw. auf -30% bei Intercity- und Nahgüterzügen geschätzt werden. Aufgrund dieser Angaben und unter Berücksichtigung der kürzeren Streckenlängen ergeben sich für Z1 2010 auf der Gotthard-Strecke folgende Verbrauchsfaktoren: 20.3 Wh/Btkm (Personen-FV), 13.9 Wh/Btkm (Güterv. – international) und 30.5 Wh/Btkm (Güterv.-national).

Luftverkehr die für die Ausbreitung relevanten geografischen Informationen, namentlich die Verkehrsnetze, Geländedaten und Gebäudeobjekte. Die Ausbreitungsrechnung für Lärmemissionen ist komplex und zeitaufwendig, für die Berechnung einer grossen Fläche (z.B. die Schweiz) ist ein Serverpool von 15 PCs mehrere Wochen beschäftigt. Um trotzdem rasch Resultate für Lärmimmissionsanalysen bereitstellen zu können, werden in SonBase sogenannte „Dämpfungstabellen“ erstellt (siehe untenstehende Figur). Diese beschreiben für jedes in SonBase erfasste Gebäude die Dämpfung (Luftabsorption, Hinderniswirkung, Abstands-dämpfung und Reflexion) relativ zu einer bestimmten Emissionsquelle (Strassen- oder Schienenabschnitt), d.h. die Differenz zwischen Emissions-lärmpegel und Immissionslärmpegel am Immissionspunkt des Gebäudes. Während die Emissionen der Quellen in den einzelnen Varianten ändern, bleiben die Dämpfungen gleich, solange sich die Netzgeometrie, das Gelände oder die Gebäudegeometrien nicht ändern. So können mit Hilfe der Dämpfungstabellen verhältnismässig rasch zu verschiedenen Lärmemissionsvarianten die Lärmimmissionen berechnet werden.

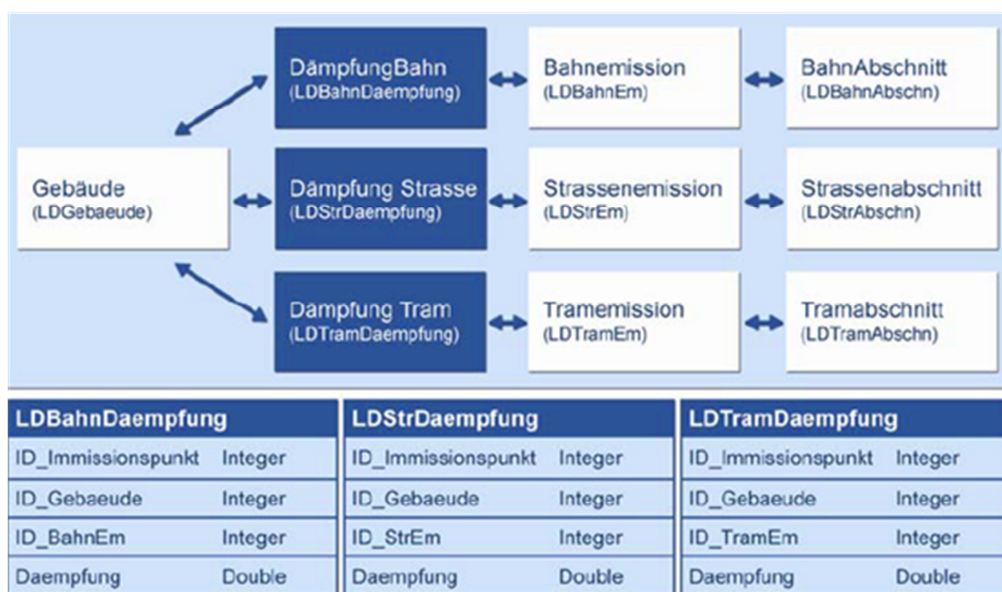


Abb. 2.12 Lärmimmissionsberechnungen SonBase – Systematik Dämpfungstabellen; Quelle: BAFU 2009a

Für das vorliegende Projekt wurde eigens ein Tool⁹ erstellt, mit dessen Hilfe aus den Lärmemissionen verschiedener Verkehrsvarianten über die Dämpfungstabellen aus SonBase die Lärmimmissionen ermittelt werden können. Als Input benötigt werden nebst den streckenspezifischen Lärmemissionen, die Dämpfungstabellen aus SonBase und die Attribute der Gebäudeobjekte (Einwohner pro Gebäude auf Basis der Volkszählungsdaten 2000, Empfindlichkeitsstufen gemäss LSV, siehe Anhang V). Das Tool führt mit diesen Eingangsdaten die folgenden Berechnungen durch:

- Zuweisung („Matching“) der Verkehrsnetze (Strasse und Schiene), die in vorliegendem Projekt verwendet wurden zu den SonBase-Netzen. Letztere bilden die Bezugseinheiten für die SonBase Dämpfungstabellen.
- Ermitteln der Schallpegel (Immissionen) an den einzelnen Objekten und Erstellen von Auswertungen (Hektarraster, Gebäudeimmissionen, Flächenstatistiken)

Mit den bestehenden Datengrundlagen kann für den Strassenverkehr der Beitrag des schweren Güterverkehrs an den Lärmimmissionen abgeschätzt werden. Dazu werden die Lärmimmissionen einmal für den Gesamtverkehr und einmal für den Gesamtverkehr ohne den schweren Güterverkehr ermittelt. Die Differenz entspricht – näherungsweise – dem Schwerverkehrs-Anteil. Dieser Ansatz entspricht quasi dem „worst case“ aus Sicht des Schwerverkehrs, da jedes zusätzliche Fahrzeug, das zu einer Lärm-Grenzwertüberschreitung führt, dem Schwerverkehr angerechnet wird. Die durch die übrigen Fahrzeuge verursachte Grundbelastung wird dabei nicht berücksichtigt.

⁹ Durch die Firma LCC, Zürich, welche ebenfalls die Entwicklung von SonBase betreut

Für den Schienenverkehr liegen die vorliegenden Emissionsgrundlagen (Differenzen zum Emissionsplan 2015) nicht differenziert genug vor für eine analoge Vorgehensweise. Der Anteil des Schienen-Güterverkehrs an den Lärmimmissionen kann daher lediglich qualitativ charakterisiert werden.

Lärmemissionen Strasse

Ähnlich wie für die Luftschadstoffe und den Energieverbrauch werden für die Berechnung der **Lärmemissionen** des Strassenverkehrs ebenfalls Aktivitätsdaten mit spezifischen Lärmemissionsfaktoren verknüpft und so die Lärmemissionen ermittelt. Die Lärmemissionen eines Fahrzeugs stammen aus zwei Quellen: Das Rollgeräusch der Reifen auf der Strassenoberfläche und der Antriebslärm, der beim Betrieb des Motors entsteht. Beides zusammen addiert ergibt die Gesamtemissionen eines Fahrzeugs.

Die Emissionsfaktoren (siehe Anhang V und Steven 2005) basieren auf umfangreichen Messungen des Fahrverhaltens von Fahrzeugen im realen Straßenverkehr (Geräuschmessungen an Fahrzeugstichproben). Aus den Messungen wurden funktionale Zusammenhänge zwischen Fahrgeschwindigkeit, Fahrbahndeckschicht und der Lärmemission (Rollgeräusch und Antriebsgeräusch) des Fahrzeugs abgeleitet.

Auf diesen Grundlagen baut das im vorliegenden Projekt eingesetzte Lärm-Emissionsmodell **TRANECAM** („Traffic Noise Emission Calculation Model“, siehe auch Steven 2005) auf. Dieses Modell wurde ursprünglich im Auftrag des Deutschen Umweltbundesamts entwickelt und später mit finanzieller Unterstützung der EU-Kommission (DG Research) und der Norwegischen Pollution Control Agency auf den neuesten Stand gebracht. Anstelle der in der Schweiz bisher gängigen, einfacheren Lärmmodelle (STL86 bzw. STL86+) wird TRANECAM im vorliegenden Forschungsprojekt aus folgenden Gründen verwendet:

- Differenzierung der Fahrzeugarten, ausgehend von ähnlichen Fahrzeugsegmenten, wie sie für die Luftschadstoffemissionsmodellierung verwendet werden.
- Abbildung von unterschiedlichen Fahrsituationen, wobei dieselben Situationen wie im Emissionsmodell HBEFA unterschieden werden (Geschwindigkeiten, Verkehrsqualität, Raumtyp, Steigung).
- Reifen-Fahrbahngeräusch und Antriebsgeräusch werden in TRANECAM separat berechnet und zum Gesamtgeräusch aufaddiert, so dass eine genauere Bestimmung der Wirkung von quellenbezogenen Massnahmen an Strassenbelag, Reifen, Motor und Antriebsstrang möglich ist.

Die Aktivitätsdaten (Fahrleistungen) sind dieselben, wie sie für die Luftschadstoff und Energieverbrauchsberechnung verwendet werden. Auch die Flottenzusammensetzungen (Fahrzeugalter, Gewicht, Antriebsart, etc.) sind aus der Luftschadstoff-Berechnung – in angepasster Form – auswertbar. Ausserdem müssen auf den Strassenabschnitten Annahmen über die Beschaffenheit des Strassenbelags¹⁰ getroffen werden.

Bei den Luftschadstoffen geben die Emissionsstufen (EURO-Stufen), respektive deren Absenkungsraten pro Luftschadstoff, Aufschluss über die Zusammenhänge des Fahrzeugalters und des Emissionsniveaus. Aus den geplanten, zukünftigen Emissionsstufen (mit Einführungsdatum) lässt sich ausserdem die zukünftige Emissionsentwicklung abschätzen. Beim Lärm gibt es diesbezüglich nichts Vergleichbares, wenngleich Bemühungen für die Absenkung der Lärmemissionsgrenzwerte für Reifen und Fahrzeuge auf Europäischer Ebene im Gange sind. Effektiv wurde aber die letzte Geräuschgrenzwertsenkung für Neufahrzeuge vor 16 Jahren vorgenommen (siehe Figur unten). Das Alter der Fahrzeuge hat so einen beschränkten Einfluss auf die Lärmemissionen, lediglich bei sehr alten Fahrzeugen ist noch mit deutlich höheren Lärmemissionen zu rechnen.

¹⁰ Für die Referenzzustände Z0 (2010) und Z1 (2020) wird – mangels detaillierter streckenspezifischer Angaben – mit dem Standardbelag (Splittmastixasphalt, „stone mastic asphalt 0/11“) aus TRANECAM gerechnet.

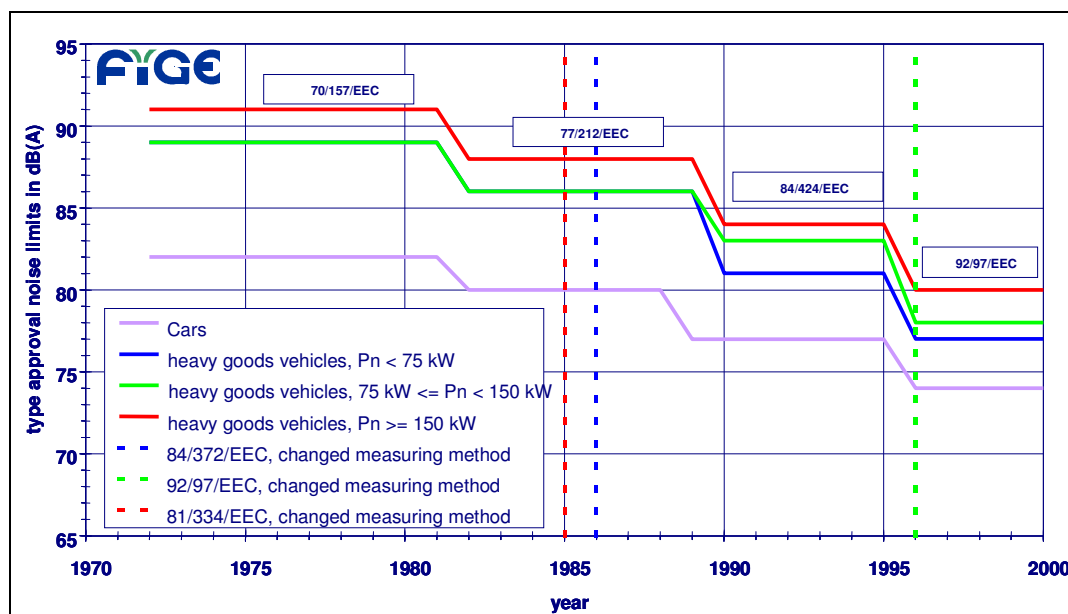


Abb. 2.13 Geräuschgrenzwerte (und entsprechende Richtlinien) in der EU für verschiedene Fahrzeugkategorien

In der Lärmschutzverordnung der Schweiz (LSV)¹¹ sieht ausserdem vor, dass für den Strassenverkehr Lärmpegelkorrekturen (Emissionen) für wenig befahrene Strassenabschnitte (weniger als 100 Fahrzeuge/h) in Abzug gebracht werden, siehe untenstehende Figur. Je nach Belastung werden vom berechneten Lärmemissionspegel 0 bis 5 dB(A) subtrahiert:

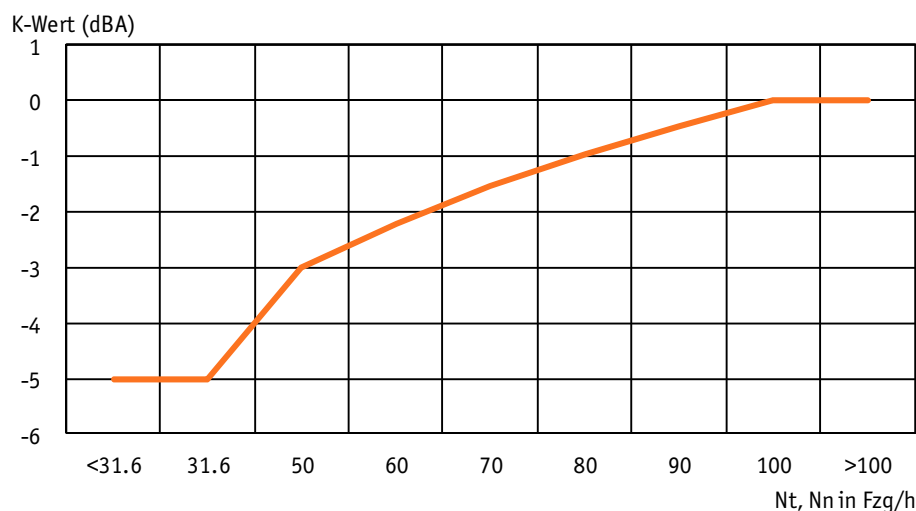


Abb. 2.14 Lärm-Pegelkorrekturen gemäss LSV – Strassenverkehr; Quelle: LSV; K-Wert: Korrekturwert zum Lärmemissionspegel, Nt, Nn: Mittlerer stündlicher Verkehr tags (t) bzw. nachts (n)

Der Beitrag des Güterverkehrs an den Lärmemissionen ist in untenstehender Figur illustrativ für zwei Strassentypen (Autobahn und Hauptverkehrsstrasse) dargestellt. Daraus wird klar, dass emissionsseitig der Anteil an den Lärmemissionen für schwere Nutzfahrzeuge überproportional hoch ist: Der Lärmanteil des Schwerverkehrs ist rund 7 Mal höher als sein Anteil an der Fahrleistung auf einer typischen Hauptverkehrsstrasse. Auf Autobahnen ist dieses Verhältnis kleiner: Die Lärmemissionen machen bei 4% Verkehrsanteil

¹¹ Lärmschutz-Verordnung vom 15. Dezember 1986 (LSV), SR 814.41

rund 11% aus, ist also lediglich um den Faktor 2.7 höher. Diese Verhältnisse können je nach Strassenabschnitt in Abhängigkeit der Verkehrssituation (unterschiedliche Stopp+Go-Anteile bei höheren Belastungen, verschiedene Geschwindigkeiten, etc.) variieren.

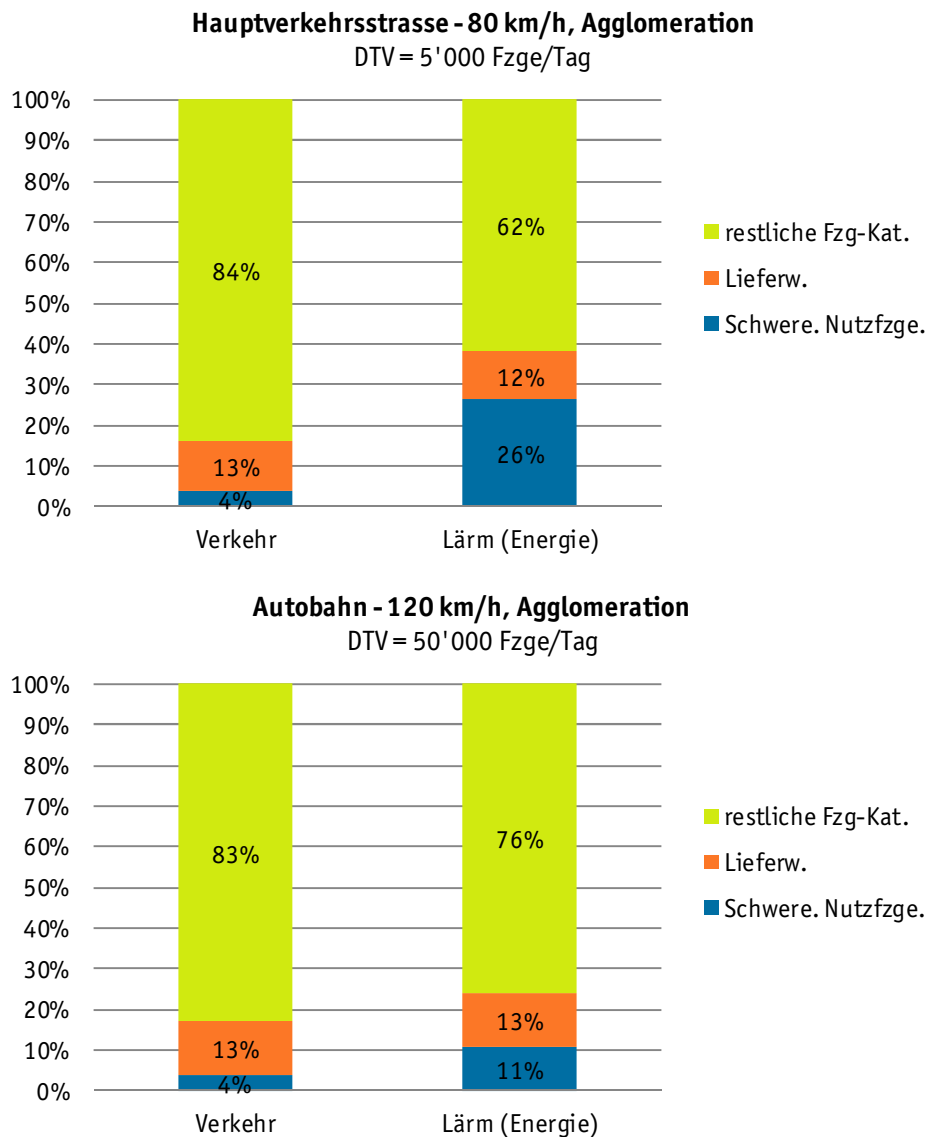


Abb. 2.15 Lärmemissionen – Beitrag Güterverkehr; Quelle: eigene Berechnungen aus Modell TRANECAM

Letztlich stellt sich für die Ausbreitungsrechnung der Lärmemissionen die Frage, um wie viel der Schallpegel reduziert wird, wenn sich der Anteil schwerer Nutzfahrzeuge auf einem Strassenabschnitt verändert. Untenstehende Tabelle zeigt die Lärmpegelreduktion bei einer Halbierung des Schwerverkehrs auf einem beispielhaften Autobahnabschnitt. Obwohl sich der Lärmpegel des Schwerverkehrs um rund 3 dB(A) verringert, ist der Effekt von -0.5 dB(A) auf den Lärmpegel des Gesamtverkehrs relativ bescheiden. Dabei weist der betrachtete Abschnitt mit rund 10% einen verhältnismässig hohen Schwerverkehrsanteil auf, typisch z.B. für die Alpentransitachse Basel-Chiasso. Auf Abschnitten mit geringeren Schwerverkehrsanteilen ist der Effekt geringer.

Abb. 2.16 Lärmpegel bei unterschiedlichen Verkehrsbelastungen, schwere Nutzfahrzeuge (SNF)

Beispiel Autobahn, 120 km/h, Agglomeration, DTV = 50'000 Fahrzeuge/Tag

Fahrzeugkategorie	Verkehr [Fzg/h]		Lärmenergie [kW/m ²]		Lärmpegel [dB(A)]	
	Basis	50% SNF	Basis	50% SNF	Basis	50% SNF
Schwere Nutzfahrzeuge (SNF)	280	140	7'140	3'570	68.5	65.5
Lieferwagen	340	340	3'200	3'200	65.1	65.1
Rest	2'150	2'150	18'150	18'150	72.6	72.6
Total	2'770	2'630	28'490	24'920	74.5	74.0
SNF-Anteil	10%	5%	25%	14%	-	-

Lärmemissionen Schiene

Für die Lärmmentstehung bei Zugsfahrten sind verschiedene Quellen verantwortlich: Lärm durch Motor- und Lüftergeräusche der Lokomotiven, Dröhngeräusche von Hohlräumen und Membranen sowie von Stahlbrücken, Schlagen loser Teile der Waggonen bzw. der Ladung, etc. Als Sonderfall seien auch die Erschütterungen erwähnt, die durch vorbeifahrende Züge verursacht werden. Hauptlärmquelle bei den in der Schweiz vorherrschenden Geschwindigkeiten stellt jedoch das Rollgeräusch bei der Durchfahrt eines Zuges dar, das durch Schwingungen der Räder und Schienen verursacht wird. Diese Schwingungen werden durch Rauheiten der Räder und der Schienen erzeugt. Auf diese Lärmart konzentrieren sich die Betrachtungen in vorliegender Forschungsarbeit.

Dieser Lärm kann durch Massnahmen an der Quelle, d.h. dem Rollmaterial, vermindert werden, indem z.B. anstelle der herkömmlichen so genannten „Grauguss-Bremsen“ moderne Scheibenbremsen oder Bremssohlen aus Verbundstoffen eingesetzt werden. Die Grauguss-Bremsen drücken direkt auf die Radfläche, rauen diese dabei bei jedem Abbremsen auf. Dadurch wird die sogenannte „Riffelbildung“ (kleine, regelmässige, wellenförmige Unebenheiten) an der Schiene begünstigt. Diese Riffel sind massgeblich für den Schienenlärm verantwortlich. Moderne Scheiben- oder Verbundstoff-Bremsen wirken diesem Prozess entgegen, indem die Laufräder beim Bremsen weniger stark (Verbundstoffbremsen) bzw. gar nicht (Scheibenbremsen) beansprucht werden.

Bei der Zulassung von neuen, umgebauten oder modernisierten Fahrzeugen werden die Lärmemissionen des Rollmaterials mit der europäischen Richtlinie „TSI Noise“ unter klar definierten Messbedingungen und bei verschiedenen Betriebszuständen überprüft. Für eine Zulassung dürfen sie die festgelegten Schallemissionsgrenzwerte nicht überschreiten. Rollmaterial, welches diese Grenzwerte einhält, darf betreffend Fahrlärm als „lärmarm“ betrachtet werden. Der Anteil des mit Scheiben- oder Verbundstoffbremsen sanierten Rollmaterials bestimmt das Niveau der Lärmemissionen auf einem Schienenabschnitt. Da das Rollmaterial oft eine sehr hohe Lebensdauer aufweist (teilweise über 40 Jahre), dauert eine komplette Erneuerung des Fuhrparks und damit die Abkehr von lärmtechnisch ungeeignetem Rollmaterial insbesondere im Güterverkehr relativ lange. Während die Lärmsanierung des Rollmaterials der SBB bereits weit fortgeschritten ist (97% der Reisezugwagen und der Grossteil der eigenen Güterwagen), verkehren auf den Transitachsen zum mehrheitlich mit Graugussbremsen ausgerüstete ausländische Güterwagen.

Die Schienenrauheit kann lokal sehr unterschiedlich ausfallen und ist oft nur über wenige zehn Meter vergleichbar. Grenzwerte im Sinne der Akustik existieren nur für die Abnahmemessungen von Rollmaterial und nicht für normale Betriebsgleise. Die genauen Ursachen der Rauheitsunterschiede sind noch wenig erforscht. Generell konnte aber festgestellt werden, dass die Schienen in der Schweiz verhältnismässig glatt sind und nur an wenigen Orten deutlich mehr Lärm aufgrund von erhöhter Schienenrauheit auftritt. Zurzeit werden in der Schweiz Schienen zwar regelmässig geschliffen, jedoch nicht aus Gründen der Akustik, sondern um grösseren Schäden der Fahrbahn vorzubeugen. Akustisches Schleifen ist als mögliche Lärmschutzmassnahme im Gespräch, aber noch nicht umsetzungsreif. An vielen Stellen im Bahnnetz wäre der Nutzen nur marginal.

Die Berechnungen der Lärmemissionen beruhen auf dem empirischen Lärmemissionsmodell SEMIBEL (BUWAL 1990), die Emissionen werden von SBB berechnet. In diesem Modell werden die Sanierungsquoten des Rollmaterials abgebildet. Operationell liefern die Berechnungen der SBB keine absoluten Lärmemissionswerte für die betrachteten Varianten und Massnahmen, sondern lediglich die Emissionsdifferenzen zum sogenannten „Emissionsplan 2015“, den die SBB zusammen mit dem BAV erarbeitet hat. Die Aufteilung der Lärmemissionen nach Güter- und Personenverkehr ist daher nur qualitativ möglich, auf eine separate Immissionsmodellierung des Güterverkehrs muss daher verzichtet werden.

Daneben berücksichtigen die Berechnungen – ähnlich wie beim Strassenverkehrslärm – eine Lärmpegelkorrektur (siehe Figur unten). Anders als bei der Strasse liegt diese Pegelkorrektur unabhängig vom Verkehrsaufkommen bei mindestens -5 dB(A) und kann in Abhängigkeit des Aufkommens bis -15 dB(A) betragen. Dieser sogenannte „Schienenbonus“ ist nicht unumstritten. Er wird damit gerechtfertigt, dass der Schienenlärm gegenüber dem Strassenverkehrslärm weniger lästig sei. Diese Argumentation wurde aber in jüngster Zeit in Frage gestellt. Es ist unschwer zu prognostizieren, dass eine allfällige Aufgabe des Schienenbonus gravierende Konsequenzen hätte in dem Sinne, als dass der Sanierungsbedarf massiv ansteigen würde.

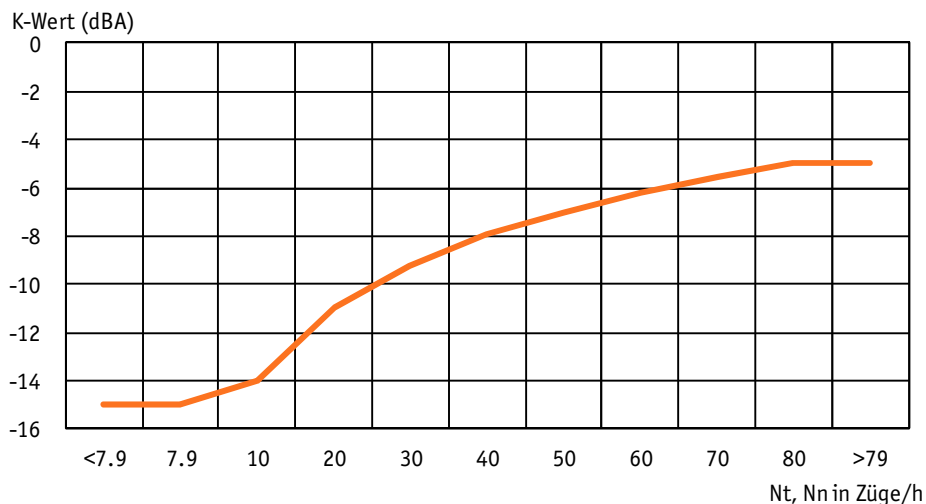


Abb. 2.17 Lärm-Pegelkorrekturen gemäss LSV – Schienenverkehr; Quelle: LSV; K-Wert: Korrekturwert zum Lärmemissionspegel, Nt, Nn: Mittlerer stündlicher Verkehr tags (t) bzw. nachts (n)

2.4 Berechnungsmethoden Emissionen der Energiebereitstellung („Well-to-Tank“)

Aus den Berechnungen der Energieverbräuche im Betrieb gemäss Kapitel 2.3.3 liegen die Endenergieverbräuche für den Strassen- und den Schienenverkehr vor, nach Energieträger (Benzin, Diesel, Strom, etc.). Darauf basierend können die zusätzlichen Emissionen ermittelt werden, die bei der Energiebereitstellung und -transport entstehen.

Die Lifecycle-Datenbank ecoinvent (siehe Ecoinvent 2009) enthält die Vorprozess-Emissionsfaktoren (pro kg Benzin, Diesel, kWh Strom, etc.), welche die Grundlage für die Berechnungen in dieser Studie bilden. Die Well-to-Tank-Emissionsfaktoren sind in Anhang VI angegeben.

2.4.1 Strasse

Untenstehende Figur gibt eine Übersicht über die Verhältnisse zwischen Betriebs- und Vorprozess-Emissions- und Energiefaktoren im Strassenverkehr. Je nach Schadstoff und Fahrzeugkategorie/Treibstoffart sind die Anteile der Vorprozess-Emissionen pro gefahrenen Kilometer unterschiedlich. Während bei den Partikel-Emissionen bei den Benzin-PW die Vorprozess-Emissionen gut 80% der Gesamtemissionen pro Kilometer ausmachen, sind es bei den Diesel-PW lediglich knapp 30%. Die Energie, die für die Bereitstellung (Vorprozess: Produktion und Transport) der Treibstoffe aufgewendet werden muss, macht rund einen Viertel des gesamten Primärenergieverbrauchs aus.

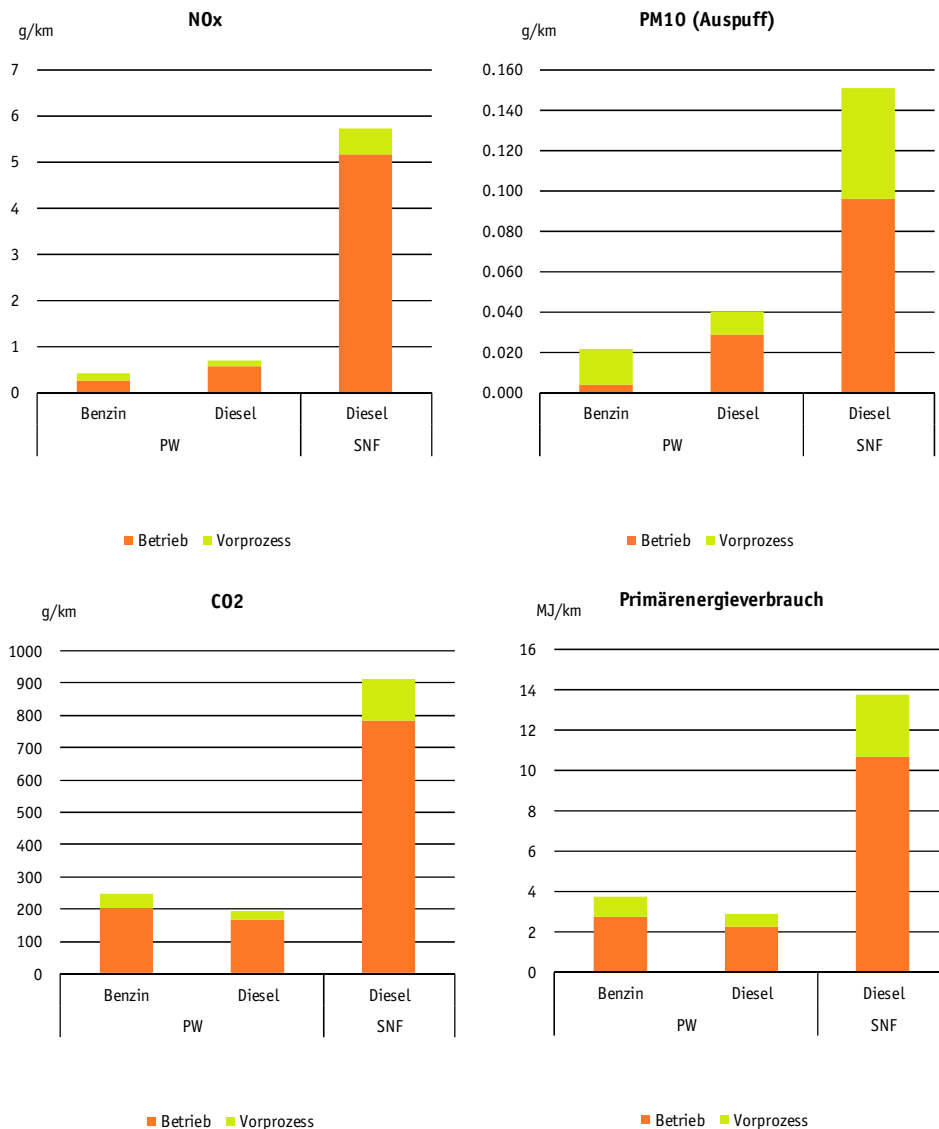


Abb. 2.18 Emissions- und Energiefaktoren Vorprozesse Strasse; Quelle: BAFU 2010 und Ecoinvent 2010

2.4.2 Schiene

Entscheidend bei der Bewertung der Vorprozess-Emissionen ist beim Schienenverkehr die Art der Stromproduktion („Strom-Mix“). Untenstehende Figur zeigt das Verhältnis zwischen End- und Vorprozess-Energieverbrauch bzw. die CO₂-Emissionen für die Produktion eines MJ elektrischer Energie, unterschieden werden dabei zwei Arten der Stromproduktion: Der zu drei Vierteln auf Wasserkraft und zu einem Viertel auf Nuklearenergie basierende Produktionsmix der SBB (Hochspannung) und der durchschnittliche europäische Produktionsmix (UCTE-Mix, Hochspannung, ca. 50% fossiler Anteil). Beim Ver-

gleich des Energieaufwands für die Produktion einer Einheit elektrischen Stroms wird klar, dass das europäische Strommix einen rund 1.7 fach tieferen Wirkungsgrad aufweist als die SBB Stromerzeugung, d.h. für die Produktion 1 MJ elektrischer Energie werden im SBB Strommix rund 1.8 MJ Energie aufgewendet, beim europäischen Strommix sind es rund 3.1 MJ.

Noch deutlicher sind die Unterschiede zwischen den beiden Erzeugungsarten wenn die CO₂-Emissionen verglichen werden. Die hohen thermisch-fossilen Anteile (Kohle, Erdgas, etc.) in der europäischen Stromproduktion sind eindeutig. Für die Erzeugung 1 MJ Strom entstehen bei der SBB rund 35 g CO₂, der europäische Strommix weist einen rund 50-mal höheren Wert auf (1800 g CO₂/MJ).

Diese Grössenordnungen beziehen sich auf das Jahr 2010. In der vorliegenden Forschungsarbeit werden aber ausserdem Abschätzungen für das Jahr 2020 gemacht. Für den Schweizer Bahnstrommix wird von keinen namhaften Veränderungen in der Zusammensetzung in den nächsten zehn Jahren ausgegangen. Beim UCTE-Mix befassen sich verschiedene Studien (IEA 2010, EU 2010, etc.) mit der zukünftigen Zusammensetzung des Europäischen Strommixes. Darin werden Szenarien betrachtet, die alle von einem steigenden Anteil an erneuerbaren Energien ausgehen. In der Folge sinken die CO₂-Emissionen des UCTE-Mix ab, je nach Szenario um 30-50%. Die Differenz zwischen den CO₂-Emissionen aus dem Schweizer Bahnstrommix dürfte sich so zwar verringern, das UCTE-Mix weist aber immer noch deutlich höhere CO₂-Emissionen auf.

Es stellt sich die Frage, welches Stromproduktionsart beim Schienenverkehr unterstellt werden soll für die Beurteilung der Umweltauswirkungen. Diese Frage wird vereinzelt unter Experten kontrovers diskutiert, wobei man sich einig ist, dass kurzfristig das Schweizer Bahnsystem nicht frei ist in der Wahl des Strombezugs, da das Bahnstromnetz technisch eigenständig aufgebaut und nicht mit dem restlichen Stromnetz verbunden ist. Über die längerfristigen Entwicklungen besteht aber weniger Konsens. Diese Fragestellungen sollen und können an dieser Stelle nicht diskutiert werden. In vorliegender Studie wird für die Berechnung der Vorprozess-Emissionen des Bahnstroms im Referenzfall das SBB-Strommix unterstellt. Als Sensitivitätsrechnung werden daneben die Schadstoff-Emissionen präsentiert, unter Annahme, dass der Strom aus dem mittleren europäischen Kraftwerkpark stammt (UCTE-Mix).

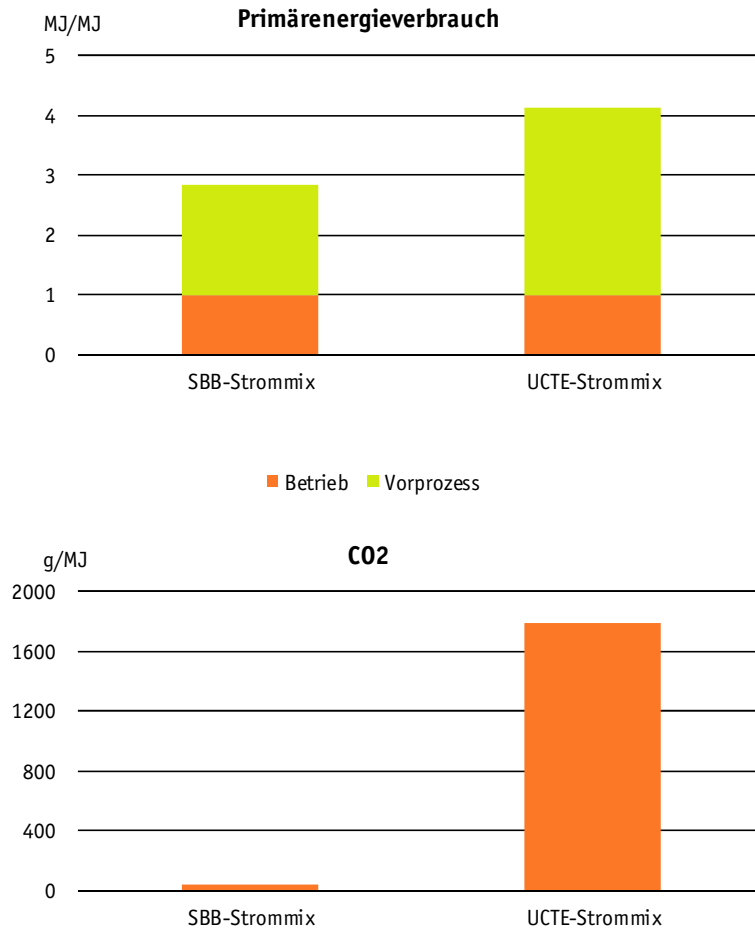


Abb. 2.19 Emissions- und Energiefaktoren Vorprozesse Strom (Schiene); Quelle: Ecoinvent 2010

3 Resultate 2010 (Z0) und 2020/2030 (Z1, Z2)

In den nachfolgenden Kapiteln werden die Ergebnisse der Berechnungen der Umweltauswirkungen in den Referenzzuständen Z0-REF (2010) und Z1-REF (2020) dargestellt.

In Z1-REF (2010) wird der heutige Zustand bezüglich Fahrleistungen auf Strasse und Schiene unterstellt. Dasselbe gilt für die Flottenzusammensetzungen (EURO-Stufen, Treibstoffarten und Grössenklassen) der Strassenfahrzeuge. Für das Schienenrollmaterial ist der heutige Sanierungsstand bezüglich Scheiben-/Verbundstoffbremsen (lärmrelevante Einflussgrösse) massgebend. In den zukünftigen Referenzzuständen Z1-REF (2020) und Z2-REF (2030) werden die heute absehbaren Entwicklungen (i.S. von „business as usual“) bezüglich Fahrleistungsentwicklung und Flottenzusammensetzungen Strassenverkehr bzw. Sanierungsstand Schienenrollmaterial unterstellt. Weitere Details zu den Annahmen in den Referenzzuständen sind in Kapitel 2.2 nachzuschlagen.

Der Fokus liegt auf den beim Betrieb der Verkehrsmittel anfallenden Auswirkungen („Tank-to-Wheel“). Diese Auswirkungen können räumlich aufgelöst dargestellt werden und stehen letztlich auch im Vordergrund, wenn es um die Beurteilung von Massnahmen (Teil II des Berichts) geht. Auf die Emissionen aus der Energiebereitstellung (Vorprozess-Emissionen, „Well-to-Tank“) wird in Kapitel 3.4 separat eingegangen.

3.1 Luftschadstoffe

3.1.1 Strasse

Stickoxide (NO_x)

Nachfolgende Figur zeigt die NO_x-Emissionsfrachten des Strassenverkehrs in der Schweiz für die Jahre 2010, 2020 und 2030 (die Daten dazu sind in Anhang VII einsehbar).

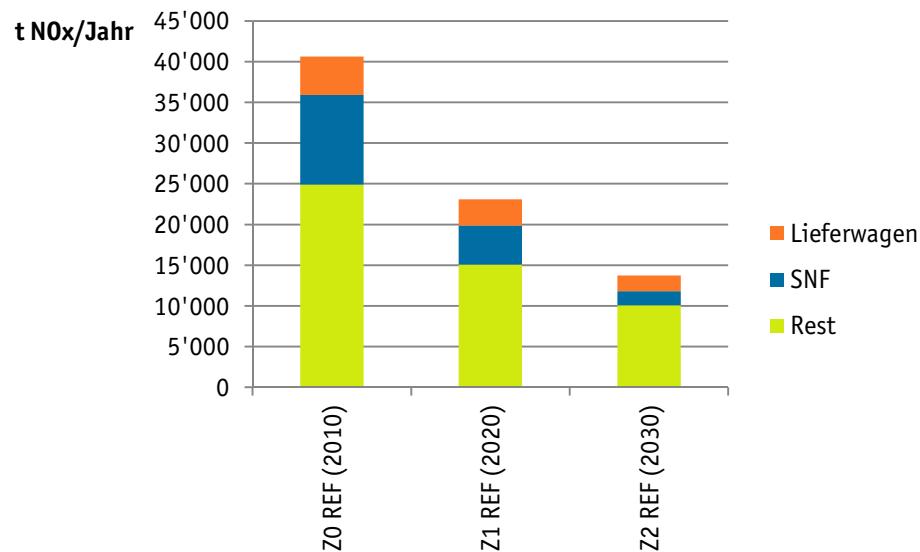


Abb. 3.20 NO_x-Emissionen Strasse – 2010 bis 2030 – im Betrieb („Tank-to-wheel“); „SNF“ = schwere Nutzfahrzeuge; „Rest“ = Personenwagen, Busse und Motorräder

Insgesamt emittiert der schwere Güterverkehr 2010 rund 11'000 t NO_x pro Jahr, die Lieferwagen zusätzlich rund 4'700 t. Es wird erwartet, dass sich der bereits seit den 1990er Jahren eingesetzte Trend fortsetzt und die Emissionsfracht des Güterverkehrs bis 2020 ungefähr halbieren wird, dies trotz gleichzeitiger Zunahme der Fahrleistungen um ca. 12%. Eine weitere Halbierung der NO_x-Emissionen wird zwischen 2020 und 2030 erwartet. Erreicht werden diese Entwicklungen durch die gesetzlichen Vorschriften (Grenzwerte), die bei den leichten Motorwagen zu Beginn der 80er Jahre und bei den schweren Motorwagen Ende der 80er Jahre eingeführt wurden. Um die Grenzwerte einhalten zu können, entwickeln die Fahrzeughersteller die Motoren- und Filtertechnologie stetig weiter, was letztlich zu den beobachteten Emissionsentwicklungen führt.

Der Anteil des schweren Güterverkehrs an den gesamten NO_x-Strassenverkehrsemissionen liegt 2010 bei rund 24%, ist also im Vergleich zum den Fahrleistungsanteil der schweren Nutzfahrzeuge überproportional hoch. Grund dafür sind die höheren spezifischen Emissionen der Dieselfahrzeuge. Bis im Jahr 2020 sinkt der Schwerverkehrsanteil an den gesamten NO_x-Emissionen auf rund 19% ab, bis 2030 auf 13%.

Untenstehende Tabelle zeigt die Entwicklung der NO_x-Emissionen auf den **alpenquerenden Achsen**. Auf den Nord-Süd-Achsen entsteht rund ein Drittel der gesamtschweizerischen NO_x-Emissionen des Schwerverkehrs, allerdings lediglich 17% des restlichen Verkehrs. Die Entwicklung von heute bis Z1 2020 auf den alpenquerenden Achsen folgt dem gesamtschweizerischen Trend: Die NO_x-Emissionen des Schwerverkehrs werden sich in den nächsten 10 Jahren um gut die Hälfte, diejenigen des übrigen Verkehrs um rund ein Drittel reduzieren.

Abb. 3.21 NO_x-Emissionen und Fahrleistungen nach Achsen – Z0 REF und Z1 REF

Achse	Z0 REF 2010		Z1 REF 2020		Diff. zu Z0 REF	
	Schwe-re Nutz-fahr-zeuge (SNF)	Rest	Schwe-re Nutz-fahr-zeuge (SNF)	Rest	Schwe-re Nutz-fahr-zeuge (SNF)	Rest
NO_x -Emissionen in t/Jahr (Betrieb TTW)						
Basel-Chiasso (Gotthard)	1'806	1'920	711	1'259	-61%	-34%
St. Margrethen-Chiasso (San Bernardino)	527	1'019	203	666	-61%	-35%
Basel/Genf - Grenze IT (Gd. St. Bernhard/Simplon)	1'785	3'104	733	2'085	-59%	-33%
Total Nord-Süd-Achsen	3'364	5'167	1'345	3'427	-60%	-34%
<i>Total Schweiz</i>	<i>11'017</i>	<i>29'616</i>	<i>4'798</i>	<i>18'301</i>	<i>-56%</i>	<i>-38%</i>
Fahrleistungen in Mio. Fzkm/Jahr						
Basel-Chiasso (Gotthard)	433	3'937	487	4'292	12%	9%
St. Margrethen-Chiasso (San Bernardino)	132	1'985	149	2'164	12%	9%
Basel/Genf - Grenze IT (Gd. St. Bernhard/Simplon)	424	6'407	487	7'136	15%	11%
Total Nord-Süd-Achsen	816	10'485	927	11'581	14%	10%
<i>Total Schweiz</i>	<i>2'304</i>	<i>63'997</i>	<i>2'592</i>	<i>69'870</i>	<i>12%</i>	<i>9%</i>

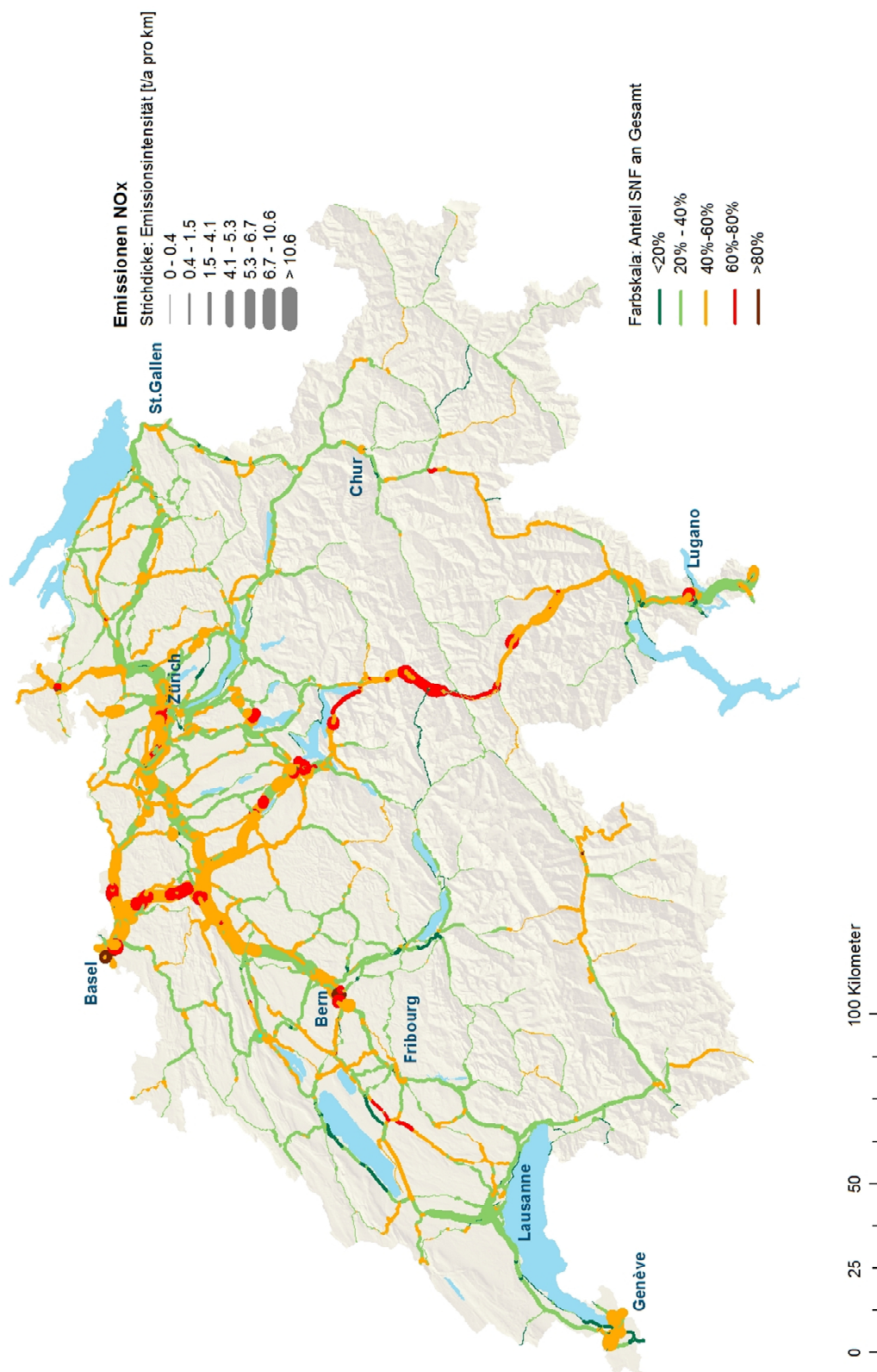
Kartendarstellungen (siehe nachfolgende Seiten): Die grössten NO_x - Emissionsintensitäten erzeugt der Güterverkehr auf den Achsen Zürich – Bern (A1) und Bern/Zürich-Basel (A2 und A3). Ebenfalls hohe Emissionsintensitäten sind auf der Nord-Süd-Achse Basel – Chiasso (A2) und zwischen Zürich und St. Gallen zu beobachten. Generell gilt: je höher die Verkehrsbelastung, desto höher die Emissionen. Dieser Umstand führt zu den verhältnismässig hohen Emissionsintensitäten im Dreieck Zürich-Bern-Basel.

Auf der Nord-Süd-Achse zwischen Olten und Bellinzona sind die Verkehrsbelastungen geringer als auf der A1 zwischen Zürich-Bern bzw. auf der A2 zwischen Basel und Olten. Trotzdem sind die Emissionsintensitäten auf der Nord- und Südrampe des Gotthards teilweise hoch. Dieser Effekt tritt aufgrund der Steigungsgradienten und dementsprechend höherem Emissionsausstoss auf steileren Streckenabschnitten auf: die NO_x - Emissionsfaktoren für SNF sind bei 6% Steigung gegenüber flachen Streckenabschnitten ungefähr doppelt so hoch. Im Gotthardtunnel (wenig Steigung, homogener Verkehrsfluss) sind deswegen die Emissionsintensitäten verhältnismässig gering.

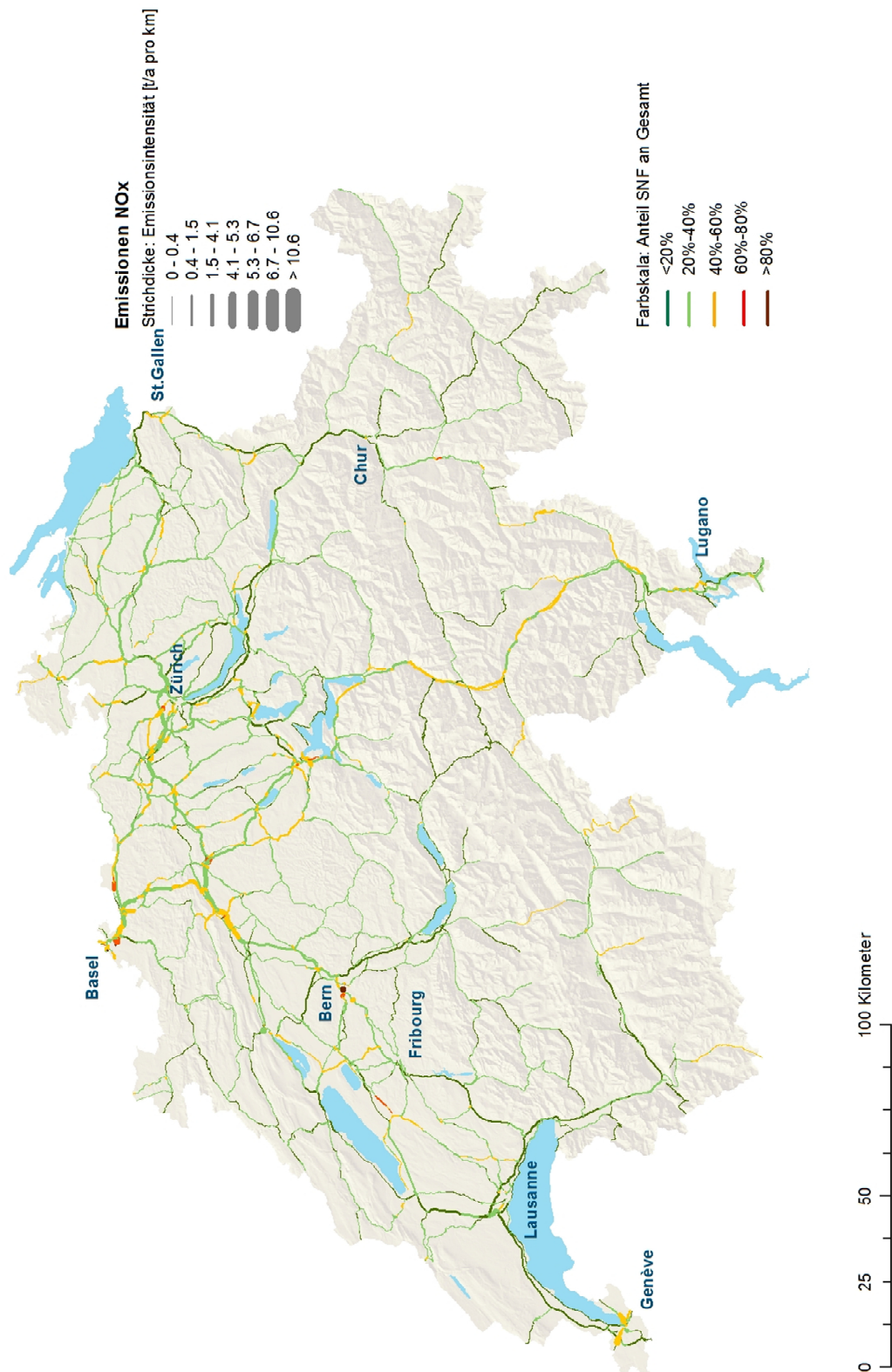
Die Güterverkehrs-Anteile an den gesamten NO_x -Emissionen sind sehr unterschiedlich. Hohe bis sehr hohe Güterverkehrs-Anteile (über 60% der Gesamtverkehrsemissionen) findet man auf dem A2-Abschnitt zwischen Liestal und Olten und auf der Gotthard-Nord/Südrampe (A2). Einerseits sind dort die Schwerverkehrs-Anteile am Gesamtverkehr entsprechend hoch und bei stark geneigten Streckenabschnitten erhöhen sich die Güterverkehrs-Emissionen gegenüber den Emissionen des übrigen Verkehrs überproportional.

Die prognostizierte Abnahme der Stickoxidemissionen des Güterverkehrs bis 2020 ist auch auf der Karte deutlich zu erkennen. Im Verhältnis zu den NO_x -Emissionen des Gesamtverkehrs nimmt die relative Bedeutung des Güterverkehrs zudem ab. Grund dafür ist, dass die Stickoxid-Emissionen des Güterverkehrs insgesamt bis 2020 stärker abnehmen als die Emissionen des übrigen Verkehrs.

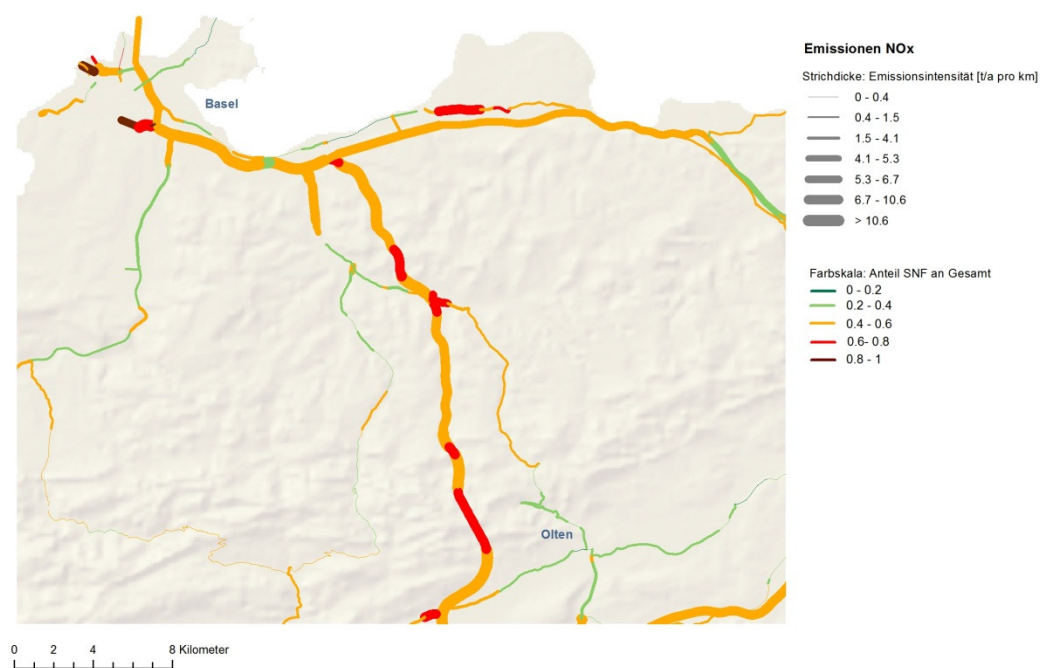
NOx-Emissionen Schwere Nutzfahrzeuge Z0 (2010)



NOx-Emissionen Schwere Nutzfahrzeuge Z1-REF (2020)



Emissionen Schwere Nutzfahrzeuge 2010



Emissionen Schwere Nutzfahrzeuge 2010

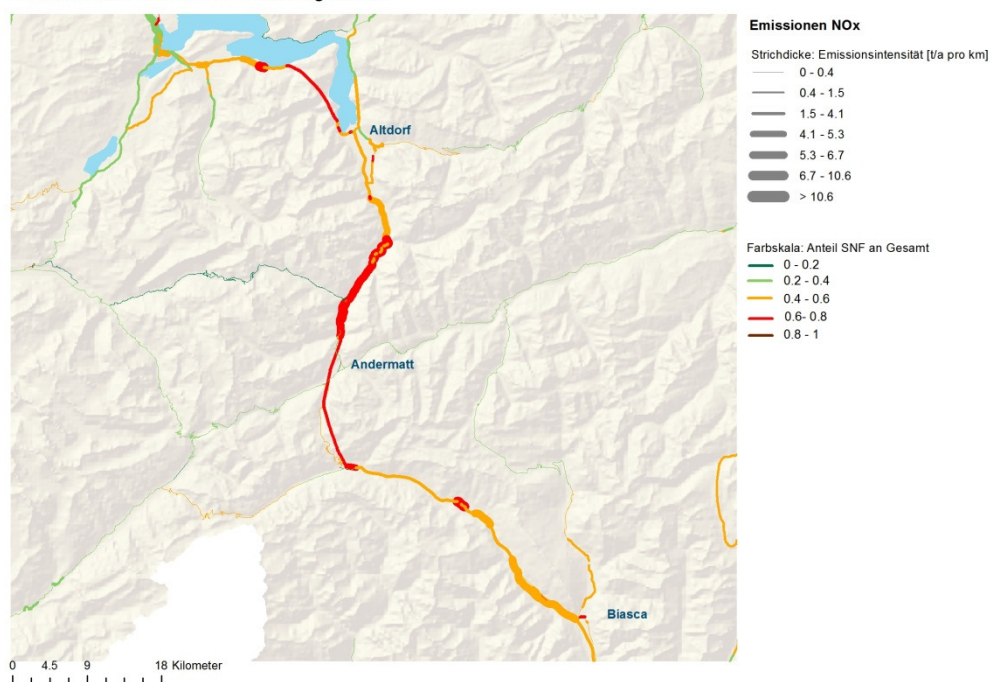
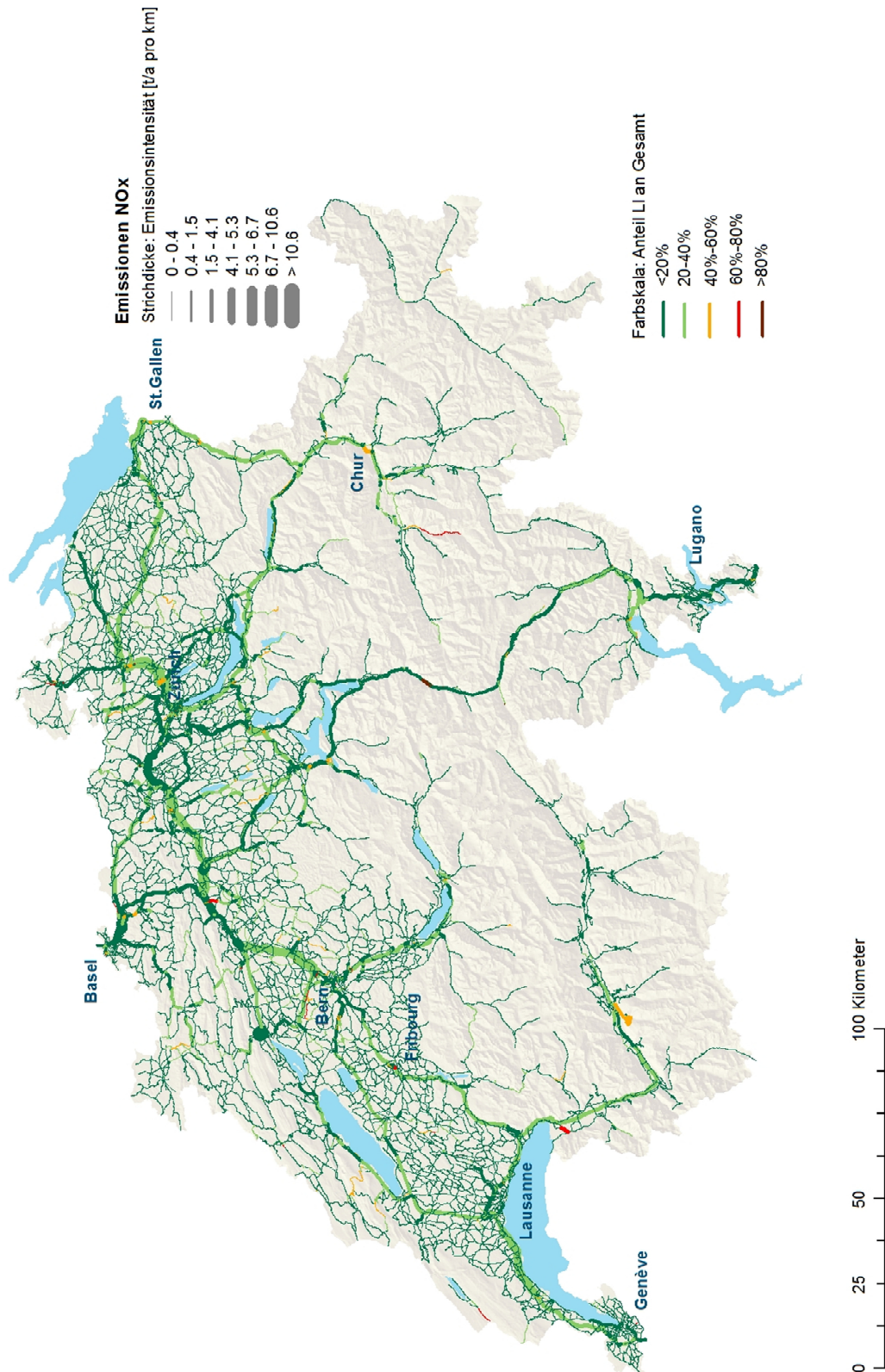


Abb. 3.22 NO_x-Emissionen schwere Nutzfahrzeuge Z0-REF 2010 – Teilräume Basel (oben) und Gotthard (unten)

NOx-Emissionen Lieferwagen ZO (2010)



Partikel (PM10)

Die folgende Figur zeigt die Partikel-Emissionsfrachten (Auspuff und nicht-Auspuff-Emissionen) des Strassenverkehrs in der Schweiz für die Jahre 2010, 2020 und 2030 (Zahlenwerte in Anhang VII):

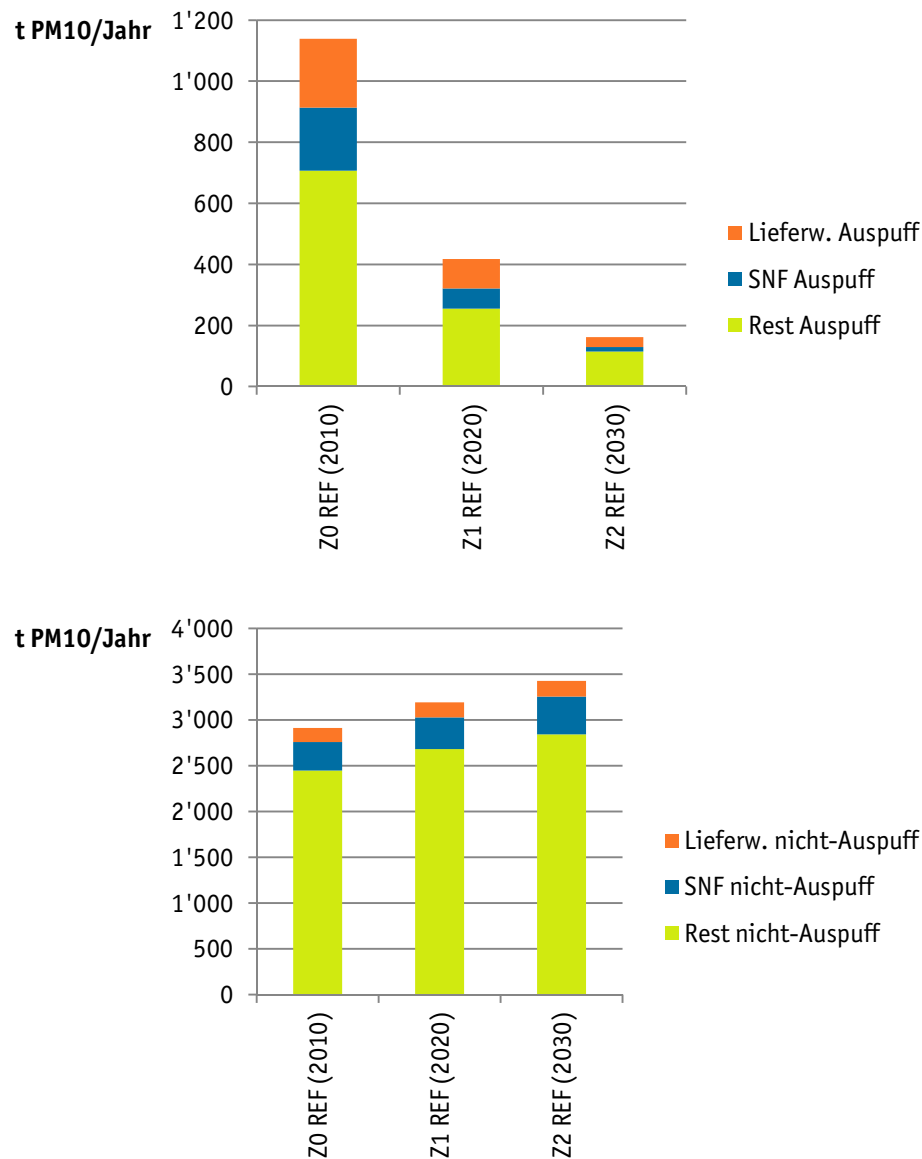


Abb. 3.23 PM10-Emissionen Strasse – 2010 bis 2030 – im Betrieb („Tank-to-wheel“); „SNF“ = schwere Nutzfahrzeuge; „Rest“ = Personenwagen, Busse und Motorräder

Insgesamt emittiert der schwere Güterverkehr 2010 rund 520 Tonnen Partikel (PM10) pro Jahr. Davon stammen allerdings nur rund 40% aus dem Verbrennungsprozess (Ausuff-Anteil), der Rest entsteht durch Abrieb und Aufwirbelung (nicht-Auspuff). Diese Unterscheidung ist wichtig, da die nicht-Auspuff-Emissionen direkt von der Fahrleistung abhängig sind, während die PM10 aus dem Verbrennungsprozess durch Filtersysteme am Fahrzeug massgebend reduziert werden können und ausserdem letztere aufgrund ihrer höheren Schädlichkeit für Mensch und Tier im Fokus der Massnahmenplanung zur Luftreinhaltung stehen. Die spezifischen Emissionen (g/km) der nicht-Auspuff PM10-Emissionen sind zudem rund doppelt so hoch (im Jahr 2010; siehe Anhang IV) wie die Ausuff-Emissionen, wobei die nicht-Auspuff-Emissionsfaktoren empirisch auf deutlich dünneren Grundlagen beruhen als Emissionen aus dem Verbrennungsprozess.

Diese Sachverhalte erklären die grundlegend unterschiedlichen Verläufe der PM10-

Emissionen in der Zeitreihe 2010-2030: Dank effizienteren Filtertechnologien darf erwartet werden, dass sich die Auspuff-Emissionen des schweren Güterverkehrs bis 2020 auf ca. einen Drittel der heutigen Emissionen reduzieren wird. Die nicht-Auspuff-Emissionen steigen dagegen im gleichen Zeitraum parallel zur Fahrleistungsentwicklung um rund 12% an. Im Total (PM10 Auspuff und PM10-nicht-Auspuff) dominiert die Entwicklung der nicht-Auspuff PM10 klar (Reduktion Total PM10 bis 2020: 20%).

Der Anteil der schweren Güterverkehrsemissionen an den gesamten Strassenverkehrsemissionen liegt 2010 bei rund 12% (18%, wenn man nur die Partikelemissionen aus dem Verbrennungsprozess betrachtet) und verändert sich bis 2020 nur unwesentlich.

Untenstehende Tabelle zeigt die Entwicklung der PM10 (Auspuff)-Emissionen auf den **alpenquerenden Achsen**. Auf den Nord-Süd-Achsen entstehen rund 30% der gesamtschweizerischen PM10 (Auspuff)-Emissionen des Schwerverkehrs und rund 20% des restlichen Verkehrs. Die Entwicklung von heute bis Z1 2020 auf den alpenquerenden Achsen folgt im Prinzip dem gesamtschweizerischen Trend: Die PM10 (Auspuff)-Emissionen des Schwerverkehrs – gleich wie diejenigen des restlichen Verkehrs – werden sich in den nächsten 10 Jahren um rund zwei Drittel reduzieren.

Abb. 3.24 PM10 (Auspuff)-Emissionen und Fahrleistungen
nach Achsen – Z0 REF und Z1 REF

Achse	Z0 REF 2010		Z1 REF 2020		Diff. zu Z0 REF	
	Schwe- re Nutz- fahr- zeuge (SNF)	Rest	Schwe- re Nutz- fahr- zeuge (SNF)	Rest	Schwe- re Nutz- fahr- zeuge (SNF)	Rest
NO_x -Emissionen in t/Jahr (Betrieb TTW)						
Basel-Chiasso (Gotthard)	32	74	10	27	-69%	-64%
St. Margrethen-Chiasso (San Bernardino)	10	39	3	14	-69%	-65%
Basel/Genf - Grenze IT (Gd. St. Bernhard/Simplon)	34	120	11	44	-68%	-64%
Total Nord-Süd-Achsen	62	199	20	72	-69%	-64%
Total Schweiz	207	932	66	352	-68%	-62%
Fahrleistungen in Mio. Fzkm/Jahr						
Basel-Chiasso (Gotthard)	433	3'937	487	4'292	12%	9%
St. Margrethen-Chiasso (San Bernardino)	132	1'985	149	2'164	12%	9%
Basel/Genf - Grenze IT (Gd. St. Bernhard/Simplon)	424	6'407	487	7'136	15%	11%
Total Nord-Süd-Achsen	816	10'485	927	11'581	14%	10%
Total Schweiz	2'304	63'997	2'592	69'870	12%	9%

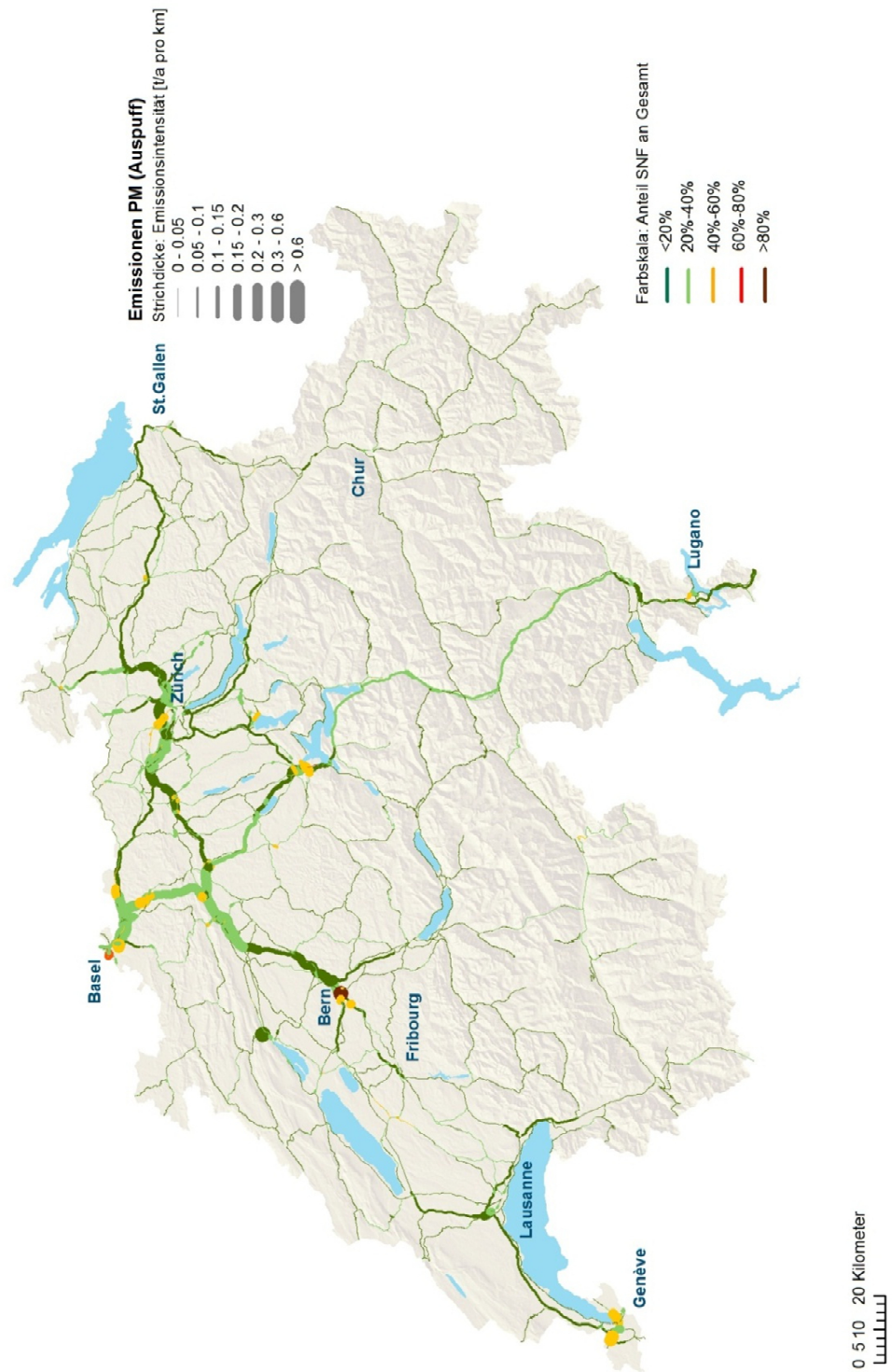
Kartendarstellungen: Auf den nächsten Seiten sind die räumlichen Verteilungen der PM10 (Auspuff)-Emissionen dargestellt. Ähnlich wie bei den Stickoxid-Emissionen findet man die höchsten Partikel-Emissionsintensitäten auf den verkehrlich stärkst belasteten Strecken der Schweiz (Dreieck Zürich-Bern-Basel A1/A2).

Im Unterschied zu den Stickoxiden sind bei den Partikelemissionen die Anteile des Güterverkehrs an den Gesamtverkehrsemissionen deutlich geringer. Nur an wenigen Stellen steigt dieser Anteil über 40%, beispielsweise auf der Nordumfahrung Zürich und um die Agglomerationen Bern, Basel, Genf. Begründet liegt dies darin, dass die Partikel-Emissionsfaktoren des Güterverkehrs (SNF) wohl ebenfalls höher sind als diejenigen der übrigen Fahrzeugkategorien. Aber - im Gegensatz zu den NO_x -Emissionsfaktoren – sind sie lediglich ca. 5-6 mal (nur Auspuff) höher bzw. ca. doppelt so hoch bei den Total-Partikel-Emissionsfaktoren. Dadurch sind die Anteile des schweren Güterverkehrs an den

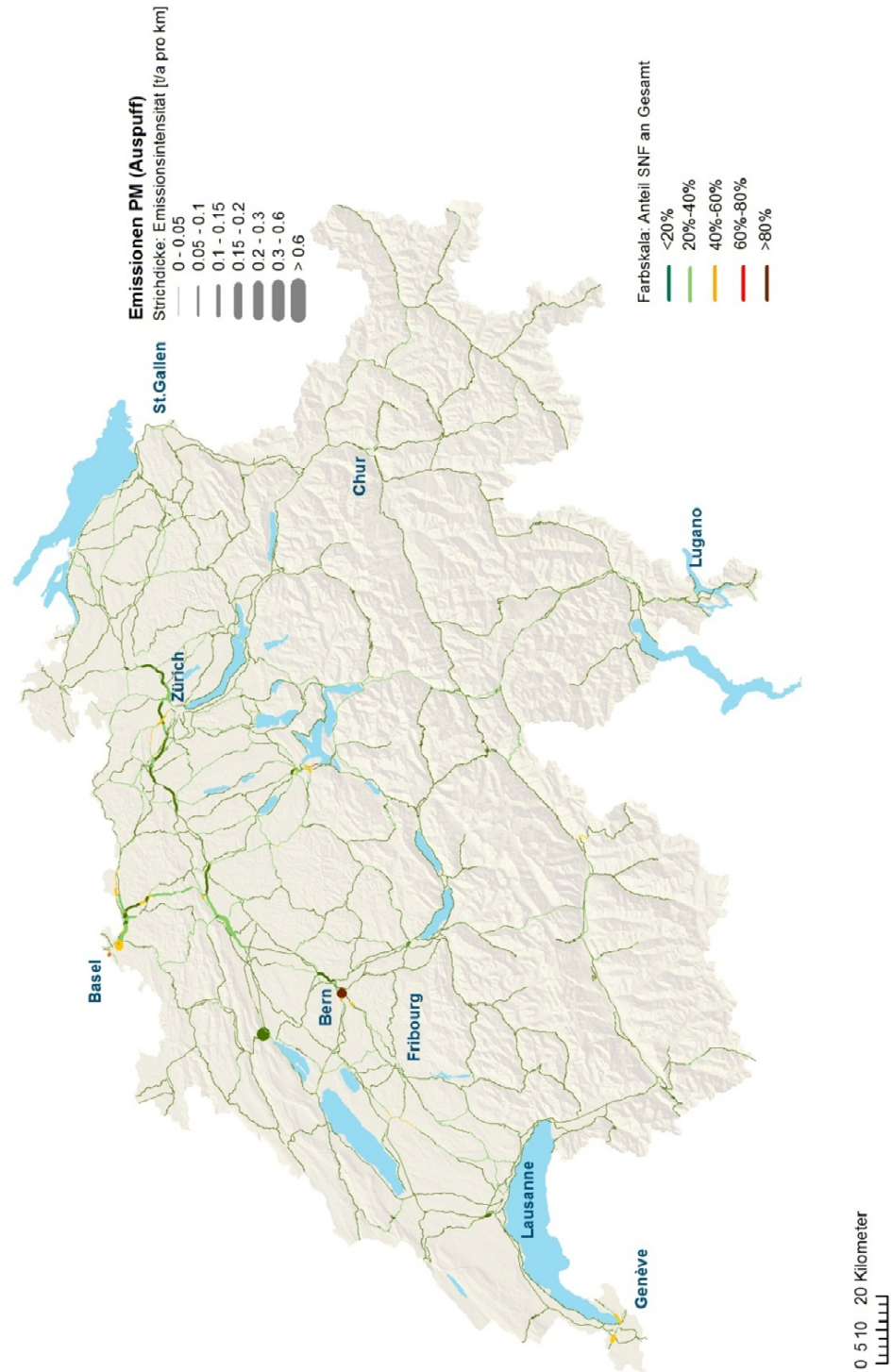
Gesamtemissionen pro Strecke geringer, verglichen mit den NO_x -Anteilen.

Zeitliche Entwicklung (2010-2020): Bis 2020 nehmen die Partikelemissionen kontinuierlich ab, wenn auch nicht in gleichem Ausmass wie die Stickoxide. Betrachtet man lediglich die Auspuff-Partikelemissionen so wäre diese Abnahme allerdings viel deutlicher.

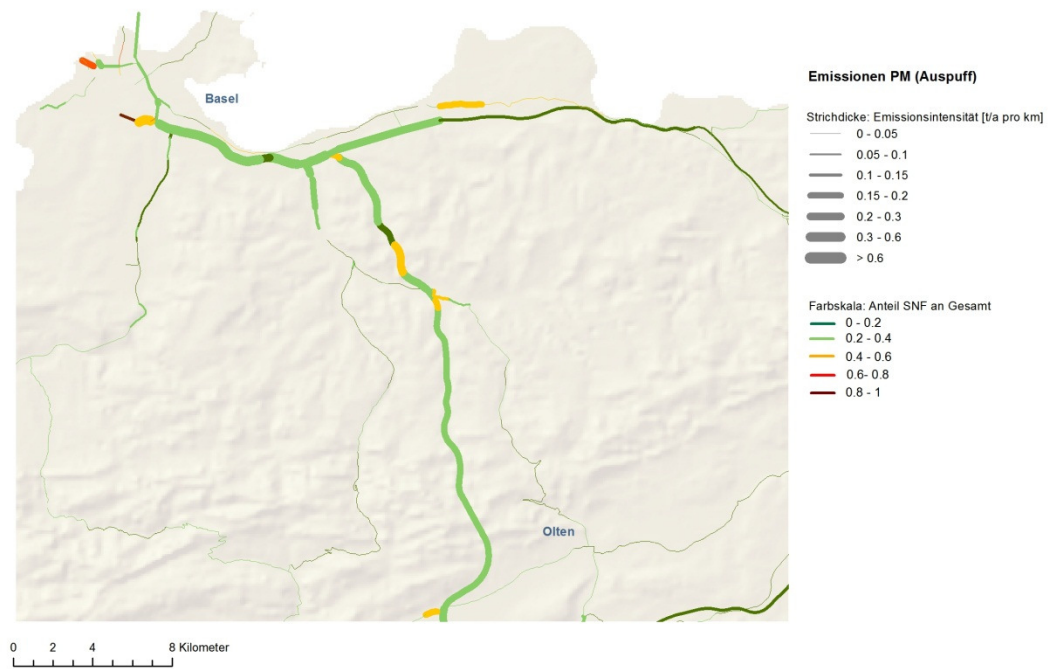
PM-Emissionen Schwere Nutzfahrzeuge Z0 (2010)



PM-Emissionen Schwere Nutzfahrzeuge Z1 (2020)



Emissionen Schwere Nutzfahrzeuge 2010



Emissionen Schwere Nutzfahrzeuge 2010

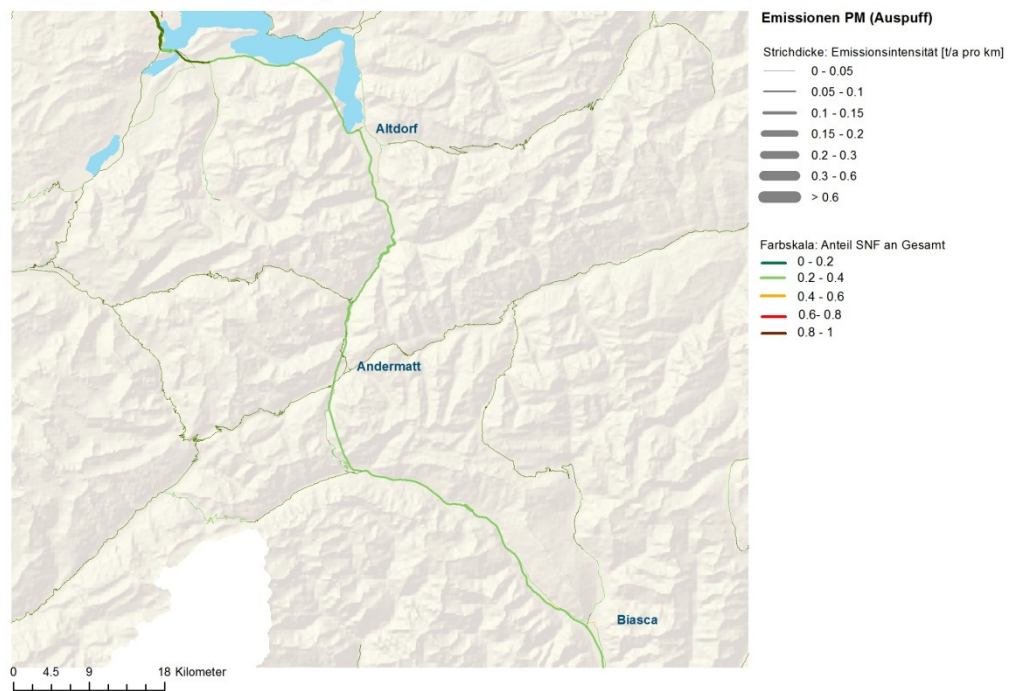
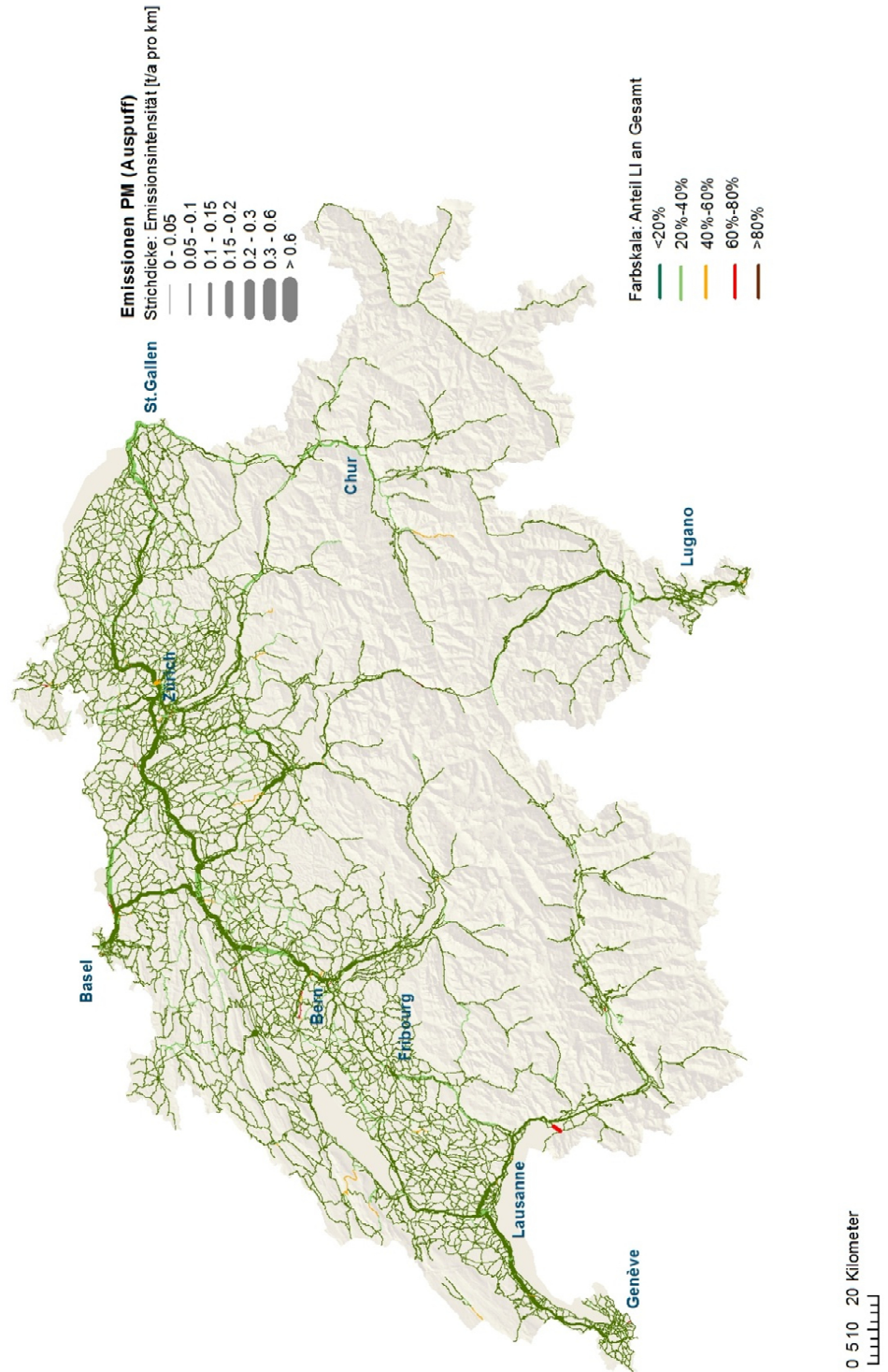


Abb. 3.25 PM10 (Auspuff)-Emissionen schwere Nutzfahrzeuge Z0-REF 2010 – Teilräume Basel (oben) und Gotthard (unten)

PM-Emissionen Lieferwagen Z0 (2010)



3.1.2 Schiene

Stickoxide (NO_x)

Der Schienenverkehr in der Schweiz erfolgt praktisch ausschliesslich mit elektrischer Traktion, im Betrieb entstehen dabei keine NO_x-Emissionen. Daneben werden auch rund 14 Mio. Liter Diesel (vor allem im Rangierbetrieb, zudem für Bauzüge, etc.) verbraucht.

Der Treibstoffverbrauch und die NO_x-Emissionen des Rangierverkehrs in der Schweiz wurden in BAFU 2008 quantifiziert und zeigen die in folgender Figur dargestellte Entwicklung:

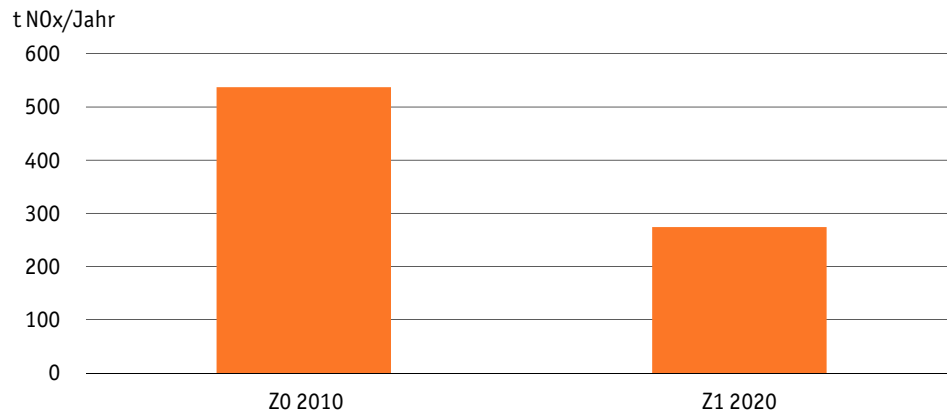


Abb. 3.26 NO_x-Emissionen Schiene – 2010 bis 2020 (aus Dieserverbrauch im Rangierbetrieb, Bauzüge) – im Betrieb („Tank-to-wheel“); Quelle: BAFU 2008

Gut 500 t NO_x entstehen im Rangierbetrieb des Schienenverkehrs. Bis 2020 wird sich dieser Ausstoss ungefähr halbieren aufgrund der neuen Emissionsgrenzwerte für Off-road-Fahrzeuge (gemäss UIC-Empfehlung bzw. EU-Richtlinie 97/68/EG). Im Vergleich zur Strasse sind die spezifischen Emissionen von dieselbetriebenen Schienenfahrzeugen relativ hoch (45 g/kg Diesel, zum Vergleich schwere Nutzfahrzeuge Strasse: 20 g/kg Diesel). Grund dafür ist das höhere Alter des Schienenfahrzeugbestands (Rangierlokomotiven, Bauzüge) wegen der längeren Lebensdauer dieser Fahrzeuge.

Partikel (PM₁₀)

Die PM₁₀-Emissionen des Schienenverkehrs entstehen einerseits durch Abrieb an Bremsen, Schiene, und Fahrleitung während des Betriebs von Schienenfahrzeugen. Andererseits entstehen Partikelemissionen bei den Dieselfahrzeugen, die im Rangierverkehr eingesetzt werden.

Untenstehende Figur zeigt die Betriebs-PM₁₀-Emissionen (Bremsen, Abrieb) des Schienenverkehrs in der Schweiz. 2010 emittiert der Schienenverkehr rund 1270 t PM₁₀ (gemäss INFRAS 2007 stammen ungefähr die Hälfte davon aus dem Güterverkehr), die Emissionen aus dem Rangierverkehr (9t PM₁₀/Jahr) spielen eine marginale Rolle. Bis 2020 steigen die Feinstaub-Emissionen des Schienenverkehrs um rund 17% auf 1440 t, massgeblich bedingt durch die steigende Fahrleistung auf der Schiene.

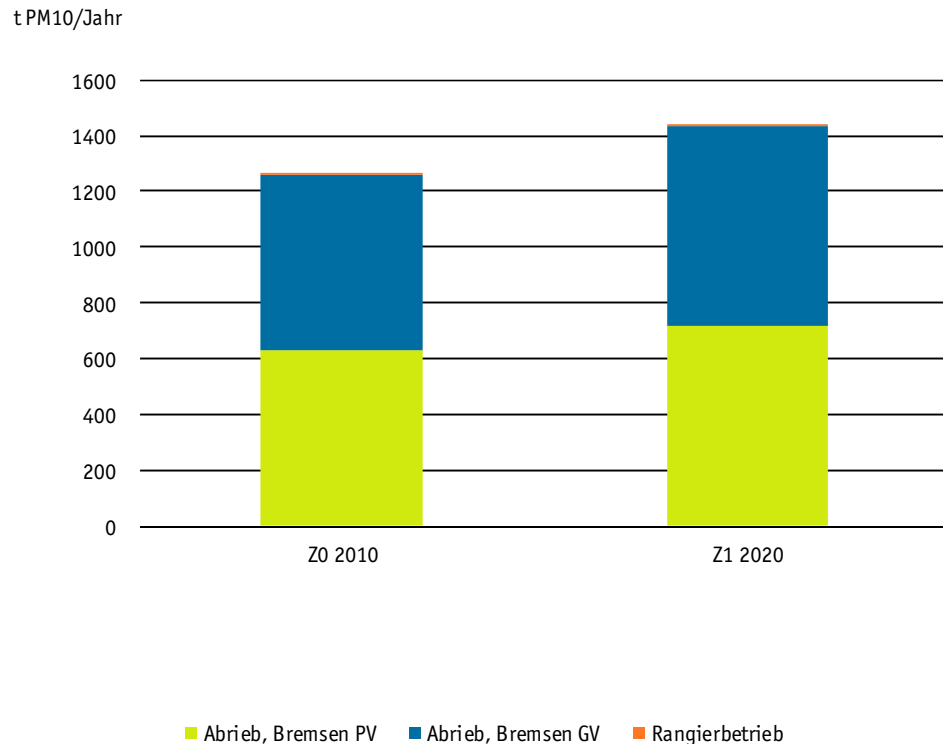


Abb. 3.27 PM10 -Emissionen Schiene – 2010 bis 2020 – im Betrieb („Tank-to-wheel“);
Quelle: EMIS BAFU, UNECE-Submission; BAFU 2008

Gemäss INFRAS 2007 machen die Bremsabriebe rund 60% der PM10-Emissionen aus, weitere 28% stammen aus dem Abrieb an Schienen und Rädern. Der Abrieb an Fahrleitungen (Kupfer) spielt dagegen eine untergeordnete Rolle. Die Partikelemissionen des Schienenverkehrs bestehen hauptsächlich aus Eisenpartikeln und zu geringen Anteilen aus Kupfer, Mangan und Chrom. Der Güterverkehrsanteil an den Gesamt-PM10-Emissionen des Schienenverkehrs wird in INFRAS 2007 auf ungefähr die Hälfte (47%) geschätzt.

3.2 Energieverbrauch und CO₂

3.2.1 Strasse

Der Energieverbrauch des Strassenverkehrs (siehe Figur unten) beträgt für das Jahr 2010 knapp 200 PJ/Jahr. Davon entfallen rund 12% auf den schweren Güterverkehr, 6% auf die Lieferwagen. Bis 2030 sinkt der Gesamtverbrauch auf rund 173 PJ/Jahr.

Bei den Personenwagen wird bis 2030 von einer Steigerung der Energieeffizienz ausgegangen wird, d.h. der spezifische Verbrauch der Neuwagen sinkt bis 2030 jährlich um ca. 1.5%. Bei den schweren Nutzfahrzeugen ist die Absenkung des Energieverbrauchs moderater, d.h. ungefähr 0.5% pro Jahr. Dies bedeutet, dass der Energieverbrauch des schweren Güterverkehrs lediglich um 8% zunimmt bis 2030, trotz Zuwachs der Fahrleistungen bis 2030 um ca. 18% in der gleichen Periode. Der Güterverkehrsanteil am Gesamtenergieverbrauch des Strassenverkehrs nimmt dem bis 2030 auf rund 15% zu.

Die CO₂-Emissionen hängen direkt mit den Entwicklungen des Energieverbrauchs zusammen: Insgesamt stösst der Strassenverkehr 2010 rund 14.5 Mio. t CO₂ aus, davon entfallen rund 1.8 Mio. t CO₂ (12%) auf den schweren Güterverkehr.

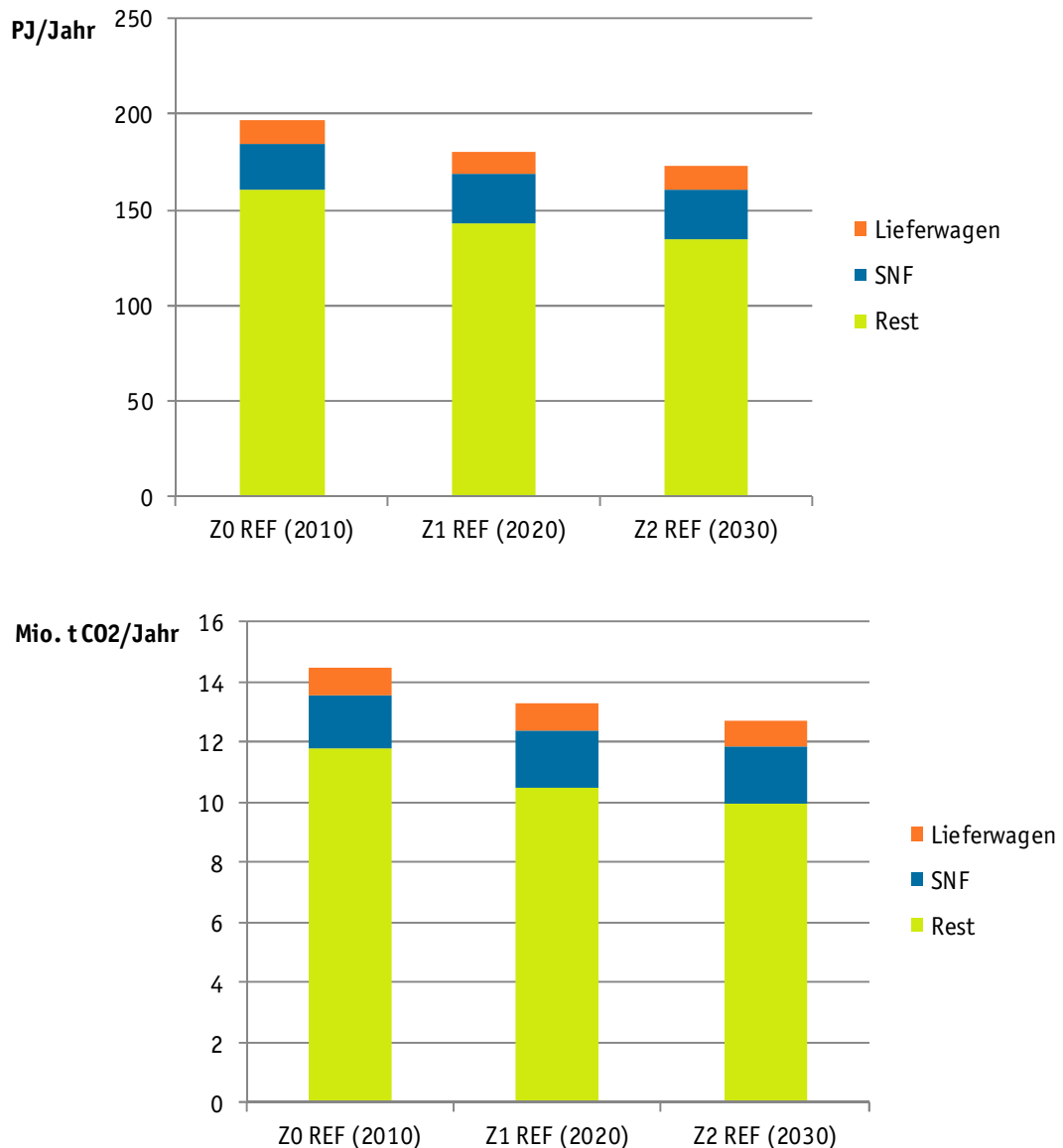
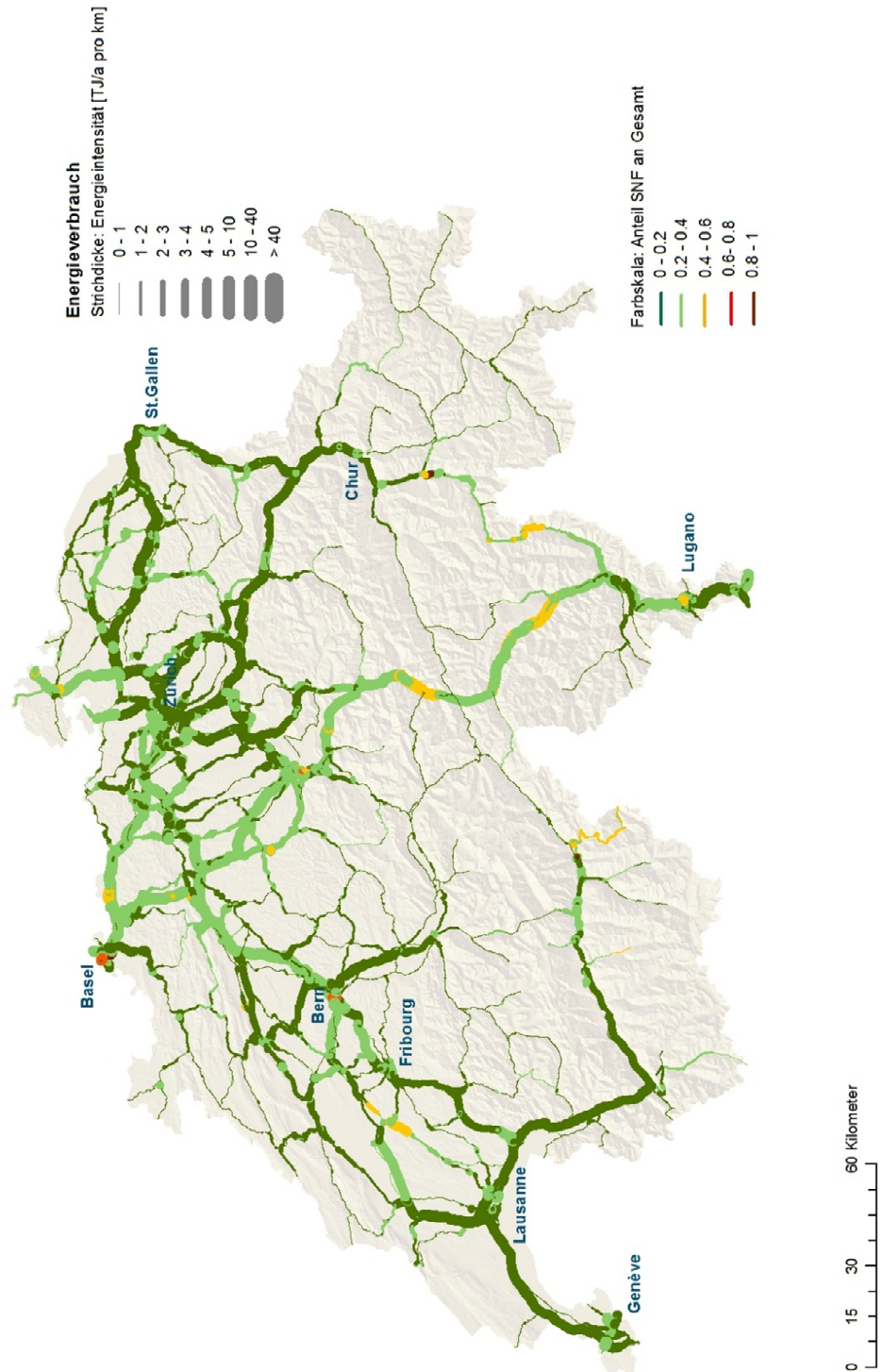


Abb. 3.28 Energieverbrauch (oben) und CO2-Emissionen (unten) Strasse – 2010 bis 2030 – im Betrieb („Tank-to-wheel“); „Rest“ = Personenwagen, Busse und Motorräder

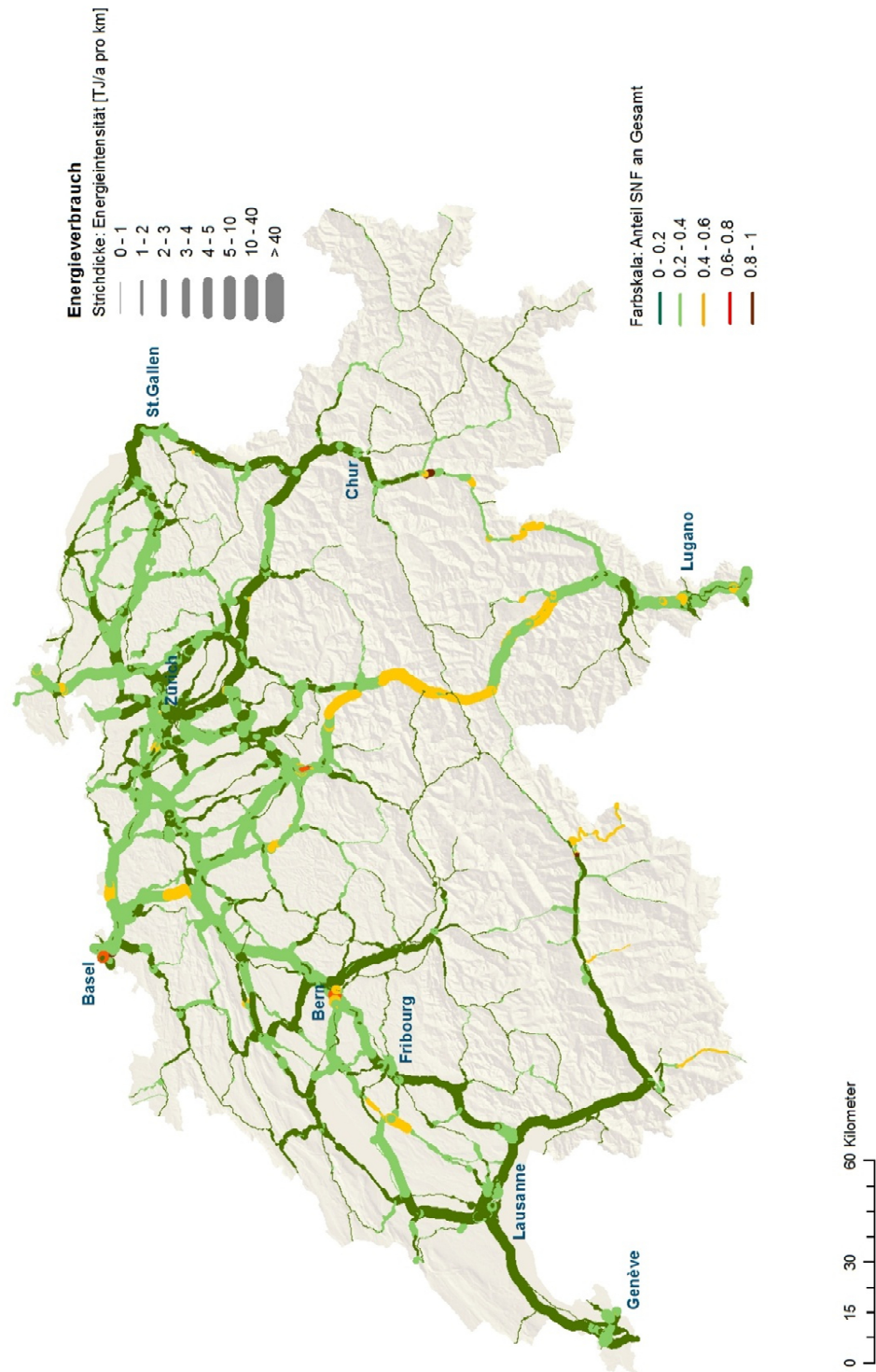
Kartendarstellungen: Auf den nächsten Seiten sind die Energieverbräuche pro Streckenabschnitt (in TJ/km) dargestellt. Diese zeigen ein ähnliches Bild wie bei den Luftschadstoff-Emissionen: Je höher die Verkehrsbelastung desto höher die Energieintensität. Auf stark steigenden Streckenabschnitten ist der Energieverbrauch entsprechend höher als auf flachen Abschnitten (ein auf einer 6% geneigten Strasse fahrender Lastwagen benötigt mehr als doppelt so viel Treibstoff als in flachem Gelände).

Betrachtet man den Anteil des Güterverkehrs am Energieverbrauch des Gesamtverkehrs, so fällt auf, dass lediglich auf wenigen Streckenabschnitten der Güterverkehr mehr als 40% ausmacht. Strecken mit überdurchschnittlichen Güterverkehrsanteilen finden sich auf der Gotthard Nord- und Südrampe, am Hauenstein, sowie auf der Simplonstrasse.

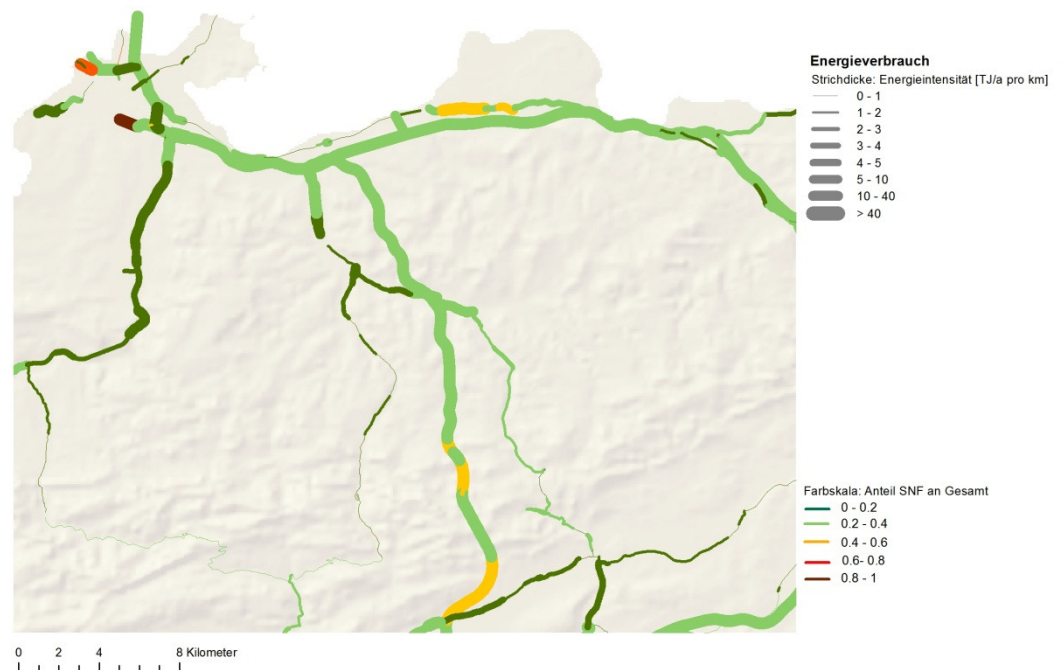
Energieverbrauch Schwere Nutzfahrzeuge 2010



Energieverbrauch Schwere Nutzfahrzeuge 2020



Energieverbrauch Schwere Nutzfahrzeuge 2010



Energieverbrauch Schwere Nutzfahrzeuge 2010

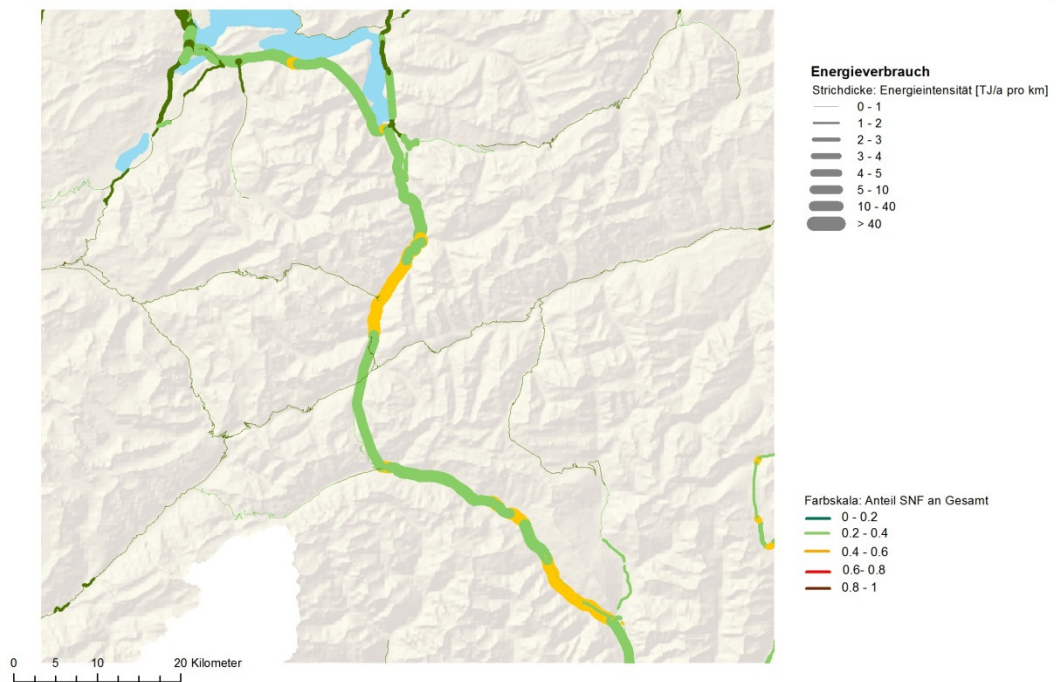
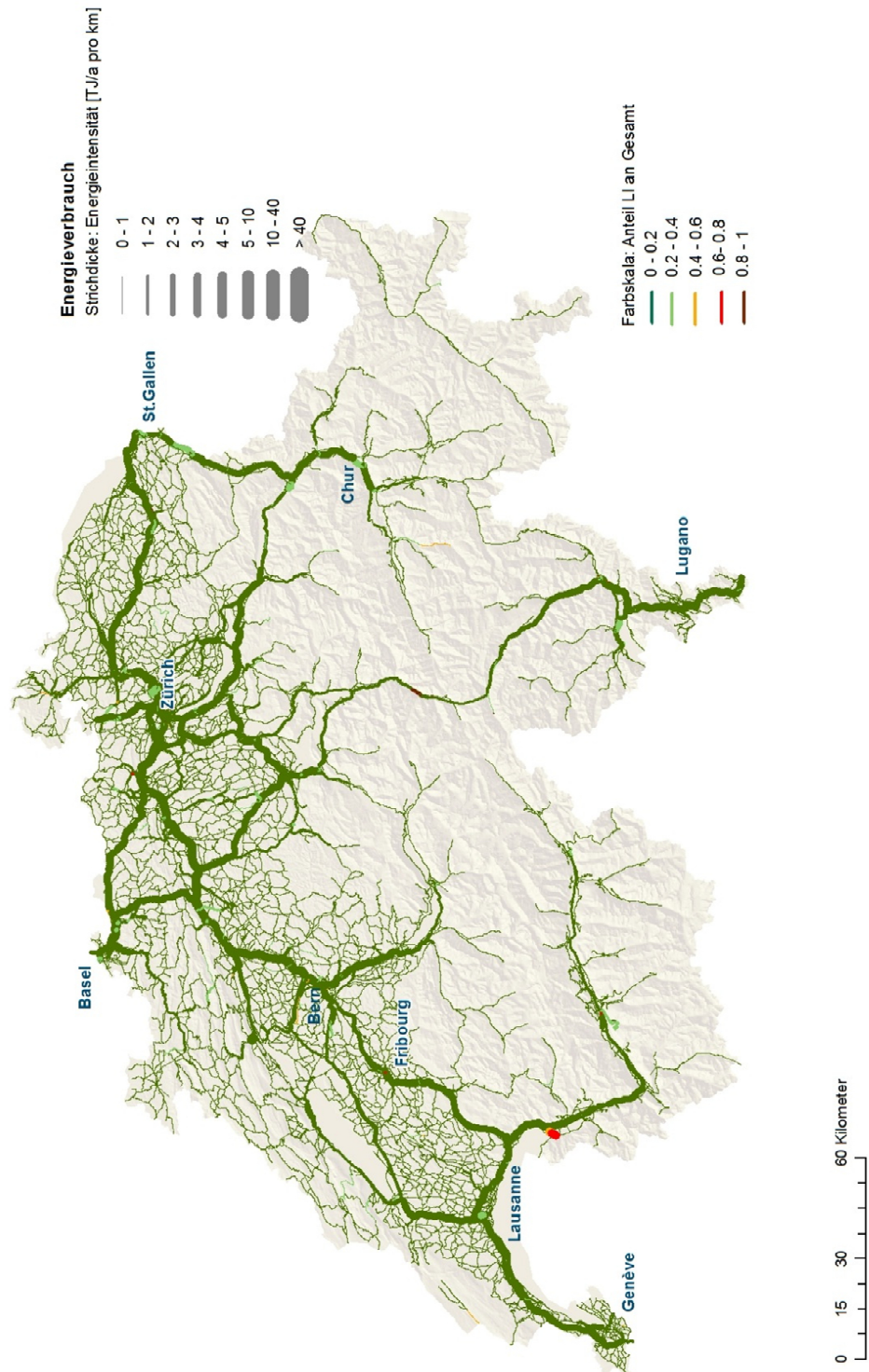


Abb. 3.29 Energieverbrauch schwere Nutzfahrzeuge Z0-REF 2010 – Teilräume Basel (oben) und Gotthard (unten)

Energieverbrauch Lieferwagen 2010



3.2.2 Schiene

Folgende Figur zeigt die aus den Brutto-Tonnenkilometern und den spezifischen Energiefaktoren berechneten Energieverbräuche des Schienenverkehrs:

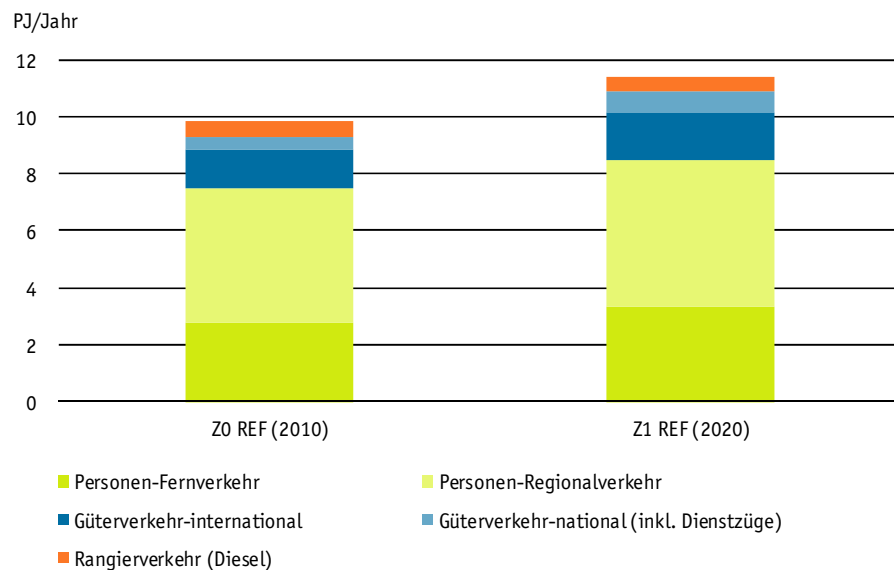


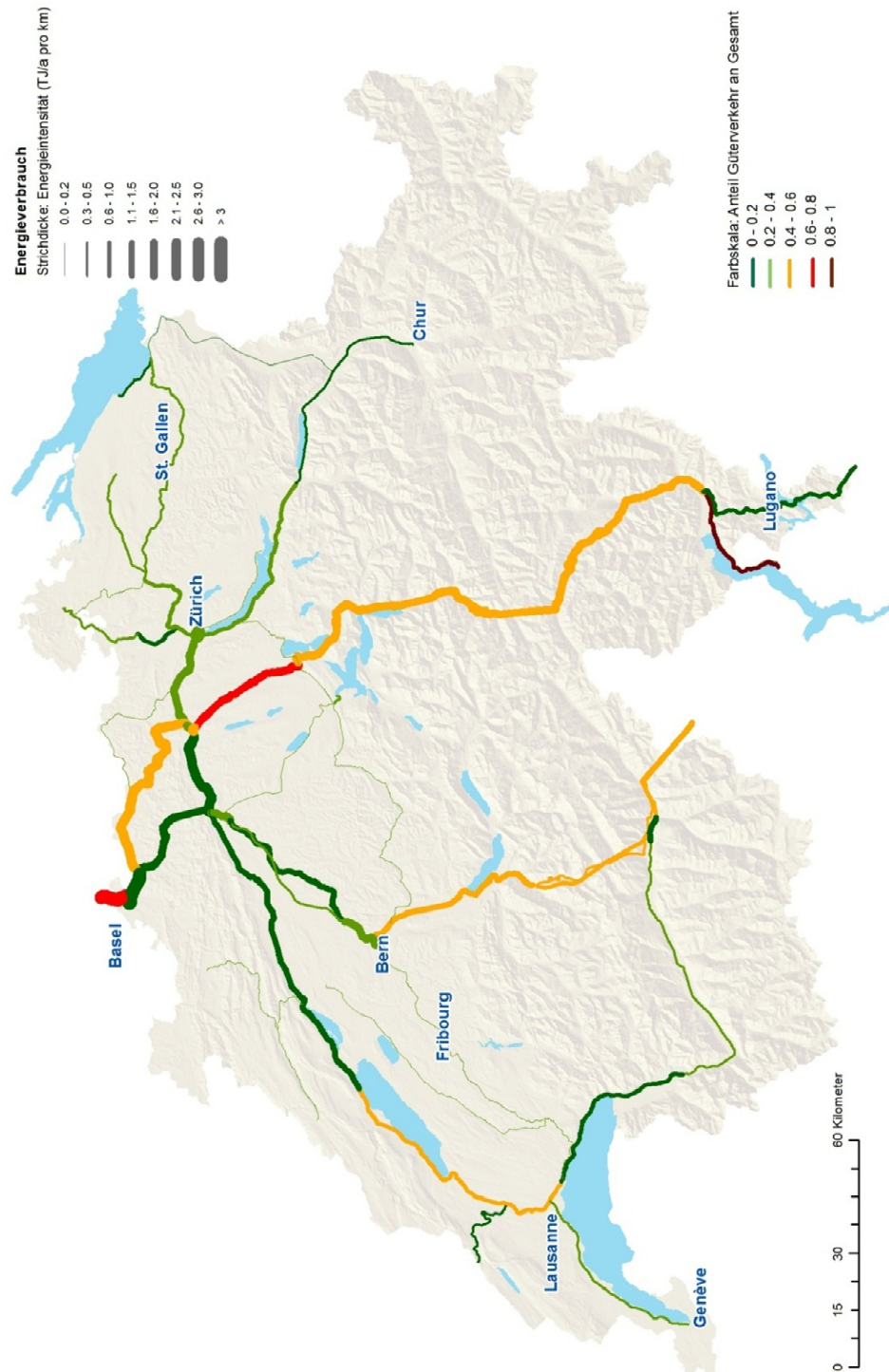
Abb. 3.30 Energieverbrauch Schiene in PJ/Jahr – 2010 bis 2020 – im Betrieb („Tank-to-wheel“);

Der Energieverbrauch des Schienenverkehrs in der Schweiz beträgt rund 9.3 PJ/Jahr (2010)¹². Davon macht der Güterverkehr knapp 20% aus, mit leicht steigender Tendenz bis 2020. Bis 2020 steigt der Energieverbrauch insgesamt um 17%, der Anstieg beim Güterverkehr beträgt 30%.

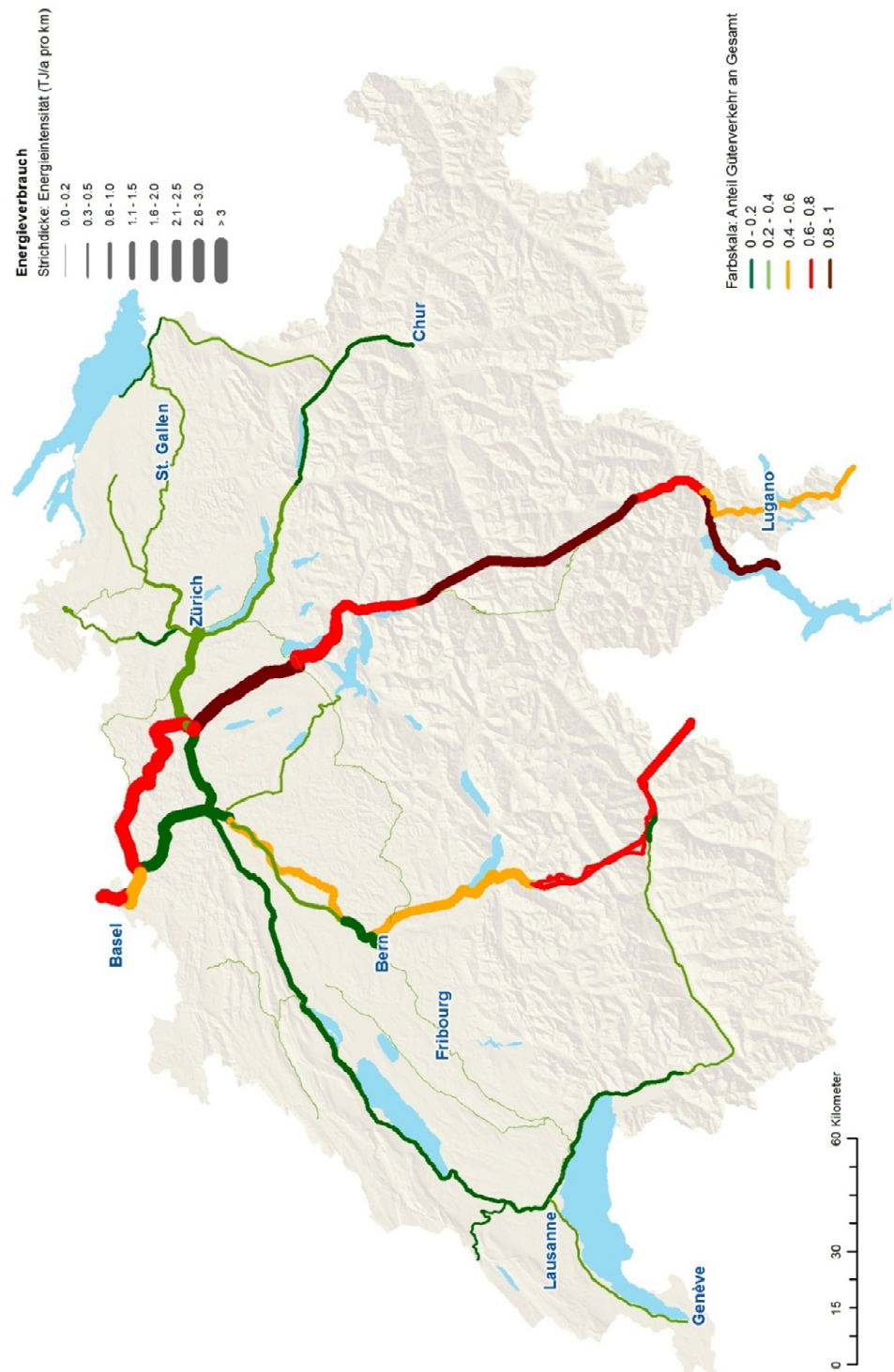
Der Energieverbrauch des Schienenverkehrs ist insgesamt relativ gering (siehe auch Kapitel 4). Gründe dafür sind der geringe Rollwiderstand von Stahlrädern auf Stahlschienen, der geringe Luftwiderstand im Zugsverband (Windschatteneffekt), der hohe Wirkungsgrad von Elektroloks und die Rekuperation von Bremsenergie.

¹² Zum Gesamtenergieverbrauch: Zum Energieverbrauch der Bahnen in der Schweiz sind unterschiedliche statistische Grundlagen verfügbar, die allerdings untereinander erhebliche Diskrepanzen aufweisen. Das BFS weist für den Energieverbrauch der Bahnen in der Schweiz für das Jahr 2010 einen Wert von rund 8.9 PJ aus. In der Gesamtenergiestatistik (GEST) des BFE wird der Stromverbrauch der Bahnen mit 11.4 PJ angegeben, also rund 28% höher. Auf diese Diskrepanz ist bereits in anderen Studien (BAV 2011a) hingewiesen worden und kann an dieser Stelle nicht ausgeräumt werden, sie sind allenfalls auf unterschiedliche Definitionen und Systemabgrenzungen zurückzuführen (z.B. ab Stromabnehmer oder ab Unterwerk). Der in vorliegendem Forschungsauftrag verwendete Wert (9.31 PJ/Jahr für 2010) liegt ca. 5% über dem Wert des BFS, ist aber immer noch tiefer als der Wert gemäss GEST.

Energieverbrauch Güterverkehr Schiene 2010



Energieverbrauch Güterverkehr Schiene 2020



3.3 Lärm

3.3.1 Strasse

Untenstehende Figur zeigt die Auswertungen der Lärmimmissionsberechnungen. Aufgrund der unterschiedlichen Verkehrsgrundlagen sind diese Resultate nicht genau identisch wie die vom BAFU publizierten Daten aus „SonBASE“ (siehe BAFU 2009a), respektive die noch unveröffentlichten Resultate der neuesten Lärmberechnungen des BAFU. Die Abweichungen sind allerdings gering und verfälschen die inhaltlichen Aussagen in vorliegendem Projekt nicht.

Tagsüber sind in Z0 REF (2010) gut 1.11 Millionen Menschen in der Schweiz von schädlichem oder lästigem Strassenverkehrslärm betroffen. Dies entspricht einem Anteil von rund 15% der Schweizer Bevölkerung. In der Nacht sind es nur unwesentlich weniger, nämlich 1.02 Millionen (ca. 14%).

Die Beantwortung der Frage nach dem Anteil des Schwerverkehrs am Strassenverkehrslärm ist nicht ganz trivial. Je nach Betrachtungsweise ergeben sich unterschiedliche Anteile: Emissionsseitig tragen die schweren Nutzfahrzeuge gemessen an ihrem Verkehrsaufkommen überproportional zur Lärmmentstehung bei (gemessen am Verhältnisse der Lärmenergie nach Fahrzeugkategorie; siehe Beispiele in Kapitel 2.3.4). Je nach Strassenabschnitt kann der Lärmemissionsanteil des Schwerverkehrs rund 3 bis 7 Mal höher sein als der Anteil am Gesamtverkehr (bezogen auf den DTV eines Abschnitts). Die reine Betrachtung der Lärmemissionen lässt allerdings die Bevölkerungsexposition ausser Acht, d.h. den Umstand, dass die höchsten Schwerverkehrsanteile auf den Autobahnen auftreten, welche entweder durch Gebiete mit verhältnismässig niedriger Siedlungsdichte führen oder in urbanen Räumen bereits relativ gut lärmsaniert sind.

Für die immissionsseitige Betrachtung stellt sich die Frage der Berechnungsmethode des Schwerverkehrsanteils. Nachfolgend wird dazu folgende Sichtweise eingenommen: Es werden einmal die Anzahl Personen über dem Grenzwert mit dem Gesamtverkehr (*inkl.* SNF) modelliert und einmal mit dem Verkehr *ohne* die schweren Nutzfahrzeuge (SNF). Bezogen auf den Indikator „Personen über dem Grenzwert“ entspricht die Differenz zwischen den beiden Modellierungen rein rechnerisch dem Anteil des Schwerverkehrs an den Grenzwertüberschreitungen. Allerdings entstehen die Differenzen nur dort, wo die Lärmimmissionen relativ nahe beim Grenzwert liegen und daher bei der Modellierung ohne Schwerverkehr die Immissionen unter den Grenzwert sinken. In Fällen, wo bereits der Gesamtverkehr zu keinen Grenzwertüberschreitungen führt oder dort wo auch ohne Schwerverkehr zu hohe Immissionen entstehen, ergeben sich rechnerisch keine Veränderungen. In beiden Fällen trägt der Schwerverkehr aber auch zur Lärmbelastung bei, dies ist bei der Interpretation der nachfolgenden Zahlen zu beachten.

Bei dieser Sichtweise liegt der Anteil des Schwerverkehrs an den Lärmimmissionen bei ungefähr 5% (entspricht rund 50'000 Personen) der von schädlichem Strassenverkehrslärm betroffenen Personen. Dieser Anteil bleibt auch in der Nacht bestehen – trotz Nachtfahrverbot. Grund dafür ist, dass im Modell (unter Annahme der Tagesganglinie gemäss Schweizer Norm SN 640005a¹³) rund 6% des täglichen Schwerverkehrs während den Nachtstunden zwischen 22 und 6 Uhr verkehrt¹⁴ (restlicher Verkehr: 7% in der Nacht), d.h. das Verhältnis zwischen Schwer- und restlichem Verkehr ist tags und nachts ungefähr ähnlich. Dies führt dazu, dass der Schwerverkehrsanteil in der Nacht (bei 10dB tieferen Immissionsgrenzwerten) praktisch gleich hoch ist wie am Tag.

Bis im Jahr 2020 verändert sich diese Zahl nur geringfügig, der Rückgang ist allerdings minim und kann auf die angenommene unspezifische Lärmreduktion von -1dB bis 2020

¹³ die SN 640005a wurde mittlerweile von der SN 640005b abgelöst. Aus der Beschreibung der Ganglinientypen in der neuen Norm lässt sich keine eindeutige räumliche oder funktionale Zuordnung ableiten, noch besteht bereits eine gängige Praxis zur Anwendung der neuen Norm. Zurzeit befasst sich ein Forschungsvorhaben mit der Anleitung zur Anwendung der SN 640005b. Aus diesen Gründen wurde beschlossen, in vorliegender Arbeit noch mit den Ganglinien der Vorgängernorm zu arbeiten.

¹⁴ davon gut 4% in der ersten Stunde nach dem Nachtfahrverbot ab 6 Uhr

zurückgeführt werden. Unter dieser Annahme führt das steigende Verkehrsaufkommen zu keinem nennenswerten Zuwachs der lärmbelasteten Personen.

Wird ausschliesslich die Nord-Süd-Achse Basel-Chiasso (bzw. ein 10 km breites Band um die Autobahn A2; siehe untenstehende Figur) betrachtet, steigt der Schwerverkehrsanteil an den lärmbeeinträchtigten Personen leicht auf rund 8% (ca. 15'000 Personen) aller in diesem Korridor betroffenen Personen. Weitere Eckwerte zu dieser Korridor-Auswertung: Rund 15% der Schweizer Wohnbevölkerung (Stand 2000) wohnt in diesem Band um die Autobahn A2. Davon sind rund ein Fünftel von schädlichem Strassenverkehrslärm betroffen, wobei davon gut 40% auf den Streckenabschnitt Basel-Härkingen und weitere rund 30% auf den Abschnitt Härkingen-Bellinzona entfallen.

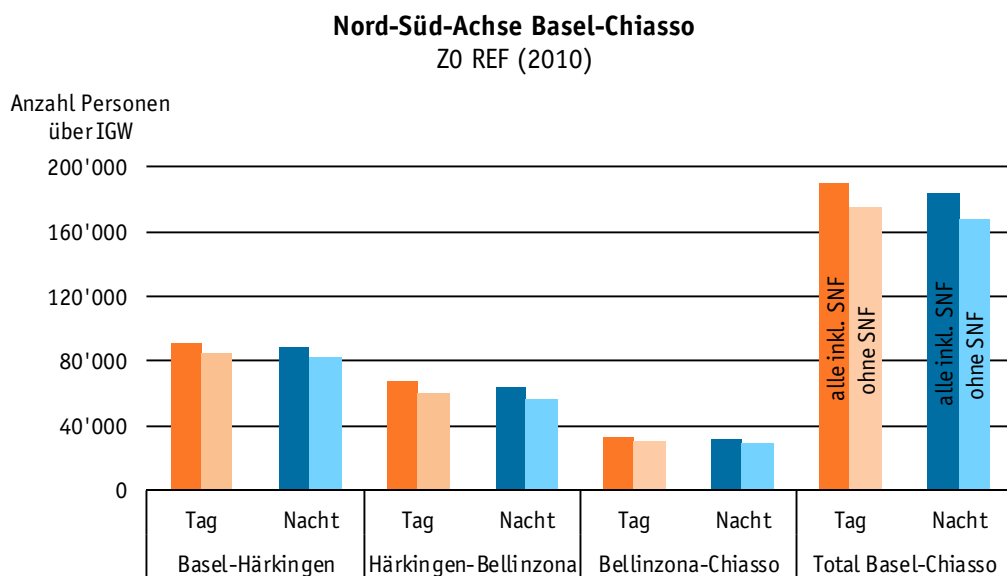
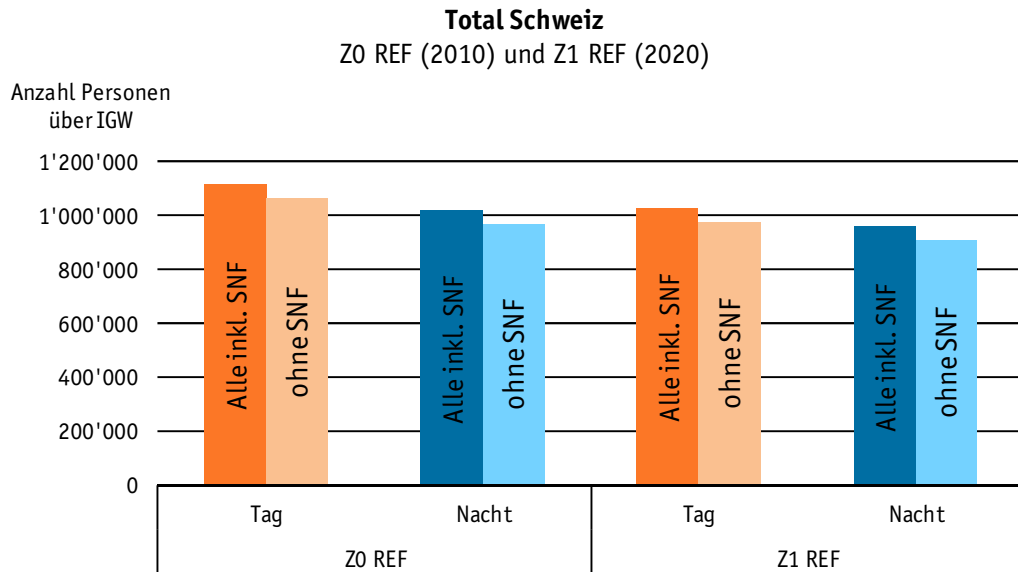
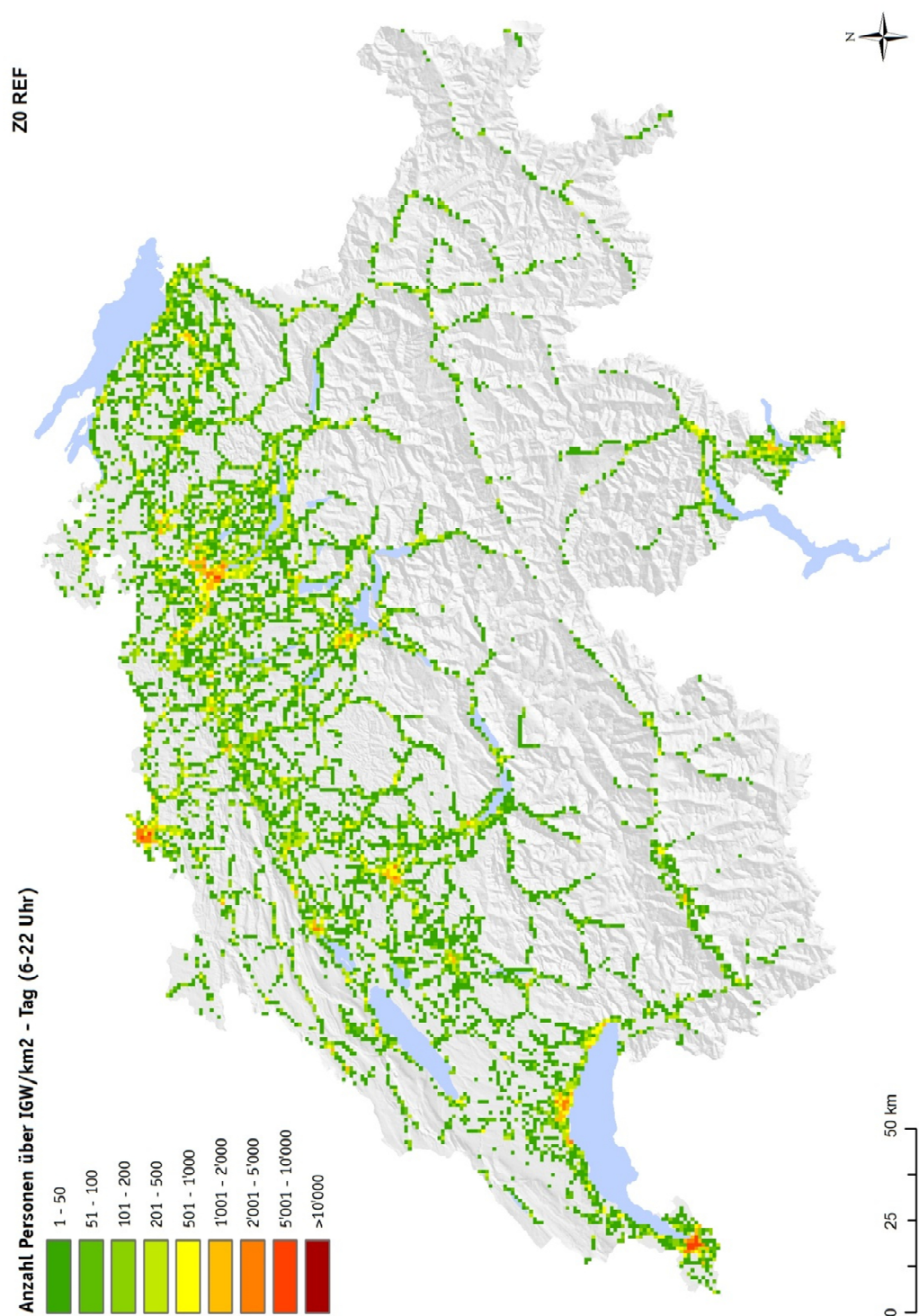
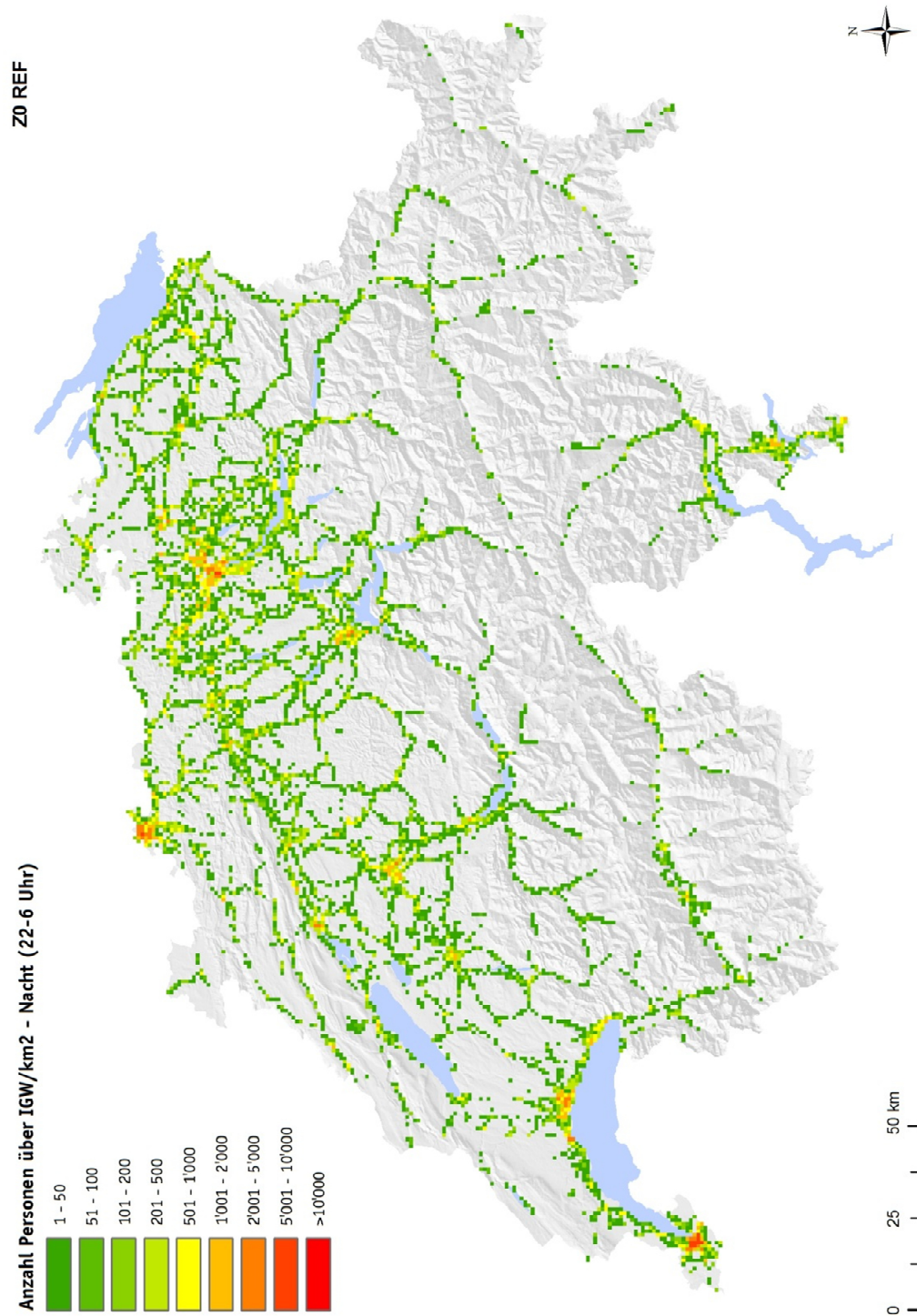
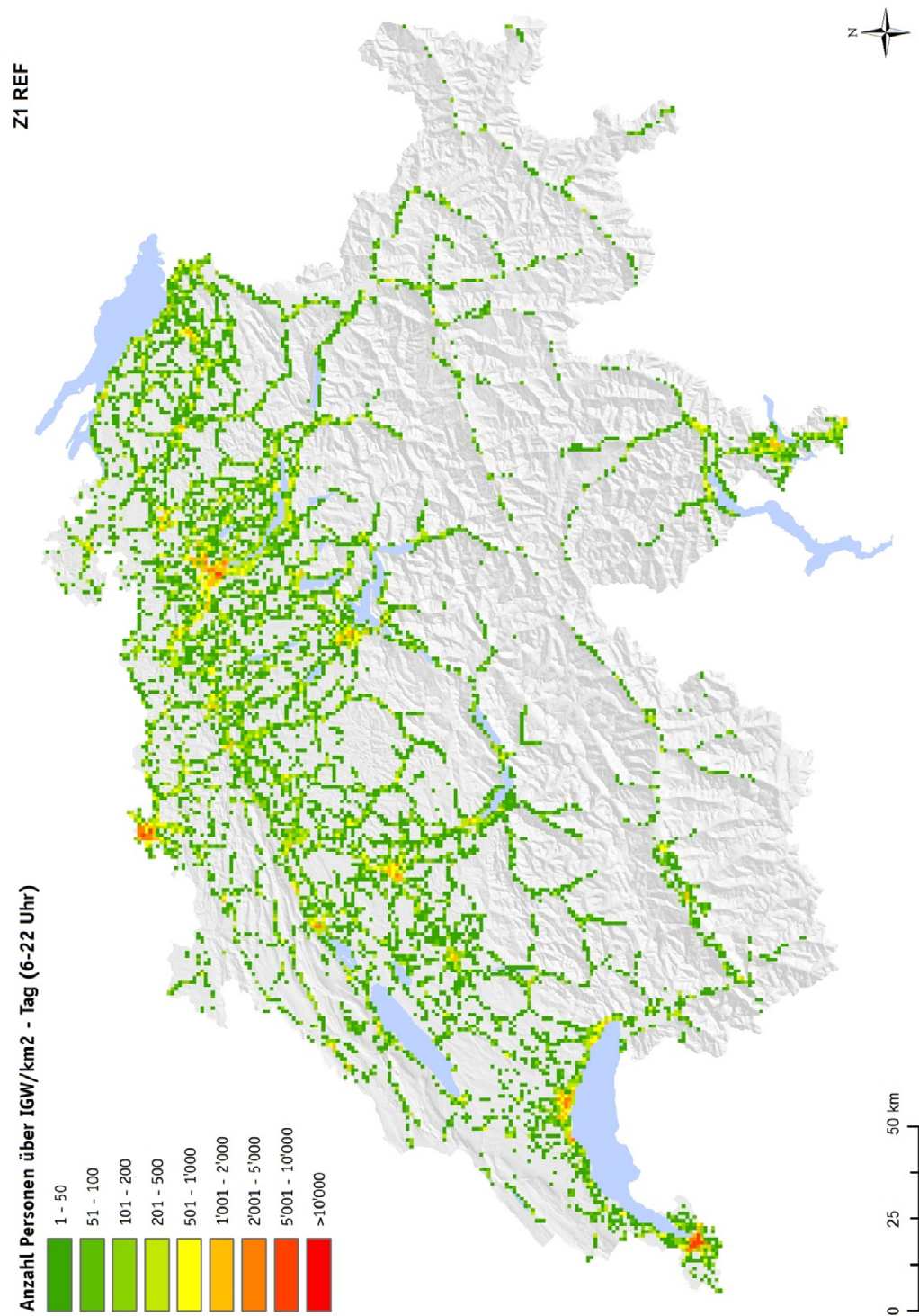


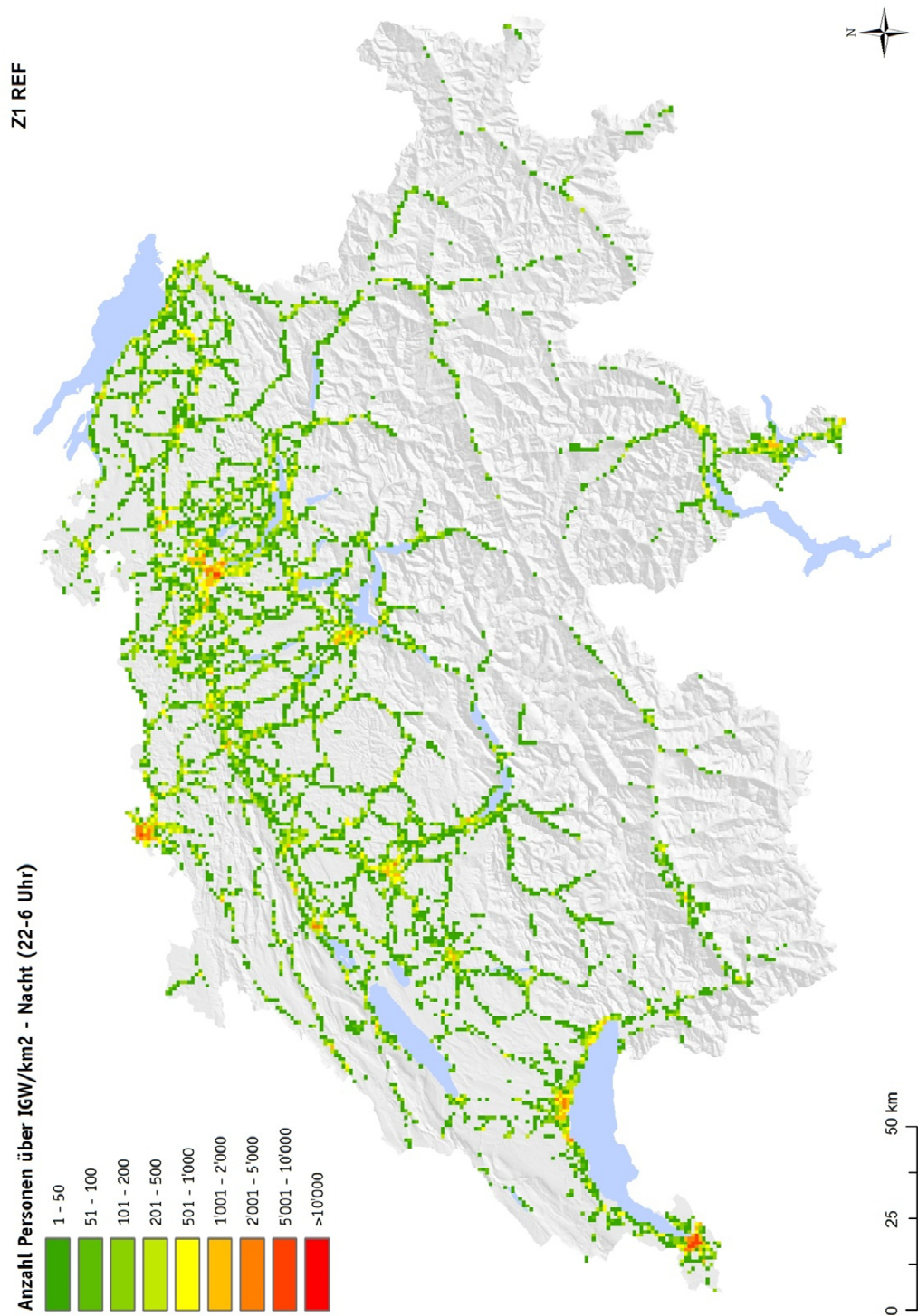
Abb. 3.31 Von Strassen-Lärmimmissionen über dem Grenzwert (Immissionsgrenzwert IGW) betroffene Personen – Tag/Nacht; Achse Basel-Chiasso: Betroffene Personen in maximal 5 km Abstand zur Autobahn A2 (Basel-Chiasso)

Der Grossteil der lärmbelasteten Bevölkerung lebt in Agglomerationen und Städten (siehe nachfolgende Kartendarstellungen). Im ländlichen Raum sind nur vereinzelte lärmbelastete Gebiete mit namhafter Wohnbevölkerung zu beobachten. Die von schädlichem Strassenverkehrslärm betroffene Fläche macht tagsüber rund 180 km² (0.4 % der Landesfläche) aus und in der Nacht rund 120 km² (0.3 % der Landesfläche). Von diesen Flächen befinden sich rund 80% in Städten oder Agglomerationen.









Die Schwerverkehrsanteile an den Lärmemissionen (Anteile an der Lärmemissionsenergie) sind in untenstehender Figur dargestellt. Gut sichtbar sind die höheren Schwerverkehrsanteile am Strassenverkehrslärm auf den Nord-Süd-Achsen. Die Schwerverkehrsanteile sind nachts wegen des Nachtfahrverbots deutlich geringer, insbesondere in den dichtbesiedelten Räumen des Mittellands entlang der Nord-Süd-Achsen.

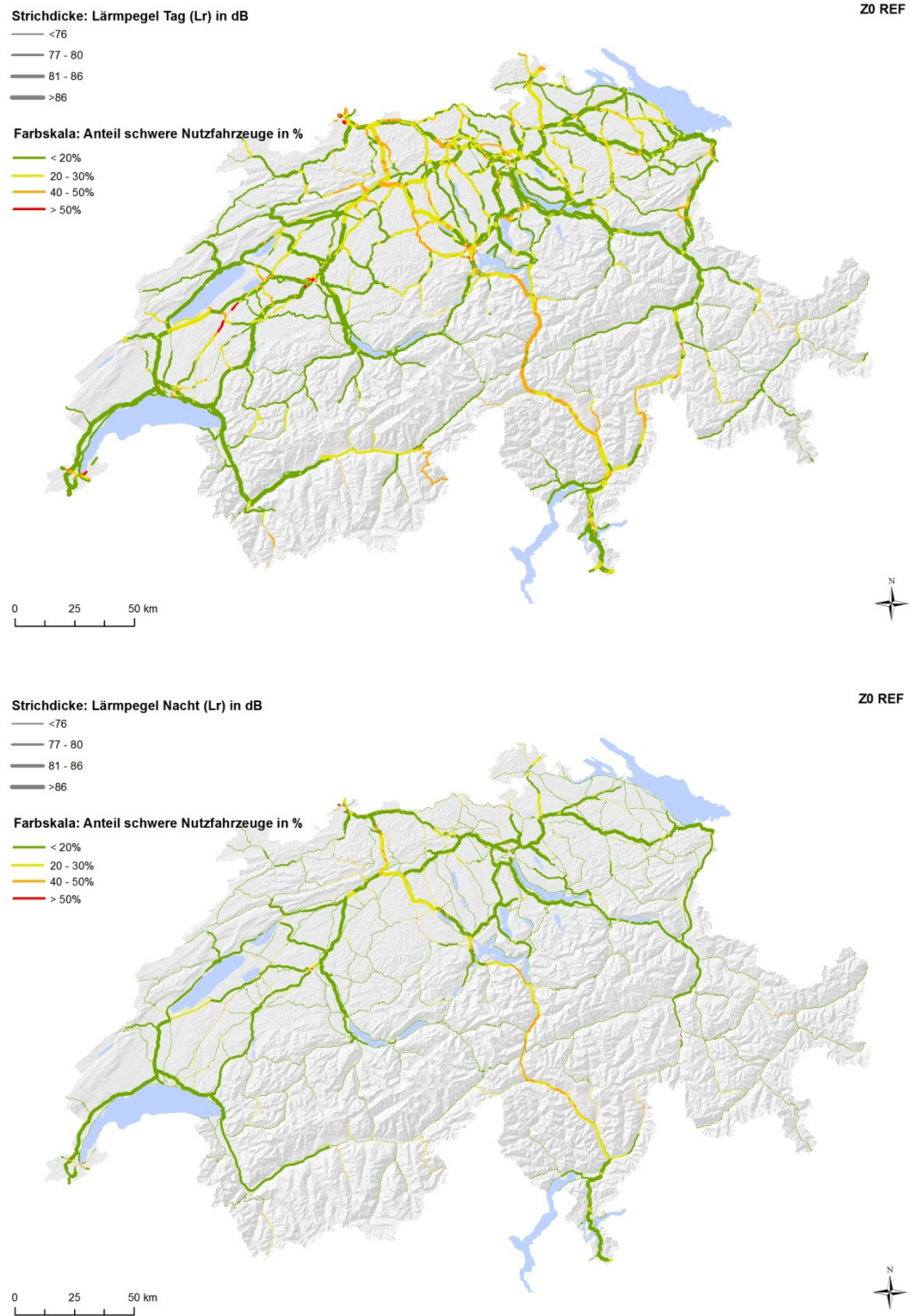


Abb. 3.32 Lärmemissionen Strassenverkehr – Z0 REF (2010) – tagsüber (oben) und nachts (unten)

3.3.2 Schiene

Tagsüber sind heute (Z0 2010) rund 70'000 Personen von schädlichem Eisenbahnlärm betroffen (siehe Figur unten). Allerdings steigt diese Zahl in der Nacht auf rund das Doppelte (ca. 160'000 Personen) an. Grund dafür ist der in den Nachtstunden abgewinkelte Schienengüterverkehr mit seinen höheren spezifischen Lärmemissionen (lautes Rollmaterial im Güterverkehr). Allerdings ist der Anteil an ausländischem Rollmaterial im Güterverkehr gross, die Einflussnahme im Rahmen der schweizerischen Gesetzgebung (Zulassungsvorschriften) ist dementsprechend beschränkt.

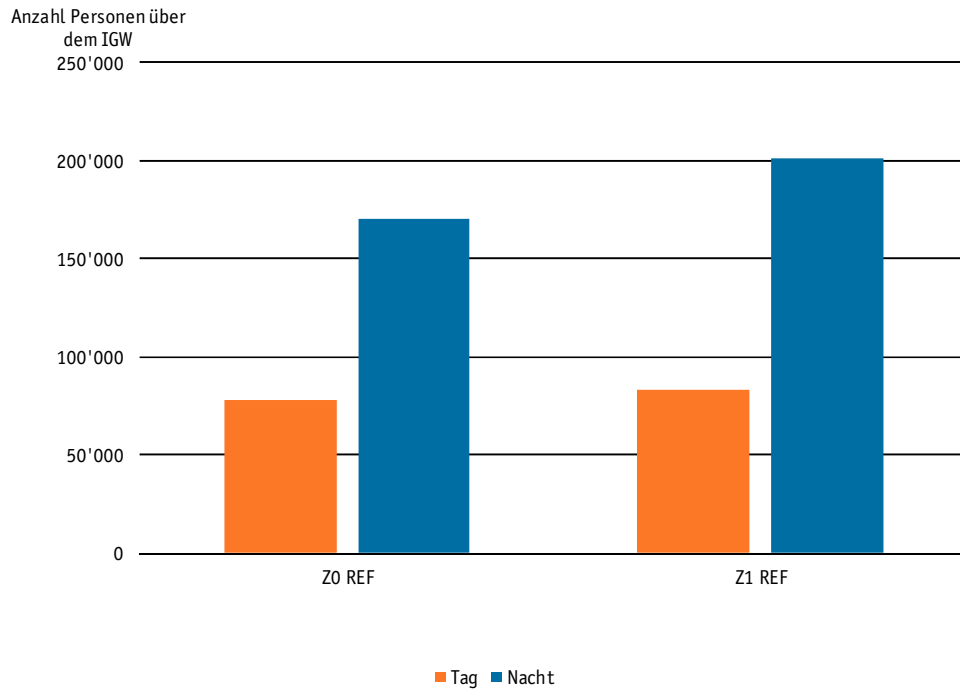


Abb. 3.33 Von Schienen-Lärmimmissionen über dem Grenzwert (Immissionsgrenzwert IGW) betroffene Personen – Tag/Nacht;

In den nachfolgenden Karten ist die räumliche Verteilung der vom Schienenlärm betroffenen Personen dargestellt. Im Gegensatz zum Strassenverkehr tritt der Eisenbahnverkehrslärm entlang schmaler Korridore auf. Diese befinden sich entlang der Nord-Süd-Alpentransitachsen (Basel-Chiasso, Bern-Lötschberg), sowie der wichtigsten Ost-West-Verbindungsachsen (Jurasüdfuss, Härkingen-Brugg-Zürich-St. Gallen, etc.). In der Nacht verschärft sich die Lärmsituation entlang dieser Achsen vor allem in den Ballungsräumen mit hoher Siedlungsdichte. Flächenmässig sind tagsüber rund 15 km² der Landesfläche (0.04%) und in der Nacht rund 31 km² von schädlichem Eisenbahnlärm betroffen, 80% dieser Fläche befindet sich in Städten und Agglomerationen. In Z1 REF (2020) wird die Linienführung des Gotthard-Basistunnels (Erstfeld – Biasca) augenfällig, auf dieser Teilstrecke der Gotthard-Achse entschärft sich die Schienenlärmsituation deutlich, wobei davon aufgrund der geringen Siedlungsdichte im Reusstal bzw. der Leventina lediglich wenige Personen profitieren.

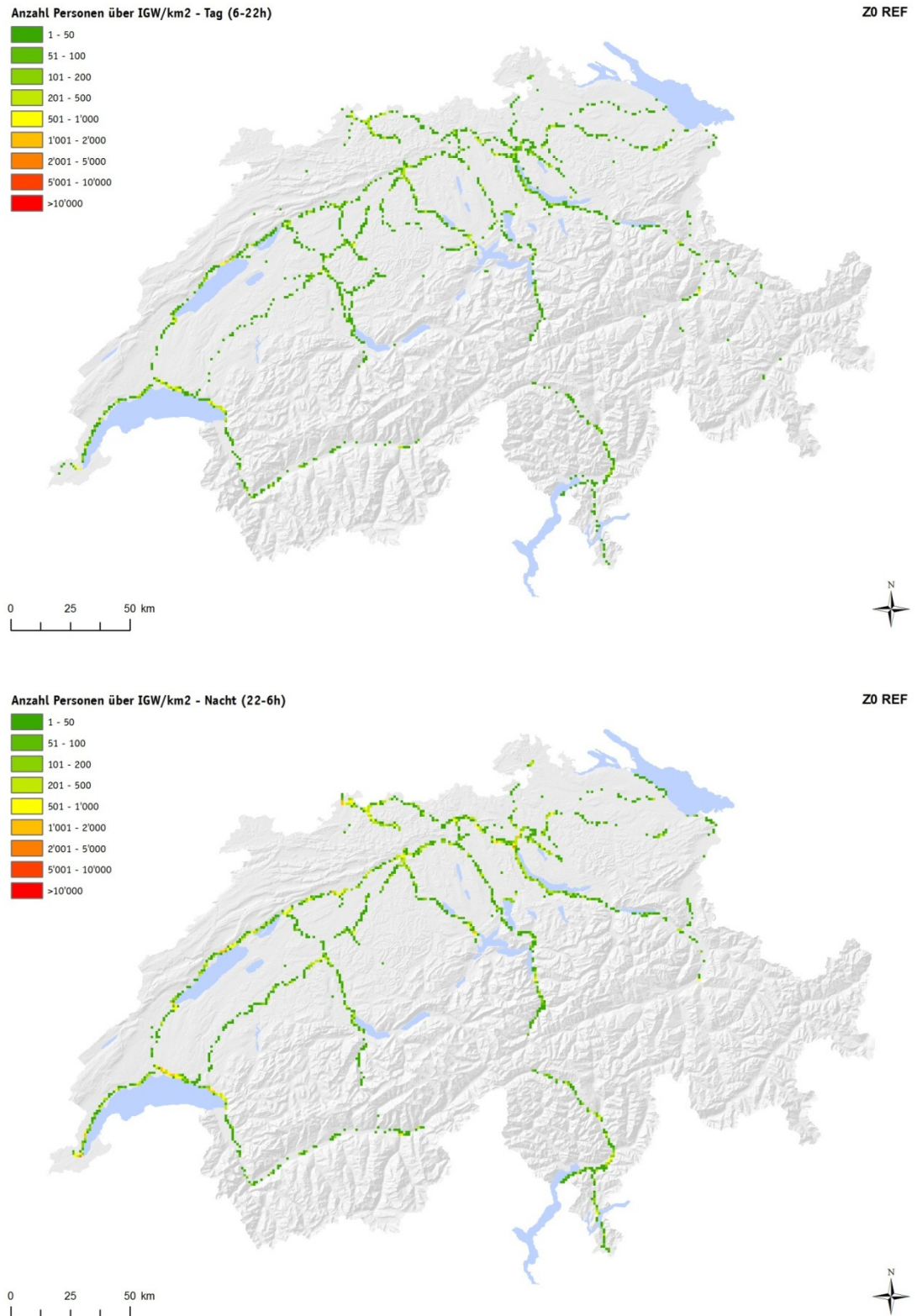


Abb. 3.34 Betroffene Personen über dem Immissionsgrenzwert (IGW) – Schiene – Z0 REF (2010)

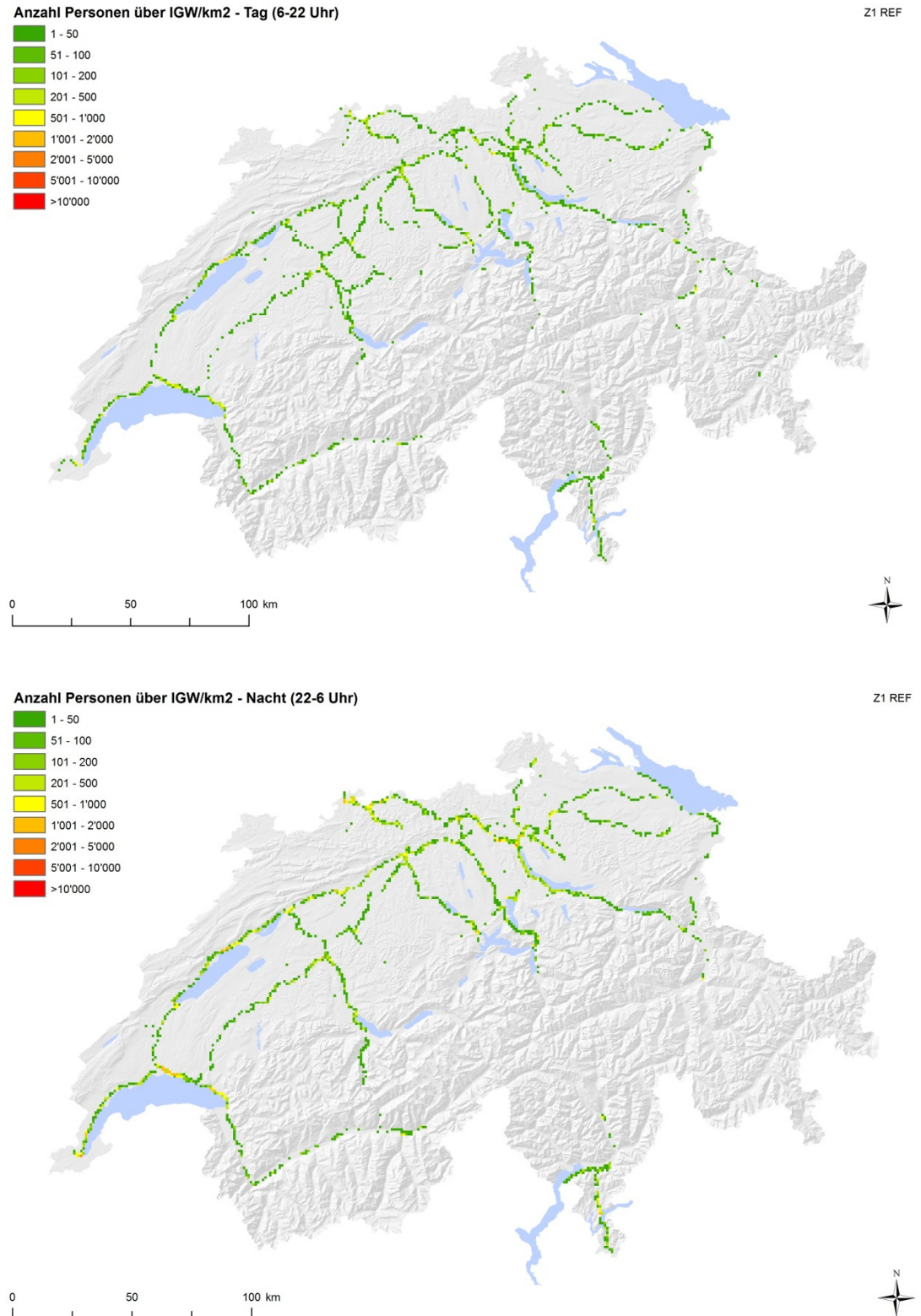


Abb. 3.35 Betroffene Personen über dem Immissionsgrenzwert (IGW) – Schiene – Z1 REF (2020)

Mit den bestehenden Datengrundlagen (Emissionen des Emissionsmodells der SBB) nicht auf der Ebene der betroffenen Personen möglich. Darstellbar ist jedoch eine qualitative Angabe des Güterverkehrsanteils an den Lärmemissionen des Schienenverkehrs (siehe untenstehende Figur für Z1 REF). Klar erkennbar sind die hohen Güterverkehrsanteile auf den Transitachsen Basel-Chiasso und Bern-Lötschberg-Simplon. Ebenfalls hohe Güterverkehrsanteile sind auf den Streckenabschnitten Neuchâtel-Härkingen zu ver-

zeichnen. Zusammen mit der Darstellung der betroffenen Personen in obenstehenden Figuren lassen sich folgende Abschnitte ausscheiden, auf denen der Schienen-Güterverkehr in Z1 REF (2020) namhaft an der nächtlichen Lärmproblematik beteiligt ist:

- Fricktal, zwischen Pratteln und Brugg
- Lenzburg – Rotkreuz – Erstfeld
- Jurasüdfuss, zwischen Olten – Biel – Neuchâtel bzw. bis Lausanne
- Bern – Lötschberg – Visp/Brig

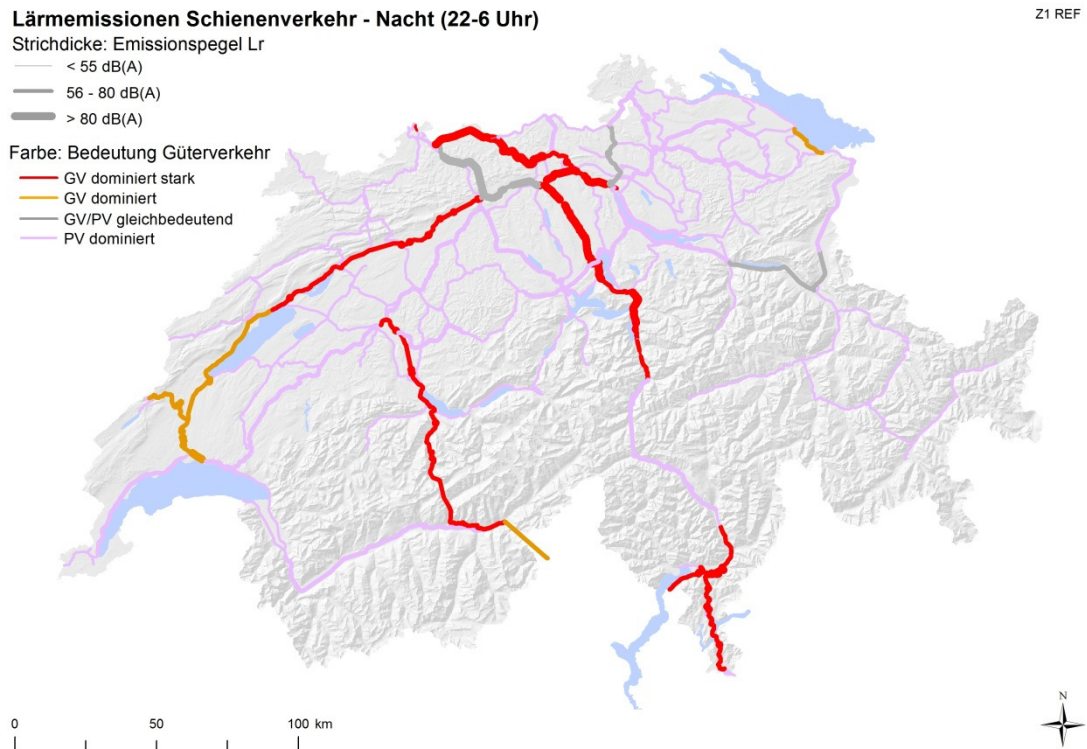


Abb. 3.36 Lärmemissionen Schienenverkehr – Güterverkehrsanteil Z1 REF (2020)

3.4 Vorprozess-Emissionen („Well-to-tank“)

In den vorangegangenen Kapiteln der Resultatübersicht wurde der Fokus auf die beim Betrieb der Verkehrsmittel entstehenden Emissionen und Energieverbräuche gelegt („Tank-to-Wheels“). Nun sollen diese Emissionen/Energieverbräuche den bei der Produktion und dem Transport der Energieträger entstehenden Umweltauswirkungen gegenübergestellt werden („Well-to-Tank“ bzw. „Primärenergieverbrauch“):

3.4.1 Luftschadstoffe

Strasse

In untenstehender Grafik sind zusätzlich zu den bereits besprochenen NO_x -Emissionen im Betrieb („Tank-to-Wheel“) die NO_x -Emissionen dargestellt, die bei der Herstellung und dem Transport der Treibstoffe entstehen („Well-to-Tank“). Die Daten sind in Annex 7 im Detail einsehbar.

Pro Kilogramm Diesel, das im Betrieb verbraucht wird, entstehen rund 2.3 Gramm NO_x im Vorprozess. Im Jahr 2010 (Z0) entfallen rund 11% der Gesamt- NO_x -Emissionen (Betrieb und Vorprozess) des Schwerverkehrs auf den Vorprozess. Während im Betrieb die spezifischen NO_x -Emissionen bis 2030 stark absinken, verändern sich die Treibstoffverbräuche der schweren Nutzfahrzeuge (siehe Kapitel 2.3.3) nur unwesentlich, so dass der An-

teil der Well-to-Tank-Emissionen bis 2020 (Z1) rund einen Viertel und bis 2030 knapp die Hälfte der Gesamt- NO_x -Emissionen des Schwerververkehrs ausmacht.

Noch ausgeprägter stellt sich diese Entwicklung bei den PM_{10} -Emissionen dar. Pro Kilogramm Diesel entstehen rund 0.2 Gramm PM_{10} bei der Produktion und der Verteilung. Heute (Z0 2010) machen die Vorprozess- PM_{10} -Emissionen des Schwerververkehrs im Verhältnis zu den PM_{10} -Auspuff-Emissionen rund 38% aus. Dieser Anteil steigt bis 2020 auf 68% an. Bis 2030 stammen 93% der PM_{10} -Emissionen aus der Dieselherstellung und dem –transport.

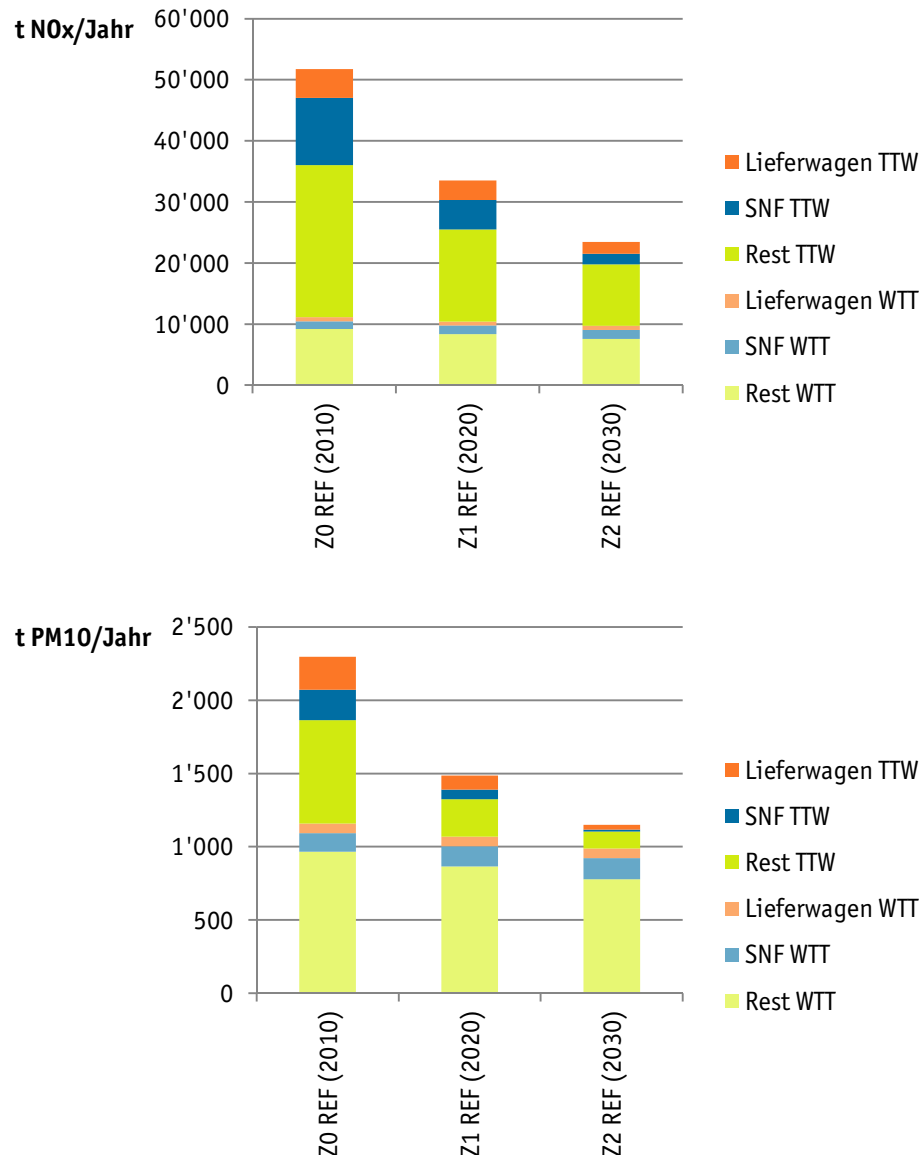


Abb. 3.37 NO_x und PM_{10} -(Auspuff-)Emissionen Strasse -2010 bis 2030 – Betrieb und Vorprozesse („Well-to-wheel“). „TTW“ = „tank to wheel“, „WTT“ = „well to tank“.

Schiene

In untenstehender Figur sind die gesamten NO_x -Emissionen des Schienenverkehrs aus Betrieb und Energiebereitstellung dargestellt. Mit Abstand der grösste NO_x -Anteil stammt aus der Verbrennung von Diesel beim Betrieb der Rangierlokomotiven und Bauzüge (Z0 2010: 84%, Z1 2020: 71%). Gut 10% der gesamten NO_x -Emissionen des Schienenverkehrs entstehen bei der Produktion des Bahnstroms (SBB-Mix), 2% entfallen auf den Güterverkehr (2020: 5% auf Güterverkehr).

Würde statt dem schweizerischen Bahnstrom-Mix (SBB-Mix) der europäische Durchschnittsstrom-Mix unterstellt, so würden sich die Verhältnisse markant verschieben. Die NO_x -Emissionen aus Betrieb und Vorprozessen würden sich gut vervierfachen. Der Stromanteil (Produktion) macht dann rund 80% der gesamten NO_x -Emissionen aus.

Die PM_{10} -Emissionen werden durch die Anteile aus Abrieb und Bremsen dominiert (rund 94%). Die Partikelemissionen aus der Stromproduktion (ca. 5%) und aus dem Rangierbetrieb (ca. 1%) spielen demgegenüber eine untergeordnete Rolle. Stammte der Strom aus dem europäischen Verbund (UCTE) so nähme die Bedeutung der Stromproduktion entsprechend zu und würde rund einen Viertel der gesamten PM_{10} -Emissionen ausmachen.

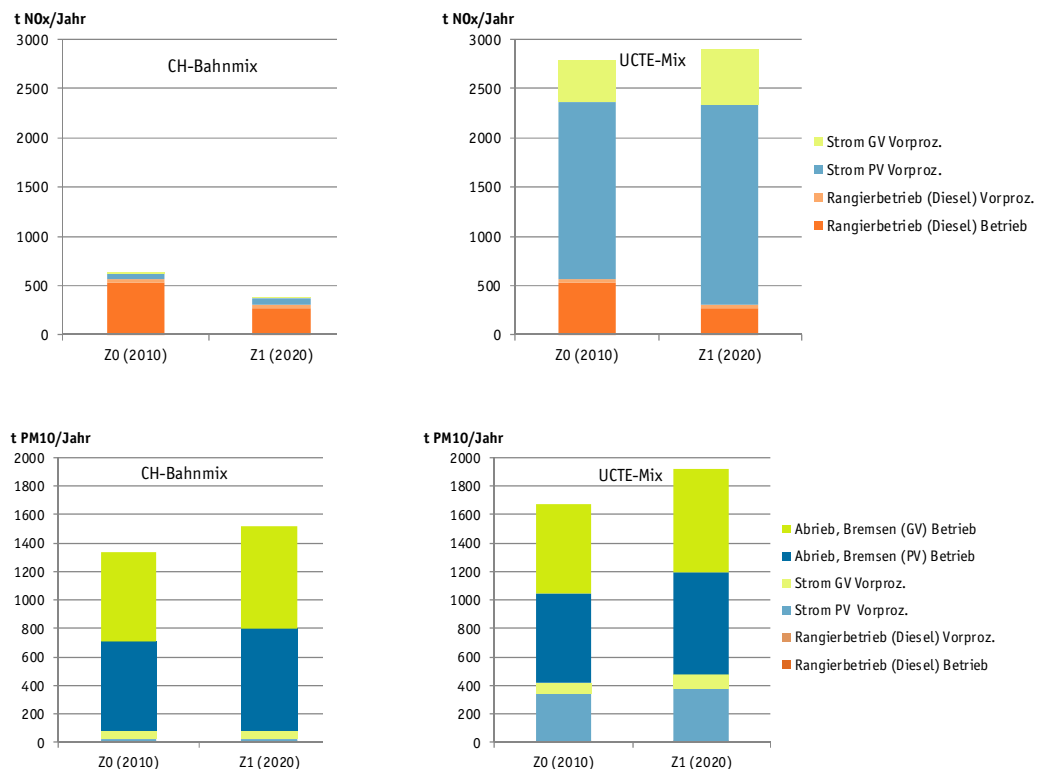


Abb. 3.38 NO_x und PM_{10} -(Auspuff-)Emissionen Schiene -2010 bis 2030 – Betrieb und Vorprozesse („Well-to-wheel“). „TTW“ = „tank to wheel“, „WTT“ = „well to tank“. SBB-Mix (links) und UCTE-Mix (rechts).

3.4.2 Energieverbrauch/ CO_2

Strasse

Bei Herstellung und Transport werden pro Kilogramm Dieseltreibstoff rund 500 g CO_2 emittiert und rund 55 MJ Energie verbraucht. Somit ergibt sich, dass beim Schwerverkehr rund 14% der CO_2 -Emissionen respektive rund 22% des Primärenergieverbrauchs aus den Vorprozessen stammen. Da CO_2 -Emissionen/Vorprozessenergieverbrauch und Treibstoffverbrauch direkt zusammenhängen, bleibt dieses Verhältnis auch in Zukunft ungefähr konstant, unter der Annahme, dass die Beimischung von (CO_2 -neutralen) Biotreibstoffen auch weiterhin nur einen marginalen Anteil ausmachen wird.

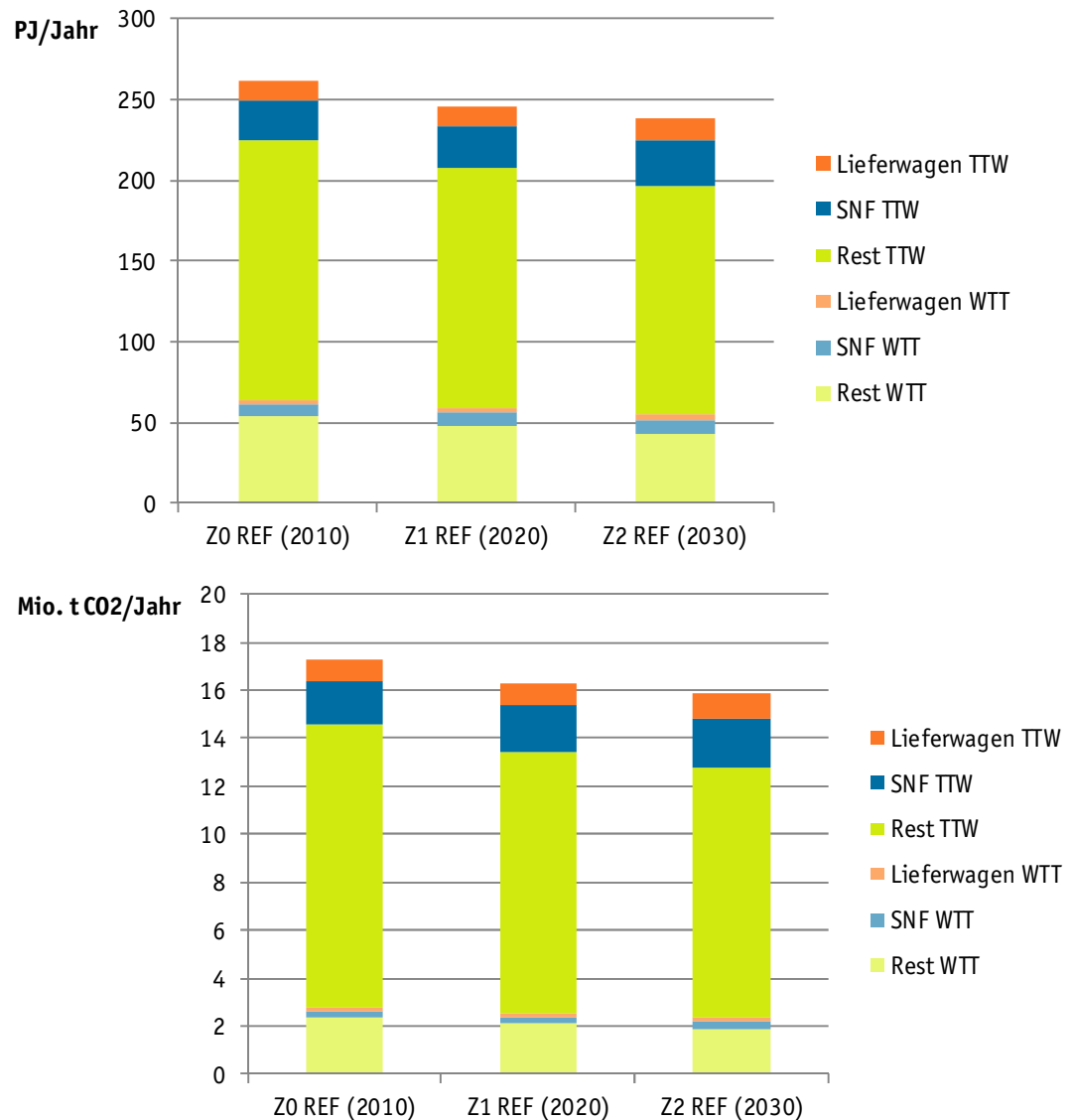


Abb. 3.39 Primärenergieverbrauch und CO₂-Emissionen Strasse – 2010 bis 2030. Betrieb und Vorprozesse (TTW = „Tank-to-Wheel“, WTT = „Well-to-Tank“)

Schiene

Der gesamte Energieverbrauch der Schiene beträgt rund 15-20 PJ/Jahr. Für die im Betrieb verbrauchte Energie (Güterverkehr: knapp 2 PJ/Jahr) muss bei der Produktion fast gleichviel Energie (Vorprozesse) aufgewendet werden. Diese Grössenordnungen gelten für die Stromproduktion mit dem Schweizer Bahnstrommix (SBB-Mix). Wird bei der Produktion der Europäische Durchschnittsmix (UCTE-Mix) unterstellt, so muss deutlich mehr Energie für die Stromproduktion aufgewendet werden, nämlich gut doppelt so viel wie im Betrieb verbraucht wird.

Die gesamten CO₂-Emissionen aus dem Dieserverbrauch und dem Stromverbrauch auf der Schiene betragen rund 70-75 Tonnen pro Jahr (siehe untenstehende Figur). Zwei Drittel der CO₂-Emissionen stammen aus dem Dieserverbrauch der Rangierlokomotiven und Bauzüge. Das restliche Drittel entsteht bei der Stromproduktion (SBB-Mix.). Auf den Güterverkehr entfallen rund 7% der gesamten CO₂-Emissionen des Schienenverkehrs.

Auch beim CO₂-Ausstoss ist die relativ saubere Stromproduktion des Schweizer Bahnstroms entscheidend: Würde der europäische Durchschnittsstrom-Mix unterstellt, so wären die CO₂-Emissionen des Schienenverkehrs knapp 20 Mal höher.

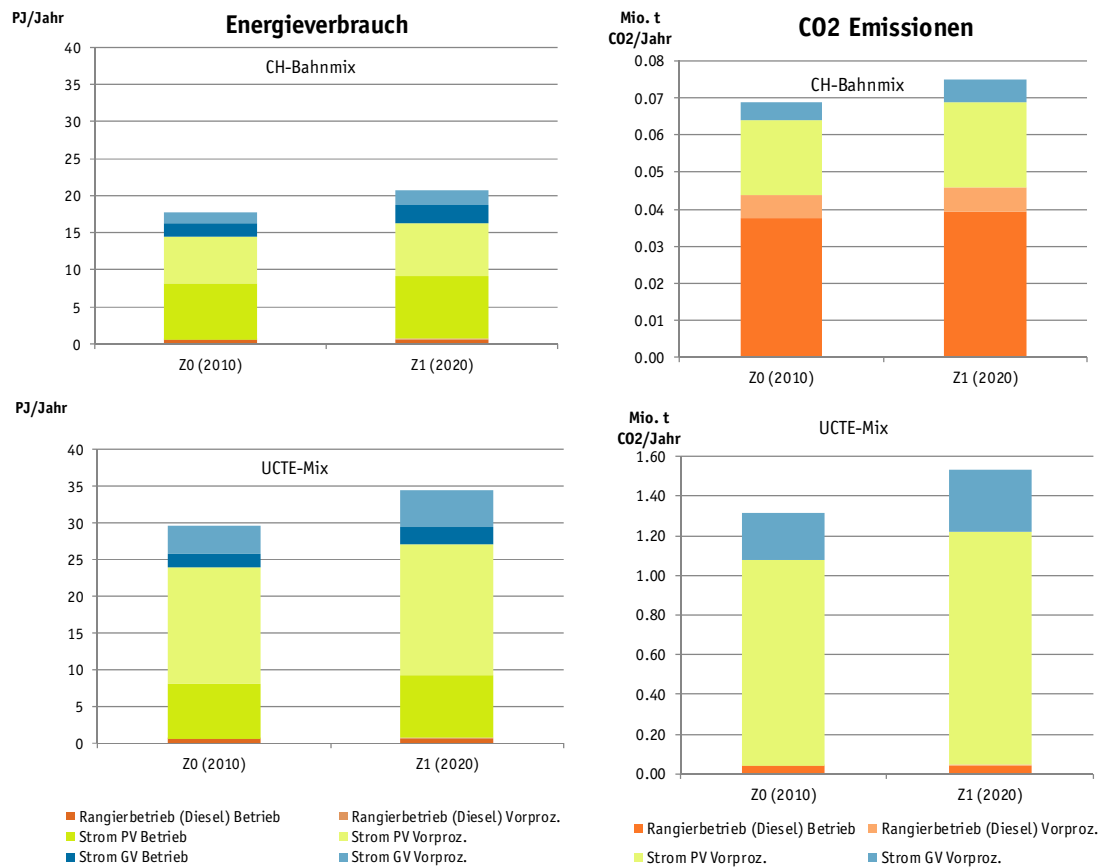


Abb. 3.40 Primärenergieverbrauch und CO₂-Emissionen Schiene – 2010 bis 2020. Betrieb und Vorprozesse (TTW = „Tank-to-Wheel“, WTT = „Well-to-Tank“). Strommix SBB (oben) und UCTE-Mix (unten). Vorsicht: unterschiedliche Skalierungen der Y-Achsen in den CO₂-Figuren beachten

4 Synthese und Folgerungen

Im vorangegangenen Kapitel wurden die Umweltauswirkungen detailliert nach Verkehrsträger Strasse und Schiene dargestellt. Nun sollen die Umweltauswirkungen des Güterverkehrs schienen- und strassenseitig einander gegenübergestellt und verglichen werden.

4.1 Synthese

4.1.1 Luftschadstoffe

Untenstehende Figuren zeigen die Luftschadstoff-Emissionsfrachten (in t/Jahr), die durch den Strassen- und Schienenverkehr jährlich emittiert werden. Der Beitrag der Schiene an den Güterverkehrs- NO_x -Emissionen ist gering, selbst wenn an Stelle des relativ sauberen SBB-Strommix' der europäische Durchschnittsmix (UCTE) unterstellt wird. Sie machen deutlich weniger als 10% der gesamten NO_x -Emissionen des Güterverkehrs auf Strasse und Schiene aus. Hauptverursacher der NO_x -Emissionen des Schienenverkehrs sind die Dieselmotoren des Rangierbetriebs und der Bauzüge, wenn für die Stromerzeugung der SBB-Mix unterstellt wird.

Bei den Partikelemissionen sind beim Schienenverkehr vor allem die Betriebsemissionen aus Abrieb und Bremsen relevant. Diese sind ca. 20% höher als diejenigen des Strassengüterverkehrs. Allerdings weisen die Partikel aus dem Verbrennungsprozess von Diesel beim Strassenverkehr eine höhere Toxizität bzw. krebserregende Wirkung auf als die vorwiegend aus Eisenpartikel bestehenden Emissionen des Schienenverkehrs.

Sowohl die NO_x - als auch die durch technologische Massnahmen an Motor und Abgasfilterung beeinflussbaren Auspuff-Partikelemissionen der Strasse werden sich in den nächsten 10 Jahren markant absenken, sofern sich die Verbesserungen der Emissionswerte als Folge der verschärften Grenzwerte (EURO-Stufen) erwartungsgemäss in der Flotte durchsetzen. Die nicht-Auspuff-Partikelemissionen aus Abrieb und Aufwirbelung sind dagegen von der Fahrleistung abhängig und werden dementsprechend – unter Berücksichtigung der Unsicherheiten bei der Messung dieser Emissionen – tendenziell zunehmen. Auch beim Schienenverkehr werden sich die Partikelemissionen aus Bremsen und Abrieb parallel zum erwarteten Wachstum der Fahrleistungen entwickeln.

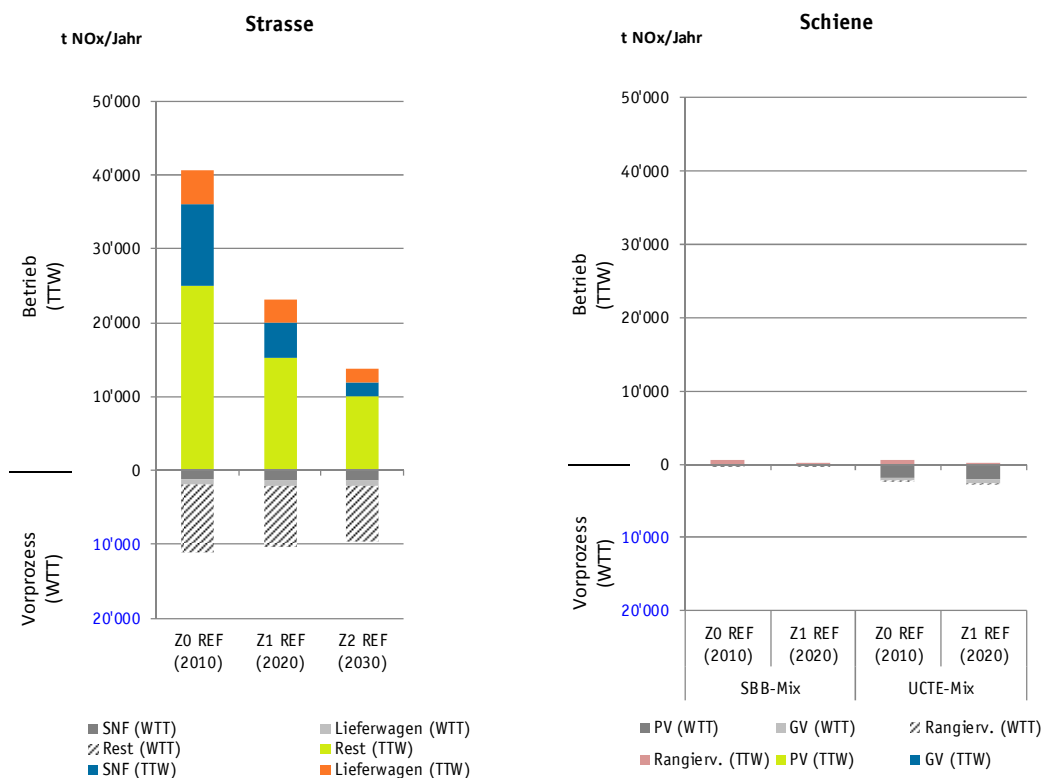


Abb. 4.41 NO_x – Emissionen Strasse und Schiene – 2010 bis 2030 – Betrieb und Vorprozesse („Well-to-wheel“)

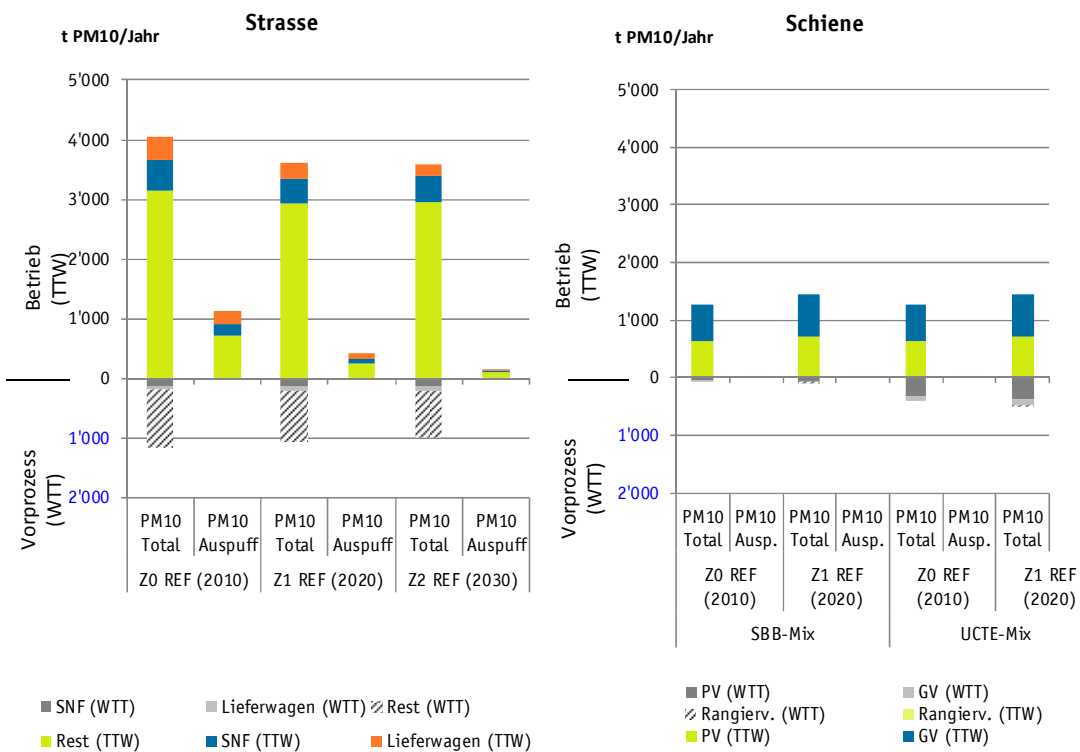


Abb. 4.42 Partikel – Emissionen Strasse und Schiene – 2010 bis 2030 – Betrieb und Vorprozesse („Well-to-wheel“)

Letztlich stellt sich die Frage, wie effizient hinsichtlich der Luftschadstoffemissionen die Güter auf der Strasse respektive der Schiene transportiert werden. Dazu werden die Luftschadstoff-Emissionen des Güterverkehrs in Bezug zur Verkehrsleistung in Tonnenkilometern (Zeitreihe der Verkehrsleistungen, siehe Anhang I) gesetzt, um so die spezifischen Emissionen des Strassen- und Schienengüterverkehrs vergleichen zu können (siehe untenstehende Figur). Selbst wenn vereinfachend die Emissionen des Rangierverkehrs und der Bauzüge vollständig dem Güterverkehr zugeschlagen werden, weist der Schienengüterverkehr deutlich tiefere spezifische NO_x -Emissionen als der Strassengüterverkehr. Inklusiv Vorprozesse stossen die schweren Strassengüterfahrzeuge im Jahr 2010 rund 13 Mal mehr NO_x pro Tonnenkilometer aus als der Schienenverkehr. Bei den Partikelemissionen sind die spezifischen Emissionen des schweren Strassengüterverkehrs ca. ein Drittel niedriger als diejenigen des Schienenverkehrs. Die Feinstaubemissionen des Schienenverkehrs stammen aber hauptsächlich aus Eisenpartikeln vom Bremsen und Abrieb. Für letztere wird davon ausgegangen, dass sie bezüglich Beschaffenheit (Korngrösse) und Toxizität weniger gesundheitsschädlich sind als die Partikel aus Verbrennungsprozessen.

Diese Verhältnisse geben eine grobe Grössenordnung an, da die zu Grunde liegenden Daten (Fahrleistungen, Emissionen, Verkehrsleistungen) aus verschiedenen Quellen zusammengetragen wurden. Ausserdem sind die Angaben stark von den Auslastungen abhängig, und die Angaben dazu sind mit gewissen Unsicherheiten behaftet.

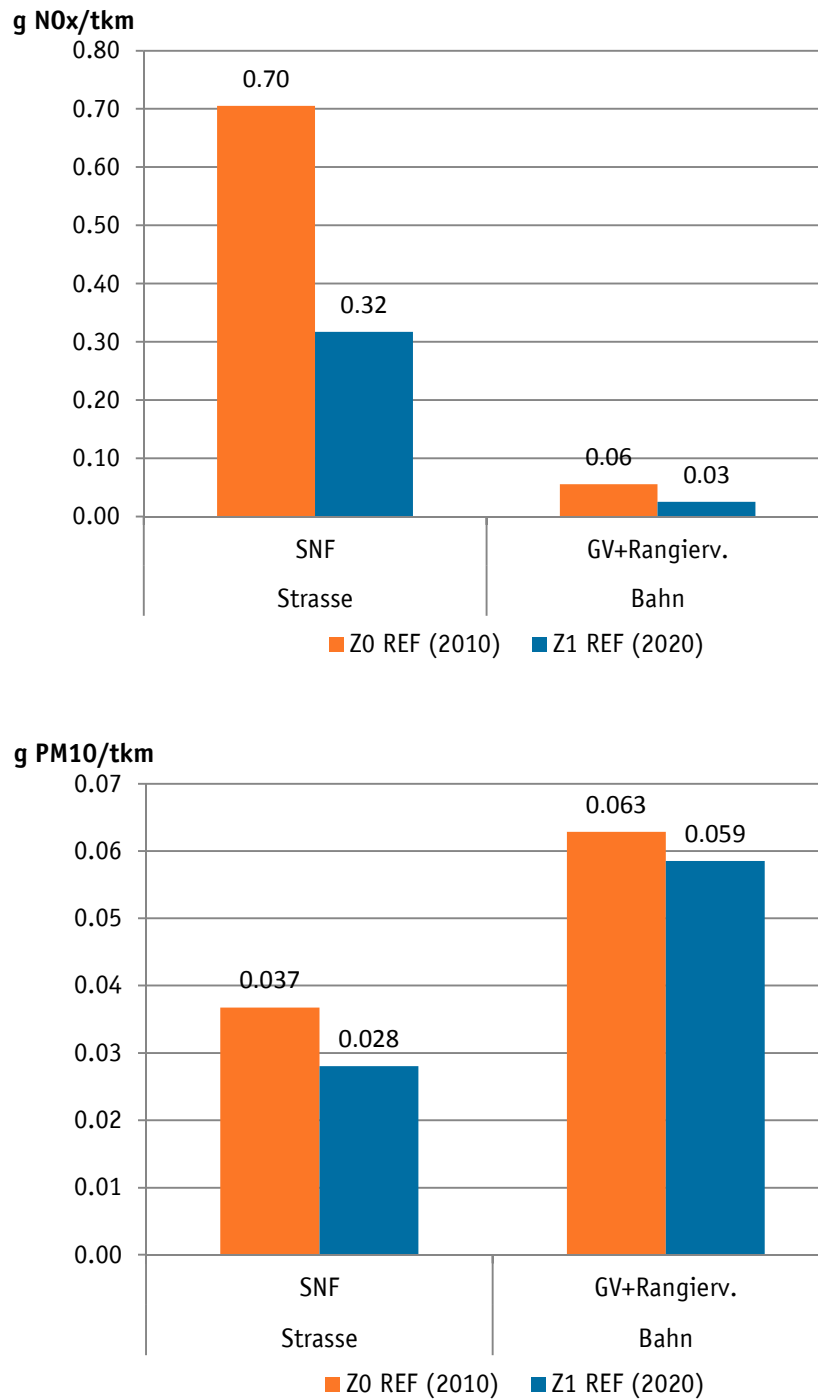


Abb. 4.43 Spezifische Luftschadstoff-Emissionen Güterverkehr – 2010 und 2020 - Betrieb und Vorprozesse („well-to-wheel“). Zeitreihe der Verkehrsleistungen als Grundlage für die spez. Emissionen: siehe Anhang I

4.1.2 Energie und CO₂

Untenstehende Figuren zeigen den Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen des Schienen- und Strassenverkehrs. Energieverbrauch und CO₂-Emissionen des Schienengüterverkehrs sind verglichen mit denjenigen der schweren Güterfahrzeuge auf der Strasse gering, sie machen lediglich rund 2% der gesamten Güterverkehrs- CO₂-Emissionen, bzw. rund 10% des Energieverbrauchs aus. Die CO₂-Emissionen des

Schienengüterverkehrs stammen etwa je zur Hälfte aus der Energieherstellung und –transport und aus dem Dieserverbrauch des Rangierverkehrs, der hier vereinfachend vollständig dem Güterverkehr zugeschlagen wird. Würde statt dem relativ sauberen Strommix der SBB für den Schienengüterverkehr mit dem europäischen Durchschnittsmix gerechnet, wären die Beiträge der Schiene zwar höher aber immer noch deutlich tiefer als diejenigen des Strassengüterverkehrs.

Während beim Personenverkehr (insbesondere bei den Personenwagen) in den nächsten 10 Jahren von einer spürbaren Reduktion der CO₂-Emissionen auf der Strasse ausgegangen wird, bedingt durch die angestrebten Antriebseffizienzgewinne, werden bei den schweren Güterfahrzeugen keine ähnlich hohen Effizienzgewinne erwartet, weil bereits bisher Effizienz im Güterverkehr weit stärker ein relevanter Wettbewerbsfaktor war als im Personenverkehr. Dementsprechend wird der CO₂-Ausstoss des Strassengüterverkehrs in Zukunft nahezu mit dem Wachstum der Fahrleistungen zunehmen. Die Effizienzprognosen beim Schienenverkehr sind unsicherer, es wird nicht davon ausgegangen, dass die Traktion kurz-/mittelfristig (d.h. in den nächsten 10 Jahren) vor allem wegen der langen Lebensdauern der Lokomotiven und des Rollmaterials nur unwesentlich energieeffizienter wird. Demzufolge wird erwartet, dass die CO₂-Emissionen für die Energiebereitstellung ähnlich wie im Strassenverkehr nahezu entsprechend dem Schienenverkehrswachstum (Fahrleistungszuwachs) wachsen dürften (mit leichten Absenkungen aufgrund der Flachbahn auf der Gotthardstrecke).

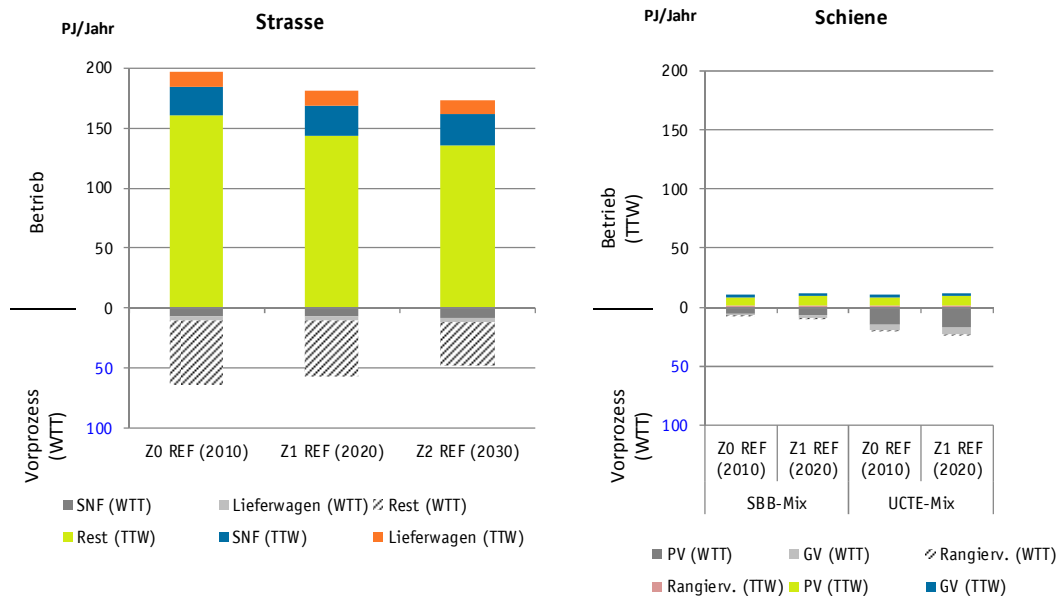


Abb. 4.44 Energieverbrauch Strasse und Schiene – 2010 bis 2030 – Betrieb und Vorprozesse („Well-to-wheel“)

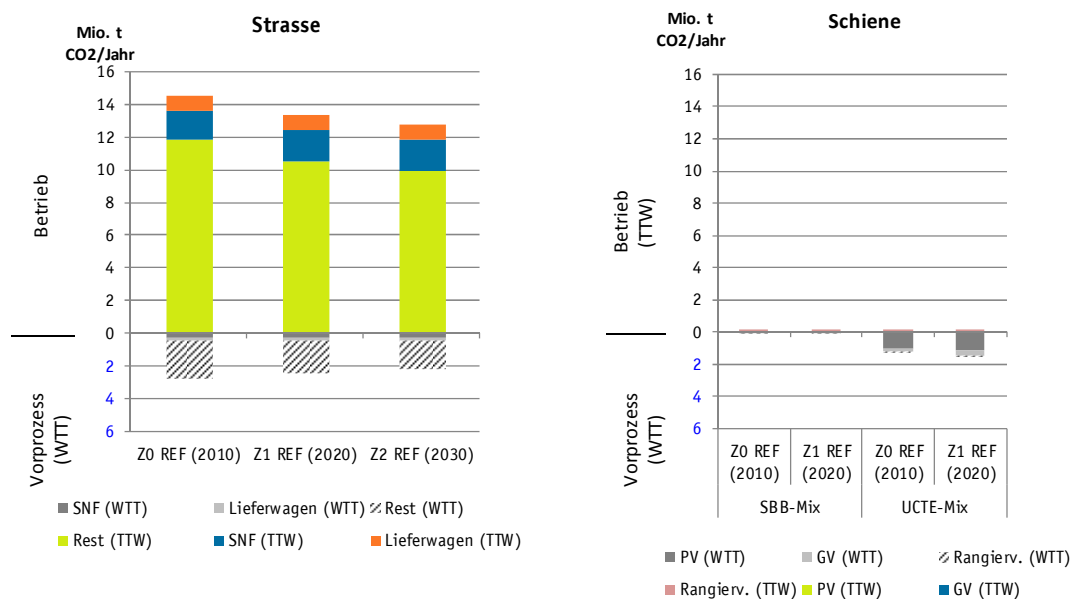


Abb. 4.45 CO₂-Emissionen Strasse und Schiene – 2010 bis 2030 – Betrieb und Vorprozesse („Well-to-wheel“)

Auch beim Vergleich des spezifischen Energieverbrauchs und der spezifischen CO₂-Emissionen schneidet der Bahngüterverkehr vorteilhafter ab, unter Berücksichtigung der Unsicherheiten bezüglich den unterstellten Verkehrsleistungen (insbes. was die Auslastungen anbetrifft). Der spezifische Energieverbrauch pro Tonnenkilometer ist auf der Strasse rund 4.5 Mal höher, der CO₂-Ausstoss pro Tonnenkilometer rund 25 Mal höher als auf der Schiene. Diese Verhältnisse dürften sich in den nächsten 10 Jahren nicht wesentlich verändern, in der Erwartung, dass die Bahn ihre energieeffiziente und CO₂-günstige Stromproduktion beibehalten kann und dass die schweren Nutzfahrzeuge in dieser Zeit lediglich leichte Effizienzsteigerungen aufweisen werden. Gründe für die hohe Energieeffizienz und damit auch für die verhältnismässig geringen CO₂-Emissionen der Schiene sind der geringe Rollwiderstand der Zugsräder auf den Schienen, der verminderte Luftwiderstand im Zugverband, der hohe Wirkungsgrad von Elektroloks und die Rekuperation der Bremsenergie.

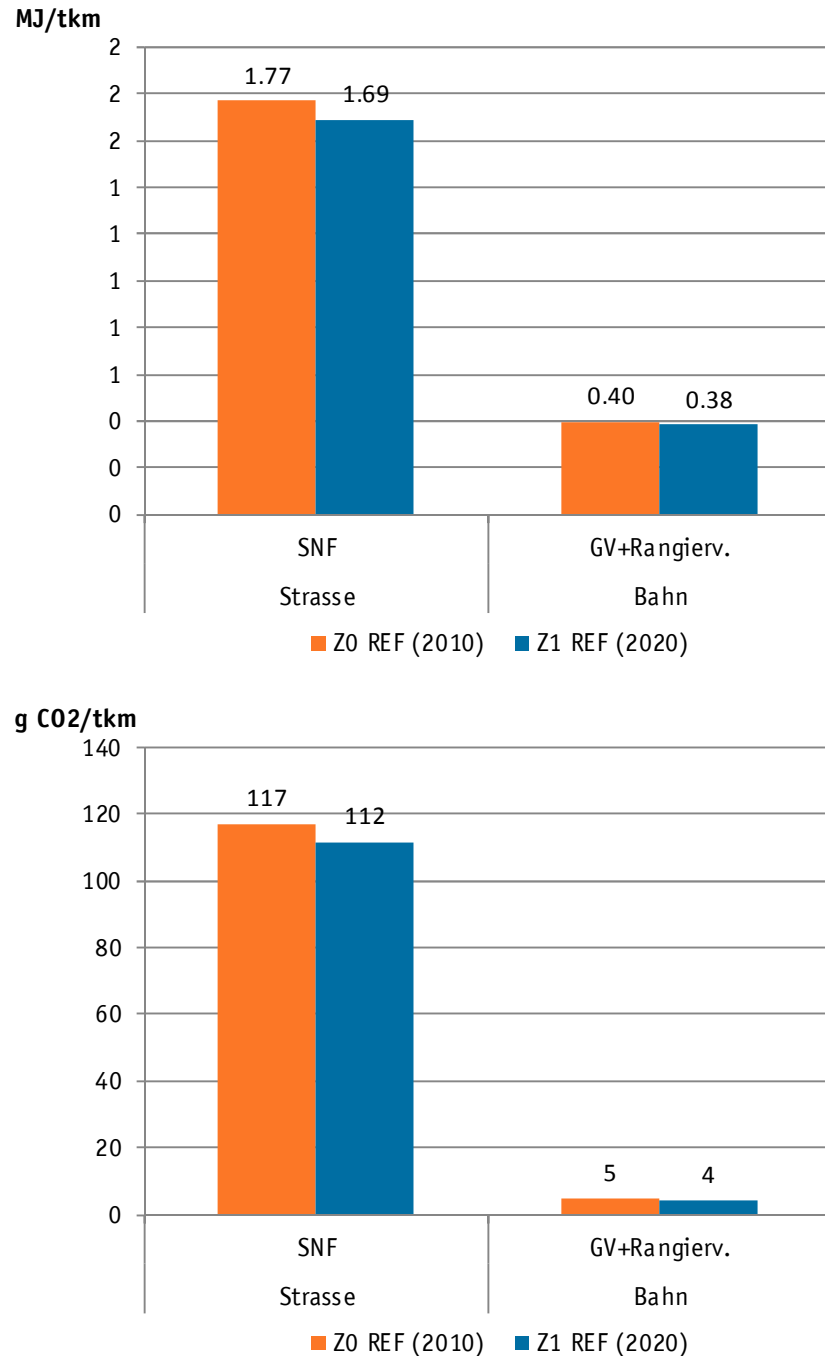


Abb. 4.46 Spezifischer Energieverbrauch und CO₂-Emissionen Güterverkehr – 2010 bis 2020 – Betrieb und Vorprozesse („Well-to-wheel“). Zeitreihe Verkehrsleistungen als Grundlage für die spez. Emissionen siehe Anhang I

4.1.3 Lärm

In untenstehender Figur ist die von übermässigem Strassen- und Schienenlärm betroffene Wohnbevölkerung dargestellt. Während auf der Strasse tags- und nachtsüber ungefähr gleich viele Personen von schädlichem Strassenlärm betroffen sind, leidet die Wohnbevölkerung vor allem nachts unter dem Schienenlärm.

Die Aufteilung zwischen Güter- und Personenverkehr lässt sich mit den verfügbaren Datengrundlagen lediglich für den Strassenverkehr per Modell abschätzen (beim Schienenverkehr fehlen die Lärmemissionsgrundlagen in der notwendigen Differenzierung). Unter dem in dieser Studie verwendeten Ansatz (Differenz zwischen der Modellierung der Lärmimmissionen des Gesamtverkehrs und der Lärmimmissionen des Verkehrs ohne

Schwerverkehr, illustriert durch die Differenz der beiden zusammengehörenden Balken in untenstehender Abbildung) ergibt sich ein Güterverkehrsanteil an den Lärmimmissionen des Strassenverkehrs von gut 5% (ca. 50'000 Personen). Deutlich höher ist die Bedeutung des Schwerverkehrsanteils, wenn die Lärm-Emissionen (Lärmenergie) des Schwerverkehrs mit denjenigen des Gesamtverkehrs verglichen werden. Die Lärmemissionen des Schwerverkehrs sind je nach Streckenabschnitt (Strassentyp, Fahrsituation) 3-7 Mal höher als der entsprechende Anteil am Verkehrsaufkommen bzw. der Fahrleistungen.

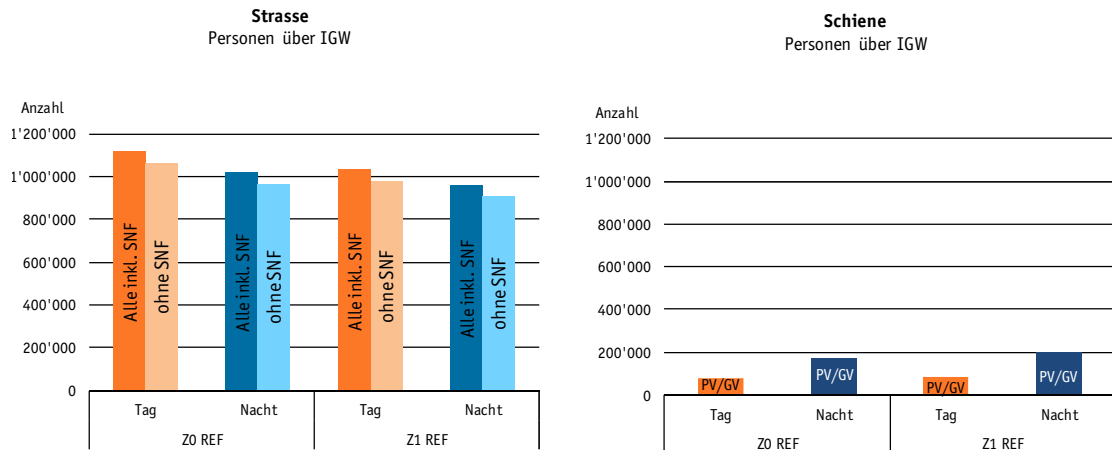


Abb. 4.47 Lärmimmissionen Strasse und Schiene 2010 bis 2020– Personen über dem Immissionsgrenzwert (IGW) gemäss LRV

Die räumliche Verteilung der Lärmimmissionen ist ein weiterer deutlicher Unterschied zwischen Strasse und Schiene: Der Schienenlärm tritt entlang von einer gewissen Anzahl von Korridoren (z.B. Alpentransitachsen, Ost-West-Transversalen). Im Gegensatz dazu ist die Lärmproblematik des Strassenverkehrs deutlich flächenhafter ausgeprägt.

4.2 Folgerungen und Handlungsbedarf

Die Erkenntnisse aus den vorangegangenen Kapiteln werden hier zusammengefasst und Folgerungen daraus abgeleitet. Die Gegenüberstellung dieser Folgerungen mit bestehenden Zielsetzungen im Umweltschutz (Aspekte Luftschadstoffe, Energie/ CO₂ und Lärm) zeigen die Ziellücken – wo möglich quantitativ aber zumindest qualitativ – und damit den Handlungsbedarf im Forschungsfeld Güterverkehr und Umwelt. Auf diese Weise wird zum Teil II der Berichterstattung dieses Forschungsprojekts übergeleitet, der sich mit den Massnahmen zur gezielten Reduktion von Umweltauswirkungen des Güterverkehrs befasst.

4.2.1 Folgerungen

Die Analysen der Berechnungen zu den Umweltaspekten Luftschadstoffe, Energieverbrauch/ CO₂-Emissionen und Lärm lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Luftschadstoffe

Die Situation der Luftbelastung durch den Strassenverkehr im Allgemeinen und durch den Strassengüterverkehr im Speziellen wird sich in den nächsten 10 Jahren noch weiter entschärfen. Dies ist das erwartete Resultat der kontinuierlichen Verschärfung von Emissionsgrenzwerten neu zugelassener Fahrzeuge. Die Grenzwerte betreffen vor allem die NO_x- und die beim Verbrennungsprozess entstehenden Partikelemissionen („Auspuff-Emissionen“). Namentlich die Einführung der Stufe Euro VI lässt nochmals eine markante Entlastung erwarten, sofern die im Typenprüfzyklus geforderte Absenkung auch im realen Betrieb umgesetzt werden kann. Der Fokus wird also primär auf der erfolgreichen Implementierung der neuen Regulierung liegen. Problematischer sind dagegen die direkt von der Fahrleistung abhängigen Partikelemissionen aus Abrieb, Bremsen und Aufwirbelung (sog. „nicht-Auspuff“-Partikelemissionen), welche zusammen mit dem Verkehrswachstum steigen und gegenüber den Auspuff-Emissionen deutlich höhere Emissionsfaktoren aufweisen. Allerdings sind die nicht-Auspuff-Partikel aufgrund ihrer Grösse und Beschaffenheit weniger schädlich für Lebewesen als die kanzerogenen Auspuff-Partikel.

Der Strassengüterverkehr kommt auch mit den erwarteten Absenkungen der spezifischen Luftschadstoff-Emissionen nicht in den Bereich des Schienenverkehrs. Letzterer verursacht aufgrund der überwiegend elektrischen Traktion deutlich geringere Luftschadstoff-Emissionen als der Strassenverkehr, die ausserdem als weniger gesundheitsschädlich einzustufen sind als die Auspuff-Partikelemissionen des Strassenverkehrs. Die Partikelemissionen des Schienenverkehrs bestehen primär aus Eisen- und Kupferpartikeln aus Abrieb an Schienen, Bremsen und Fahrleitungen. Allerdings müssen auf der Schiene die bestehenden Bemühungen fortgesetzt werden, Diesellokomotiven (Rangierverkehr, Unterhalt) mit Partikelfiltern auszurüsten, wobei die schweizerischen Bahnunternehmen im internationalen Vergleich diesbezüglich bereits grosse Anstrengungen unternommen haben. Schliesslich ist die schadstoffarme Energieproduktion des Schweizer Schienenverkehrs aufrecht zu erhalten, auch bei steigendem Energiebedarf.

Energieverbrauch und CO₂-Emissionen

Auch beim Energieverbrauch und in der Folge auch bei den CO₂-Emissionen ist die Bahn gegenüber der Strasse im Vorteil. Die Güter lassen sich mit weniger Energieaufwand auf der Schiene transportieren als auf der Strasse. Die heute absehbare Verbesserung der Energieeffizienz beim Strassengüterverkehr reicht nicht aus um das erwartete Verkehrswachstum zu kompensieren, d.h. der Energiebedarf und in der Folge auch der CO₂ – Ausstoss des Strassengüterverkehrs wird weiter zunehmen. Das bedeutet, dass die Bemühungen zur Steigerung der Effizienz (z.B. neue Fahrzeugtypen, Steigerung der Auslastung, Optimierung der Logistik, etc.) bei den schweren Nutzfahrzeugen weiter vorangetrieben werden müssen.

Der Schienengüterverkehr ist in der Pflicht seine relativ saubere und CO₂-günstige Energieproduktion (heute v.a. Wasser- und Nuklearstrom) auch bei steigendem Energiebedarf und unter Berücksichtigung des mittlerweile beschlossenen Ausstiegs aus der Kernenergie zu gewährleisten.

Lärm

Die Anzahl von übermässigem und schädlichem Verkehrslärm betroffener Personen ist nach wie vor hoch. Der Schienenverkehr führt vor allem nachts zu erheblichen Lärmbelastungen, dafür verantwortlich ist namentlich der Güterverkehr, der die Netzkapazitäten in der Nacht nutzt. Auf der Schienenseite sind entsprechende Sanierungsprogramme (z.B. Eliminieren der Grauguss-Bremsen beim Schienenrollmaterial, infrastrukturelle Lärmschutzmassnahmen) im Gang und werden in Zukunft für Verbesserungen sorgen. Allerdings führt das Verkehrswachstum dazu, dass auch 2020 noch namhafte Anteile der Schweizer Wohnbevölkerung von schädlichem Verkehrslärm betroffen sein werden.

Der Strassengüterverkehr spielt gegenüber dem Gesamtverkehr eine vergleichsweise geringe Rolle: tagsüber sind die Lärmemissionen des Personenverkehrs bedeutender und wegen dem Nachtfahrverbot entstehen durch den Güterverkehr nachts wenig Lärmemissionen. Allerdings sind in absoluten Zahlen deutlich mehr Personen von schädlichem Strassenverkehrslärm betroffen (tagsüber rund 1.1 Mio. Personen) als durch den Schienenverkehr (nachts: rund 160'000 Personen).

4.2.2 Ziele und Handlungsbedarf

Handlungsbedarf lässt sich dort erkennen, wo der heutige Zustand respektive die absehbaren Entwicklungen sich nicht mit den Zielvorstellungen decken. Dies setzt voraus, dass spezifische Umweltziele bestehen und in entsprechender, verbindlicher Form erlassen wurden.

Umweltziele lassen sich aus den bestehenden gesetzlichen Grundlagen wie Gesetzes- und Verfassungsartikeln, Verordnungen, internationalen Abkommen oder aus sonstigen verbindlichen Beschlüssen (z.B. Bundesratsbeschlüsse) ableiten. Die vorliegende Forschungsarbeit legt dabei den Fokus auf diejenigen Umweltziele, die sich auf die betrachteten Umweltthemen Luftqualität, Energieverbrauch/CO₂ und Lärm beziehen und wenn möglich quantifizierbare Zielvorgaben enthalten. Im Weiteren wird hier ausschliesslich auf Ziele eingegangen, zu deren Erreichung der Verkehr im Allgemeinen und der Güterverkehr im Speziellen einen Beitrag leisten sollen (explizite oder implizite sektorische Ziele).

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über bestehende Umweltziele in der Schweiz und über die Referenzentwicklungen der Umweltauswirkungen des Güterverkehrs (weitere Ausführungen dazu folgen in den anschliessenden Kapiteln):

Abb. 4.48 Umweltziele und Referenzentwicklung 2010/2020 - Güterverkehr

Umweltbereich	Umweltziel	Referenzentwicklung Z0 REF (2010) – Z1 REF (2020)
Luftschadstoffe	NO_x –Emissionen: -50% (Luftreinhaltekonzept 2009), -41% (bis 2020 gemäss Göteborg-Protokoll) gegenüber 2005 für alle Sektoren	Schwerer Güterverkehr Strasse: -50% NO _x (-6100 t)– Emissionen (WTW) -40% PM10 Auspuff-Emissionen, +12% nicht-Auspuff-Emissionen, Total -15% (-90 t) PM10-Emissionen (WTW)
	Feinstaub-Emissionen: -45% PM10 (Luftreinhaltekonzept 2009), -26% PM2.5 (bis 2020 gemäss Göteborg-Protokoll) für alle Sektoren	Güterverkehr Schiene: -45% (-260 t) NO _x –Emissionen (WTW), inkl. Rangierbetrieb (Diesel) + 15% (+90 t) PM10-Emissionen (WTW), inkl. Rangierbetrieb (Diesel)
CO ₂ –Emissionen (Energieverbrauch)	bestehendes CO₂ –Gesetz (Zeithorizont ca. 2010): -10% CO ₂ –Em. gegenüber 1990 (alle Sektoren)	Schwerer Güterverkehr Strasse: +7% CO ₂ (WTW), +0.150 Mio. t
	revidiertes CO₂ –Gesetz (Zeithorizont 2020): -20% CO ₂ –Em. gegenüber 1990 (alle Sektoren)	Güterverkehr Schiene: +7% CO ₂ (WTW), +0.003 Mio. t
	Energiestrategie 2050: -80% CO ₂ –Em. gegenüber 1990 (langfristig über alle Sektoren)	
Lärm	Lärmschutzverordnung Schweiz (LSV): Lärmsanierung bei Immissionsgrenzwertüberschreitungen bis 2015/2018	Strasse: 5-10% (Tag/Nacht) weniger lärmbeeinträchtigte Personen bis 2020. Geringer Anteil Güterverkehr. Immer noch ca. 1 Mio. Personen über IGW
	Gesetz über die Lärmsanierung der Eisenbahnen (SR 742.144): Mindestens zwei Drittel der gemäss BAV ¹⁵ im Jahr 2000 schädlichem oder lästigem Lärm ausgesetzten Bevölkerung (265'000 Personen) ist zu schützen.	Schiene: Zunahme der lärmbeeinträchtigten Personen um 7-18% (Tag/Nacht). tags 80'000 bis nachts 200'000 Personen über IGW.

Ziele Luftschadstoffe

Im Jahre 2009 hat der Bundesrat ein **Konzept betreffend der lufthygienischen Massnahmen des Bundes** den Eidgenössischen Räten zur Kenntnisnahme unterbreitet. Darin werden vorerst die immissionsseitigen Ziele beschrieben. Die Immissionsgrenzwerte sind in rechtsverbindlicher Form in der Luftreinhalteverordnung (LRV¹⁶) festgelegt und dürfen nicht überschritten werden. Werden die Immissionsgrenzwerte eingehalten, so ist nach aktuellem Forschungsstand nicht mit einer Gefährdung der Gesundheit und der Umwelt zu erwarten.

Abgeleitet aus den Immissionsgrenzwerten und den damit zusammenhängenden „kritischen Schadstoff-Flüssen (critical loads)“ werden im Konzept auch emissionsseitige Ziele formuliert (siehe untenstehende Tabelle). Werden diese Emissionswerte nicht überschritten, so kann davon ausgegangen werden, dass auch die Immissionsgrenzwerte der betreffenden Luftschadstoffe grossräumig eingehalten werden.

¹⁵ gemäss BAV waren vor dem Beginn der Lärmsanierungsmassnahmen im Jahr 2000 rund 265'000 Personen von lästigem oder schädlichem Bahnlärm betroffen.

¹⁶ SR 814.318.142.1

Zur Einhaltung der Schutzziele notwendige Emissionsreduktionen für die wichtigsten Luftschadstoffe

Schadstoff	notwendige Emissionsreduktion gegenüber 2005	aufgrund des Schutzziels
Stickoxide NO _x	ca. 50 %	Critical Load für Säure Immissionsgrenzwert Ozon
flüchtige organische Verbindungen NMVOC	20–30 %	Immissionsgrenzwert Ozon
Feinstaub PM10	ca. 45 %	Immissionsgrenzwert PM10
kanzerogene Stoffe (z.B. Russ)	so weit wie technisch möglich und verhältnismässig	Gesundheit
Ammoniak NH ₃	ca. 40 %	Critical Load für Stickstoff
Schwefeldioxid SO ₂	Wiederanstieg verhindern vorsorgliche Massnahmen	Immissionsgrenzwert SO ₂ Critical Load für Säure

Abb. 4.49 Quelle: Konzept betreffend lufthygienischer Massnahmen des Bundes (2009)

Im Weiteren sind im **Göteborg-Protokoll** (internationale Vereinbarung zwischen den Staaten Europas, Kanada und den USA im Rahmen der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen UNECE) länderspezifische Reduktionsziele bis 2020 für Luftschadstoffe vereinbart worden. Das Protokoll ist seit 2005 in Kraft und die damals festgelegten Ziele sind soeben überarbeitet worden¹⁷. Bezogen auf das Jahr 2005 hat sich die Schweiz bis 2020 zu folgenden Reduktionszielen verpflichtet (in Klammern: Ziele für den EU-Durchschnitt):

- Stickoxide (NO_x) : -41% (-40%)
- Feinstaub (PM2.5) : -26% (-22%)

Handlungsbedarf Luftschadstoffe

Die Eidgenössische Kommission für Lufthygiene schätzt die Lage bezüglich der Emissionsreduktionen wie folgt ein (EKL 2010):

- Bereits heute liegt die Belastung für Schwefeldioxid (SO₂), Kohlenmonoxid (CO) und Schwermetalle (z.B. Blei, Cadmium) unter den Immissionsgrenzwerten.
- Bis ins Jahr 2020 zeichnet sich ab, dass bei den **Stickoxiden (bzw. NO₂)** und den VOC die Reduktionsziele weitgehend eingehalten werden können. Weitere Massnahmen sind eingeleitet.
- Problematisch sind die Entwicklungen beim **Feinstaub (PM10)**, dem Ozon und den Stickstoffeinträgen.

Diese Lageanalyse bezieht sich auf die immissionsseitige Gesamtbelastung und macht keine Aussage zu den Beiträgen, welche die einzelnen Sektoren (Industrie, Landwirtschaft, Verkehr, etc.) zu leisten haben. Der nachfolgende Handlungsbedarf wird abgeleitet aus den im vorliegenden Forschungsprojekt erarbeiteten Erkenntnissen und den oben genannten lufthygienischen Zielvorgaben. Dabei wird unterstellt, dass die Sektoren proportional zur Erreichung der Ziele beizutragen hätten. Diese Annahme entspricht zwar nicht der Umweltschutzgesetzgebung, es lässt sich so aber illustrativ aufzeigen, wo im Strassengüterverkehr Handlungsbedarf herrscht:

- Die Entwicklung der **NO_x – Emissionen** des Strassengüterverkehrs entsprechen den über alle Sektoren angestrebten Reduktionszielen bzw. übertreffen diese (ungefähr Halbierung bis 2020 gegenüber 2010). Die bereits getroffenen Massnahmen in Form

¹⁷ siehe http://www.unece.org/fileadmin/DAM/press/pr2012/GothenburgProtocol_Table_Eng.pdf

von Vorschriften (Grenzwerte; EURO VI) für den Luftschadstoffausstoss der Fahrzeuge sind demnach ausreichend, sofern die damit beabsichtigte Absenkung auch im Realbetrieb umgesetzt werden kann. Ein entsprechendes Monitoring („Feldüberwachungsprogramme“) ist angezeigt. Der Beitrag der Schiene an die NO_x-Emissionen ist demgegenüber gering, und die Reduktionen erreichen annähernd die Zielvorstellungen (primär durch Dieserverbrauch im Rangierverkehr bestimmt).

- Problematischer ist die Entwicklung bei den **Feinstaub-Emissionen**. Obwohl dank neuer Motoren- und Filtertechnologie die Partikelemissionen aus dem Verbrennungsprozess beim Strassen- und Schienengüterverkehr (Rangieren) bis 2020 deutlich reduziert werden, so besteht bei den „nicht-Auspuff“-Partikelemissionen aus Bremsen, Abrieb und Aufwirbelung Handlungsbedarf, wenngleich die Toxizität dieser Art von Partikel als weniger gesundheitsschädlich eingestuft wird. Die Herausforderung ist insofern gross, da sowohl auf der Strasse als auch bei der Schiene nur wenig taugliche Massnahmen (z.B. Strassenwaschen, Fahrverbote, Schienenschleifen) bekannt sind, mit denen die „nicht-Auspuff“-Partikelemissionen effizient reduziert werden können.

Ziele Energieverbrauch und CO₂-Emissionen

Mit der Entwicklung des CO₂-Ausstosses respektive dem Energieverbrauch der Schweiz befasst sich zum einen die Schweizerische CO₂-Gesetzgebung¹⁸ und zum anderen die Schweizerische Energiepolitik bis 2050¹⁹:

- Das **bisherige CO₂-Gesetz** legt fest, dass die CO₂-Emissionen der Schweiz bis 2010 gegenüber dem Jahr 1990 um mindestens 10% reduziert werden müssen. Gleichzeitig schreibt das Gesetz vor, dass die CO₂-Emissionen aus Brennstoffen um 15%, diejenigen aus Treibstoffen um 8% reduziert werden müssen.
- Im **revidierten CO₂-Gesetz** ist ausserdem eine Reduktion der CO₂-Emissionen bis 2020 um 20% gegenüber 1990 beabsichtigt. Diese Reduktion ist ausschliesslich im Inland zu bewerkstelligen. Der Bundesrat kann das Reduktionsziel auf bis zu 40% erhöhen, sofern dies im Einklang mit internationalen Vereinbarungen steht. Die dazugehörige CO₂-Verordnung (Anhörungsfrist bis August 2012) schlägt dazu die entsprechenden Massnahmen vor. Für den Sektor Verkehr sind zwei Massnahmen vorgesehen:
 - die Kompensation eines Teils der CO₂-Emissionen aus dem Treibstoffverbrauch durch die Treibstoffimporteure (Projekte im Inland oder Handel von Bescheinigungen)
 - die CO₂-Emissionen der neuen Personenwagen dürfen ab 2015 nur noch 130 g CO₂/km betragen
- Die **Energiestrategie 2050** des Bundes (BFE 2012) soll langfristig zu einer Reduktion von bis zu 80% des CO₂-Ausstosses gegenüber 1990 führen. Im Bereich der Mobilität sieht der Bundesrat Massnahmen vor, welche die Energieeffizienz der Fahrzeuge, des Schienenverkehrs, bei der Verkehrsinfrastruktur und beim Einsatz von Transportmitteln optimieren. Auch soll bereits bestehende Verkehrsinfrastruktur zur Energieerzeugung genutzt werden. Spezifische Sektorziele für den Verkehr sind darin allerdings nicht enthalten.

Handlungsbedarf Energieverbrauch und CO₂-Emissionen

Im Personenverkehr auf der Strasse dürfte der spezifische Energieverbrauch aufgrund der Vorschriften bezüglich Flottenverbrauchsgrenzwerten in naher Zukunft deutlich sinken, insbesondere aufgrund der absehbaren Weiterführung der Massnahmen über das Jahr 2015 hinaus. So ist in der EU, aber auch in der Schweiz, angedacht, den Zielwert per 2020 auf 95 g CO₂/km abzusenken und den Absenkpfad auch längerfristig fortzuführen. Die zu erwartenden Entwicklungen beim Güterverkehr dürften moderater ausfallen. Beabsichtigt ist ebenfalls die Einführung von Flottenzielwerten für die leichten Nutzfahrzeuge analog zur EU: die Zielwerte von Lieferwagen und leichten Sattelschlepp-

¹⁸ Bundesgesetz vom 8. Oktober 1999 über die Reduktion der CO₂-Emissionen (SR 641.71) und die Revision desselben (gültig ab 1. Januar 2013), Richtlinie über die freiwillige Reduktion von CO₂-Emissionen (betrifft nur Industrie, Gewerbe, Dienstleistungen)

¹⁹ Diese wurde in Folge des bundesrätlichen Beschlusses zum Ausstieg aus der Kernenergie überarbeitet: siehe z.B. Pressekonferenz zum „Energiepaket 2050“ von Bundesrätin D. Leuthard, April 2012

pern sollen bis 2017 auf 175 g/km respektive bis 2020 auf 147 g/km vermindert werden. Bei den schweren Nutzfahrzeugen ist noch keine Beschränkung des spezifischen Flotten-Energieverbrauchs (bzw. CO₂-Ausstoss) vorgesehen, auch wenn die Diskussion darüber angelaufen ist. Aufgrund der Heterogenität der Fahrzeuge und deren Einsatzbereichen ist die Messung und Zielfestsetzung erst zu klären. Auch ist der Energieverbrauch heute bereits ein wichtiger Kosten- und damit Wettbewerbsfaktor, weshalb das Potenzial für zusätzliche Effizienzverbesserungen weniger ausgeprägt ist als etwa beim Personenverkehr. Auch ohne zusätzliche Regulierungen dürfte der spezifische Energieverbrauch aufgrund von technischen Fortschritten leicht sinken. Soll der Güterverkehr aber seinen Beitrag zur angestrebten CO₂-Reduktion leisten, so muss die Energieeffizienz des Güterverkehrs in den nächsten Jahren deutlich gesteigert werden.

Ziele Lärm

Die wichtigsten gesetzlichen Grundlagen der Lärmbekämpfung in der Schweiz sind das Umweltschutzgesetz (USG, ab 1985) und die Lärmschutzverordnung (LSV²⁰, ab 1997). Darin wird das Ziel festgehalten, die in der LSV festgelegten Lärmimmissionsgrenzwerte (für die wichtigsten Lärmverursachergruppen wie Schiessanlagen, Verkehr, Industrie und Gewerbe) einzuhalten. Bei Immissionsgrenzwertüberschreitungen müssen Massnahmen getroffen werden (Sanierungen, Reduktion an der Quelle, etc.), sofern diese technisch und betrieblich möglich sowie wirtschaftlich tragbar und verhältnismässig sind. Priorität haben Massnahmen, die an der Lärmquelle wirken. Wenn der Lärm an der Quelle nicht zu verhindern ist, muss die Ausbreitung gedämpft werden, namentlich durch Lärmschutzwände oder -wälle. Bei neuen Anlagen muss der Lärm bereits bei Inbetriebnahme begrenzt werden, bei bestehenden Anlagen räumt die LSV (ab 1987) eine Sanierungsfrist von 15 Jahren ein (d.h. bis 2002). Mittlerweile wurde diese Frist aufgrund der beschränkt vorhandenen finanziellen Mittel bis 2015 für Schiene und Autobahnen und bis 2018 für übrige Strassen erstreckt.

Anders als bei der Bahn (siehe unten) sind für den **Strassenverkehr** nebst der LSV und den geltenden Lärmgrenzwerten (siehe Kapitel 2.3.4) keine weiteren, neueren gesetzlichen Grundlagen vorhanden. Die Lärmgrenzwerte bei Neuzulassungen von Strassenfahrzeugen wurden seit längerer Zeit nicht mehr verschärft. Wie bei den Luftschadstoff-Grenzwertregulierungen sind schweizspezifische Lärmgrenzwerte nicht zielführend. Auf Europäischer Ebene laufen zurzeit Bemühungen die Gesetzgebung zu Lärmgrenzwerten bei Strassenverkehrsfahrzeugen weiterzuentwickeln²¹. Lärmgrenzwerte bei der Typenzulassung von Motorfahrzeugen sollen in Europa schrittweise (für schwere Motorfahrzeuge um 1 bzw. 2 dB(A)) gesenkt und die entsprechende Testmethode eingeführt werden. Bereits erlassen ist die Verordnung²², welche die maximal zulässigen Geräuschpegel von neuen Reifen in Europa festlegt. Die Richtlinie über die Erhebung von Gebühren für die Benutzung bestimmter Verkehrswege durch schwere Nutzfahrzeuge²³ legt fest, wie die Lärmbelastung bei der Berechnung von Strassenmauten in Europa einbezogen werden muss, sofern die Mitgliedsstaaten sich für den Einbezug des Lärms bei der Berechnung der Maut-Ansätze entscheiden.

Die Volksentscheide zur Modernisierung der Bahn und zur Finanzierung des öffentlichen Verkehrs (FinÖV-Vorlage) haben 1998 die Ausgangslage für die **Lärmsanierung der Eisenbahnen** geschaffen. Im Jahr 2000 wurde das Gesetz über die Lärmsanierung der Eisenbahnen verabschiedet (SR 742.144). Das Gesetz legt das Ziel fest, dass mindestens zwei Drittel der von schädlichem oder lästigem Bahnlärm betroffenen Personen²⁴ geschützt werden müssen. Dies bedeutet, dass nach Abschluss der Lärmsanierungen die Anzahl lärm betroffener Personen noch höchstens rund 90'000 Personen betragen darf. Mit den bereits ergriffenen Sanierungsmassnahmen konnten bis 2010 rund 110'000 Personen geschützt werden (BAV 2011; per Ende 2012 waren es rund 124'000 Personen).

²⁰ Lärmschutz-Verordnung vom 15. Dezember 1986 (LSV), SR 814.41

²¹ Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on the sound level of motor vehicles; COM(2011) 856; 2011/0409(COD)

²² Verordnung (EG) Nr. 661/2009

²³ 1999/62/EG bzw. Änderung 2011/76/EU

²⁴ gemäss BAV (www.bav.admin.ch) waren vor Beginn der Lärmsanierung rund 265'000 Personen von schädlichem oder lästigem Bahnlärm betroffen.

In erster Linie wird dies mit technischen Massnahmen am Schienenfahrzeug erreicht. Reicht dies nicht, sind bauliche Massnahmen an den Eisenbahnanlagen zu treffen (z.B. Schallschutzwände oder –wälle). Als letzte Möglichkeit (i.S.v. Ersatzmassnahmen) sieht das Gesetz Schallschutzmassnahmen an Gebäuden (Schallschutzfenster, etc.) vor.

Die Zahlen aus dem Lärmmonitoring des BAV (BAV 2011 und BAV 2013) zeigen, dass weitere Massnahmen notwendig sind, um **die Lärmbelastung des Schienenverkehrs** auf das gesetzlich zulässige Mass einzuschränken. Aktuell sind in der Schweiz auf gesetzlicher Ebene Bemühungen in dieser Richtung im Gang. Der Bundesrat schlägt ein zusätzliches Massnahmepaket²⁵ vor, das u.a. schärfere Grenzwerte für die Zulassung von Rollmaterial vorsieht, so dass ab 2020 Grauguss-Bremssohlen in der Schweiz faktisch verboten würden. Ausserdem sollen an besonders neuralgischen Stellen Schienenschallabsorber eingesetzt werden und die Schienen durch häufigeres Schleifen lärmoptimiert, Lücken zwischen bestehenden Lärmschutzwänden geschlossen und besonders leise Infrastrukturkomponenten und Rollmaterial sollen in der Entwicklung finanziell gefördert werden. Mit diesen Massnahmen sollte nach heutigem Kenntnisstand die gesetzliche Zielsetzung erreicht werden.

Im benachbarten Ausland sind ähnliche Bestrebungen im Gange, beispielsweise hat Deutschland sich im Nationalen Verkehrslärmschutzpaket II u.a. zum Ziel gesetzt, den Bahnlärm bis 2020 zu halbieren. Dafür müssen die Grauguss-gebremsten Güterwagen saniert werden. Nebst Vereinbarungen zwischen dem Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung mit der Deutschen Bahn liegt in Deutschland ein Gesetzesentwurf²⁶ vor, der u.a. zum Ziel hat sämtliche lauten Bahnwagen auf lärmarme Techniken, insbesondere Verbundstoffbremsen umzurüsten.

²⁵ siehe „Botschaft zur Änderung des Bundesgesetzes über die Lärmsanierung der Eisenbahnen, überwiesen vom Eidgenössischen Bundesrat ans Parlament am 30.11.2012

²⁶ siehe Drucksache 559/12 (Beschluss) – Stellungnahme des Bundesrates zum Entwurf eines Gesetzes zur Neuordnung der Regulierung im Eisenbahnbereich vom 23.11.2012

Handlungsbedarf Lärm

Die Berechnungen zur Trendentwicklung bis 2020 zeigen, dass sowohl durch den Strassen- als auch den Schienenverkehr Immissionsgrenzwertüberschreitungen verursacht werden. Dies läuft den in der LSV (Sanierung bis 2015/2018) bzw. im Gesetz über die Lärmsanierung der Eisenbahnen (Reduktion der bahnlärmbelasteten Personen um zwei Drittel) formulierten Zielsetzungen entgegen.

Um die Immissionsgrenzwertüberschreitungen zu reduzieren, sind die bestehenden Anstrengungen (in erster Priorität: Reduktion des Lärms an der Quelle, dann: Lärmschutzbauten, etc.) zu intensivieren. Namentlich der Schienenverkehr ist in der Pflicht, seine Lärmbelastungen insbesondere nachts zu reduzieren, durch weitere Sanierungen am Rollmaterial (z.B. Ersatz der lauten Grauguss-Bremsen). Während infrastrukturseitige Massnahmen (Einhausungen, Lärmschutzbauten) insbesondere in den am stärksten belasteten dicht besiedelten Räumen oft nicht möglich sind, führen Lärmreduktionen an der Quelle zu flächendeckenden Verbesserungen. Der Güterverkehr auf der Strasse spielt u.a. dank dem Nachtfahrverbot gegenüber dem Gesamtverkehr eine vergleichsweise geringere Rolle. Allerdings sind deutlich mehr Personen von schädlichem Strassenverkehrslärm betroffen als von Bahnlärm und gemessen an ihrem Fahrleistungsanteil tragen die schweren Nutzfahrzeuge überproportional zur Lärmerzeugung bei. Deshalb muss auch der Strassengüterverkehr zu Entlastungen der lärmbelasteten Personen beitragen. Die internationalen Bemühungen für die Senkung von Lärmemissionsgrenzwerten müssen fortgesetzt werden, im Alleingang hat die Schweiz hier kaum Handlungsmöglichkeiten wegen Handelsabkommen und den bilateralen Verträgen mit der EU. Die Fahrzeughersteller müssen ihre Bemühungen für technische Entwicklungen im Bereich der Lärmreduktion an Reifen und Fahrzeugen weiter treiben, entsprechende Richtlinien sind in Kraft bzw. in Vorbereitung. Lärmgünstige Strassenbeläge, verkehrsberuhigende und verstetigende Massnahmen sowie Geschwindigkeitsreduktionen sind weitere Handlungsfelder, die zur Reduktion der Lärmbelastung führen.

Anhänge

	I Verkehrsmengengerüst	113
I.1	Strasse	113
I.2	Schiene	113
I.3	Grundlagen Verkehrsmengengerüst Strasse	114
I.4	Grundlagen Verkehrsmengengerüst Schiene	115
	II Schienen-Querschnitte (Anz. Züge/Tag)	116
	III Mittlere Zugsgewichte	117
	IV Emissionsfaktoren Strassenverkehr	118
	V Lärmgrenzwerte, Empfindlichkeitsstufen LSV; Lärmpegel Modell TRANECAM 120	
V.1	Strassen- und Bahnlärm generell	120
V.2	Strassen- und Bahnlärm für Beschäftigte	120
V.3	Typische Lärmpegel in TRANECAM	121
	VI Emissionsfaktoren Vorprozesse („Well-to-tank“)	122
	VII Emissionen/Energieverbrauch Strasse	123
VII.1	Luftschadstoffe Strasse	123
VII.2	CO₂-Emissionen Strasse	125
	VIII Emissionen/Energieverbrauch Schiene	127
	IX Emissionsgrenzwerte leichte und schwere Nutzfahrzeuge	128
IX.1	Lieferwagen mit Benzinmotor	128
IX.2	Lieferwagen mit Dieselmotor	129
IX.3	Schwere Motorwagen (SNF) mit Dieselmotor	130

I Verkehrsmengengerüst

Verkehrsmengengerüste (Fahr-/Verkehrsleistungen)

I.1 Strasse

Fahrleistungen Strasse nach Fahrzeugkategorien in Mio Fzkm/Jahr			
Referenzzustände 2010/2020/2030			
Fahrzeugkategorie	Z0 REF (2010)	Z1 REF (2020)	Z2 REF (2030)
Personenwagen	53'339	58'353	61'215
Lieferwagen	3'802	4'033	4'287
Schwere Nutzfahrzeuge	2'304	2'592	2'717
Reisecars	119	115	114
ÖV Busse	250	274	302
Motorräder	2'409	2'635	2'882
Total alle Fzkat	62'223	68'002	71'517
Anteil SNF an Total	3.70%	3.81%	3.80%
Anteil LI an Total	6.11%	5.93%	5.99%
Anteil GV (SNF+LI)	9.81%	9.74%	9.79%

Verkehrsleistungen Güterverkehr Strasse in Mio. Tkm/Jahr			
Referenzzustände 2010/2020/2030			
Fahrzeugkategorie	Z0 REF (2010)	Z1 REF (2020)	Z2 REF (2030)
Schwere Nutzfahrzeuge	17'481	19'663	20'616
Lieferwagen	1'902	2'017	2'144
Total Güterverkehr Strasse	19'383	21'680	22'760

I.2 Schiene

Fahrleistungen Schiene in Mio. Zugkm/Jahr		
Referenzzustände 2010/2020		
Kategorie	Z0 REF (2010)	Z1 REF (2020)
Güterverkehr	30.1	40.3
Personenverkehr	182.6	209.4
Total Schiene	212.7	249.7

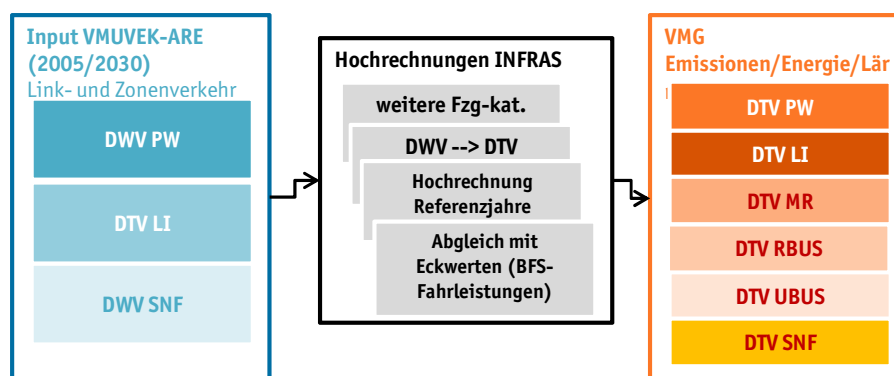
Verkehrsleistungen Güterverkehr Schiene in Mio. Tkm/Jahr		
Referenzzustände 2010/2020/2030		
Kategorie	Z0 REF (2010)	Z1 REF (2020)
Total Güterverkehr Schiene	10'400	12'686

Verkehrsleistungen Güterverkehr Schiene in Mio. Brutto-Tkm/Jahr		
Referenzzustände 2010/2020/2030		
Kategorie	Z0 REF (2010)	Z1 REF (2020)
Personen-Fernverkehr	33'030	39'923
Personen-Regionalverkehr	33'558	36'777
Güterverkehr-international	16'363	22'113
Güterverkehr-national	3'695	5'697
Total Personenverkehr	66'588	76'700
Total Güterverkehr	20'058	27'809

I.3 Grundlagen Verkehrsmengengerüst Strasse

Basis für das Verkehrsmengengerüst ist der Verkehrsinput aus dem Verkehrsmodell für das Jahr 2005 des Bundes (VMUVEK, siehe ARE 2006a), Datenbezug 2009 beim ARE im Rahmen der Emissionsmodellierung Strassenverkehr Schweiz (BAFU 2010). Basierend auf dieser Datengrundlage (rund 40'000 Strassen-Strecken für das Jahr 2005, respektive Lieferwagendaten für das Jahr 2008; siehe Tabelle unten) wird das Strecken-Mengengerüst als Input ins Emissionsmodell aufbereitet. Um aus den PW-, Lieferwagen bzw. Schwerverkehrs-Belastungen aus dem VMUVEK die im vorliegenden Projekt verwendeten Grundlagen aufzubereiten, sind folgende Schritte notwendig (siehe untenstehende Figur):

- Weitere Fahrzeugkategorien: Die in VMUVEK (Lieferung 2009) enthaltenen Fahrzeugkategorien (PW, LW, LI) werden durch die übrigen für das Emissionsmodell relevanten Fahrzeugkategorien (Motorräder, Busse, Cars) ergänzt. Dazu werden die Verkehrszählungen des Bundes (AVZ, SSVZ) ausgewertet.
- Hochrechnung der weiteren Referenzjahre, basierend auf den in BAFU 2010 verwendeten Wachstumsfaktoren (pro Fahrzeugkategorie).
- Abgleich mit Fahrleistungs-Eckwerten des BFS: Die Totale (Gesamtfahrleistungen pro Fahrzeugkategorie) Fahrleistungszahlen des BFS kalibriert (aus Konsistenzgründen wird dabei der Stand vor der Revision Fahrleistungszahlen Personenwagen im Dez. 2010 berücksichtigt).



ÜBERSICHT INPUT VERKEHR VMUVEK 2005					
Strasstyp (aggregiert)	Anzahl Links	Linklänge [km]	Fzkm PW (1000 Fzkm/WTag)	Fzkm LW (1000 Fzkm/WTag)	Total PW+LW
2005					
CH-Autobahn	1'897	3'253	48'766	4'637	53'404
CH-Autostrasse	619	725	4'176	367	4'543
CH-Hauptverkehrsstrasse	11'487	12'477	36'239	1'635	37'874
CH-Verbindungsstrasse	7'328	10'697	11'061	166	11'226
CH-Sammelstrasse	16'584	20'059	18'364	21	18'385
CH-Erschliessungsstrasse	234	515	97	0	97
CH-div	1'649	739	1'569	36	1'605
Total Linkverkehr	39'798	48'465	120'272	6'861	127'133
Total Zonenbinnenverkehr	-	-	30'758	-	-
Total Anbindeverkehr	-	-	7'610	-	-
Total Verkehr VMUVEK	-	-	158'640	-	-

I.4 Grundlagen Verkehrsmengengerüst Schiene

Die wichtigsten angebotsseitigen Annahmen für die Prognose Z1-REF (2020) sind folgende:

- **Güterverkehr:** Unterstellt werden die Prognosen zur Entwicklung des Schienengüterverkehrs aus den Güterverkehrsperspektiven des Bundesamts für Raumentwicklung ARE. Mangels detaillierter Angaben werden die Dienstzüge in allen Zuständen unverändert (Stand 2009) belassen.
- **Personenverkehr:** Für die Belastungen in Z1-REFERENZ wird das Verkehrskonzept „ZEB neu“ unterstellt, da STEP noch nicht im notwendigen Detaillierungsgrad vorliegt. Diese Annahme ist insofern vertretbar, als dass bis 2020/2025 nicht alle Projekte aus STEP realisiert sein dürften, wohingegen „ZEB neu“ bis dann umgesetzt sein sollte. Folgende Projekte sind in „ZEB neu“ enthalten:
 - Durchmesserlinie Zürich (DMLZ)
 - Bahnverbindung Cornavin–Eaux-Vives–Annemasse (CEVA)
 - Bahnlinie Lugano–Mendrisio–Varese–Malpensa (FMV)
 - Gotthard- und Ceneri-Basistunnel
 - Eppenbergstunnel
 - 4. Teilergänzung S-Bahn Zürich
 - 1. Teilergänzung Stadtbahn Zug
 - 2. Teilergänzung S-Bahn Bern
 - Angebotsplanung Ost Horizont 2
 - RER Vaudois concept 2020
 - 15'-Takt Coppet-Annemasse

Ausgangspunkt für die **Herleitung des Verkehrsmengengerüsts** Schiene sind Querschnittsbelastungen (Anzahl Züge pro Tag), welche die SBB im Zusammenhang mit dem „Lärm-Emissionsplan 2015“ erarbeitet hat (siehe Anhang II). Für jeden Querschnitt sind die Anzahl Züge pro Tag (Personenverkehr) resp. pro Werktag (Güterverkehr) angegeben, aufgeteilt in Zugteil-Längen nach lärmrelevanten Typen (Güter-/Personenverkehr, mit/ohne Graugussbremsen, etc.) in den folgenden Zugskategorien:

- Personen-Fernverkehr
- Personen-Regionalverkehr
- Güterverkehr national
- Güterverkehr international
- Dienstzüge (P und G zusammen)

Daraus werden mit Hilfe von Angaben zu mittleren Gewichten pro Zugslängeneinheit (Brutto-Tonnen/m; siehe Anhang III), die ebenfalls auf Angaben der SBB beruhen, die Bruttotonnen pro Abschnitt ermittelt. Auf der Grundlage der Querschnitte werden die Netzbelastungen extrapoliert. Damit lassen sich die Fahr- und Verkehrsleistungen (in Bruttotonnenkilometer) als Input für die Energieberechnung herleiten.

Daneben werden folgende, weitere Annahmen getroffen:

- Zwischen den auf dem Netz mit Hilfe der Extrapolation aus den **Querschnittswerten** abgeleiteten Fahrleistungen und den durch das BFS publizierten Fahrleistungen (Totale für Güter-/Personenverkehr) besteht eine Differenz, da mit den vorliegenden Querschnittsdaten nicht alle Strecken abgedeckt werden können. Beim Personenverkehr können rund 60%, beim Güterverkehr rund 90% der gesamtschweizerischen Fahrleistungen auf dem Netz abgebildet werden. Die Differenzen werden pauschal (räumlich nicht differenziert) ergänzt.
- **Hochrechnungsfaktor** Tages-/Jahresfahrleistungen: 365 Tage

II Schienen-Querschnitte (Anz. Züge/Tag)

G QS SBB		Z0 2010								Z1 REF 2020								Z1 VERLAGERUNG 2020								Z1 GIGALINER 2020							
IDQS	QSName	G Nat.	G Int.	P FV	P RV	Dienst	Total G	Total P		G Nat.	G Int.	P FV	P RV	Dienst	Total G	Total P		G Nat.	G Int.	P FV	P RV	Dienst	Total G	Total P		G Nat.	G Int.	P FV	P RV	Dienst	Total G	Total P	
1	Gland - Prangins	17	5	76	157	20	22	233		20	6	76	189	21	26	265		20	6	76	189	21	26	265		20	6	76	189	21	26	265	
2	Arnex - Sarraz, La	2	2	10	38	41	4	48		1	4	10	38	41	5	48		1	4	10	38	41	5	48		1	4	10	38	41	5	48	
3	Grandson - Yverdon-les-Bains	28	24	72	5	8	53	77		19	36	72	78	10	55	150		19	36	72	78	10	55	150		19	36	72	78	10	55	150	
4	Domdidier - Dompierre	3	2	-	41	2	5	41		2	1	-	41	2	3	41		2	1	-	41	2	3	41		2	1	-	41	2	3	41	
5	Wünnewil - Schmitten	5	2	36	114	6	7	150		6	3	36	148	7	9	184		6	3	36	148	7	9	184		6	3	36	148	7	9	184	
6	Granges-Lens - St-Léonard	8	6	8	112	6	15	120		2	13	8	112	6	15	120		2	13	8	112	6	15	120		2	13	8	112	6	15	120	
7	Brig Tunnel - Brig	-	84	36	31	14	84	67	-	113	36	37	14	113	73	-	-	113	36	37	14	113	73	-	-	113	36	37	14	113	73	-	
8	Hohtenn - Rarnerkumme (Spw)	2	24	-	38	5	26	38		0	44	-	38	5	44	38		0	44	-	38	5	44	38		0	44	-	38	5	44	38	
9	Ferden (Spw) - Mitholz (Spw)	-	34	50	-	3	34	50		1	58	50	-	4	59	50		1	58	50	-	4	59	50		1	58	50	-	4	59	50	
10	Mülenen - Reichenbach im Kandertal	2	58	50	62	18	60	112		1	102	50	62	-	103	112		1	102	50	62	-	103	112		1	102	50	62	-	103	112	
11	Hindelbank - Sandacher (Spw)	6	48	-	154	12	54	154		8	68	-	154	12	76	154		8	68	-	154	12	76	154		8	68	-	154	12	76	154	
12	Bettlach - Selzach	24	36	38	95	10	60	133		28	40	36	95	10	67	131		28	40	36	95	10	67	131		28	40	36	95	10	67	131	
13	Mallera-Bévilard - Pontenet	-	-	-	65	1	-	65	-	-	-	-	65	1	-	65	-	-	-	-	65	1	-	65	-	-	-	-	-	65	1	-	65
14	Basel VB Grenze nach DB - Gellert Nord (Abzw	10	158	51	78	81	168	129		12	290	51	78	84	302	129		12	377	51	78	84	389	129		12	280	51	78	84	292	129	
15	Kaiseraugst - Rheinfelden Augarten	5	104	-	159	20	109	159		4	197	-	159	22	201	159		4	284	-	159	22	288	159		4	187	-	159	22	191	159	
16	Lausen - Itingen	12	85	158	183	19	97	341		14	117	158	183	20	131	341		14	117	158	183	20	131	341		14	117	158	183	20	131	341	
17	Rothrist - Wanzwil (Abzw)	6	18	182	72	6	23	254		8	24	195	72	6	32	267		8	24	195	72	6	32	267		8	24	195	72	6	32	267	
18	Escholzmatt - Schüpfheim	-	-	-	72	1	-	72	-	-	-	-	72	1	-	72	-	-	-	-	72	1	-	72	-	-	-	-	-	72	1	-	72
20	Nottwil - Sempach-Neuenkirch	11	3	14	202	8	13	216		11	3	14	202	8	14	216		11	3	14	202	8	14	216		11	3	14	202	8	14	216	
21	Dulliken - Däniken West (Abzw)	73	41	186	233	39	114	418		78	46	199	331	41	124	529		78	46	199	331	41	124	529		78	46	199	331	41	124	529	
22	Frick - Niederfeld (Spw)	4	92	-	118	13	96	118		4	197	-	118	15	201	118		4	284	-	118	15	288	118		4	187	-	118	15	191	118	
23	Döttingen - Beznau (Agl)	2	2	-	76	6	4	76		2	2	-	86	6	4	86		2	2	-	86	6	4	86		2	2	-	86	6	4	86	
24	Bülach - Niederglatt	7	26	-	86	19	33	86		9	32	-	162	21	41	162		9	32	-	162	21	41	162		9	32	-	162	21	41	162	
25	Dietikon - Glanzenberg	70	26	186	414	60	96	600		80	33	199	497	62	113	696		80	33	199	497	62	113	696		80	33	199	497	62	113	696	
26	Benzenschwil - Mülhau	19	79	-	109	10	98	109		22	180	-	70	11	202	70		22	267	-	70	11	289	70		22	170	-	70	11	192	70	
27	Ebikon - Rotsee (Verzw)	3	0	14	170	9	4	184		3	1	14	177	9	4	191		3	1	14	177	9	4	191		3	1	14	177	9	4	191	
28	Zug - Baar Lindenberg	1	0	24	317	7	1	340		1	0	25	365	8	1	390		1	0	25	365	8	1	390		1	0	25	365	8	1	390	
29	Au ZH - Wädenswil	10	18	47	190	13	28	237		16	19	49	222	13	35	270		16	19	49	222	13	35	270		16	19	49	222	13	35	270	
30	Meilen - Uetikon	-	-	-	144	7	-	144	-	-	-	-	155	7	-	155	-	-	-	-	155	7	-	155	-	-	-	-	-	155	7	-	155
31	Effretikon - Kempthal	39	4	118	295	29	43	413		43	5	141	435	32	48	576		43	5	141	435	32	48	576		43	5	141	435	32	48	576	
32	Hüntwangen-Wil - Rafz	4	14	-	116	10	18	116		5	18	-	152	11	23	152		5	18	-	152	11	23	152		5	18	-	152	11	23	152	
33	Marthalen - Dachsen	1	2	-	108	2	3	108		0	1	-	120	2	1	120		0	1	-	120	2	1	120		0	1	-	120	2	1	120	
34	Märstetten - Weinfelden	12	3	36	96	9	15	132		14	12	36	115	10	26	151		14	12	36	115	10	26	151		14	12	36	115	10	26	151	
35	Schwarzenbach SG - Algetshausen-Henau	13	2	82	43	9	15	125		13	1	105	108	11	13	213		13	1	105	108	11	13	213		13	1	105	108	11	13	213	
36	Horn - Steinach	5	7	-	71	4	12	71		5	12	-	73	4	16	73		5	12	-	73	4	16	73		5	12	-	73	4	16	73	
37	Altstätten SG - Oberriet	5	2	-	37	4	8	37		9	3	-	85	5	12	85		9	3	-	85	5	12	85		9	3	-	85	5	12	85	
38	Mols - Walenstadt	6	19	47	73	6	25	120		11	18	49	110	7	30	159		11	18	49	110	7	30	159		11	18	49	110	7	30	159	
39	Schwyz - Steinen	19	75	38	106	10	94	144		24	174	39	106	12	197	145		24	259	39	106	12	282	145		24	164	39	106	12	187	145	
40	Göschenen - Gotthard Nord (Spw)	16	73	38	32	6	89	70		-	-	17	32	4	-	49		-	-	17	32	4	-	49		-	-	17	32	4	-	49	
41	Rynächt Nord - Gotthard Basistunnel	-	-	-	-	-	-	-		17	171	22	-	4	187	22		17	256	22	-	4	273	22		17	161	22	-	4	177	22	
42	Magadino-Vira - S. Nazzaro	-	40	-	14	1	40	14		-	75	-	14	2	75	14		-	75	-	14	2	75	14		-	75	-	14	2	75	14	
43	Maroggia-Melano - Melide	4	25	21	90	17	29	111		-	97	22	126	19	97	148		-	97	22	126	19	97	148		-	97	22	126	19	97	148	

III Mittlere Zugsgewichte

<i>Spezifische Gesamtgewichte (Brutto-Tonnen) pro Zugslänge; Quelle SBB</i>	
Zugskategorie	Gewicht in t/m
Personen-Fernverkehr	1.92
Personen-Regionalverkehr	1.92
Güterverkehr international	2.22
Güterverkehr national	2.00
Dienstzüge (P+G)	2.00
<i>Mittlere Zugsgewichte (Brutto-Tonnen) pro Zugskategorie; Abgeleitet aus Teilzugs- längen und spezifischen Gesamtgewichten; Quelle SBB</i>	
Zugskategorie	Gewicht in Brutto-t/Zug
Personen-Fernverkehr	500
Personen-Regionalverkehr	288
Güterverkehr international	940
Güterverkehr national	454
Dienstzüge (P+G)	100

IV Emissionsfaktoren Strassenverkehr

Quelle: HBEFA 3.1 (BAFU 2010)

Emissionsfaktoren - nach Fahrzeugkategorien							
g/km							
Emission	Jahr	PW	LNF	SNF	RBus	LBus	MR
CO2	2010	193	242	785	821	1'103	99
CO2	2020	162	233	766	823	1'083	98
CO2	2030	139	225	761	827	1'079	96
NOX	2010	0.345	1.085	5.158	6.642	10	0.2
NOX	2020	0.197	0.685	2.082	2.911	5	0.143
NOX	2030	0.132	0.378	0.662	0.966	2	0.1
CO2	2010	193	242	785	821	1'103	99
CO2	2020	162	233	766	823	1'083	98
CO2	2030	139	225	761	827	1'079	96
PM10 (Auspuff)	2010	0.011	0.065	0.096	0.128	0	
PM10 (Auspuff)	2020	0.004	0.023	0.028	0.038	0	
PM10 (Auspuff)	2030	0.002	0.007	0.006	0.008	0	
PM10 (nicht-Auspuff)	2010	0.038	0.038	0.154	0.158	0	0.009
PM10 (nicht-Auspuff)	2020	0.038	0.038	0.155	0.158	0	0.009
PM10 (nicht-Auspuff)	2030	0.038	0.038	0.155	0.158	0	0.009

Emissionsfaktoren schwere Nutzfahrzeuge - nach Emissionsstufen					
g/km					
Schadstoff/Gas	FzKat	Emissionsstufe	2010	2020	2030
CO2(total)	SNF	SNF-D-Euro-0	825.2	859.9	887.3
CO2(total)	SNF	SNF-D-Euro-I	785.2	824	845.2
CO2(total)	SNF	SNF-D-Euro-II	780.7	789	806.7
CO2(total)	SNF	SNF-D-Euro-III	787.4	793.4	780.4
CO2(total)	SNF	SNF-D-Euro-IV	763.3	773	742.1
CO2(total)	SNF	SNF-D-Euro-V	787.6	775.8	750.4
CO2(total)	SNF	SNF-D-Euro-VI		755.9	761.6
Treibstoffverbrauch	SNF	SNF-D-Euro-0	262.0	273.0	281.7
Treibstoffverbrauch	SNF	SNF-D-Euro-I	249.3	261.6	268.3
Treibstoffverbrauch	SNF	SNF-D-Euro-II	247.9	250.5	256.1
Treibstoffverbrauch	SNF	SNF-D-Euro-III	250.0	251.9	247.7
Treibstoffverbrauch	SNF	SNF-D-Euro-IV	242.3	245.4	235.6
Treibstoffverbrauch	SNF	SNF-D-Euro-V	250.0	246.3	238.2
Treibstoffverbrauch	SNF	SNF-D-Euro-VI		239.9	241.8
NOX	SNF	SNF-D-Euro-0	11.194	11.977	12.221
NOX	SNF	SNF-D-Euro-I	8.081	8.841	9.076
NOX	SNF	SNF-D-Euro-II	8.662	8.911	9.11
NOX	SNF	SNF-D-Euro-III	6.588	6.747	6.634
NOX	SNF	SNF-D-Euro-IV	4.314	4.38	4.211
NOX	SNF	SNF-D-Euro-V	3.163	3.133	3.04
NOX	SNF	SNF-D-Euro-VI		0.499	0.503
PM10 (Auspuff)	SNF	SNF-D-Euro-0	0.402	0.476	0.484
PM10 (Auspuff)	SNF	SNF-D-Euro-I	0.319	0.386	0.398
PM10 (Auspuff)	SNF	SNF-D-Euro-II	0.161	0.17	0.175
PM10 (Auspuff)	SNF	SNF-D-Euro-III	0.152	0.156	0.153
PM10 (Auspuff)	SNF	SNF-D-Euro-IV	0.029	0.03	0.029
PM10 (Auspuff)	SNF	SNF-D-Euro-V	0.031	0.03	0.029
PM10 (Auspuff)	SNF	SNF-D-Euro-VI		0.003	0.003

V Lärmgrenzwerte, Empfindlichkeitsstufen LSV; Lärmpegel Modell TRANECAM

Quelle: LSV

Empfindlichkeitsstufen „ES“: I = Erholung, II = Wohnen, III = Wohnen/Gewerbe, IV = Industrie

V.1 Strassen- und Bahnlärm generell

Planungs-, Grenz- (IGW) und Alarmwert – L_r in dB(A),
Tag = 6-22 Uhr, Nacht = 22-6 Uhr

Belastungsbereich	Planungswert		Immissionsgrenzwert (IGW)		Alarmwert	
	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
ES I	50	40	55	45	65	60
ES II	55	45	60	50	70	65
ES III	60	50	65	55	70	65
ES IV	65	55	70	60	75	70

V.2 Strassen- und Bahnlärm für Beschäftigte

Planungs-, Grenz- (IGW) und Alarmwert – L_r in dB(A),
Tag = 6-22 Uhr, Nacht = 22-6 Uhr

Belastungsbereich	Planungswert		Immissionsgrenzwert (IGW)		Alarmwert	
	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
Empfindlichkeitsstufe ES I	55	45	60	50	65	60
ES II	60	50	65	55	70	65
ES III	65	55	70	60	70	65
ES IV	65	55	70	60	75	70

V.3 Typische Lärmpegel in TRANECAM

Lärmpegel (Vorbeifahrpegel L_{max}) nach Fahrzeugkategorien und Strassentypen in dB(A)

Quelle: Modell TRANECAM (Steven H. 2005)

Strassenkategorie	Sign. Geschwin- digkeit	PW	SNF	LI	MR	RBus, LBus
Autobahn, ländl.	80	78.1	86.3	78.7	77.6	85.7
Autobahn, ländl.	100	81.2	87.9	81.7	79.7	87.3
Autobahn, ländl.	120	83.8	88.5	84.3	82.7	88.0
Autobahn, urban	80	77.7	85.6	78.3	76.8	84.9
Autobahn, urban	100	80.7	87.0	81.2	79.2	86.5
Autobahn, urban	120	83.3	88.0	83.8	82.0	87.4
Hauptverkehrsstrasse	80	76.6	84.1	77.4	76.7	83.6
Verbindungsstrasse	50	70.4	80.4	71.8	71.9	79.7
Verbindungsstrasse	80	77.5	84.8	78.1	77.2	84.3
Sammelstrasse	50	70.9	-	72.2	72.2	-

VI Emissionsfaktoren Vorprozesse („Well-to-tank“)

EFA "Well-to-Tank"		[t/t]			[MJ/t]
Treibstoffe					
Jahr	Treibstofftyp	CO2	NOx	PM	Energieverbrauch Vorprozess
2010-2030	Benzin	0.6778	0.0025	0.00027	14'131
2010-2030	Diesel	0.5041	0.0023	0.00022	12'250
2010-2030	CNG	0.3862	0.0012	0.00007	12'331
Stromerzeugung		[t/kWh]			[MJ/kWh]
Jahr	Strommix	CO2	NOx	PM	Energieverbrauch Vorprozess
2010-2030	SBB-Mix (Versorgungsmix; Hochspannung)	0.00000977	0.000000028	0.000000026	6.61
2010-2030	UCTE-Mix (Produktionsmix; Hochspannung)	0.00049638	0.000000864	0.000000158	11.19

Quelle: Ecoinvent

- SBB-Mix: rund 75% Wasserkraft, 25% Nuklearstrom
- UCTE-Mix: 54% fossile Energieträger, 29% Nuklearstrom, 11% Wasserkraft, 6% sonstige erneuerbare Energieträger

VII Emissionen/Energieverbrauch Strasse

VII.1 Luftschadstoffe Strasse

*NO_x -Emissionen Schweiz Strasse– 2010 bis 2030
in t/Jahr*

Betriebsemissionen („Tank-to-Wheel“)						
Variante	Güterverkehr (SNF)	Güterverkehr (LI)	Restliche Fahrzeug-kategorien	Total	SNF-Anteil	LI-Anteil
Z0 (2010)	11'017	4'713	24'903	40'633	27%	12%
Z1 REF (2020)	4'798	3'223	15'079	23'099	21%	14%
Z2 REF (2030)	1'724	1'905	10'093	13'721	13%	14%
Z1 Verlage- rung	4'417	3'223	15'079	22'718	20%	14%
Z1 Gialiner Euro VI	4'539	3'223	15'079	22'840	20%	14%
Z1 Gialiner Sensitivität	4'754	3'223	15'079	23'055	21%	14%
Vorprozess-Emissionen („Well-to-Tank“)						
Z0 (2010)	1'302	644	9'168	11'114	12%	6%
Z1 REF (2020)	1'429	653	8'335	10'418	14%	6%
Z2 REF (2030)	1'488	669	7'544	9'701	15%	7%
Z1 Verlage- rung	1'248	653	8'335	10'236	12%	6%
Z1 Gialiner Euro VI	1'385	653	8'335	10'374	13%	6%
Z1 Gialiner Sensitivität	1'385	653	8'335	10'374	13%	6%
Gesamtemissionen („Well-to-Wheel“)						
Z0 (2010)	12'319	5'357	34'071	51'747	24%	10%
Z1 REF (2020)	6'227	3'876	23'414	33'517	19%	12%
Z2 REF (2030)	3'212	2'574	17'637	23'422	14%	11%
Z1 Verlage- rung	5'665	3'876	23'414	32'954	17%	12%
Z1 Gialiner Euro VI	5'924	3'876	23'414	33'214	18%	12%
Z1 Gialiner Sensitivität	6'139	3'876	23'414	33'429	18%	12%
Z0 (2010)	1'302	644	9'168	11'114	12%	6%
Z1 REF (2020)	1'429	653	8'335	10'418	14%	6%

*PM10-Emissionen (Summe Auspuff und nicht-Auspuff) Schweiz Strasse– 2010 bis 2030
in t/Jahr*

Betriebsemissionen („Tank-to-Wheel“)							
Variante	Güterverkehr (SNF)	Güterverkehr (LI)	Restliche Fahrzeug-kategorien	Total	SNF-Anteil	LI-Anteil	
Z0 (2010)	516	379	3'155	4'049	13%	9%	
Z1 REF (2020)	413	260	2'935	3'608	11%	7%	
Z2 REF (2030)	426	202	2'958	3'586	12%	6%	
Z1 Verlage-rung	387	260	2'935	3'582	11%	7%	
Z1 GIGALINER Euro VI	403	260	2'935	3'598	11%	7%	
Z1 GIGALINER Sensitivität	406	260	2'935	3'601	11%	7%	
Vorprozess-Emissionen („Well-to-Tank“)							
Z0 (2010)	126	64	967	1'157	11%	6%	
Z1 REF (2020)	138	64	866	1'068	13%	6%	
Z2 REF (2030)	144	66	779	988	15%	7%	
Z1 Verlage-rung	121	64	866	1'051	12%	6%	
Z1 GIGALINER Euro VI	134	64	866	1'064	13%	6%	
Z1 GIGALINER Sensitivität	134	64	866	1'064	13%	6%	
Gesamtemissionen (“Well-to-Wheel”)							
Z0 (2010)	642	443	4'122	5'207	12%	9%	
Z1 REF (2020)	551	325	3'801	4'677	12%	7%	
Z2 REF (2030)	570	268	3'737	4'575	12%	6%	
Z1 Verlage-rung	507	325	3'801	4'633	11%	7%	
Z1 GIGALINER Euro VI	537	325	3'801	4'662	12%	7%	
Z1 GIGALINER Sensitivität	540	325	3'801	4'665	12%	7%	
Z0 (2010)	126	64	967	1'157	11%	6%	
Z1 REF (2020)	138	64	866	1'068	13%	6%	

*PM10 (Auspuff)-Emissionen Schweiz Strasse– 2010 bis 2030
in t/Jahr*

Betriebsemissionen („Tank-to-Wheel“)							
Variante	Güterverkehr (SNF)	Güterverkehr (LI)	Restliche Fahrzeug-kategorien	Total	SNF-Anteil	LI-Anteil	
Z0 (2010)	207	225	707	1'139	18%	20%	
Z1 REF (2020)	66	97	255	418	16%	23%	
Z2 REF (2030)	15	32	115	162	9%	20%	
Z1 Verlage-rung	61	97	255	413	15%	24%	
Z1 GIGALINER Euro VI	62	97	255	414	15%	23%	
Z1 GIGALINER Sensitivität	65	97	255	417	16%	23%	

VII.2 CO₂-Emissionen Strasse

*CO₂-Emissionen Schweiz Strasse– 2010 bis 2030
in Mio. t/Jahr*

Betriebsemissionen („Tank-to-Wheel“)						
Variante	Güterverkehr (SNF)	Güterverkehr (LI)	Restliche Fahrzeug-kategorien	Total	SNF-Anteil	LI-Anteil
Z0 (2010)	1.758	0.919	11.812	14.490	12%	6%
Z1 REF (2020)	1.888	0.902	10.504	13.294	14%	7%
Z2 REF (2030)	1.899	0.887	9.935	12.721	15%	7%
Z1 Verlage- rung	1.693	0.902	10.504	13.099	13%	7%
Z1 Gighaliner Euro VI	1.913	0.902	10.504	13.319	14%	7%
Z1 Gighaliner Sensitivität	1.913	0.902	10.504	13.319	14%	7%
Vorprozess-Emissionen („Well-to-Tank“)						
Z0 (2010)	0.290	0.150	2.353	2.794	10%	5%
Z1 REF (2020)	0.310	0.144	2.018	2.473	13%	6%
Z2 REF (2030)	0.314	0.134	1.740	2.188	14%	6%
Z1 Verlage- rung	0.271	0.144	2.018	2.433	11%	6%
Z1 Gighaliner Euro VI	0.306	0.144	2.018	2.468	12%	6%
Z1 Gighaliner Sensitivität	0.306	0.144	2.018	2.468	12%	6%
Gesamtemissionen („Well-to-Wheel“)						
Z0 (2010)	2.048	1.070	14.166	17.283	12%	6%
Z1 REF (2020)	2.198	1.046	12.522	15.766	14%	7%
Z2 REF (2030)	2.213	1.021	11.676	14.909	15%	7%
Z1 Verlage- rung	1.964	1.046	12.522	15.532	13%	7%
Z1 Gighaliner Euro VI	2.220	1.046	12.522	15.788	14%	7%
Z1 Gighaliner Sensitivität	2.220	1.046	12.522	15.788	14%	7%
Z0 (2010)	2.048	1.070	14.166	17.283	12%	6%
Z1 REF (2020)	2.198	1.046	12.522	15.766	14%	7%

*Energieverbrauch Schweiz Strasse– 2010 bis 2030
in PJ/Jahr*

Betriebsemissionen („Tank-to-Wheel“)							
Variante	Güterverkehr (SNF)	Güterverkehr (LI)	Restliche Fahrzeugkategorien	Total	SNF-Anteil	LI-Anteil	
Z0 (2010)	23.9	12.5	160.5	196.9	12%	6%	
Z1 REF (2020)	25.7	12.3	142.7	180.6	14%	7%	
Z2 REF (2030)	25.8	12.1	135.0	172.8	15%	7%	
Z1 Verlagerung	23.0	12.3	142.7	178.0	13%	7%	
Z1 Gigaliner Euro VI	26.0	12.3	142.7	181.0	14%	7%	
Z1 Gigaliner Sensitivität	26.0	12.3	142.7	181.0	14%	7%	
Vorprozess-Emissionen („Well-to-Tank“)							
Z0 (2010)	7.0	3.6	53.7	64.3	11%	6%	
Z1 REF (2020)	7.5	3.5	46.6	57.6	13%	6%	
Z2 REF (2030)	8.3	3.2	37.4	48.9	17%	7%	
Z1 Verlagerung	6.6	3.5	46.6	56.6	12%	6%	
Z1 Gigaliner Euro VI	7.5	3.5	46.6	57.6	13%	6%	
Z1 Gigaliner Sensitivität	7.5	3.5	46.6	57.6	13%	6%	
Gesamtemissionen (“Well-to-Wheel”)							
Z0 (2010)	30.9	16.1	214.2	261.2	12%	6%	
Z1 REF (2020)	33.2	15.7	189.3	238.2	14%	7%	
Z2 REF (2030)	34.1	15.3	172.4	221.8	15%	7%	
Z1 Verlagerung	29.6	15.7	189.3	234.6	13%	7%	
Z1 Gigaliner Euro VI	33.5	15.7	189.3	238.6	14%	7%	
Z1 Gigaliner Sensitivität	33.5	15.7	189.3	238.6	14%	7%	
Z0 (2010)	30.9	16.1	214.2	261.2	12%	6%	
Z1 REF (2020)	33.2	15.7	189.3	238.2	14%	7%	

VIII Emissionen/Energieverbrauch Schiene

PM10-Emissionen Schienenverkehr

Quellen: Rangierbetrieb aus BAFU 2008, Abrieb/Bremsen aus EMIS/BAFU bzw. UNECE-Submission (2012)

Jahr	Rangierbetrieb	Abrieb, Bremsen	Total in t
Z0 2010	9	1256	1265
Z1 2020	4	1435	1439

End-Energieverbrauch Schiene nach Zugskategorien in PJ/Jahr

Referenzzustände 2010/2020 und Varianten

Zugskategorie	Z0 REF (2010)	Z1 REF (2020)	Z1 Verlagerung	Z1 Gigaliner
Personen-Fernverkehr	2.75	3.31	3.31	3.31
Personen-Regionalverkehr	4.76	5.19	5.19	5.19
Güterverkehr-international	1.33	1.65	2.00	1.61
Güterverkehr-national (inkl. Dienstzüge)	0.47	0.72	0.72	0.72
Total Personenverkehr	7.51	8.50	8.50	8.50
Total Güterverkehr	1.80	2.37	2.72	2.33
Total Personen-/Güterverkehr	9.31	10.87	11.22	10.83

IX Emissionsgrenzwerte leichte und schwere Nutzfahrzeuge

IX.1 Lieferwagen mit Benzinmotor

Norm	Etappe	Inkrafttreten ¹	Prüfzyklus	Treibstoff	Grenzwerte						
					CO [g/km]	NMHC [g/km]	THC [g/km]	NO _x [g/km]	THC+NO _x [g/km]	PM [mg/km]	PN [#/km]
ECE 15	ECE 15.00	01.1974	ECE 15	B	30–65	-	5,1–8,2	-	-	-	-
	ECE 15.01	09.1975	ECE 15	B	24–52	-	4,3–7,0	-	-	-	-
	ECE 15.02	10.1977	ECE 15	B	24–52	-	4,3–7,0	3,8–5,9	-	-	-
	ECE 15.03	10.1980	ECE 15	B	19–42	-	3,8–6,2	3,8–5,9	-	-	-
AGV	AGV 82	10.1982	FTP 72	B	24,20	-	2,10	1,90	-	-	-
	AGV 86	10.1986	FTP 72	B	9,30	-	0,90	1,20	-	-	-

FAV 1

Gruppe I	FAV 1–1	10.1987	FTP 75	B	2,10	-	0,25	0,62	-	-	-
Gruppe II	FAV 1–1	10.1988	FTP 75	B	6,20	-	0,50	1,40	-	-	-
	FAV 1–2	10.1990	FTP 75	B	6,20	-	0,50	1,10	-	-	-

TAFV 1

Klasse 1	EURO 2	10.1996/97	NEFZ	B	2,20	-	-	-	0,50	-	-
Klasse 2	EURO 2	10.1997/98	NEFZ	B	4,00	-	-	-	0,60	-	-
Klasse 3	EURO 2	10.1997/98	NEFZ	B	5,00	-	-	-	0,70	-	-
Klasse 1	EURO 3	01.2000/01	NEFZm	B	2,30	-	0,20	0,15	-	-	-
Klasse 2	EURO 3	01.2001/02	NEFZm	B	4,17	-	0,25	0,18	-	-	-
Klasse 3	EURO 3	01.2001/02	NEFZm	B	5,22	-	0,29	0,21	-	-	-
Klasse 1	EURO 4	01.2005/06	NEFZm	B	1,00	-	0,10	0,08	-	-	-
Klasse 2	EURO 4	01.2006/07	NEFZm	B	1,81	-	0,13	0,10	-	-	-
Klasse 3	EURO 4	01.2006/07	NEFZm	B	2,27	-	0,16	0,11	-	-	-
Klasse 1	EURO 5	09.2009/10	NEFZm	B	1,00	0,068	0,13	0,060	-	5,0/4,5 ^{2,3}	-
Klasse 2	EURO 5	09.2010/11	NEFZm	B	1,81	0,090	0,16	0,075	-	5,0/4,5 ^{2,3}	-
Klasse 3	EURO 5	09.2010/11	NEFZm	B	2,27	0,108	0,16	0,082	-	5,0/4,5 ^{2,3}	-
Klasse 1	EURO 6	09.2014/15	NEFZm	B	1,00	-	0,075	0,060	-	5,0/4,5 ^{2,3}	4,5
Klasse 2	EURO 6	09.2015/16	NEFZm	B	1,81	-	0,10	0,075	-	5,0/4,5 ^{2,3}	4,5
Klasse 3	EURO 6	09.2015/16	NEFZm	B	2,27	-	0,12	0,082	-	5,0/4,5 ^{2,3}	4,9

¹ Erster Termin: Gültig für die Typgenehmigung von neuen Fahrzeugtypen. Zweiter Termin: Gültig für die 1. Inverkehrsetzung von Neufahrzeugen.

² Die Grenzwerte für die Partikelmasse für Fremdzündungsmotoren gelten nur für Fahrzeuge mit Direkteinspritzung.

³ Vor Anwendung des Grenzwerts von 4,5 mg/km wird ein überarbeitetes Messverfahren eingeführt.

⁴ Vor Anwendung des Grenzwerts wird ein neues Messverfahren eingeführt.

⁵ Vor dem 1. September 2014 wird für Fahrzeuge mit Fremdzündungsmotoren mit Direkteinspritzung ein Grenzwert für die Partikelzahl festgelegt.

IX.2 Lieferwagen mit Dieselmotor

Norm	Etappe	Inkrafttreten ¹	Prüfzyklus	Treibstoff	Grenzwerte					
					CO [g/km]	THC [g/km]	NO _x [g/km]	THC+NO _x [g/km]	PM [mg/km]	PN ³ [#/km]

FAV 1

Gruppe I	FAV 1-1	10.1987	FTP 75	D	2,10	0,25	0,62	-	370	
Gruppe I	FAV 1-2	10.1988	FTP 75	D	2,10	0,25	0,62	-	124	
Gruppe II	FAV 1-1	10.1988	FTP 75	D	6,20	0,50	1,40	-	370	
Gruppe II	FAV 1-2	10.1990	FTP 75	D	6,20	0,50	1,10		370	
Gruppe II	FAV 1-3	10.1992	FTP 75	D	6,20	0,50	1,10	-	162	

TAFV 1

Klasse 1	EURO 2	10.1996/97	NEFZ	D	1,00	-	-	0,70	80	
Klasse 2	EURO 2	10.1997/98	NEFZ	D	1,25	-	-	1,00	120	
Klasse 3	EURO 2	10.1997/98	NEFZ	D	1,50	-	-	1,20	170	
Klasse 1	EURO 3	01.2000/01	NEFZm	D	0,64	-	0,50	0,56	50	
Klasse 2	EURO 3	01.2001/02	NEFZm	D	0,80	-	0,65	0,72	70	
Klasse 3	EURO 3	01.2001/02	NEFZm	D	0,95	-	0,78	0,86	100	
Klasse 1	EURO 4	01.2005/06	NEFZm	D	0,50	-	0,25	0,30	25	
Klasse 2	EURO 4	01.2006/07	NEFZm	D	0,63	-	0,33	0,39	40	
Klasse 3	EURO 4	01.2006/07	NEFZm	D	0,74	-	0,39	0,46	60	
Klasse 1	EURO 5	09.2009/10	NEFZm	D	0,50	-	0,180	0,230	5,0/4,5 ²	6,0x10 ¹¹
Klasse 2	EURO 5	09.2010/11	NEFZm	D	0,63	-	0,235	0,295	5,0/4,5 ²	6,0x10 ¹¹
Klasse 3	EURO 5	09.2010/11	NEFZm	D	0,74	-	0,280	0,350	5,0/4,5 ²	6,0x10 ¹¹
Klasse 1	EURO 6	09.2014/15	NEFZm	D	0,50	-	0,080	0,170	5,0/4,5 ²	6,0x10 ¹¹
Klasse 2	EURO 6	09.2015/16	NEFZm	D	0,63	-	0,105	0,195	5,0/4,5 ²	6,0x10 ¹¹
Klasse 3	EURO 6	09.2015/16	NEFZm	D	0,74	-	0,125	0,215	5,0/4,5 ²	6,0x10 ¹¹

¹ Erster Termin: Gültig für die Typgenehmigung von neuen Fahrzeugtypen. Zweiter Termin: Gültig für die 1. Inverkehrsetzung von Neufahrzeugen.

² Vor Anwendung des Grenzwerts von 4.5 mg/km wird ein überarbeitetes Messverfahren eingeführt.

³ Vor Anwendung des Grenzwerts wird ein neues Messverfahren eingeführt.

IX.3 Schwere Motorwagen (SNF) mit Dieselmotor

Norm/Etappe	Inkrafttreten ³	Prüfzyklus	Grenzwerte							
			CO [g/kWh]	THC [g/kWh]	NMHC [g/kWh]	CH ₄ [g/kWh]	NO _x [g/kWh]	NH ₃ [ppm]	PM [g/kWh]	PN [#/kWh]

FAV 2

FAV 2-1	10.1987	ECE 49	8,40	2,10	-	-	14,4	-	-	-
FAV 2-2	10.1991	ECE 49	4,90	1,23	-	-	9,0	-	0,70	-
FAV 2-3	10.1992/93	ECE 49	4,90	1,23	-	-	9,0	-	0,40	-

TAFV 1

EURO II	10.1995/96	ECE 49	4,00	1,10	-	-	7,0	-	0,15	-
---------	------------	--------	------	------	---	---	-----	---	------	---

Selbstzündungsmotoren (Dieselmotoren):

EURO III	10.2000/01	ESC/ETC ²	2,1/5,45	0,66 / -	- / 0,78	- / -	5,0 / 5,0	- / -	0,10/0,16	- / -
EURO IV	10.2005/06	ESC/ETC	1,5/4,00	0,46 / -	- / 0,55	- / -	3,5 / 3,5	- / -	0,02/0,03	- / -
EURO V	10.2008/09	ESC/ETC	1,5/4,00	0,46 / -	- / 0,55	- / -	2,0 / 2,0	- / -	0,02/0,03	- / -
EEV ¹	-	ESC/ETC	1,5/3,00	0,25 / -	- / 0,40	- / -	2,0 / 2,0	- / -	0,02/0,02	- / -
EURO VI	2013/2014	ESC/ETC ⁴	1,5/4,00	0,13/0,16	- / -	- / -	0,4 / 0,4	10/10	0,01/0,01	⁵

Fremdzündungsmotoren (Gasmotoren):

EURO III	10.2000/01	ETC	5,45	-	0,78	1,60	5,0	-	-	-
EURO IV	10.2005/06	ETC	4,00	-	0,55	1,10	3,5	-	-	-
EURO V	10.2008/09	ETC	4,00	-	0,55	1,10	2,0	-	-	-
EEV ¹	-	ETC	3,00	-	0,40	0,65	2,0	-	0,02	-
EURO VI	2013/2014	ETC ⁴	4,00	-	0,16	0,50	0,4	10	0,01	⁵

¹ Environmental Enhanced Vehicle (besonders umweltfreundliche Fahrzeuge)

² Nur für Selbstzündungsmotoren mit Partikelfilter und/oder Denox-Katalysator

³ Erster Termin: Gültig für die Typgenehmigung von neuen Fahrzeugtypen. Zweiter Termin: Gültig für die 1. Inverkehrsetzung von Neufahrzeugen.

⁴ Die Grenzwerte für den weltweit harmonisierten stationären (WHSC) und instationären Fahrzyklus (WHTC) werden zu einem späteren Zeitpunkt eingeführt, wenn Korrelationsfaktoren zu den geltenden Fahrzyklen (ESC und ETC) festgelegt worden sind

⁵ Ein Partikel-Anzahl-Grenzwert wird später festgelegt.

Glossar und Abkürzungen

Begriffe

Begriff	Bedeutung
Absenkepfad(e)	hier: Zeitlich gestaffelte Vorgaben über Verbrauchs- resp. Emissionsgrenzen von Fahrzeugen
Agglomeration(en)	Über ein Stadtgebiet hinausgehender suburbaner räumlich abgegrenzter Bereich
Aktivitätsdaten	hier : Fahrleistungen (Verkehrsaktivitäten)
Alpenschutz	Gesamtheit aller Massnahmen zum Schutz der Landschaft im alpinen Raum
Alpentransitbörse	Massnahme zur Versteigerung und zum Handel ⇒ plafonierter Fahrtenberechnungen im alpenquerenden Strassengüterverkehr
Betriebsemissionen	Emissionen von Fahrzeugen mit Motoren im betriebswarmen Zustand
Brutto-Tonnenkilometer	Masseinheit für die Bewegung einer Tonne Zuggewicht über eine Entfernung von einem Kilometer
CO ₂ -Abgabe	Verbrauchsbezogene Abgabe zur Kompensation von CO ₂ -bedingten Schäden
Emissionen	Ausstoss von unerwünschten Schadstoffen oder Geräuscentwicklungen an der Quelle
Emissionsfaktor	Spezifische Schadstoff-/Lärm-Emission, z.B. in g/Fahrzeug-km
Emissionsstufen (Euro-Stufen)	Stufen der Europäischen Abgasvorschriften
Fahrzeugkilometer	Maßeinheit für die Bewegung eines Strassenfahrzeugs über eine Entfernung von einem Kilometer
Fahrzeugschicht	Fahrzeuge, die bezüglich Fahrzeugkategorie (Personenwagen, schwere Nutzfahrzeuge, Lieferwagen, etc.), Treibstoffart (Benzin, Diesel, etc.), Grössenklasse und Emissionsstufe (EURO-Stufe) gleiche Charakteristiken aufweisen; Bestandteil der „Flottenzusammensetzung“
Feinstaub	Sammelbegriff für feinste Teilchen in der Luft
Flottenzusammensetzung	Fahrleistungsgewichtete Aufteilung der Flotte in Fahrzeugschichten
Immission	Einwirkung von unerwünschten Schadstoffen oder Geräuscentwicklungen auf Mensch und Umwelt
Lieferwagen	Fahrzeuge für den Gütertransport mit maximal 3.5 t Gesamtgewicht
Modalsplit	Anteile der Verkehrsträger an der Gesamtverkehrsleistung / Transportaufkommen
Partikel	siehe „Feinstaub“
PM10	Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner gleich 10 Mikrometer
Schienenbonus	Korrekturfaktor für die Berechnung des Beurteilungslärmpegels für Schienenlärm
Schwere Nutzfahrzeuge	Oberbegriff für Fahrzeuge für den Gütertransport mit einem Gesamtgewicht von > 3.5 t
SonBase	Lärmdatenbank der Schweiz (BAFU)
Tank-to-Wheel	Direkter Schadstoffausstoss bzw. Energieverbrauch von Fahrzeugen (im Betrieb)
Verbrauchsfaktor	Spezifischer Energieverbrauch, z.B. in J/Fahrzeug-km
Verkehrsmengengerüst	Abschnittsspezifische Verkehrsbelastungen in Fahrzeugen/Zügen oder Fahrleistungen differenziert nach Schadstoff-/Energie-/Lärm-relevanten Kriterien
Well-to-Tank	Indirekter Schadstoffausstoss bzw. Energieverbrauch für die Herstellung und Transport der Energie oder Treibstoffe
Well-to-Wheel	Summe von Well-to-Tank und Tank-to-Wheel
Zugskilometer	Masseinheit für die Bewegung eines Zugs über eine Entfernung von einem Kilometer

Abkürzungen

ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
ASTRA	Bundesamt für Strassen
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BAV	Bundesamt für Verkehr
BFS	Bundesamt für Statistik
BIET	Binnen-, Import-, Export-, Transitverkehr
CH	Schweiz
DTV	durchschnittlicher täglicher Verkehr
EKL	Eidgenössische Kommission für Lufthygiene
EU	Europäische Union
EUGH	Europäischer Gerichtshof
EURO(-Stufe)	Abgasprüfnorm der EU
FinÖv	Bundesbeschluss über Bau und Finanzierung von Infrastrukturvorhaben des öffentlichen Verkehrs
Fzkm	Fahrzeug-Kilometer
g/Fzkm	Spezifischer Schadstoffausstoss pro gefahrenen Fahrzeug-Kilometer
GEST	Gesamtenergiestatistik des Bundesamtes für Energie
GV	Güterverkehr
HBEFA	Handbuch für Emissionsfaktoren
IGW	Immissionsgrenzwert
LI	Lieferwagen
LSV	Lärmschutzverordnung der Schweiz
LSVA	Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe
MJ	Megajoule (Energieeinheit; =1000'000 Joule)
NEAT	Neue Eisenbahnpentaversale
NOx	Stickoxide
PJ	Petajoule (Energieeinheit ; = 10 ¹⁵ Joule)
PM10	Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner gleich 10 Mikrometer
PW-Km	Personenwagenkilometer
RoLa	Rollende Landstrasse
SAN	Spezialgesetzliche Ausgleichsnorm (Bundesrätlicher Gesetzesvorschlag)
SBB	Schweizerische Bundesbahnen
SNF	Schwere Nutzfahrzeuge
TJ	Terajoule (Energieeinheit ; = 10 ¹² Joule)
TTW	Tank-to-Wheel
UCTE	Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity
UIC	International Union of Railways
UKV	Unbegleiteter Kombierter Verkehr
UNECE	Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen
UREK	Kommissionen für Umwelt, Raumplanung und Energie
USG	Umweltschutzgesetz
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
VMUVEK	Verkehrsmodell des UVEK
VOC	Volatile organic compounds (=flüchtige organische Verbindungen)
WTT	Well-to-Tank
WTW	Well-to-Wheel
ZEB	Zukünftige Entwicklung der Bahninfrastruktur
Zugkm	Zugskilometer

Literaturverzeichnis

ARE 2004	Entwicklung des schweizerischen Güterverkehrs bis 2030, Bundesamt für Raumentwicklung 2004.
ARE 2006a	Erstellung des nationalen Personenverkehrsmodells für den öffentlichen und privaten Verkehr – Modellbeschreibung, Bern 2006.
ARE 2006b	Perspektiven des schweizerischen Personenverkehrs bis 2030, Bundesamt für Raumentwicklung 2006.
BAFU 2008	Treibstoffverbrauch und Luftschadstoffemissionen des Offroad-Sektors. Studie für die Jahre 1980-2020. Umwelt-Wissen Nr. 0828. Bundesamt für Umwelt, Bern 2008.
BAFU 2009a	SonBase – die GIS-Lärmdatenbank der Schweiz - Grundlagen, Bern 2009.
BAFU 2009b	Lärmbelastung in der Schweiz – Ergebnisse des nationalen Lärmmonitorings Son-Base, Bern 2009.
BAFU 2010	Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1990-2035. Aktualisierung 2010. Bundesamt für Umwelt, Bern, Umwelt-Wissen Nr. 1021
BAFU 2012	NO2-Immissionen Schweiz 2005 bis 2015, Bern
BAFU/BFS 2009	Umwelt Schweiz 2009, Bundesamt für Umwelt und Bundesamt für Statistik (Hrsg.), Bern und Neuchâtel 2009.
BAV 2011	Lärmsanierung der Eisenbahnen – Standbericht 2010, Bundesamt für Verkehr, Bern 2011
BAV 2013	Lärmsanierung der Eisenbahnen – Standbericht 2012, Bundesamt für Verkehr, Bern 2013
BFE 2012	Erläuternder Bericht zur Energiestrategie 2050 (Vernehmlassungsvorlage), Bundesamt für Energie, 28. September 2012
BUWAL 1990	SEMIBEL – Schweizerisches Emissions- und Immissionsmodell für die Berechnung von Eisenbahnlärm – Schriftenreihe Umwelt Nr. 116, Bern 1990
BUWAL 1995	Mitteilung zur Lärmschutz –Verordnung (LSV) Nr. 6 (1995) – Strassenlärm: Korrekturen zum Strassenlärm-Berechnungsmodell, Bern 1995
BAV 2010a	Lärmsanierung der Eisenbahnen, Kommentar zum Emissionsplan, Bern 2010.
BAV 2010b	Trends und Innovationen im unbegleiteten Kombinierten Verkehr in der und durch die Schweiz, Schlussbericht, Bern 2010.
BAV 2011a	OEV und Umwelt – Herausforderungen und Handlungsbedarf, Bern
BAV 2011b	Güterverkehr durch die Schweizer Alpen 2010, Bern

BFS 2010	Mobilität und Verkehr 2010, Neuchâtel 2010
Ecoinvent 2009	Ecoinvent data v2.1. Final reports ecoinvent data v2.1. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2009, Link: www.ecoinvent.org
EKL (Eidgenössische Kommission für Lufthygiene) 2010	25 Jahre Luftreinhaltung auf Basis des Umweltschutzgesetzes – Thesen und Empfehlungen, Bern 2010
EU 2010	EU energy trends to 2030 – UPDATE 2009. EUROPEAN COMMISSION Directorate-General for Energy in collaboration with Climate Action DG and Mobility and Transport DG, prepared by the Institute of Communication and Computer Systems of the National Technical University of Athens (ICCS-NTUA), E3M-Lab, Greece, Luxembourg 2010
Frischknecht et.al. 2007	Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Doka G., Dones R., Hirschier R., Hellweg S., Nemecek T., Rebitzer G. and Spielmann M. Overview and Methodology. Final report ecoinvent data v2.0, No. 1. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH
GVF 1997	Umweltindikatoren Verkehr – Kennziffern für einen ökologischen Vergleich der Verkehrsmittel. Ausgeführt durch Infrass im Auftrag des Dienstes für Gesamtverkehrsfragen, GVF-Bericht 97/1, Bern 1997
IEA 2010	World Energy Outlook 2010, Nov. 2010
INFRAS 1995	Ökoinventar Transporte. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Transportsystemen und den Einbezug von Transportsystemen in Ökobilanzen. Infrass AG. Zürich
INFRAS 2007	PM10-Emissionen Verkehr – Teil Schienenverkehr - Schlussbericht, Zürich 2007.
Mobitool 2010	mobitool – Grundlagenbericht – Hintergrund, Methodik & Emissionsfaktoren. Bern, Februar 2010. Link: www.mobitool.ch
SBB 2010	Geschäfts- und Nachhaltigkeitsbericht 2010
Spielmann et. al. 2008	Umweltindikatoren im Verkehr. Vergleich der Verkehrsmittel anhand CO ₂ -Emissionen, Energieaufwand und übriger Umweltauswirkungen, Verlag Rüegger, Zürich/Chur, 74 S.
Spielmann M., C. Bauer, R. Dones und R. Tuchschnid 2007	Transport Services, ecoinvent Report No. 14, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.
Steinmann N., Schär R. 2009	Traktionsenergiebedarf der Gotthard-Basislinie, in "eb" - Elektrische Bahnen – Elektrotechnik im Verkehrswesen, Nr. 7/2009, S. 297ff
Steven H. 2005	TRANECAM – Traffic Noise Emission Calculation Model – Documentation and User Manual.
Steven H., Pardo L.-F. 2010	Monitoring Procedure in the Vehicle Noise Regulation - ECE R 51 monitoring database and cost/benefit analyses, Monthlery (F) und Essen (D) 2010

Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK Formular Nr. 3: Projektabschluss

Version vom 09.10.2013

erstellt / geändert am: 10.05.2013

Grunddaten

Projekt-Nr.: SVI 2009/011
Projekttitel: Ortsbezogene Massnahmen zur Reduktion der Auswirkungen des Güterverkehrs (Teilprojekt H des Forschungspakets "Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz" (FP GüV)
Enddatum: 20.12.2012

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Im Rahmen des Forschungsprojekts werden die Umweltauswirkungen des Güterverkehrs auf der Strasse und Schiene untersucht und die Auswirkungen von Massnahmen analysiert, die auf die Reduktion dieser Umweltauswirkungen abzielen. Untersucht werden die Luftschadstoffemissionen von NOx und PM10, der Energieverbrauch respektive die CO2 – Emissionen und die Lärmimmissionen. Bei den Luftschadstoffen und dem Energieverbrauch/CO2 werden nebst den Emissionen, die im Betrieb anfallen auch die Emissionen und Verbräuche für die Energiebereitstellung („Well-to-Wheel“-Ansatz) ausgewiesen. Unterschieden wird jeweils nach den beiden Verkehrsträgern Strasse und Schiene. Zu Vergleichszwecken werden die Auswirkungen des Güterverkehrs denjenigen des Gesamtverkehrs gegenübergestellt.

Aus dem Vergleich der mutmasslichen Entwicklung bis 2020 mit gegenwärtig formulierten Umweltzielen, wird der Handlungsbedarf nach den untersuchten Umweltindikatoren abgeleitet. Schliesslich werden in verschiedenen Berechnungsvarianten die Wirkungen von Massnahmen untersucht, welche die Umweltauswirkungen des Güterverkehrs verringern können.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

Zielerreichung:

Ziel Umweltatlas: Der Anteil des Güterverkehrs an den untersuchten Umweltauswirkungen im Referenzzustand 2020 wurde auf Übersichtskarten dargestellt.

Ziel Massnahmen: Es wurden Massnahmen beschrieben und quantifiziert, welche die Umweltauswirkungen des Güterverkehrs reduzieren.

Die Projektziele wurden erreicht.

Folgerungen und Empfehlungen:

Luftschadstoffe: Dank den beschlossenen Grenzwertverschärfungen reduziert sich der Schadstoffausstoss der Verbrennungsemissionen in den nächsten 10 Jahren deutlich. Problematisch bleiben die Partikelemissionen aus Bremsen und Abrieb bei den Strassenmotorfahrzeugen. Massnahmen zur Reduktion dieser Emissionen sind allerdings schwierig umsetzbar.

Energieverbrauch und CO₂-Emissionen: Der Strassengüterverkehr wird seinen Energieverbrauch und in der Folge die bis 2020 nur moderat senken können. Flottengrenzwerte, wie sie bei Personenzügen eingeführt wurden, sind bei schweren Nutzfahrzeugen nicht geplant. Mit nicht-motorischen Massnahmen (Elektrifizierung/Hybridisierung Güterverkehrsfahrzeuge, Optimierungen an Reifen, Aufbauten, Fahrzeugmaterialien, etc. zur Steigerung der Energieeffizienz) könnten die Strassengüterfahrzeuge effizienter gemacht werden. Allerdings sind die Wirkungen dieser Massnahmen schwierig zu quantifizieren (Forschungsbedarf). Daneben können die CO₂-Emissionen wirksam verringert werden, wenn die Güter auf die energieeffizientere Bahn verlagert werden, wo möglich und sinnvoll. Der CO₂-Vorteil der Bahn kann allerdings nur aufrechterhalten werden, wenn die Stromproduktion klimaneutral (mit erneuerbaren Energieträgern) geschieht. Letzteres gilt auch für die Elektrifizierung des Strassenverkehrs.

Lärm: Absolut sind deutlich mehr Personen von schädlichem Strassenverkehrslärm betroffen als vom Bahnärm und die schweren Nutzfahrzeuge tragen gemessen an ihrer Fahrleistung überproportional zu den Lärmemissionen bei. Deshalb muss der Strassengüterverkehr seinen Beitrag zur Lärmreduktion leisten, wenngleich er bei den Grenzwertüberschreitungen gegenüber dem Gesamtverkehr eine vergleichsweise geringere Rolle spielt. Auch hier muss die Lärmvermeidung an der Quelle im Vordergrund stehen. Massnahmen am Fahrzeug (lärmärmere Motoren, verbesserte Aerodynamik und leisere Reifen), an der Fahrbahn (lärmoptimierte Beläge), angepasste Fahrweise oder Geschwindigkeitsreduktionen in Siedlungsräumen sind taugliche Massnahmen um den Lärm des Strassenverkehrs wirkungsvoll zu reduzieren. Der Schienengüterverkehr verursacht insbesondere nachts bedeutende Lärmbelastungen. Die angelauteten Sanierungen inländischer und ausländischer Güterverkehrswagen müssen weiter getrieben werden. Daneben bestehen weitere technische Möglichkeiten zur Bahnärmreduktion an der Quelle: Schallschutzwände, Einhausungen, etc. In zweiter Priorität stehen Massnahmen, welche lokal die Ausbreitung des Lärms behindern (Schallschutzwände, Einhausungen, etc.). Als letzte Möglichkeit stehen Ersatzmassnahmen an Gebäuden (Schallschutzfenster, etc.) zur Verfügung.

Publikationen:

INFRAS/SBB/PTV/Steven: Ortsbezogene Massnahmen zur Reduktion der Auswirkungen des Güterverkehrs – Teil I: Referenzentwicklung und Teil II: Massnahmen, Dezember 2013

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Keller

Vorname: Mario

Amt, Firma, Institut: INFRAS AG

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Die Forschungsarbeit liefert in quantitativer und qualitativer Hinsicht eine gute Übersicht über die Umweltauswirkungen des Güterverkehrs (Strasse und Schiene) im Bereich der Luft- und Lärmbelastung. Die Massnahmenvorschläge sind aufgrund der Quantifizierungsvorgabe beschränkt. Der Fokus wird aber in den Handlungsempfehlungen wieder auf das gesamte Spektrum von Massnahmen geöffnet, was die Arbeit als Grundlage für zukünftige Ansätze zur Reduktion der Umweltauswirkungen des Güterverkehrs wertvoll macht.

Umsetzung:

Die anspruchsvolle Forschungsarbeit wurde qualifiziert durchgeführt. Die Begleitkommission hat die Dialogbereitschaft des Auftragnehmers sehr geschätzt.

weitergehender Forschungsbedarf:

Forschungsbedarf wird in folgenden Themenbereichen geortet: Mengengerüste und Grundlagen Energieverbrauch Schienenverkehr, Monitoring Emissionen Strassengüterverkehr, Grundlagen Nicht-Auspuff-Partikelemissionen, Grundlagen Lärm-Modellierung und für die Abschätzung spezifischer Massnahmen.

Einfluss auf Normenwerk:

Kein direkter Einfluss ersichtlich.

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Dielerle

Vorname: Rudolf

Amt, Firma, Institut: Bundesamt für Strassen, ASTRA

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:

Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1422	ASTRA 2011/006_OBF	Fracture processes and in-situ fracture observations in Gipskeuper	2013
1421	VSS 2009/901	Experimenteller Nachweis des vorgeschlagenen Raum- und Topologiemodells für die VM-Anwendungen in der Schweiz (MDATrafo)	2013
1420	SVI 2008/003	Projektierungsfreiräume bei Strassen und Plätzen	2013
1419	VSS 2001/452	Stabilität der Polymere beim Heisseinbau von PmB-haltigen Strassenbelägen	2013
1416	FGU 2010/001	Sulfatwiderstand von Beton: verbessertes Verfahren basierend auf der Prüfung nach SIA 262/1, Anhang D	2013
1415	VSS 2010/A01	Wissenslücken im Infrastrukturmanagementprozess "Strasse" im Siedlungsgebiet	2013
1414	VSS 2010/201	Passive Sicherheit von Tragkonstruktionen der Strassenausstattung	2013
1413	SVI 2009/003	Güterverkehrsintensive Branchen und Güterverkehrsströme in der Schweiz Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz Teilprojekt B1	2013
1412	ASTRA 2010/020	Werkzeug zur aktuellen Gangliniennorm	2013
1411	VSS 2009/902	Verkehrstelematik für die Unterstützung des Verkehrsmanagements in ausserordentlichen Lagen	2013
1410	VSS 2010/202_OBF	Reduktion von Unfallfolgen bei Bränden in Strassentunneln durch Abschnittsbildung	2013
1409	ASTRA 2010/017_OBF	Regelung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2013
1408	VSS 2000/434	Vieillissement thermique des enrobés bitumineux en laboratoire	2012
1407	ASTRA 2006/014	Fusion des indicateurs de sécurité routière : FUSAIN	2012
1406	ASTRA 2004/015	Amélioration du modèle de comportement individuel du Conducteur pour évaluer la sécurité d'un flux de trafic par simulation	2012
1405	ASTRA 2010/009	Potential von Photovoltaik an Schallschutzmassnahmen entlang der Nationalstrassen	2012
1404	VSS 2009/707	Validierung der Kosten-Nutzen-Bewertung von Fahrbahn-Erhaltungsmassnahmen	2012
1403	SVI 2007/018	Vernetzung von HLS- und HVS-Steuerungen	2012
1402	VSS 2008/403	Witterungsbeständigkeit und Durchdrückverhalten von Geokunststoffen	2012
1401	SVI 2006/003	Akzeptanz von Verkehrsmanagementmassnahmen-Vorstudie	2012
1400	VSS 2009/601	Begrünte Stützgitterböschungssysteme	2012
1399	VSS 2011/901	Erhöhung der Verkehrssicherheit durch Incentivierung	2012
1398	ASTRA 2010/019	Environmental Footprint of Heavy Vehicles Phase III: Comparison of Footprint and Heavy Vehicle Fee (LSVA) Criteria	2012
1397	FGU 2008/003_OBF	Brandschutz im Tunnel: Schutzziele und Brandbemessung Phase 1: Stand der Technik	2012
1396	VSS 1999/128	Einfluss des Umhüllungsgrades der Mineralstoffe auf die mechanischen Eigenschaften von Mischgut	2012
1395	FGU 2009/003	KarstALEA: Wegleitung zur Prognose von karstspezifischen Gefahren im Untertagebau	2012
1394	VSS 2010/102	Grundlagen Betriebskonzepte	2012
1393	VSS 2010/702	Aktualisierung SN 640 907, Kostengrundlage im Erhaltungsmanagement	2012
1392	ASTRA 2008/008_009	FEHRL Institutes WIM Initiative (Fiwi)	2012
1391	ASTRA 2011/003	Leitbild ITS-CH Landverkehr 2025/30	2012
1390	FGU 2008/004_OBF	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Belchentunnel	2012
1389	FGU 2003/002	Long Term Behaviour of the Swiss National Road Tunnels	2012
1388	SVI 2007/022	Möglichkeiten und Grenzen von elektronischen Busspuren	2012

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1387	VSS 2010/205_OBF	Ablage der Prozessdaten bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1386	VSS 2006/204	Schallreflexionen an Kunstbauten im Strassenbereich	2012
1385	VSS 2004/703	Bases pour la révision des normes sur la mesure et l'évaluation de la planéité des chaussées	2012
1384	VSS 1999/249	Konzeptuelle Schnittstellen zwischen der Basisdatenbank und EMF-, EMK- und EMT-DB	2012
1383	FGU 2008/005	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Chien-bergtunnel	2012
1382	VSS 2001/504	Optimierung der statischen Eindringtiefe zur Beurteilung von harten Gussasphaltsorten	2012
1381	SVI 2004/055	Nutzen von Reisezeiteinsparungen im Personenverkehr	2012
1380	ASTRA 2007/009	Wirkungsweise und Potential von kombinierter Mobilität	2012
1379	VSS 2010/206_OBF	Harmonisierung der Abläufe und Benutzeroberflächen bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1378	SVI 2004/053	Mehr Sicherheit dank Kernfahrbahnen?	2012
1377	VSS 2009/302	Verkehrssicherheitsbeurteilung bestehender Verkehrsanlagen (Road Safety Inspection)	2012
1376	ASTRA 2011/008_004	Erfahrungen im Schweizer Betonbrückenbau	2012
1375	VSS 2008/304	Dynamische Signalisierungen auf Hauptverkehrsstrassen	2012
1374	FGU 2004/003	Entwicklung eines zerstörungsfreien Prüfverfahrens für Schweissnähte von KDB	2012
1373	VSS 2008/204	Vereinheitlichung der Tunnelbeleuchtung	2012
1372	SVI 2011/001	Verkehrssicherheitsgewinne aus Erkenntnissen aus Datapooling und strukturierten Datenanalysen	2012
1371	ASTRA 2008/017	Potenzial von Fahrgemeinschaften	2011
1370	VSS 2008/404	Dauerhaftigkeit von Betonfahrbahnen aus Betongranulat	2011
1369	VSS 2003/204	Rétention et traitement des eaux de chaussée	2012
1368	FGU 2008/002	Soll sich der Mensch dem Tunnel anpassen oder der Tunnel dem Menschen?	2011
1367	VSS 2005/801	Grundlagen betreffend Projektierung, Bau und Nachhaltigkeit von Anschlussgleisen	2011
1366	VSS 2005/702	Überprüfung des Bewertungshintergrundes zur Beurteilung der Strassengriffigkeit	2010
1365	SVI 2004/014	Neue Erkenntnisse zum Mobilitätsverhalten dank Data Mining?	2011
1364	SVI 2009/004	Regulierung des Güterverkehrs Auswirkungen auf die Transportwirtschaft Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP D	2012
1363	VSS 2007/905	Verkehrsprognosen mit Online -Daten	2011
1362	SVI 2004/012	Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehrs	2012
1361	SVI 2004/043	Innovative Ansätze der Parkraumbewirtschaftung	2012
1360	VSS 2010/203	Akustische Führung im Strassentunnel	2012
1359	SVI 2004/003	Wissens- und Technologientransfer im Verkehrsbereich	2012
1358	SVI 2004/079	Verkehrsanbindung von Freizeitanlagen	2012
1357	SVI 2007/007	Unaufmerksamkeit und Ablenkung: Was macht der Mensch am Steuer?	2012
1356	SVI 2007/014	Kooperation an Bahnhöfen und Haltestellen	2011
1355	FGU 2007/002	Prüfung des Sulfatwiderstandes von Beton nach SIA 262/1, Anhang D: Anwendbarkeit und Relevanz für die Praxis	2011
1354	VSS 2003/203	Anordnung, Gestaltung und Ausführung von Treppen, Rampen und Treppenwegen	2011
1353	VSS 2000/368	Grundlagen für den Fussverkehr	2011
1352	VSS 2008/302	Fussgängerstreifen (Grundlagen)	2011
1351	ASTRA 2009/001	Development of a best practice methodology for risk assessment in road tunnels	2011
1350	VSS 2007/904	IT-Security im Bereich Verkehrstelematik	2011
1349	VSS 2003/205	In-Situ-Abflussversuche zur Untersuchung der Entwässerung von Autobahnen	2011
1348	VSS 2008/801	Sicherheit bei Parallelführung und Zusammentreffen von Strassen mit der Schiene	2011
1347	VSS 2000/455	Leistungsfähigkeit von Parkieranlagen	2010

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1346	ASTRA 2007/004	Quantifizierung von Leckagen in Abluftkanälen bei Strassentunneln mit konzentrierter Rauchabsaugung	2010
1345	SVI 2004/039	Einsatzbereiche verschiedener Verkehrsmittel in Agglomerationen	2011
1344	VSS 2009/709	Initialprojekt für das Forschungspaket "Nutzensteigerung für die Anwender des SIS"	2011
1343	VSS 2009/903	Basistechnologien für die intermodale Nutzungserfassung im Personenverkehr	2011
1342	FGU 2005/003	Untersuchungen zur Frostkörperbildung und Frosthebung beim Gefrierverfahren	2010
1341	FGU 2007/005	Design aids for the planning of TBM drives in squeezing ground	2011
1340	SVI 2004/051	Aggressionen im Verkehr	2011
1339	SVI 2005/001	Widerstandsfunktionen für Innerorts-Strassenabschnitte ausserhalb des Einflussbereiches von Knoten	2010
1338	VSS 2006/902	Wirkungsmodelle für fahrzeugseitige Einrichtungen zur Steigerung der Verkehrssicherheit	2009
1337	ASTRA 2006/015	Development of urban network travel time estimation methodology	2011
1336	ASTRA 2007/006	SPIN-ALP: Scanning the Potential of Intermodal Transport on Alpine Corridors	2010
1335	VSS 2007/502	Stripping bei lärm mindernden Deckschichten unter Überrollbeanspruchung im Labor-massstab	2011
1334	ASTRA 2009/009	Was treibt uns an? Antriebe und Treibstoffe für die Mobilität von Morgen	2011
1333	SVI 2007/001	Standards für die Mobilitätsversorgung im peripheren Raum	2011
1332	VSS 2006/905	Standardisierte Verkehrsdaten für das verkehrsträgerübergreifende Verkehrsmanagement	2011
1331	VSS 2005/501	Rückrechnung im Strassenbau	2011
1330	FGU 2008/006	Energiegewinnung aus städtischen Tunneln: Systemevaluation	2010
1329	SVI 2004/073	Alternativen zu Fussgängerstreifen in Tempo-30-Zonen	2010
1328	VSS 2005/302	Grundlagen zur Quantifizierung der Auswirkungen von Sicherheitsdefiziten	2011
1327	VSS 2006/601	Vorhersage von Frost und Nebel für Strassen	2010
1326	VSS 2006/207	Erfolgskontrolle Fahrzeugrückhaltesysteme	2011
1325	SVI 2000/557	Indices caractéristiques d'une cité-vélo. Méthode d'évaluation des politiques cyclables en 8 indices pour les petites et moyennes communes.	2010
1324	VSS 2004/702	Eigenheiten und Konsequenzen für die Erhaltung der Strassenverkehrsanlagen im überbauten Gebiet	2009
1323	VSS 2008/205	Ereignisdetektion im Strassentunnel	2011
1322	SVI 2005/007	Zeitwerte im Personenverkehr: Wahrnehmungs- und Distanzabhängigkeit	2008
1321	VSS 2008/501	Validation de l'oedomètre CRS sur des échantillons intacts	2010
1320	VSS 2007/303	Funktionale Anforderungen an Verkehrserfassungssysteme im Zusammenhang mit Lichtsignalanlagen	2010
1319	VSS 2000/467	Auswirkungen von Verkehrsberuhigungsmassnahmen auf die Lärmimmissionen	2010
1318	FGU 2006/001	Langzeitversuche an anhydritführenden Gesteinen	2010
1317	VSS 2000/469	Geometrisches Normalprofil für alle Fahrzeugtypen	2010
1316	VSS 2001/701	Objektorientierte Modellierung von Strasseninformationen	2010
1315	VSS 2006/904	Abstimmung zwischen individueller Verkehrsinformation und Verkehrsmanagement	2010
1314	VSS 2005/203	Datenbank für Verkehrsaufkommensraten	2008
1313	VSS 2001/201	Kosten-/Nutzenbetrachtung von Strassenentwässerungssystemen, Ökobilanzierung	2010
1312	SVI 2004/006	Der Verkehr aus Sicht der Kinder: Schulwege von Primarschulkindern in der Schweiz	2010
1311	VSS 2000/543	VIABILITE DES PROJETS ET DES INSTALLATIONS ANNEXES	2010
1310	ASTRA 2007/002	Beeinflussung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2010
1309	VSS 2008/303	Verkehrsregelungssysteme - Modernisierung von Lichtsignalanlagen	2010
1308	VSS 2008/201	Hindernisfreier Verkehrsraum - Anforderungen aus Sicht von Menschen mit Behinderung	2010
1307	ASTRA 2006/002	Entwicklung optimaler Mischgüter und Auswahl geeigneter Bindemittel; D-A-CH - Initial-	2008

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
		projekt	
1306	ASTRA 2008/002	Strassenglätte-Prognosesystem (SGPS)	2010
1305	VSS 2000/457	Verkehrserzeugung durch Parkieranlagen	2009
1304	VSS 2004/716	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen	2008
1303	ASTRA 2009/010	Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen; Überprüfung	2010
1302	VSS 1999/131	Zusammenhang zwischen Bindemittleigenschaften und Schadensbildern des Belages?	2010
1301	SVI 2007/006	Optimierung der Strassenverkehrsunfallstatistik durch Berücksichtigung von Daten aus dem Gesundheitswesen	2009
1300	VSS 2003/903	SATELROU Perspectives et applications des méthodes de navigation pour la télématique des transports routiers et pour le système d'information de la route	2010
1299	VSS 2008/502	Projet initial - Enrobés bitumineux à faibles impacts énergétiques et écologiques	2009
1298	ASTRA 2007/012	Griffigkeit auf winterlichen Fahrbahnen	2010
1297	VSS 2007/702	Einsatz von Asphaltbewehrungen (Asphalteinlagen) im Erhaltungsmanagement	2009
1296	ASTRA 2007/008	Swiss contribution to the Heavy-Duty Particle Measurement Programme (HD-PMP)	2010
1295	VSS 2005/305	Entwurfgrundlagen für Lichtsignalanlagen und Leitfaden	2010
1294	VSS 2007/405	Wiederhol- und Vergleichspräzision der Druckfestigkeit von Gesteinskörnungen am Haufwerk	2010
1293	VSS 2005/402	Détermination de la présence et de l'efficacité de dope dans les bétons bitumineux	2010
1292	ASTRA 2006/004	Entwicklung eines Pflanzenöl-Blockheizkraftwerkes mit eigener Ölmühle	2010
1291	ASTRA 2009/005	Fahrmuster auf überlasteten Autobahnen Simultanes Berechnungsmodell für das Fahrverhalten auf Autobahnen als Grundlage für die Berechnung von Schadstoffemissionen und Fahrzeitgewinnen	2010
1290	VSS 1999/209	Conception et aménagement de passages inférieurs et supérieurs pour piétons et deux-roues légers	2008
1289	VSS 2005/505	Affinität von Gesteinskörnungen und Bitumen, nationale Umsetzung der EN	2010
1288	ASTRA 2006/020	Footprint II - Long Term Pavement Performance and Environmental Monitoring on A1	2010
1287	VSS 2008/301	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von komplexen ungesteuerten Knoten: Analytisches Schätzverfahren	2009
1286	VSS 2000/338	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit auf Strassen ohne Richtungstrennung	2010
1285	VSS 2002/202	In-situ Messung der akustischen Leistungsfähigkeit von Schallschirmen	2009
1284	VSS 2004/203	Evacuation des eaux de chaussée par les bas-cotés	2010
1283	VSS 2000/339	Grundlagen für eine differenzierte Bemessung von Verkehrsanlagen	2008
1282	VSS 2004/715	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Zusatzkosten infolge Vor- und Aufschub von Erhaltungsmassnahmen	2010
1281	SVI 2004/002	Systematische Wirkungsanalysen von kleinen und mittleren Verkehrsvorhaben	2009
1280	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit Verkehrspsychologischer Teilbericht	2010
1279	VSS 2005/301	Leistungsfähigkeit zweistreifiger Kreisel	2009
1278	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit - Verkehrstechnischer Teilbericht	2009
1277	SVI 2007/005	Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr - Vorstudie	2010
1276	VSS 2006/201	Überprüfung der schweizerischen Ganglinien	2008
1275	ASTRA 2006/016	Dynamic Urban Origin - Destination Matrix - Estimation Methodology	2009
1274	SVI 2004/088	Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung	2009

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1273	ASTRA 2008/006	UNTERHALT 2000 - Massnahme M17, FORSCHUNG: Dauerhafte Materialien und Verfahren SYNTHESE - BERICHT zum Gesamtprojekt "Dauerhafte Beläge" mit den Einzelnen Forschungsprojekten: - ASTRA 200/419: Verhaltensbilanz der Beläge auf Nationalstrassen - ASTRA 2000/420: Dauerhafte Komponenten auf der Basis erfolgreicher Strecken - ASTRA 2000/421: Durabilité des enrobés - ASTRA 2000/422: Dauerhafte Beläge, Rundlaufversuch - ASTRA 2000/423: Griffigkeit der Beläge auf Autobahnen, Vergleich zwischen den Messergebnissen von SRM und SCRIM - ASTRA 2008/005: Vergleichsstrecken mit unterschiedlichen oberen Tragschichten auf einer Nationalstrasse	2008
1272	VSS 2007/304	Verkehrsregelungssysteme - behinderte und ältere Menschen an Lichtsignalanlagen	2010
1271	VSS 2004/201	Unterhalt von Lärmschirmen	2009
1270	VSS 2005/502	Interaktion Strasse Hangstabilität: Monitoring und Rückwärtsrechnung	2009
1269	VSS 2005/201	Evaluation von Fahrzeugrückhaltesystemen im Mittelstreifen von Autobahnen	2009
1268	ASTRA 2005/007	PM10-Emissionsfaktoren von Abriebsparkeln des Strassenverkehrs (APART)	2009
1267	VSS 2007/902	MDAinSVT Einsatz modellbasierter Datentransfernormen (INTERLIS) in der Strassenverkehrstelematik	2009
1266	VSS 2000/343	Unfall- und Unfallkostenraten im Strassenverkehr	2009
1265	VSS 2005/701	Zusammenhang zwischen dielektrischen Eigenschaften und Zustandsmerkmalen von bitumenhaltigen Fahrbahnbelägen (Pilotuntersuchung)	2009
1264	SVI 2004/004	Verkehrspolitische Entscheidungsfindung in der Verkehrsplanung	2009
1263	VSS 2001/503	Phénomène du dégel des sols gélifs dans les infrastructures des voies de communication et les pergélisols alpins	2006
1262	VSS 2003/503	Lärmverhalten von Deckschichten im Vergleich zu Gussasphalt mit strukturierter Oberfläche	2009
1261	ASTRA 2004/018	Pilotstudie zur Evaluation einer mobilen Grossversuchsanlage für beschleunigte Verkehrslastsimulation auf Strassenbelägen	2009
1260	FGU 2005/001	Testeinsatz der Methodik "Indirekte Vorauserkundung von wasserführenden Zonen mittels Temperaturdaten anhand der Messdaten des Lötschberg-Basistunnels	2009
1259	VSS 2004/710	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Synthesebericht	2008
1258	VSS 2005/802	Kaphaltestellen Anforderungen und Auswirkungen	2009
1257	SVI 2004/057	Wie Strassenraumbilder den Verkehr beeinflussen Der Durchfahrtswiderstand als Arbeitsinstrument bei der städtebaulichen Gestaltung von Strassenräumen	2009
1256	VSS 2006/903	Qualitätsanforderungen an die digitale Videobild-Bearbeitung zur Verkehrsüberwachung	2009
1255	VSS 2006/901	Neue Methoden zur Erkennung und Durchsetzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit	2009
1254	VSS 2006/502	Drains verticaux préfabriqués thermiques pour la consolidation in-situ des sols	2009
1253	VSS 2001/203	Rétention des polluants des eaux de chaussées selon le système "infiltrations sur les talus". Vérification in situ et optimisation	2009
1252	SVI 2003/001	Nettoverkehr von verkehrsintensiven Einrichtungen (VE)	2009
1251	ASTRA 2002/405	Incidence des granulats arrondis ou partiellement arrondis sur les propriétés d'adhérence des bétons bitumineux	2008
1250	VSS 2005/202	Strassenabwasser Filterschacht	2007
1249	FGU 2003/004	Einflussfaktoren auf den Brandwiderstand von Betonkonstruktionen	2009
1248	VSS 2000/433	Dynamische Eindringtiefe zur Beurteilung von Gussasphalt	2008
1247	VSS 2000/348	Anforderungen an die strassenseitige Ausrüstung bei der Umwidmung von Standstreifen	2009

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1246	VSS 2004/713	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit sowie gegenseitige Beziehung für Gebrauchs- und Substanzwert	2009
1245	VSS 2004/701	Verfahren zur Bestimmung des Erhaltungsbedarfs in kommunalen Strassennetzen	2009
1244	VSS 2004/714	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Gesamtnutzen und Nutzen-Kosten-Verhältnis von standardisierten Erhaltungsmassnahmen	2008
1243	VSS 2000/463	Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassenanlagen	2008
1242	VSS 2005/451	Recycling von Ausbaumasphalt in Heissmischgut	2007
1241	ASTRA 2001/052	Erhöhung der Aussagekraft des LCPC Spurbildungstests	2009
1240	ASTRA 2002/010	L'acceptabilité du péage de congestion : Résultats et analyse de l'enquête en Suisse	2009
1239	VSS 2000/450	Bemessungsgrundlagen für das Bewehren mit Geokunststoffen	2009
1238	VSS 2005/303	Verkehrssicherheit an Tagesbaustellen und bei Anschlüssen im Baustellenbereich von Hochleistungsstrassen	2008
1237	VSS 2007/903	Grundlagen für eCall in der Schweiz	2009
1236	ASTRA 2008/008_07	Analytische Gegenüberstellung der Strategie- und Tätigkeitsschwerpunkte ASTRA-AIPCR	2008
1235	VSS 2004/711	Forschungspaket Massnahmenplanung im EM von Fahrbahnen - Standardisierte Erhaltungsmassnahmen	2008
1234	VSS 2006/504	Expérimentation in situ du nouveau drainomètre européen	2008
1233	ASTRA 2000/420	Unterhalt 2000 Forschungsprojekt FP2 Dauerhafte Komponenten bitumenhaltiger Belagsschichten	2009
651	AGB 2006/006_OBF	Instandsetzung und Monitoring von AAR-geschädigten Stützmauern und Brücken	2013
650	AGB 2005/010	Korrosionsbeständigkeit von nichtrostenden Betonstählen	2012
649	AGB 2008/012	Anforderungen an den Karbonatisierungswiderstand von Betonen	2012
648	AGB 2005/023 + AGB 2006/003	Validierung der AAR-Prüfungen für Neubau und Instandsetzung	2011
647	AGB 2004/010	Quality Control and Monitoring of electrically isolated post-tensioning tendons in bridges	2011
646	AGB 2005/018	Interactin sol-structure : ponts à culées intégrales	2010
645	AGB 2005/021	Grundlagen für die Verwendung von Recyclingbeton aus Betongranulat	2010
644	AGB 2005/004	Hochleistungsfähiger Faserfeinkornbeton zur Effizienzsteigerung bei der Erhaltung von Kunstbauten aus Stahlbeton	2010
643	AGB 2005/014	Akustische Überwachung einer stark geschädigten Spannbetonbrücke und Zustandserfassung beim Abbruch	2010
642	AGB 2002/006	Verbund von Spanngliedern	2009
641	AGB 2007/007	Empfehlungen zur Qualitätskontrolle von Beton mit Luftpermeabilitätsmessungen	2009
640	AGB 2003/011	Nouvelle méthode de vérification des ponts mixtes à âme pleine	2010
639	AGB 2008/003	RiskNow-Falling Rocks Excel-basiertes Werkzeug zur Risikoermittlung bei Steinschlag-schutzgalerien	2010
638	AGB2003/003	Ursachen der Rissbildung in Stahlbetonbauwerken aus Hochleistungsbeton und neue Wege zu deren Vermeidung	2008
637	AGB 2005/009	Détermination de la présence de chlorures à l'aide du Géoradar	2009
636	AGB 2002/028	Dimensionnement et vérification des dalles de roulement de ponts routiers	2009
635	AGB 2004/002	Applicabilité de l'enrobé drainant sur les ouvrages d'art du réseau des routes nationales	2008
634	AGB 2002/007	Untersuchungen zur Potenzialfeldmessung an Stahlbetonbauten	2008
633	AGB 2002/014	Oberflächenschutzsysteme für Betontragwerke	2008
632	AGB 2008/201	Sicherheit des Verkehrssystem Strasse und dessen Kunstbauten Testregion - Methoden zur Risikobeurteilung Schlussbericht	2010
631	AGB 2000/555	Applications structurales du Béton Fibré à Ultra-hautes Performances aux ponts	2008
630	AGB 2002/016	Korrosionsinhibitoren für die Instandsetzung chloridverseuchter Stahlbetonbauten	2010

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
629	AGB 2003/001 + AGB 2005/019	Integrale Brücken - Sachstandsbericht	2008
628	AGB 2005/026	Massnahmen gegen chlorid-induzierte Korrosion und zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit	2008
627	AGB 2002/002	Eigenschaften von normalbreiten und überbreiten Fahrbahnübergängen aus Polymerbitumen nach starker Verkehrsbelastung	2008
626	AGB 2005/110	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Baustellensicherheit bei Kunstbauten	2009
625	AGB 2005/109	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen bei Kunstbauten	2009
624	AGB 2005/108	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Risikobeurteilung für Kunstbauten	2010
623	AGB 2005/107	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Tragsicherheit der bestehenden Kunstbauten	2009
622	AGB 2005/106	Rechtliche Aspekte eines risiko- und effizienzbasierten Sicherheitskonzepts	2009
621	AGB 2005/105	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten Szenarien der Gefahrenentwicklung	2009
620	AGB 2005/104	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen	2009
619	AGB 2005/103	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Ermittlung des Netzzrisikos	2010
618	AGB 2005/102	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Methodik zur vergleichenden Risikobeurteilung	2009
617	AGB 2005/100	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten Synthesebericht	2010
616	AGB 2002/020	Beurteilung von Risiken und Kriterien zur Festlegung akzeptierter Risiken in Folge aussergewöhnlicher Einwirkungen bei Kunstbauten	2009

SVI Publikationsliste

- 1980 **Velo- und Mofaverkehr in den Städten**
(R. Müller)
- 1980 **Anleitung zur Projektierung einer Lichtsignalanlage**
(Seiler Niederhauser Zuberbühler)
- 1981 **Güternahverkehr, Gesetzmässigkeiten**
(E. Stadtmann)
- 1981 **Optimale Haltestellenabstände beim öffentlichen Verkehr**
(Prof. H. Brändli)
- 1982 **Entwicklung des schweizerischen Strassenverkehrs ***
(SNZ Ingenieurbüro AG)
- 1983 **Lichtsignalanlagen mit oder ohne Uebergangssignal Rot-Gelb**
(Weber Angehn Meyer)
- 1983 **Güternahverkehr, Verteilungsmodelle**
(Emch + Berger AG)
- 1983 **Modèle Transyt 8: Traffic Network Study Tool; Programme Pretrans**
(...)
- 1983 **Parkraumbewirtschaftung als Mittel der Verkehrslenkung ***
(Glaser + Saxer)
- 1984 **Le rôle des taxis dans les transports urbains (franz. Ausgabe)**
(Transitec)
- 1984 **Park and Ride in Schweizer Städten ***
(Balzari & Schudel AG)
- 1986 **Verträglichkeit von Fahrrad, Mofa und Fussgänger auf gemeinsamen Verkehrsflächen ***
(Weber Angehn Meyer)
- 1986 **Transyt 8 / Pretrans; Modell Programmsystem für die Optimierung von Signalplänen von städtischen Strassennetzen**
(...)
- 1987 **Verminderung der Umweltbelastungen durch verkehrsorganisatorische und –technische Massnahmen ***
(Metron AG)
- 1987 **Provisorischer Behelf für die Umweltverträglichkeits-Prüfung von Verkehrsanlagen ***
(Büro BC, Jenni + Gottardi AG, Scherrer)
- 1988 **Bestimmungsgrößen der Verkehrsmittelwahl im Güterverkehr ***
(Rapp AG)
- 1988 **EDV-Anwendungen im Verkehrswesen**
(IVT, ETH Zürich)
- 1988 **Forschungsvorschläge Umweltverträglichkeitsprüfung von Verkehrsanlagen**
(Büro BC, Jenni & Gottardi AG, Scherrer)
- 1989 **Vereinfachte Methode zur raschen Schätzung von Verkehrsbeziehungen ***
(P. Widmer)
- 1990 **Planungsverfahren bei Ortsumfahrungen**
(Toscano-Bernardi-Frey AG)
- 1990 **Anteil der Fahrzeugkategorien in Abhängigkeit vom Strassentyp**
(Abay & Meyer)
- 1991 **Busbuchten, ja oder nein?***
(Zwicker und Schmid)
- 1991 **EDV-Anwendung im Verkehrswesen, Katalog 1990**
(IVT, ETH Zürich)
- 1991 **Mofa zwischen Velo und Auto**
(Weber Angehn Meyer)
- 1991 **Erhebung zum Güterverkehr**
(Abay & Meier, Albrecht & Partner AG, Holinger AG, RAPP AG, Sigmaphan AG)

- 1991 **Mögliche Methoden zur Erstellung einer Gesamtbewertung bei Prüfverfahren***
(Basler & Partner AG)
- 1992 **Parkierungsbeschränkungen mit Blauer Zone und Anwohnerparkkarte**
(Jud AG)
- 1992 **Einsatzkonzepte und Integrationsprobleme der Elektromobile***
(U. Schwegler)
- 1992 **UVP bei Strassenverkehrsanlagen, Anleitung zur Erstellung von UVP-Berichten***
(Büro BC, Jenni & Gottardi AG, Scherrer)
erschieden auch als Mitteilungen zur UVP Nr. 7/Mai 1992 des BUWAL
- 1992 **Von Experten zu Beteiligten - Partizipation von Interessierten und Betroffenen beim Entscheiden über Verkehrsvorhaben***
(J. Dietiker)
- 1992 **Fehlerrechnung und Sensitivitätsanalyse für Fragen der Luftreinhaltung: Verkehr - Emissionen – Immissionen ***
(INFRAS)
- 1993 **Indikatoren im Fussgängerverkehr ***
(RAPP AG)1993
- 1993 **Velofahren in Fussgängerzonen***
(P. Ott)
- 1993 **Vernetztes bzw. ganzheitliches Denken bei Verkehrsvorhaben**
(Jauslin + Stebler, Rudolf Keller AG)
- 1993 **Untersuchung des Zusammenhanges von Verkehrs- und Wandermobilität**
(synergo, Jenni + Gottardi AG)
- 1993 **Einsatzmöglichkeiten und Grenzen von flexiblen Nutzungen im Strassenraum**
(Sigmaplan AG)
- 1993 **EIE et infrastructures routières, Guide pour l'établissement de rapports d'impact ***
(Büro BC, Jenni + Gottardi AG, Scherrer)
erschieden als Mitteilungen zur UVP Nr. 7(93) / Juli 1993 des BUWAL/paru comme informations concernant l'étude de l'impact sur l'environnement EIE No. 7(93) / juillet 1993 de l'OFEFP
- 1993 **Handlungsanleitung für die Zweckmässigkeitsprüfung von Verkehrsinfrastrukturprojekten, Vorstudie**
(Jenni + Gottardi AG)
- 1994 **Leistungsfähigkeit beim Fahrstreifenabbau auf Hochleistungsstrassen**
(Rutishauser, Mögerle, Keller)
- 1994 **Perspektiven des Freizeitverkehrs, Teil 1: Determinanten und Entwicklungen***
(R + R Burger AG, Büro Z)
- 1995 **Verkehrsentwicklungen in Europa, Vergleich mit den schweizerischen Verkehrsperspektiven**
(Prognos AG / Rudolf Keller AG)
erschieden als GVF-Auftrag Nr. 267 des GS EVED Dienst für Gesamtverkehrsfragen / paru au SG DFTCE Service d'étude des transports No. 267
- 1996 **Einfluss von Strassenkapazitätsänderungen auf das Verkehrsgeschehen**
(SNZ Ingenieurbüro AG)
- 1997 **Zweckmässigkeitsbeurteilung von Strassenverkehrsanlagen ***
(Jenni + Gottardi AG)
- 1997 **Verkehrsgrundlagen für Umwelt- und Verkehrsuntersuchungen**
(Ernst Basler + Partner AG)
- 1998 **Entwicklungsindices des Schweizerischen Strassenverkehrs ***
(Abay + Meier)
- 1998 **Kennzahlen des Strassengüterverkehrs in Anlehnung an die Gütertransportstatistik 1993**
(Albrecht & Partner AG / Symplan Map AG)
- 1998 **Was Menschen bewegt. Motive und Fahrzwecke der Verkehrsteilnahme**
(J. Dietiker)
- 1998 **Das spezifische Verkehrspotential bei beschränktem Parkplatzangebot ***
(SNZ Ingenieurbüro AG)
- 1998 **La banque de données routières STRADA-DB somme base de modèles de trafic**
(Robert-Grandpierre et Rapp SA / INSER SA / Rosenthaler & Partner AG)
- 1998 **Perspektiven des Freizeitverkehrs. Teil 2: Strategien zur Problemlösung**
(R + R Burger und Partner, Büro Z)
- 1998 **Kombinierte Unter- und Überführung für FussgängerInnen und VelofahrerInnen**
(Büro BC / Pestalozzi & Stäheli)
- 1998 **Kostenwirksamkeit von Umweltschutzmassnahmen**
(INFRAS)
- 1998 **Abgrenzung zwischen Personen- und Güterverkehr**
(Prognos AG)
- 1999 **Gesetzmässigkeiten im Strassengüterverkehr und seine modellmässige Behandlung**
(Abay & Meier / Ernst Basler + Partner AG)

- 1999 **Aktualisierung der Modal Split-Ansätze**
(P. Widmer)
- 1999 **Management du trafic dans les grands ensembles**
(Transportplan SA)
- 1999 **Technology Assessment im Verkehrswesen : Vorstudie**
(RAPP AG Ing. + Planer Zürich)
- 1999 **Verkehrstelematik im Management des Verkehrs in Tourismusgebieten**
(ASIT / IC Infraconsult AG)
- 1999 **„Kernfahrbahnen“ Optimierte Führung des Veloverkehrs an engen Strassenquerschnitten ***
(Metron Verkehrsplanung und Ingenieurbüro AG)
- 2000 **Sensitivitäten von Angebots- und Preisänderungen im Personenverkehr**
(Prognos AG)
- 2000 **Dephi-Umfrage Zukunft des Verkehrs in der Schweiz**
(P. Widmer / IPSO Sozial-, Marketing- und Personalforschung)
- 2000 **Der Wert der Zeit im Güterverkehr**
(Jenni + Gottardi AG)
- 2000 **Floating Car Data in der Verkehrsplanung**
(Rudolf Keller & Partner Verkehrsingenieure AG + Rosenthaler + Partner AG)
- 2000 **Verlässlichkeit als Entscheidungsvariable: Experimente mit verschiedenen Befragungssätzen**
(IVT - ETHZ)
- 2001 **Aktivitätenorientierte Personenverkehrsmodelle, Vorstudie**
(P. Widmer und K.W. Axhausen)
- 2001 **Zeitkostenansätze im Personenverkehr**
(G. Abay und K.W. Axhausen)
- 2001 **Véhicules électriques et nouvelles formes de mobilité**
(Transitec Ingénieurs-Conseils SA)
- 2001 **Besetzungsgrad von Personenwagen: Analyse von Bestimmungsgrößen und Beurteilung von Massnahmen zu dessen Erhöhung**
(RAPP AG Ingenieure + Planer)
- 2001 **Grobkonzept zum Aufbau einer multimodalen Verkehrsdatenbank**
(INFRAS)
- 2001 **Ermittlung der Gesamtleistungsfähigkeit (MIV + OEV) bei lichtsignalgeregelten Knoten**
(büro S-ce Simon-consulting-engineering)
- 2001 **Besteuerung von Autos mit einem Bonus/Malus-System im Kanton Tessin**
(U. Schwegler Büro für Verkehrsplanung)
- 2001 **GIS als Hilfsmittel in der Verkehrsplanung**
(büro widmer)
- 2001 **Umgestaltung von Strassen im Zuge von Erneuerungen**
(Infraconsult AG + Zeltner + Maurer AG)
- 2001 **Piloterhebung zum Dienstleistungsverkehr und zum Gütertransport mit Personenwagen**
(Prognos AG, Emch+Berger AG, IVU Traffic Technologies AG)
- 2002 **Parkplatzbewirtschaftung bei publikumsintensiven Einrichtungen - Auswirkungenanalyse**
(Metron AG, Neosys AG, Hochschule Rapperswil)
- 2002 **Probleme bei der Einführung und Durchsetzung der im Transportwesen geltenden Umweltschutzbestimmungen; unter besonderer Berücksichtigung des Vollzugs beim Strassenverkehrslärm**
(B+S Ingenieur AG)
- 2002 **Nachhaltigkeit und Koexistenz in der Strassenraumplanung**
(Berz Hafner + Partner AG)
- 2002 **Warum steht P. Müller lieber im Stau als im Tram?**
(Planungsbüro Jürg Dietiker / MOVE RAUM P. Regli / Landert Farago Davatz & Partner / Dr. A. Zeyer)
- 2002 **Nachhaltigkeit im Verkehr**
(Jenni + Gottardi AG)
- 2002 **Massnahmen zur Erhöhung der Akzeptanz längerer Fuss- und Velostrecken**
(Arbeitsgemeinschaft Büro für Mobilität / V. Häberli / A. Blumenstein / M. Wälti)
- 2002 **Carreiseverkehr: Grundlagen und Perspektiven**
(B+S Ingenieur AG / Gare Routière de Genève))
- 2002 **Potentielle Gefahrenstellen**
(Basler & Hofmann / Psychologisches Institut der Universität Zürich)
- 2003 **Evaluation kurzfristiger Benzinpreiserhöhungen**
(Infras / M. Peter / N. Schmidt / M. Maibach)
- 2002 **Verlässlichkeit als Entscheidungsvariable, Vorstudie**
(ETH Zürich, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme IVT)
- 2002 **Mischverkehr MIV / ÖV auf stark befahrenen Strassen**
(Verkehrsingenieurbüro TEAMverkehr)

- 2003 **Vorstudie zu den Wechselwirkungen Individualverkehr – öffentlicher Verkehr infolge von Verkehrstelematik-Systemen**
(Abay & Meier, Zürich)
- 2003 **Strassen mit Gemischtverkehr: Anforderungen aus der Sicht der Zweiradfahrer**
(WAM Partner, Planer und Ingenieure, Solothurn)
- 2003 **Erfolgskontrolle von Umweltschutzmassnahmen bei Verkehrsvorhaben**
(Metron Landschaft AG, Brugg / Quadra GmbH, Zürich / Metron Verkehrsplanung AG, Brugg)
- 2004 **Perspektiven für kurze Autos**
(Ingenieur- und Planungsbüro Böhmann, Zollikon)
- 2004 **Lange Planungsprozesse im Verkehr**
(BINARIO TRE, Windisch)
- 2004 **Auswirkungen von Personal Travel Assistance (PTA) auf das Verkehrsverhalten**
(Ernst Basler und Partner AG, Zürich)
- 2004 **Methoden zum Erstellen und Aktualisieren von Wunschlinienmatrizen im motorisierten Individualverkehr**
(ETH Zürich, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme IVT)
- 2004 **Zeitkostenansätze im Personenverkehr**
(ETH Zürich, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme IVT / Rapp Trans AG, Zürich)
- 2004 **Determinanten des Freizeitverkehrs: Modellierung und empirische Befunde**
(ETH Zürich, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme IVT)
- 2004 **Verfahren von Technology Assessment im Verkehrswesen**
(Rapp Trans AG, Zürich / IKAÖ, Bern / Interface, Luzern)
- 2004 **Mobilitätsdatenmanagement für lokale Bedürfnisse**
(SNZ, Zürich / TEAMverkehr, Cham / Büro für Verkehrsplanung, Fischeningen)
- 2004 **Auswirkungen neuer Arbeitsformen auf den Verkehr - Vorstudie**
(INFRAS, Bern)
- 2004 **Standards für intermodale Schnittstellen im Verkehr**
(synergo, Zürich / ILS NRW, Dortmund)
- 2005 **Verkehrsumlegungs-Modelle für stark belastete Strassennetze**
(büro widmer, Frauenfeld)
- 2005 **Wirksamkeit und Nutzen der Verkehrsinformation**
(B+S Ingenieure AG, Bern / Ernst Basler + Partner AG, Zürich / Landert Farago Partner, Zürich)
- 2005 **Spezialisierung und Vernetzung: Verkehrsangebot und Nachfrageentwicklung zwischen den Metropolitanräumen des Städtesystems Schweiz**
(synergo, Zürich)
- 2005 **Wirkungsketten Verkehr - Wirtschaft**
(ECOPLAN, Altdorf und Bern / büro widmer, Frauenfeld)
- 2005 **Cleaner Drive**
Hindernisse für die Markteinführung von neuen Fahrzeug-Generationen
(E'mobile, der Schweizerische Verband für elektrische und effiziente Strassenfahrzeuge, Urs Schwegler)
- 2005 **Spezifische Anforderungen an Autobahnen in städtischen Agglomerationen**
(Ingenieur- und Planungsbüro Dr. Walter Berg, Zürich)
- 2005 **Instrumente für die Planung und Evaluation von Verkehrssystem-Management-Massnahmen**
(Jenni + Gottardi AG, Zürich / Universität Karlsruhe)
- 2005 **Traffic de support logistique de grandes manifestations (Betriebsverkehr von Grossanlässen)**
(Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, EPFL)
- 2005 **Verkehrsdosierungsanlagen, Strategien und Dimensionierungsgrundsätze**
(Ingenieurbüro Walter Berg, Zürich)
- 2005 **Angebote und Erfolgskriterien im nächtlichen Freizeitverkehr**
(Planungsbüro Jud, Zürich)
- 2005 **Vor- und Nachlauf im kombinierten Ladungsverkehr**
(Rapp Trans AG, Zürich)
- 2005 **Finanzielle Anreize für effiziente Fahrzeuge - Eine Wirkungsanalyse der Projekte VEL2 (Tessin) und NewRide in Basel und Zürich**
(Rapp Trans AG, Zürich / Interface, Luzern)
- 2006 **Reduktionsmöglichkeiten externer Kosten des MIV am Beispiel des Förderprogramms VEL2 im Kanton Tessin**
(Università della Svizzera Italiana, Lugano / Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich)
- 2006 **Nachhaltigkeit im Verkehr**
Indikatoren im Bereich Gesellschaft
(Ernst Basler + Partner AG, Zollikon / Landert Farago Partner, Zürich)
- 2006 **Früherkennung von Entwicklungstrends zum Verkehrsangebot**
(Interface - Institut für Politikstudien, Luzern)
- 2006 **Publikumsintensive Einrichtungen PE: Planungsgrundlagen und Gesetzmässigkeiten**
(Metron Verkehrsplanung AG, Brugg / Transitec Ingenieurs-Conseils SA, Lausanne / Fussverkehr Schweiz, Zürich)

- 2006 **Erhebung des Fuss- und Veloverkehrs**
(IRAP, Hochschule für Technik, Rapperswil / Fussverkehr Schweiz, Zürich / Pestalozzi & Stäheli, Basel / Daniel Sauter, Urban Mobility Research, Zürich)
- 2006 **Verkehrstechnische Beurteilung multimodaler Betriebskonzepte auf Strassen innerorts**
(S-ce Simon consulting experts, Zürich)
- 2006 **Beurteilung von Busbevorzugungsmassnahmen**
(Metron Verkehrsplanung AG, Brugg)
- 2006 **Error Propagation in Macro Transport Models**
(Systems Consult, Monaco / B+S Ingenieur AG, Bern)
- 2007 **Fussgängerstreifenlose Ortszentren**
(Ingenieurbüro Ghielmetti, Winterthur / IAP, Zürich)
- 2007 **Kernfahrbahnen auf Ausserortsstrecken**
(Frossard GmbH, Zürich)
- 2007 **Road Pricing Modelle auf Autobahnen und in Stadtregionen**
(INFRAS, Zürich / Rapp Trans AG, Basel)
- 2007 **Entkopplung zwischen Verkehrs- und Wirtschaftswachstum**
(INFRAS, Zürich / Università della Svizzera Italiana, Lugano)
- 2007 **Genderfragen in der Verkehrsplanung Vorstudie**
(SNZ Ingenieure und Planer AG, Zürich)
- 2007 **Konfliktanalyse beim Mischverkehr**
(SigmaPlan AG, Bern)
- 2007 **Verfahren zur Berücksichtigung der Zuverlässigkeit in Evaluationen**
(Ernst Basler + Partner AG, Zürich / Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich)
- 2007 **Überlegungen zu einem Marketingansatz im Fuss- und Veloverkehr**
(Büro für Mobilität AG, Bern/Burgdorf / büro für utopien, Burgdorf/Berlin / LP Ingenieure AG, Bern / Masciardi communication & design AG, Bern)
- 2008 **Einbezug von Reisekosten bei der Modellierung des Mobilitätsverhaltens**
(Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT) ETH, Zürich / TRANSP-OR EPF Lausanne, Lausanne / IRE USI, Lugano)
- 2008 **Ausgestaltung von multimodalen Umsteigepunkten**
(Metron AG, Brugg / Universität Zürich Sozialforschungsstelle, Zürich)
- 2008 **Überbreite Fahrstreifen und zweistreifige Schmalfahrbahnen**
(IRAP HSR Hochschule für Technik, Rapperswil)
- 2008 **Fahrten- und Fahrleistungsmodelle: Erste Erfahrungen**
(Hesse+Schwarze+Partner, Zürich / büro widmer, Frauenfeld)
- 2008 **Quantitative Auswirkungen von Mobility Pricing Szenarien auf das Mobilitätsverhalten und auf die Raumplanung**
(Verkehrsconsulting Fröhlich, Zürich / TransOptima GmbH, Olten / Ernst Basler + Partner AG, Zürich)
- 2008 **Organisatorische und rechtliche Aspekte des Mobility Pricing**
(Ernst Basler + Partner AG)
- 2008 **Forschungspaket "Güterverkehr", Initialprojekt "Bestandesaufnahme und Konkretisierung des Forschungspakets"**
(Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich - ETH / Università della Svizzera Italiana / Universität St. Gallen)
- 2008 **Freizeitverkehr innerhalb von Agglomerationen**
(Hochschule Luzern - Wirtschaft, Luzern / ISOE, Frankfurt am Main / Interface Politikstudien, Luzern)
- 2008 **Gesetzmässigkeiten des Anlieferverkehrs**
(SigmaPlan AG / Rudolf Keller & Partner Verkehrsingenieure AG)
- 2009 **Modal Split Funktionen im Güterverkehr**
(Rapp Trans AG, Zürich / IVT ETH, Zürich)
- 2009 **Mobilitätsmuster zukünftiger Rentnerinnen und Rentner: eine Herausforderung für das Verkehrssystem 2030?**
(büro widmer Frauenfeld / Institut für Psychologie, Universität Bern)
- 2008 **Mobilitätsmanagement in Berieben - Motive und Wirksamkeit**
(synergo, Zürich / Tensor Consulting AG, Bern)
- 2009 **Monitoring und Controlling des Gesamtverkehrs in Agglomerationen**
(Ecoplan, Altdorf und Bern / Ernst Basler + Partner, Zürich)
- 2009 **Wie Strassenraumbilder den Verkehr beeinflussen**
(Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften zhaw, Winterthur / Jenni + Gottardi AG, Thalwil)
- 2009 **Nettoverkehr von verkehrsintensiven Einrichtungen (VE)**
(Berz Hafner + Partner AG, Bern / Hornung Wirtschafts- und Sozialstudien, Bern / Künzler Bossert + Partner GmbH, Bern / Roduner BSB + Partner AG, Schliern)
- 2009 **Verkehrspolitische Entscheidung in der Verkehrsplanung**
(synergo, Mobilität - Politik - Raum, Zürich / Institut für Politikwissenschaft/Uni Bern, Bern / Büro Vatter, Bern / Büro für Mobilität AG, Bern)

- 2009 **Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung**
(Rapp Trans AG, Zürich / ZHAW, Wädenswil, IAS Institut für Angewandte Simulation)
- 2009 **Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr - Vorstudie**
(Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich)
- 2010 **Optimierung der Strassenverkehrsunfallstatistik durch Berücksichtigung von Daten aus dem Gesundheitswesen**
(Rapp Trans AG, Zürich)
- 2010 **Systematische Wirkungsanalysen von kleinen und mittleren Verkehrsvorhaben**
(B.S.S. Volkswirtschaftliche Beratung AG, Basel / Basler & Hofmann AG, Zürich)
- 2011 **Zeitwerte im Personenverkehr: Wahrnehmungs- und Distanzabhängigkeit**
(Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich)
- 2011 **Hindernisfreier Verkehrsraum - Anforderungen aus Sicht von Menschen mit Behinderung**
(Pestalozzi & Stäheli, Basel / Schweiz. Fachstelle für behindertengerechtes Bauen, Zürich)
- 2011 **Der Verkehr aus Sicht der Kinder: Schulwege von Primarschulkindern in der Schweiz**
(Interfakultäre Koordinationsstelle für Allgemeine Ökologie (IKAÖ), Bern / Interface Politikstudien Forschung und Beratung, Luzern / verkehrsteiner, Bern)
- 2011 **Alternativen zu Fussgängerstreifen in Tempo-30-Zonen**
(Ingenieurbüro Ghielmetti, Chur / Pestalozzi & Stäheli, Basel / verkehrsteiner, Bern)
- 2011 **Standards für die Mobilitätsversorgung im peripheren Raum**
(Ecoplan, Bern / Metron, Brugg)
- 2011 **Widerstandsfunktionen für Innerorts-Strassenabschnitte ausserhalb des Einflussbereiches von Knoten**
(büro widmer ag, Frauenfeld / Rudolf Keller & Partner AG, Muttensz)
- 2011 **Indices caractéristiques d'une cité-vélo. Méthode d'évaluation des politiques cyclables en 8 indices pour les petites et moyennes communes**
(ROLAND RIBI & ASSOCIES SA, Genève)
- 2011 **Aggressionen im Verkehr**
(Basler & Hofmann AG, Zürich / Psychologischer Dienst der Psychiatrischen Universitätsklinik PUK, Basel)
- 2011 **Einsatzbereiche verschiedener Verkehrsmittel in Agglomerationen**
(IVT, ETH Zürich)
- 2012 **Kooperation an Bahnhöfen und Haltestellen**
(Ernst Basler + Partner AG, Zürich / Innovationszentrum für Mobilität und gesellschaftlichen Wandel (InnoZ) GmbH, Berlin / ETH Zürich - Institut für Umweltentscheidungen, Zürich)
- 2012 **Unaufmerksamkeit und Ablenkung: Was macht der Mensch am Steuer?**
(Universität Zürich, Zürich / Planungsbüro Jud AG, Zürich / Boss et Partenaires SA, Neuchâtel)
- 2012 **Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehrs**
(IVT, ETH Zürich)
- 2012 **Innovative Ansätze der Parkraumbewirtschaftung**
(Rapp Trans AG)
- 2012 **Neue Erkenntnisse zum Mobilitätsverhalten dank Data Mining?**
(Büro Widmer AG, Frauenfeld / Institut für Datenanalyse und Prozessdesign (idp) Zürcher Hochschule, Winterthur)
- 2012 **Verkehrsanbindung von Freizeitanlagen**
(Hochschule Luzern - Wirtschaft (HSLU), Luzern / Hochschule für Technik (HSR), Rapperswil)
- 2012 **Wissens- und Technologietransfer im Verkehrsbereich**
(Hochschule Luzern, Luzern / Planungsbüro Jud, Zürich)
- 2012 **Regulierung des Güterverkehrs**
Auswirkungen auf die Transportwirtschaft
(INFRAS, Zürich / Rapp Trans AG, Zürich / Moll Advokatur, Bern)
- 2012 **Verkehrssicherheitsgewinne aus Erkenntnissen aus Datapooling und strukturierten Datenanalysen**
(regioConcept AG, Herisau)
- 2013 **Nutzen von Reisezeiteinsparungen im Personenverkehr**
(Metron Verkehrsplanung AG / Sozialforschungsstelle Universität Zürich)
- 2013 **Mehr Sicherheit dank Kernfahrbahnen?**
(ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, IAP Institut für Angewandte Psychologie, Winterthur / Frossard GmbH, Zürich / verkehrsteiner AG, Bern)
- 2013 **Vernetzung von HLS- und HVS-Steuerungen**
(B+S AG, Bern)
- 2013 **Akzeptanz von Verkehrsmanagementmassnahmen – Vorstudie**
(Zentrum für integrierte Verkehrssysteme GmbH / SNZ Ingenieure und Partner AG / Institut für Verkehrspsychologie Aachen)
- 2013 **Güterverkehrsintensive Branchen und Güterverkehrsströme in der Schweiz**
(Lehrstuhl für Logistikmanagement – Universität St Gallen / Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme – ETH Zürich)

- 2013 **Möglichkeiten und Grenzen von elektronischen Busspuren**
(Rapp Trans AG, Basel)
- 2013 **Projektierungsfreiräume bei Strassen und Plätzen**
(ewp AG, Effretikon / Planungsbüro Jürg Dietiker)

** vergriffen: Diese Exemplare können auf Wunsch nachkopiert werden*
**épuisé: Selon désir, ces rapports peuvent être copiés*

Die Berichte können bezogen werden bei / Les rapports peuvent être commandés au:
VSS, Sihlquai 255, 8005 Zürich,
Tel. 044 / 269 40 20, Fax. 044 / 252 31 30, info@vss.ch