

BUNDESAMT FÜR UMWELT (BAFU)

UMWELTMONITORING FLANKIERENDE MASSNAHMEN (MFM-U)

SZENARIEN FÜR 2020

Schlussbericht

Bern, 22. Mai 2013

Ph. Wüthrich, B. Notter, M. Keller

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

7185B_BERICHT_MFMU-SZENARIEN_V7_MIT_IMPRESSUM-BAFU.DOCX



INFRAS

INFRAS

MÜHLEMATTSTRASSE 45
CH-3007 BERN
t +41 31 370 19 19
f +41 31 370 19 10
BERN@INFRAS.CH

BINZSTRASSE 23
CH-8045 ZÜRICH

WWW.INFRAS.CH

Impressum

Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abt. Ökonomie und Umweltbeobachtung, CH-3003 Bern.

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Auftragnehmer: Infrac

Autoren: Philipp Wüthrich, Benedikt Notter, Mario Keller

Hinweis: Diese Studie/dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

INHALT

Zusammenfassung	5
1. Ausgangslage	16
2. Methodik und Mengengerüste	17
2.1. Überblick	17
2.1.1. Mengenszenarien	19
2.1.2. Technologie-Szenarien	20
2.2. Methodik Strassenverkehr	21
2.2.1. Verkehrsmengengerüst Real-Szenario Verlagerung	21
2.2.2. Verkehrsmengengerüste für restliche Mengenszenarien	26
2.2.3. Emissionsmodellierung	28
2.3. Methodik Schienenverkehr	30
2.3.1. Verkehrsmengengerüste	30
2.3.2. Emissionsmodellierung	32
2.4. Fahrleistungen	34
3. Resultate	37
3.1. Referenzzustand	38
3.1.1. Gesamtemissionen und Energieverbrauch im AQGV	38
3.1.2. Strasse	39
3.1.3. Schiene	41
3.2. Vergleich Mengenszenarien	43
3.3. Vergleich Technologie-Szenarien	48
4. Fazit	54
Literatur	56
Glossar	58
Annex	60
ANNEX 1: Flottenzusammensetzung SGF Binnen-, Import/Export- und Transitverkehr	60
ANNEX 2: Parameter für die Zuweisung der Levels of Service (LOS)	61
ANNEX 3: Emissionsfaktoren	62
ANNEX 4: Vergleich Mengenszenarien - Zusätzliche Auswertungen	67
ANNEX 5: Vergleich Technologie-Szenarien, Mengenszenario „Realszenario Verlagerung“ - Zusätzliche Auswertungen	70

ANNEX 6: Vergleich Technologie-Szenarien, Mengenszenario „Verlagerungsziel erreicht“ - Zusätzliche Auswertungen _____	73
ANNEX 7: Vergleich Technologie-Szenarien, Mengenszenario „Zwischenziel Erreicht“ - Zusätzliche Auswertungen _____	76
ANNEX 8: Vergleich Technologie-Szenarien, Mengenszenario „Keine Verlagerungspolitik“ - Zusätzliche Auswertungen _____	79

ZUSAMMENFASSUNG

Im Jahr 2011 haben 1.26 Millionen schwere Güterfahrzeuge (SGF) die Schweizer Alpenübergänge passiert. Das Verlagerungsziel von 650'000 Fahrten wird auch nach Inbetriebnahme der NEAT 2018 mutmasslich nicht erreicht werden. Als Grundlage für die kommenden politischen Debatten sollen anhand von Szenarien für das Jahr 2020 die Handlungsoptionen und deren Potenziale zur Reduktion von Luftschadstoffemissionen sowie der Reduktion des Energieverbrauchs (bzw. der CO₂-Emissionen) aufgezeigt werden. Die vorliegende Studie untersucht die Emissionen von Stickoxiden (NO_x), Feinstaub (PM₁₀) und CO₂ (letztere hängen eng mit dem Energieverbrauch zusammen), siehe Tabelle 1.

Es wurden zwei Arten von Szenarien auf der Basis des Referenzzustands 2020¹ untersucht: Einerseits Veränderungen der Verkehrsmengen („Mengenszenarien“), andererseits unterschiedliche Intensitäten technologischer Verbesserungen („Technologieszenarien“). In den Mengenszenarien werden verschiedene Grade der Zielerreichung der Verlagerungspolitik untersucht (1.457 Mio./1 Mio./ 650'000 Lastwagenfahrten an den Schweizer Alpenübergängen), sowie die Auswirkungen ausgewählter, die Verkehrsmenge beeinflussender Massnahmen (Aufhebung Nachtfahrverbot und sektorales Fahrverbot für bahnaffine Güter). Ausserdem wird abgeschätzt, welche Auswirkungen die Verlagerungspolitik (40-t-Limite und flankierende Massnahmen Bahn) auf die Emissionen bzw. den Treibstoffverbrauch hatte. In den Technologieszenarien werden die Potenziale der Einführung der neuen Abgasgrenzwertstufe EURO-6/VI bzw. eines reduzierten Geschwindigkeitsregimes (100 km/h) für Personenwagen (PW) verglichen.

In der Diskussion der Resultate werden jeweils zwei Sichtweisen eingenommen:

- › **„Optik Alpenraum“**: Lokale Sicht, betrachtet die Betriebsemissionen des Strassenverkehrs im Alpenraum entlang der Gotthard- und San Bernardino-Achsen;
- › **„Optik Umweltbilanz“**: Gesamtheitliche Sicht auf die Emissionen des alpenquerenden Strassen- und Schienengüterverkehrs über die Gotthard- und San Bernardino-Achse inklusive Zufahrtsstrecken Schweiz/Ausland und inklusive Emissionen der Vorprozesse (Energiebereitstellung). Nicht-Abgas-Feinstaub-Emissionen werden in dieser Optik nicht mit betrachtet, da sie für die Schiene nur mit Vorbehalten quantifizierbar sind (s. Info-Box in Kap. 2.3.2) und bezüg-

¹ „Referenzzustand“ bzw. „Referenzszenario“ für 2020 ist die Kombination des Realszenarios Verlagerung bei den Mengenszenarien mit der Referenzentwicklung bei den Technologieszenarien (d.h. Zusammensetzung der SGF-Flotte: 71.6% Euro-VI, 24.5% Euro-V, 3.9% ältere).

lich ihrer Umwelt- und Gesundheitsauswirkungen nicht mit Feinstaub-Emissionen aus Abgasen verglichen werden können.

ÜBERSICHT SZENARIEN	
Szenario	Beschreibung
Mengenszenarien	
Real-Szenario Verlagerung	1.457 Mio. SGF/Jahr an den Schweizer Alpenübergängen
Verlagerungsziel erreicht	650'000 SGF/Jahr an den Schweizer Alpenübergängen
Zwischenziel erreicht	1.0 Mio. SGF/Jahr an den Schweizer Alpenübergängen
Keine Verlagerungspolitik	Verkehrsentwicklung 2020 ohne Einführung der 40t-Limite und flankierende Massnahmen Schienenverkehr
Nachtfahrverbot aufheben	Aufhebung des Nachtfahrverbots für SGF in der Schweiz
Teil-Verlagerungszwang	Sektorales Fahrverbot (SFV) für Transporte bahnaffiner Güter auf der Strasse (ähnlich Brenner)
Technologieszenarien	
Referenzentwicklung 2020	Emissionsfaktoren gemäss HBEFA 3.1 (siehe auch BAFU 2010a)
halbe Effizienz EURO-6/VI	Sensitivität Motoren- bzw. Abgasbehandlungseffizienz: Halbierte Absenkrate Emissionsfaktoren EURO 6/VI ² zu EURO-5/V
alle SGF EURO-VI	Sämtliche SGF mit EURO-VI (BAT), restlicher Verkehr BAU
alle Fahrzeugkat. EURO-6/VI	Sämtliche Fahrzeuge mit EURO-6/VI (BAT)
PW Tempo 100	Tempolimit für PW = 100 km/h auf Alpentransitachsen

Tabelle 1 Szenarien-Übersicht. BAU = „business as usual“ = Referenzentwicklung bzgl. Flottenzusammensetzungen gemäss BAFU 2010a; BAT = „best available technology“.

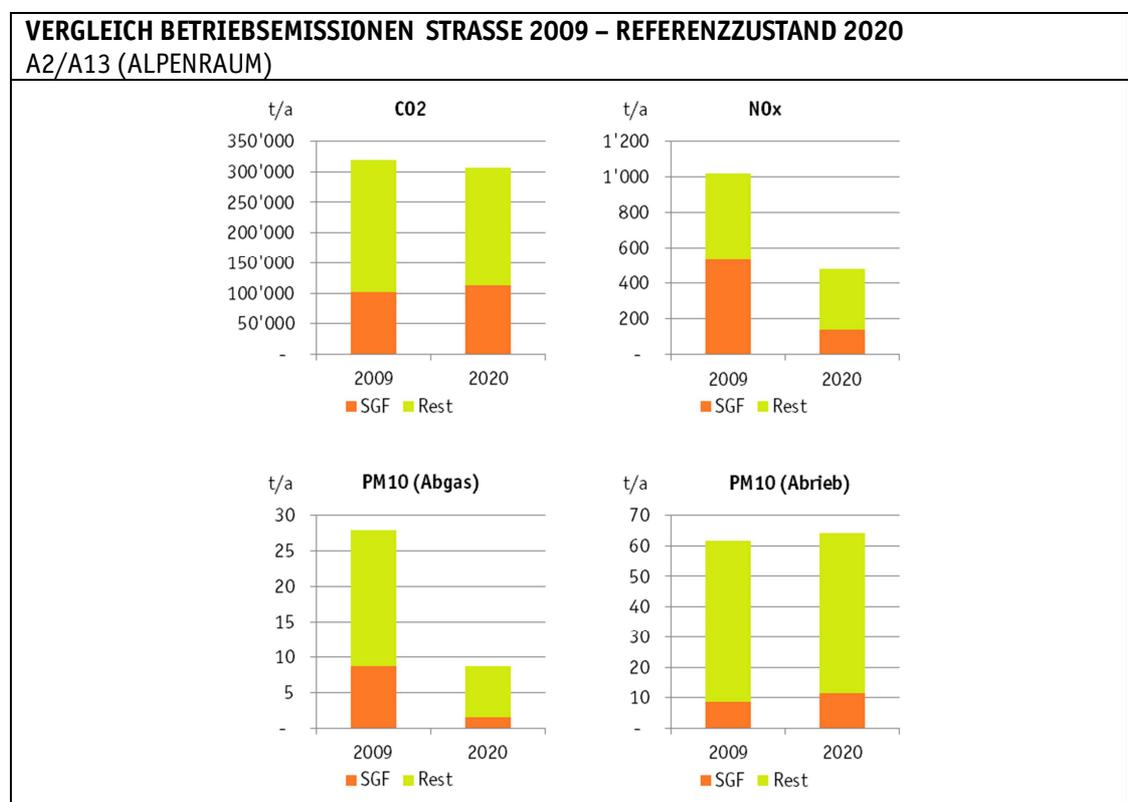
Die Betriebsemissionen des Strassenverkehrs wurden mit dem INFRAS-Emissionsmodell auf Basis von HBEFA 3.1 berechnet, die Emissionen der Vorprozesse basierend auf der Ecoinvent-Datenbank.

Optik Alpenraum (Betrachtung des Gesamtverkehrs A2 und A13 im Alpenraum)

Im Alpenraum entlang der Gotthard- und San Bernardino-Achsen entstehen 2020 unter dem „Real-Szenario Verlagerung“ (=Referenzrechnung) im Betrieb des Strassenverkehrs rund 480 t NO_x/Jahr bzw. gut 70 t PM10/Jahr (davon rund 9 t PM10/Jahr aus Abgasemissionen). 29% der NO_x-Emissionen bzw. 18% der PM10-Emissionen entfallen auf den schweren Güterverkehr (SGF). Ausserdem erzeugt der Strassenverkehr rund 306'000 t CO₂/Jahr (SGF-Anteil: 37%). Der Vergleich mit den Emissionen des letzten publizierten Berichts (Referenzjahr 2009) zum Monitoring MFM-U (BAFU 2010) zeigt, dass die Luftschadstoffemissionen dank den vorgesehenen Grenzwerten (namentlich EURO-5/V und 6/VI) bis 2020 bereits markant reduziert werden (Figur 1): Die

² Euro-Normen mit römischen Ziffern (0/I/II/.../VI) : Europäische Emissionstandards für schwere Motorfahrzeuge >3.5t; mit arabischen Ziffern (0/1/2/...6) für leichte Motorwagen <3.5t

NO_x-Emissionen der SGF sinken um 74%, die PM10-Abgas-Emissionen der SGF um mehr als 80% zwischen 2009 und 2020. Sowohl bei den CO₂- als auch den PM10-Emissionen aus Bremsen, Abrieb, etc. stellt man dagegen eine Zunahme fest, da diese bei den SGF vorwiegend durch die Fahrleistung bestimmt werden (bedeutende Effizienzgewinne beim Treibstoffverbrauch werden – anders als bei den PW aufgrund von Flottenzielsetzungen – bei den SGF nicht erwartet). Die nachstehend in den Szenarien betrachteten Emissionsveränderungen beziehen sich in der Folge auf den Referenzzustand 2020.

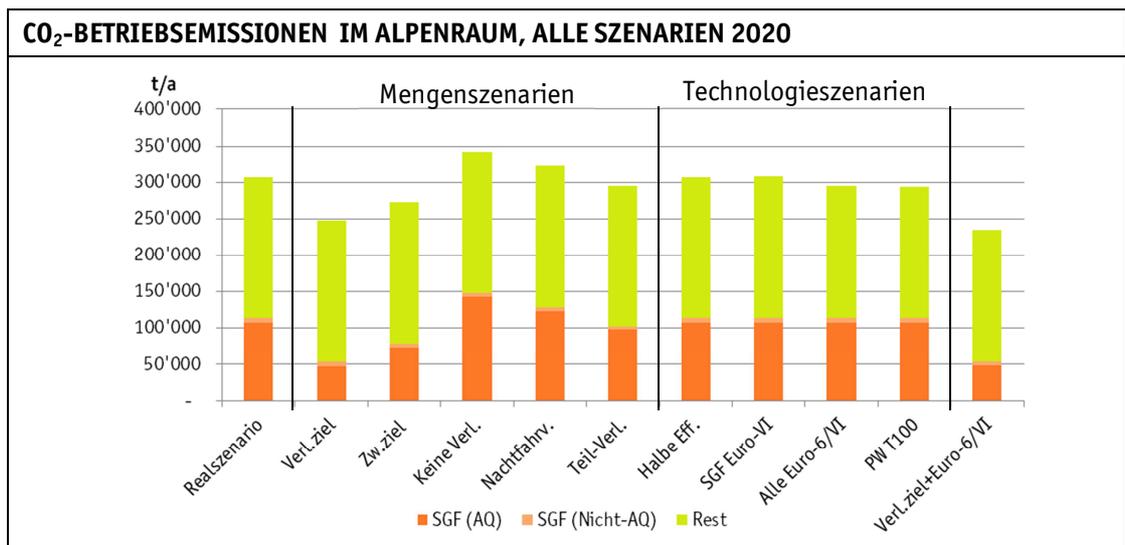


Figur 1 Vergleich der Betriebsemissionen des Strassenverkehrs im Alpenraum zwischen dem letzten MFM-U-Monitoring-Bericht (BAFU 2010b) und dem Referenzzustand 2020.

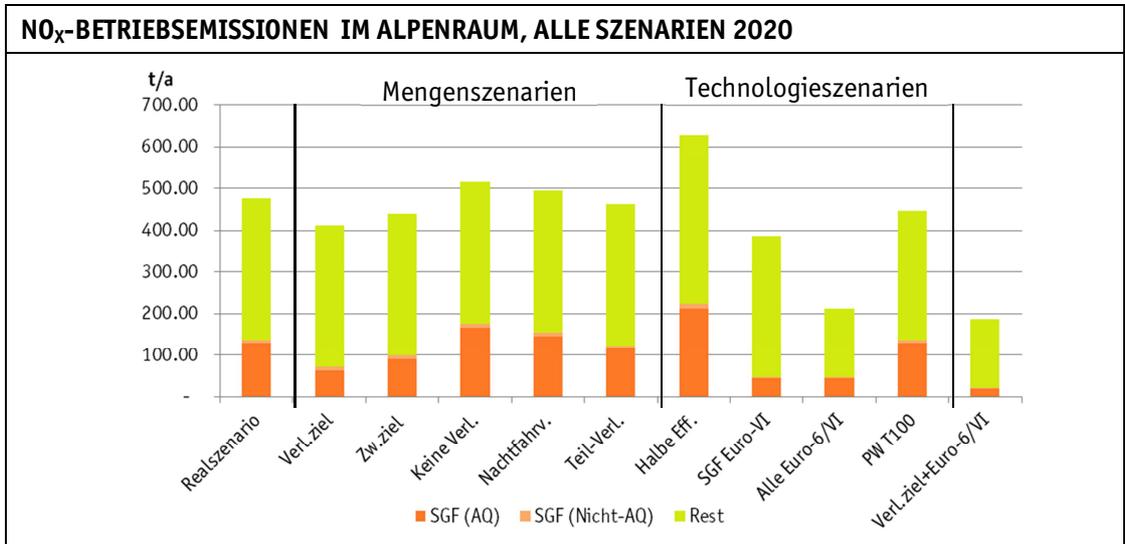
Bei Einhaltung des Verlagerungsziels reduzieren sich die NO_x- und PM10-Abgas-Emissionen im Alpenraum aus dem Betrieb des schweren Güterverkehrs um rund die Hälfte (Figur 3, Figur 4). Im Verhältnis zu den Gesamtemissionen (inkl. Betrieb restliche Fahrzeugkategorien) beträgt die Reduktion bei NO_x und Abgas-PM10 noch 14% (NO_x) bzw. 8% (Abgas-PM10). Die CO₂-Emissionen der SGF sinken bei Einhaltung des Verlagerungsziels um rund 56% (-20% bezogen auf den Gesamtverkehr, Figur 2).

Mit Verbesserungen in der Motorentechnologie bzw. der Abgasnachbehandlung (Filter und DeNO_x-Systeme), wie sie für die Einhaltung der EURO-6/VI-Grenzwerte nötig sind, lassen sich die Betriebsemissionen noch deutlicher senken: Entsprechen 2020 sämtliche Fahrzeuge den EURO-6/VI-Grenzwerten, wären die NO_x-Emissionen rund 55% und die PM10- Abgas-Emissionen rund 70% tiefer als im Referenzszenario („Real-Szenario-Verlagerung“, Figur 3 und Figur 4). Auf die CO₂- und die PM10-Emissionen aus Bremsen und Abrieb haben die EURO-Grenzwerte dagegen kaum einen Einfluss (Figur 2, Figur 5). Der CO₂-Ausstoss lässt sich mit der Senkung der Geschwindigkeitslimite für PW auf 100km/h um rund 5% reduzieren.

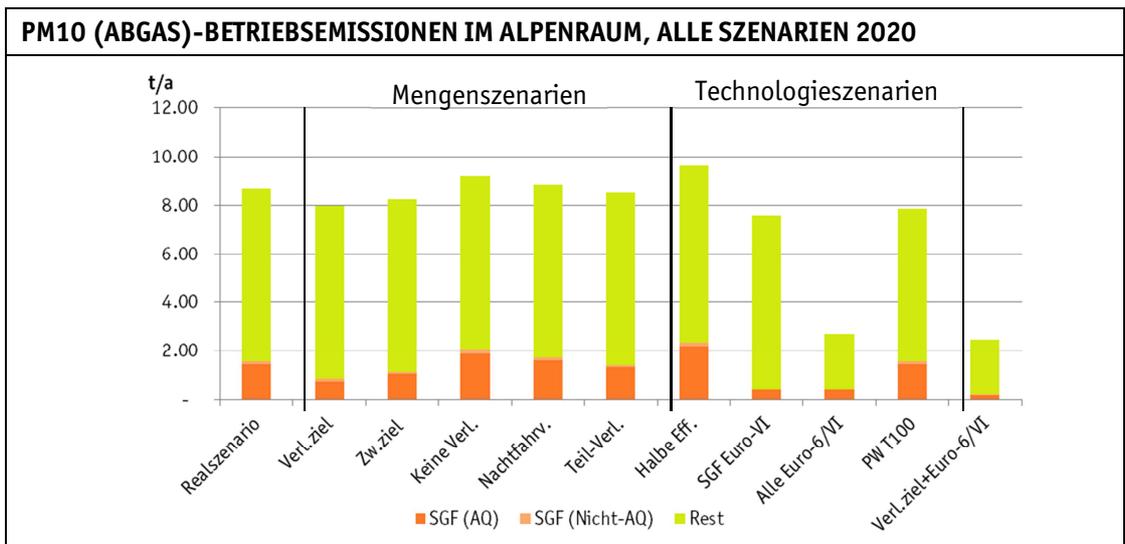
Eine Kombination von Verlagerung und Technologieentwicklung (im Sinne einer „Potenzialvariante Umwelt“) brächte eine Reduktion der NO_x-Emissionen von 61% und bei den PM10 (Abgas)-Emissionen von rund 72%.



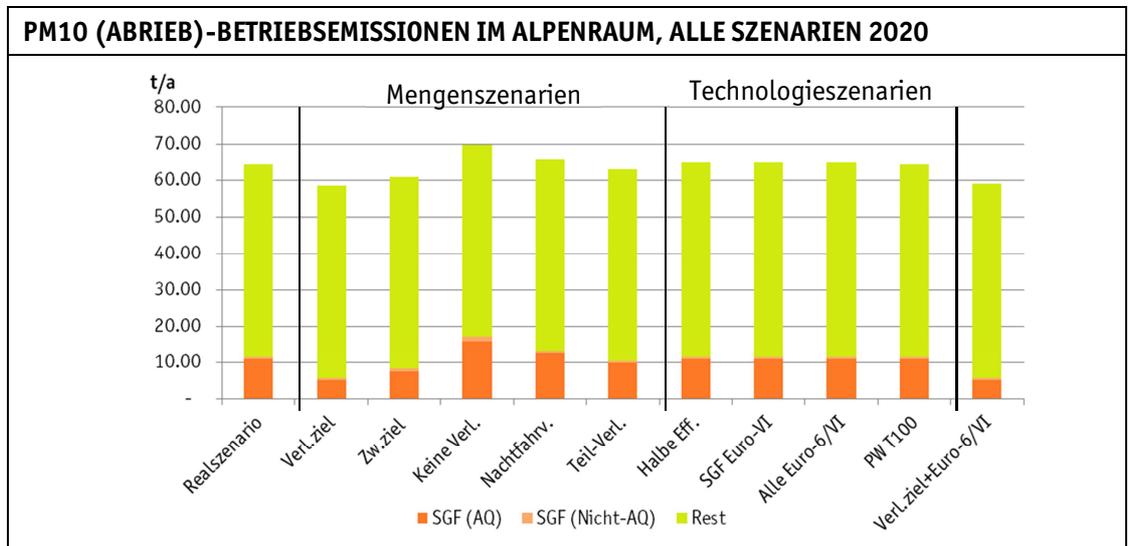
Figur 2 CO₂-Betriebsemissionen im Alpenraum im Vergleich aller Szenarien für 2020.



Figur 3 NO_x-Betriebsemissionen im Alpenraum im Vergleich aller Szenarien für 2020.



Figur 4 PM10 (Abgas)-Betriebsemissionen im Alpenraum im Vergleich aller Szenarien für 2020.



Figur 5 PM10 (Abrieb)-Betriebsemissionen im Alpenraum im Vergleich aller Szenarien für 2020.

Optik Umweltbilanz (Betrachtung von Güterverkehr Strasse und Schiene)

Nebst den lokal, im engeren Alpenraum anfallenden Umweltauswirkungen interessiert im Sinne einer Gesamtsicht, welche Emissionen a) für den alpenquerenden Güterverkehr (AQGV) über Gotthard/San Bernardino auf Strasse *und* Schiene, b) auf den Zufahrtsstrecken in der Schweiz und im Ausland und c) für die Bereitstellung der Energie (Treibstoffe und Strom) bei den sog. Vorprozessen anfallen (siehe Figur 6 - Figur 8).

Der AQGV über die Gotthard- und San Bernardino-Achse verursacht im Referenzzustand 2020 (d.h. bei 1.457 Mio. SGF-Fahrten an den Schweizer Alpenübergängen) Emissionen im Total von rund 1.1 Mio. t CO₂ und 1'600 t NO_x in der Schweiz und auf den ausländischen Zufahrtsstrecken. Aufgrund der wesentlich höheren Emissionen für die Energiebereitstellung fallen die Vorprozess-Emissionen der Schiene im Ausland stark ins Gewicht. Dies führt dazu, dass die Schiene beim CO₂ rund einen Viertel und bei den Stickoxiden einen Fünftel der Emissionen erzeugt.

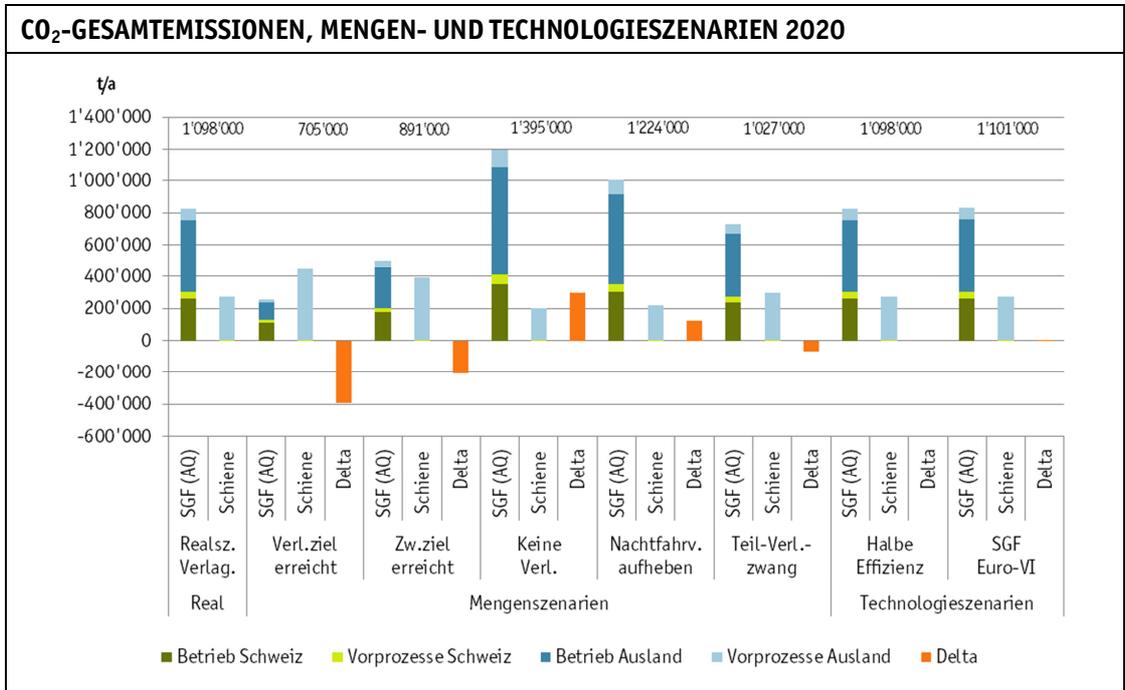
Bei den PM10-Emissionen ist die Situation komplexer, da diese auf sehr unterschiedliche Quellen zurückgehen: sie stammen aus den Dieselmotoren der Lastwagen, ergeben sich als Folge von Pneu- und Bremsabrieb im Strassenverkehr sowie von Schienen- und Radabrieb im Bahnverkehr, als Folge der Dieselpreparierung (Raffinerien, Distribution etc.) sowie der Stromherstellung, wobei es hier entscheidend von der Zusammensetzung des Kraftwerkparks abhängt (insbes. Anteil Kohlekraftwerke). Eine schlichte Addition all dieser bezüglich Grösse und Komposition sehr unterschiedlichen PM10-Emissionsfrachten trägt jedenfalls – im Unterschied etwa namentlich zu den letztlich global interessierenden CO₂-Emissionen – der Bedeutung der effektiven Umweltbelastung und der Bevölkerungsexposition nur zum Teil Rechnung; dazu kommt,

dass vor allem die „Nicht-Abgas-PM10-Emissionen“ auf Schiene und Strasse wie deren Anteil im Kontext der Energiebereitstellung deutlich weniger erforscht sind. Fokussiert man deshalb auf die am ehesten vergleichbaren Abgas-Emissionen, so liegen die PM10-Emissionen der Strasse im Real-Szenario bei rund 60 t/a und diejenigen der Schiene bei rund 35 t/a. Dabei wird jedoch immer noch die Belastung der Bevölkerung ausser acht gelassen, denn ein Teil des Ausstosses (insbesondere des Strassenverkehrs) erfolgt in Tälern und besiedelten Gebieten, ein anderer Teil (etwa Vorprozesse zur Bereitstellung der Energieträger) wird in grosser Distanz zu stark besiedelten Räumen emittiert.

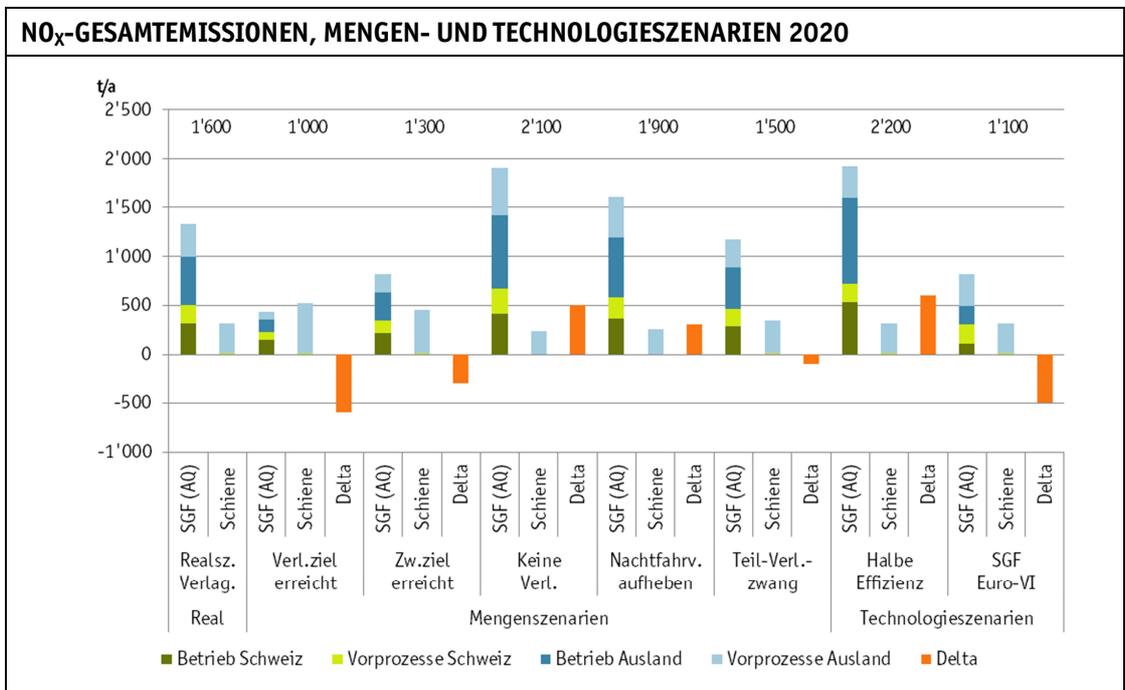
Die hohen Anteile der Schienenverkehrsemissionen im Ausland führen dazu, dass der Reduktionseffekt der Verlagerung der Güter auf die Schiene teilweise wieder kompensiert wird (siehe Figur 6 - Figur 8), der Nettoeffekt bleibt gleichwohl positiv: Durch die Verlagerung des Güterverkehrs von der Strasse auf die Schiene (Erreichung Verlagerungsziel) sinken der Gesamtenergieaufwand (und damit die CO₂-Emissionen) um rund 36%, die NO_x-Emissionen um 42% und die PM10-Emissionen (Abgasemissionen) um 19%.

Im weiteren zeigt eine auf der Basis von groben Annahmen gemachte Abschätzung für den Fall eines Verzichts auf eine Verlagerungspolitik: ohne Verlagerungspolitik lägen die gesamten CO₂-Emissionen im Jahre 2020 um 27% und die NO_x-Emissionen um 30% höher als im Real-Szenario Verlagerung. Die Feinstaub-Emissionen (mit Fokus auf Abgasemissionen) lägen rund 18% höher.

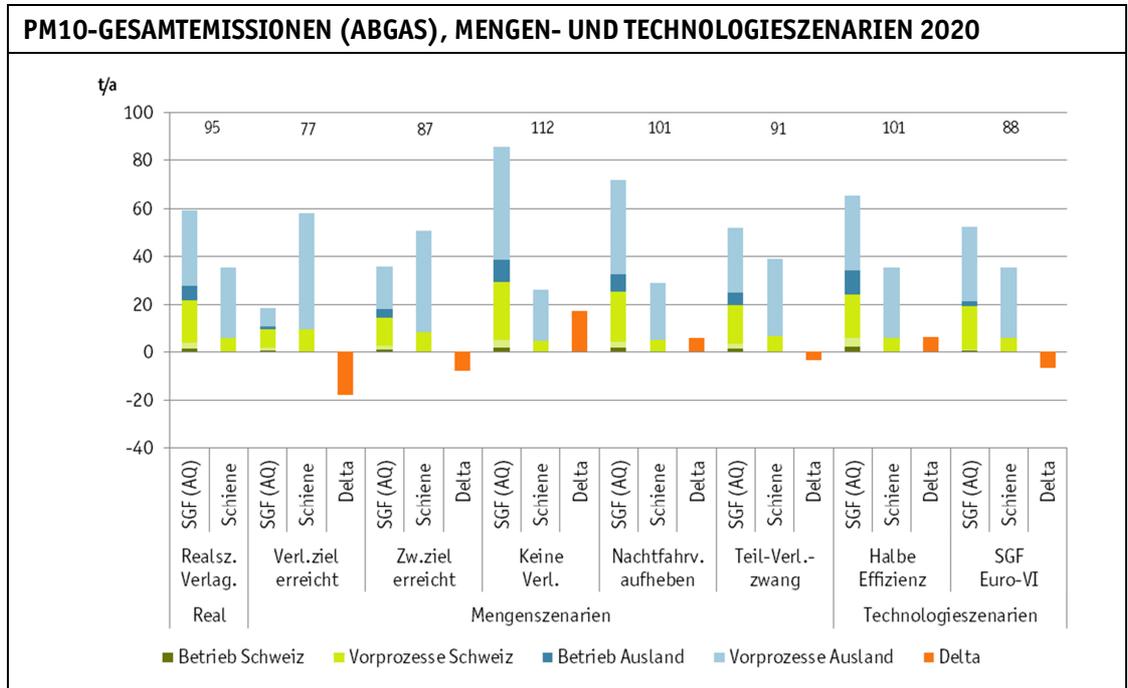
Die Aufhebung des Nachtfahrverbots führt zu 11% mehr CO₂-, 13% mehr NO_x- sowie 6% mehr PM10-Emissionen. Mit einem sektoriellen Fahrverbot bzw. einem Teil-Verlagerungszwang für bahnaffine Güter können die CO₂-Emissionen um 6% , die NO_x-Emissionen um 7% und die Feinstaubemissionen aus Abgas um 4% reduziert werden.



Figur 6 CO₂-Gesamtemissionen (Betrieb + Vorprozesse) des alpenquerenden Güterverkehrs im Vergleich der Mengenszenarien für 2020. Die Summe der Strassen- und Schienenemissionen ist als Zahl über dem jeweiligen Szenario angegeben, der Unterschied der Gesamtemissionen zum Realszenario Verlagerung („Delta“) ist orange dargestellt.



Figur 7 NO_x-Gesamtemissionen (Betrieb + Vorprozesse) des alpenquerenden Güterverkehrs im Vergleich der Mengenszenarien für 2020. Die Summe der Strassen- und Schienenemissionen ist als Zahl über dem jeweiligen Szenario angegeben, der Unterschied der Gesamtemissionen zum Realszenario Verlagerung („Delta“) ist orange dargestellt.



Figur 8 PM10-Gesamtemissionen (Betrieb + Vorprozesse, lediglich Abgas-Emissionen) des alpenquerenden Güterverkehrs im Vergleich der Mengenszenarien für 2020. Die Summe der Strassen- und Schienenemissionen ist als Zahl über dem jeweiligen Szenario angegeben, der Unterschied der Gesamtemissionen zum Realszenario Verlagerung („Delta“) ist orange dargestellt.

Fazit

Der vorliegende Bericht untersucht Schadstoff- und Klimagas-Emissionen für mögliche Szenarien des alpenquerenden Güterverkehrs (AQGV) über die Übergänge Gotthard und San Bernardino im Jahr 2020, inklusive der auf den Zufahrtsstrecken in der Schweiz und im Ausland verursachten Emissionen. Zusätzlich werden für den Alpenraum auch die Emissionen des Restverkehrs (Personenverkehr, leichter Güterverkehr, nicht-alpenquerender schwerer Güterverkehr) berechnet. Die wichtigsten Befunde sind:

- › Eine äusserst wirkungsvolle Massnahme für die Reduktion der Luftschadstoffe sind die Verbesserungen der Motorenteknologie bzw. der Abgasnachbehandlung, die nötig sind, um die verschärften EURO-6/VI-Grenzwerte einzuhalten. Diese Massnahmen sind in der Referenzentwicklung unterstellt. Bis 2020 sinken dadurch beispielsweise die NO_x -Emissionen im Betrieb der schweren Nutzfahrzeuge um 74% gegenüber 2009. Im Vergleich dazu sind die in den Szenarien betrachteten zusätzlichen Veränderungen der Luftschadstoffemissionen geringer.
- › Diese Aussagen gelten allerdings nur, wenn die bis 2020 erwarteten Absenkungen auch in der Realität und nicht nur bei der Typenprüfung stattfinden: Namentlich Euro-VI lässt bei Personen- und Güterfahrzeugen auf der Strasse markante Absenkungen erwarten. Wie weit sich auch das reale Emissionsverhalten entsprechend den Grenzwertabsenkungen entwickelt, ist Gegen-

stand laufender, umfangreicher Forschung. Verschiedentlich haben sich rückblickend die Emissionen im Realbetrieb weniger stark reduziert als es die Grenzwert-Absenkungen hätten erwarten lassen. Allerdings sind bei Euro-VI flankierende Massnahmen vorgesehen, welche Emissionsminderungen nicht nur im Testzyklus, sondern auch im täglichen Betrieb auf der Strasse gewährleisten sollten. Diesen Unsicherheiten wurde hier mit einer Sensitivitätsbetrachtung Rechnung getragen, welche den Effizienzgewinn der Emissionen von EURO-5/V zu EURO-6/VI halbiert. Gegenüber der Referenzentwicklung der Emissionsfaktoren wären demzufolge die NO_x -Emissionen rund 30% und die PM_{10} (Abgas)-Emissionen rund 10% höher. Somit wäre die Absenkung der Luftschadstoff-Emissionen zwischen 2009 gegenüber dem Referenzzustand 2020 entsprechend geringer.

- › Auf den Treibstoffverbrauch bzw. die CO_2 -Emissionen des schweren Strassengüterverkehrs wirken sich technologische Massnahmen (Einhaltung der Luftschadstoff-Grenzwerte) kaum aus. Die Verlagerung des Güterverkehrs von der Strasse auf die Schiene bringt eine Reduktion von ca. 35% der CO_2 -Emissionen.
- › Verlagerungen des Güterverkehrs auf die Schiene bringen lokal weitere Schadstoffreduktionen, die allerdings durch den Schienenverkehrsanteil im Ausland mit den höheren Emissionen für die Stromproduktion teilweise wieder kompensiert werden, auch wenn die Emissionen aus der Stromproduktion nicht im gleichen Umfang zur Belastung der Bevölkerung beitragen wie beispielsweise die direkt entlang der Strassenachsen emittierten Schadstoffe des Strassengüterverkehrs. Eine Reduktion von rund 40% bei den NO_x - und rund 20% bei den Feinstaub-(Abgas)-Emissionen bleibt gleichwohl bestehen.
- › Wäre die 40-t-Limite für schwere Nutzfahrzeuge in der Schweiz nicht eingeführt und in diesem Zuge die flankierenden Massnahmen für die Schiene nicht ergriffen worden, wären die Luftschadstoff-Emissionen im Jahr 2020 knapp 30% (NO_x) bzw. rund 20% (Feinstaub durch Abgase) höher als mit den Instrumenten der Verlagerungspolitik. Der CO_2 -Ausstoss des alpenquerenden Güterverkehrs wäre rund ein Viertel höher. Diese Angaben basieren zwangsläufig auf Annahmen und sind dementsprechend zurückhaltend zu interpretieren.
- › Die Feinstaub-Emissionen setzen sich aus unterschiedlichen Quellen zusammen. Grobschätzungen zeigen, dass die Nicht-Abgas-Emissionen (künftig) ein Mehrfaches der Abgasemissionen ausmachen werden: bei der Strasse werden es im Jahr 2020 gut 80 t sein gegenüber rund 10 t aus dem Abgas. Allerdings sind die Feinstaub-Emissionen ein sehr komplexes Gemisch, und die schlichte Addition der emittierten Massen aus unterschiedlichen Quellen trägt dieser Komplexität nicht Rechnung. Bei den Auswirkungen der verschiedenen Feinstaubfraktionen auf die menschliche Gesundheit besteht zurzeit noch weiterer Forschungsbedarf.

› Analoge Fragen stellen sich beim Schienenverkehr: auch hier tragen unterschiedliche Quellen zur Feinstaub-Belastung bei: einerseits sind es die Emissionen aus der Stromproduktion durch (ausländische) Kohlekraftwerke, die im Jahr 2020 auf rund 35 t (PM10) geschätzt werden – in dieser Zahl sind allerdings keine technologischen Verbesserungen der Kraftwerke gegenüber heute unterstellt. Andererseits verursacht der Schienenverkehr nicht unerhebliche Nicht-Abgas-Emissionen, die ebenfalls dem Feinstaub zuzurechnen sind und v.a. durch Bremsvorgänge entstehen – entscheidend ist hier, ob Güterzüge elektrisch bremsen und ob sie kontinuierlich fahren können oder immer wieder anhalten müssen. Auch hier trägt aber die massenbezogene Betrachtung den unterschiedlichen Auswirkungen der verschiedenen Feinstaubfraktionen auf die menschliche Gesundheit nicht genügend Rechnung. Zusätzlicher Forschungsbedarf beim Schienenverkehr betrifft die Quantifizierung der Abriebsemissionen – dazu liegen derzeit nur wenige Studien mit groben Abschätzungen vor.

1. AUSGANGSLAGE

Das Umweltmonitoring MFM-U des BAFU beobachtet seit 2003 Indikatoren entlang der Alpen-transitachsen A2 und A13, welche Auskunft über den Stand und die Entwicklung der lokalen Umweltbelastung geben. Kurzfassungen der Resultate wurden bisher regelmässig in den Verla-gerungsberichten des Bundesrats zuhanden der parlamentarischen Kommissionen publiziert (BAV 2009, 2011a). Weiterführende Berichte wurden direkt vom BAFU veröffentlicht, z.B. BAFU (2008, 2010b).

Im Verlagerungsbericht 2011 (BAV 2011a) wird festgehalten, dass das Verlagerungsziel von 650'000 Millionen alpenquerenden Fahrten gemäss Art. 3 Güterverkehrsverlagerungsgesetz (GVVG) auch nach vollständiger Inbetriebnahme der NEAT im Jahr 2018 mit den bestehenden Instrumenten nicht erreicht wird. Mit dem Beibehalten der flankierenden Massnahmen werden 2020 voraussichtlich rund 1.457 Mio. schwere Güterfahrzeuge (SGF) die Alpen queren (Stand 2011: 1.26 Mio. SGF). Um dem Verfassungs- und Gesetzesauftrag nachzukommen, möchte der Bundesrat deshalb zusätzliche Massnahmen in die Wege leiten.

Als Grundlage für diese Diskussion soll bis zum nächsten Verlagerungsbericht 2013 eine Ge-samtschau Fahrtenziel und Umwelt erarbeitet und aufgezeigt werden, mit welchen Szenarien Grenzwerte über- bzw. unterschritten werden. Der vorliegende Bericht trägt zu diesen Grundla-ge bei, indem für eine Reihe von Szenarien für das Jahr 2020 Emissionsberechnungen für die Stoffe CO₂ (Kohlendioxid), NO_x (Stickoxide), PM10 (Partikel/Feinstaub, Abgas und Abrieb) durchgeführt und ausgewertet werden.

Die Untersuchung geht grundsätzlich von zwei Sichtweisen aus: Die „Optik Alpenraum“ legt den Fokus auf den den Perimeter zwischen Erstfeld/Bonaduz und Bellinzona. Demnach interes-sieren aus dieser Optik die geographisch in diesem Perimeter anfallenden Emissionen, das heisst die Betriebsemissionen aller auf den Alpentransitachsen A2 und A13 verkehrenden Fahrzeuge. In der „Optik Umweltbilanz“ hingegen interessieren die Gesamtemissionen des alpenquerenden Güterverkehrs über Gotthard und San Bernardino; dies beinhaltet Betriebsemissionen und Emis-sionen der Vorprozesse von Strasse und Schiene, welche in den Alpen und auf den Zufahrtsstre-cken in der Schweiz und im Ausland verursacht werden. Nicht Gegenstand der vorliegenden Studie sind Verschiebungen in der Routenwahl der alpenquerenden Transporte, welche sich durch die Szenarien ergeben könnten.

Kapitel 2 erläutert die angewendete Methodik und enthält auch die Zwischenresultate der den Emissionsberechnungen zugrunde liegenden Fahrleistungen. Kapitel 3 präsentiert die Re-sultate der Emissionsberechnungen, und Kapitel 4 präsentiert eine Synthese der Resultate.

2. METHODIK UND MENGengerÜSTE

Die nachfolgenden Kapitel enthalten eine Beschreibung der in der vorliegenden Studie angewendeten Methodik. Kapitel 2.1 gibt einen Überblick über die untersuchten Szenarien, Transportarten und geographischen Räume. Kapitel 2.2 und 2.3 erläutern für Strasse und Schiene die Operationalisierung der den Szenarien zugrunde liegenden Annahmen und beschreiben die für die Emissionsberechnung notwendigen Schritte. Die Zwischenresultate der Fahrleistungen sind in Kapitel 2.4 aufgeführt.

2.1. ÜBERBLICK

Der vorliegende Bericht evaluiert die Emissionen des alpenquerenden Güterverkehrs (sowie des Personenverkehrs auf der Strasse im engeren Alpenraum, s. unten) auf der Gotthard- und San Bernardino-Achse für das Jahr 2020. Dabei werden sechs Mengenszenarien und fünf Technologie-Szenarien untersucht (Tabelle 2).

Die Mengenszenarien unterscheiden sich nach der Anzahl jährlicher Fahrten alpenquerender schwerer Güterfahrzeuge (SGF). Sie beinhalten vier unterschiedliche Grade der Zielerreichung der Verlagerungspolitik, sowie zwei Szenarien, in denen spezifische Massnahmen zur Mengenbeeinflussung unterstellt werden. Diese Szenarien werden in Kapitel 2.1.1 genauer beschrieben.

In den Technologieszenarien werden die Potenziale der Einführung der neuen Abgasgrenzwertstufe EURO-6/VI bzw. eines reduzierten Geschwindigkeitsregimes für Personenwagen (100 km/h) verglichen. Sie werden in Kapitel 2.1.2 genauer beschrieben.

„Referenzzustand“ bzw. „Referenzszenario“ für 2020 bezeichnet die Kombination des Realszenarios Verlagerung für das Mengenniveau mit der Referenzentwicklung bei den Technologieszenarien.

Die Emissionsberechnungen basieren bezüglich Emissionsfaktoren auf der aktuellen Version des Handbuchs für Emissionsfaktoren (HBEFA), Version 3.1 (s. BAFU 2010a) bzw. Ecoinvent für die Vorprozesse und bezüglich Verkehrsmengen auf dem mit Hilfe der Automatischen Strassenverkehrs-zählung 2010 (AVZ, ASTRA 2012) kalibrierten Verkehrsmodell des UVEK (VM-UVEK).

SZENARIO-ÜBERSICHT						
Technologie-Szenarien →		Referenzentwicklung 2020	Halbe Effizienz Euro-VI	BAT SGF Euro-VI	BAT alle Fz Euro-6/VI	PW Tempolimit 100
Mengenszenarien ↓	Anz. alpenquerende SGF					
Realszenario Verlagerung	1'457'000	X	X	X	X	X
Verlagerungsziel erreicht	650'000	X	X	X	X	
Zwischenziel erreicht	1'000'000	X	X	X	X	
Keine Verlagerungspolitik	2'250'000	X	X	X	X	
Nachfahrverbot aufheben	1'673'000	X				
Teil-Verlagerungszwang	1'331'000	X				

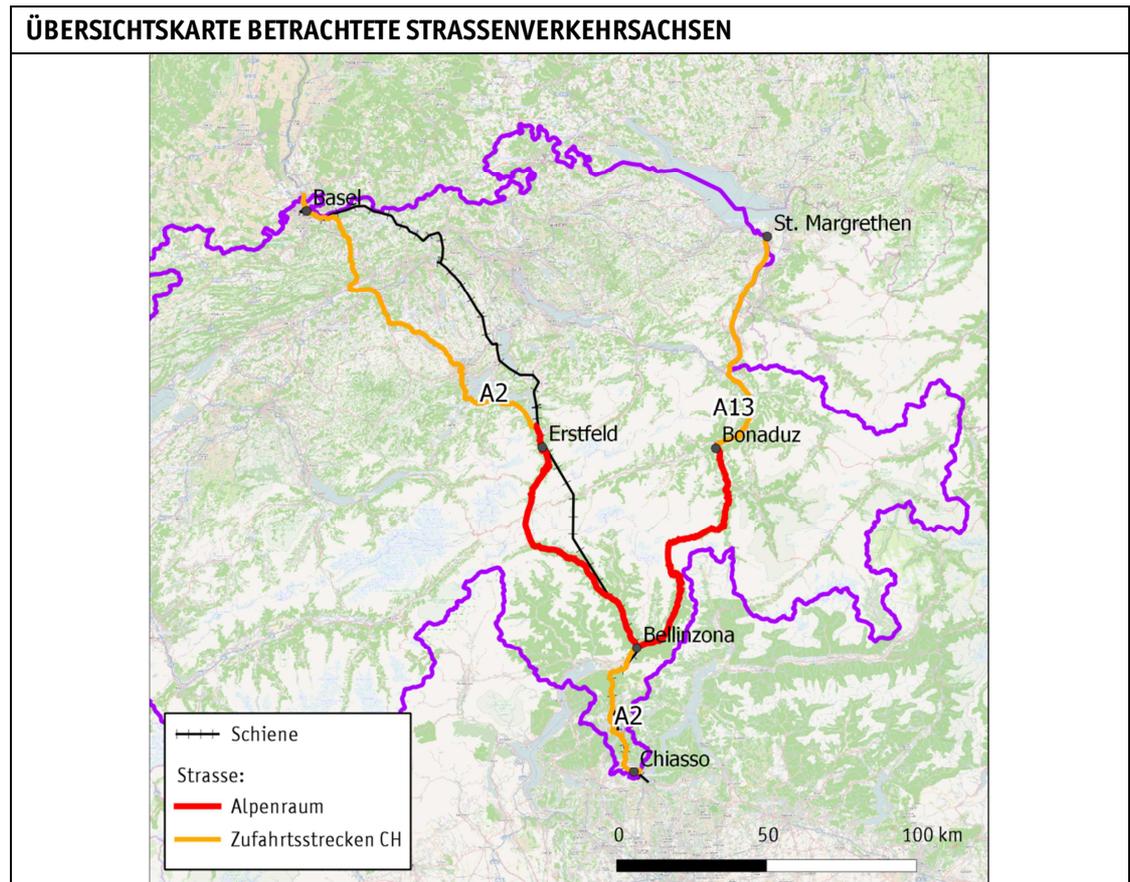
Tabelle 2 Szenario-Übersicht. Die Resultate zum Referenzzustand (Realszenario Verlagerung kombiniert mit der technologischen Referenzentwicklung) werden in Kap. 3.1 beschrieben. Die Mengenszenarien werden in Kap. 3.2 verglichen, und die Technologie-Szenarien in Kap. 3.3. Kreuze bezeichnen untersuchte Kombinationen von Mengen- und Technologie-Szenarien. Orange Felder: Abschätzung Strassen- und Schieneneffekte. Weisse Felder: nur Strasse)

Geographisch werden für den Strassenverkehr folgende Räume (Verkehrsachsen) untersucht (Figur 9):

- › Die Strecken der A2 (Gotthardachse) und die A13 (San Bernardino-Achse) im Alpenraum. Die Grenze dieses Perimeters wird im Süden bei Bellinzona gezogen, wo sich Gotthard- und San Bernardino-Achse treffen. Im Norden liegt die Begrenzung auf der Gotthardachse bei Erstfeld und auf der San Bernardino-Achse bei Bonaduz.
- › Die Zufahrtsstrecken in der Schweiz. Diese umfassen im Norden die A2 von Basel über Härkingen und Luzern bis Erstfeld und die A13 von St. Margrethen über Chur nach Bonaduz. Die südliche Zufahrtsstrecke in der Schweiz umfasst die A2 von Bellinzona bis Chiasso.
- › Zufahrtsstrecken im Ausland: Diese werden als mittlere fahrleistungsgewichtete Distanz zu verschiedenen Zielen im Norden und im Süden der Schweiz (bekannt aus BAV 2011b, BAV 2012) einbezogen.

Für den Alpenraum werden alle Strassenverkehrsemissionen, d.h. die Emissionen der schweren Güterfahrzeuge sowie des Restverkehrs (Personenverkehr und leichte Güterfahrzeuge) berechnet. Für die Zufahrtsstrecken im Inland interessieren die Emissionen des alpenquerenden Güterverkehrs; der Rest des Güterverkehrs wird jedoch in Kap. 3.1.2 auch ausgewiesen. Für die Zufahrtsstrecken im Ausland wird nur der alpenquerende schwere Güterverkehr berücksichtigt.

Die Untersuchung der Schienenemissionen beschränkt sich auf den alpenquerenden Güterverkehr auf der Strecke Basel-Chiasso und die Zufahrtsstrecken im Ausland; die Strecke in der Schweiz wird räumlich nicht weiter differenziert.



Figur 9 Übersicht über die betrachteten Strassenverkehrsachsen in der Schweiz. Die Zufahrtsstrecken im Ausland sowie die Feinverteilung von Gütern in der Schweiz sind nicht in der Karte dargestellt, da sie nicht einzeln modelliert, sondern als fahrleistungsgewichtete mittlere Distanz berücksichtigt werden.

2.1.1. MENGENSZENARIEN

Im Jahr 2011 querten rund 1.25 Mio. schwere Güterfahrzeuge die Alpen in der Schweiz (BAV 2011a). Für das Jahr 2020 werden für das **Real-Szenario Verlagerung** 1.457 Mio. alpenquerende Gütertransporte angenommen (vgl. Tabelle 4). Diese verteilen sich auf die vier Alpenübergänge Gotthard, San Bernardino, Simplon und Grosser St. Bernhard, wobei die ersten beiden innerhalb des MFM-U-Untersuchungsgebiets liegen und auch den grössten Anteil (ca. 90%) des schweizerischen alpenquerenden Güterverkehrs aufnehmen.

Die weiteren Mengenszenarien sind ebenfalls durch die Anzahl alpenquerender schwerer Gütertransporte an allen Alpenübergängen definiert. Drei davon untersuchen verschiedene Grade der Zielerreichung der Verlagerungspolitik:

- › Das **Verlagerungsziel** umfasst noch 650'000 jährliche alpenquerende Fahrten schwerer Güterfahrzeuge,
- › das **Zwischenziel**, welches 2011 hätte erreicht werden sollen, umfasst 1 Million Fahrten (BAV 2011a),
- › **ohne Verlagerungspolitik** (d.h. ohne LSVA, max. 28t-LKW zugelassen) wird angenommen, dass bis 2020 ungefähr 2.25 Millionen schwere Güterfahrzeuge die Alpenübergänge queren würden (vgl. Tabelle 5).

Zwei weitere Mengenszenarien untersuchen gezielte Massnahmen zur Mengensteuerung des alpenquerenden schweren Güterverkehrs:

- › Das Szenario „**Nachtfahrverbot aufheben**“ unterstellt zwei Wirkungen einer Aufhebung des Nachtfahrverbots: Einerseits einen Routenwahleffekt, d.h. Verlagerung von Lastwagenfahrten v.a. vom Brenner in die Schweiz, da dann ein Teil der LKW den kürzesten Weg via Schweiz vorzieht; und andererseits einen Modalspliteffekt, d.h. eine Rückverlagerung von Schiene auf Strasse. Beide Effekte resultieren in einem höheren schweren Güterverkehrsaufkommen an den Schweizer Alpenübergängen.
- › Das Szenario „**Teil-Verlagerungszwang**“ gilt für bahnaffine Güter. Es wird ein sektorales Fahrverbot unterstellt, welches die Transporte bestimmter Güterkategorien (z.B. Fahrzeugtransporte, Massengüter wie Abfälle, Steine, Erze, Schrott) auf der Strasse verbietet und somit auf die Bahn verlagert.

Für den Restverkehr, also Personenverkehr, leichte Güterfahrzeuge, und nicht-alpenquerender schwerer Güterverkehr, wird für alle Mengenszenarien mit dem gleichen Wachstum, d.h. dem schweizerischen Durchschnitt zwischen 2010 und 2020, ausgegangen (vgl. Tabelle 3).

2.1.2. TECHNOLOGIE-SZENARIEN

In den Technologieszenarien werden die Potenziale der Einführung der neuen Abgasgrenzwertstufe EURO-6/VI bzw. eines reduzierten Geschwindigkeitsregimes für Personenwagen (100 km/h) verglichen:

- › Das Szenario „**halbe Effizienz Euro-VI**“ unterstellt, dass die in HBEFA 3.1 angenommenen Absenkraten für die neuesten Technologien möglicherweise zu optimistisch sind. Entsprechend soll hier die Reduktion der NO_x-Emissionen zwischen den Emissionsstandards Euro-5/V und Euro-6/VI halbiert werden.
- › Das Szenario **BAT³ „alle SGF Euro-VI“** unterstellt, dass alle schweren Güterfahrzeuge (SGF) der Euro-Klasse VI entsprechen.
- › Das Szenario **BAT „alle Fahrzeugkategorien Euro VI“** unterstellt, dass alle Fahrzeuge dem Euro-6/VI-Standard entsprechen (bzw. dem höchsten existierenden Standard – für Motorräder ist noch kein Euro-6-Standard definiert).
- › Das Szenario „**PW Tempolimit 100**“ bedeutet ein Tempolimit von 100 km/h für Personenkraftwagen im Alpenraum.

2.2. METHODIK STRASSENVERKEHR

2.2.1. VERKEHRSMENGENGERÜST REAL-SZENARIO VERLAGERUNG

Netz und Gesamtbelastung für die Achsen A2 und A13

Das Modellnetz (mit den Attributen der Strassenabschnitte) sowie die abschnittswiseen Gesamtbelastungen für die Alpentransitachsen A2 und A13 wurden aus dem Verkehrsmodell des UVEK (VM-UVEK⁴) übernommen, welches anhand der Zählstellendaten der Automatischen Verkehrszählung (AVZ, ASTRA 2012) des Jahres 2010 kalibriert wurde. Auf diese für 2010 geltenden Belastungswerte wurden Wachstumsfaktoren für die Schweiz für den Zeitraum 2010-2020 aus ARE (2012, s. Tabelle 3) angewendet, um Gesamtbelastungen für 2020 zu erhalten.

WACHSTUM GESAMTBELASTUNGEN 2010-2020	
Fahrzeugkategorie	Veränderung Fahrleistung 2010-2020
PW	+12.6%
LI	+9.0%
RBus	-1.0%
MR	+12.6%
SGF	+16.0%

Tabelle 3 Wachstum der Gesamtbelastung auf den Alpentransitachsen A2 und A13 zwischen 2010 und 2020.

³ BAT = „best available technology“

⁴ Modellierung DTV 2010, vom 28.10.2011

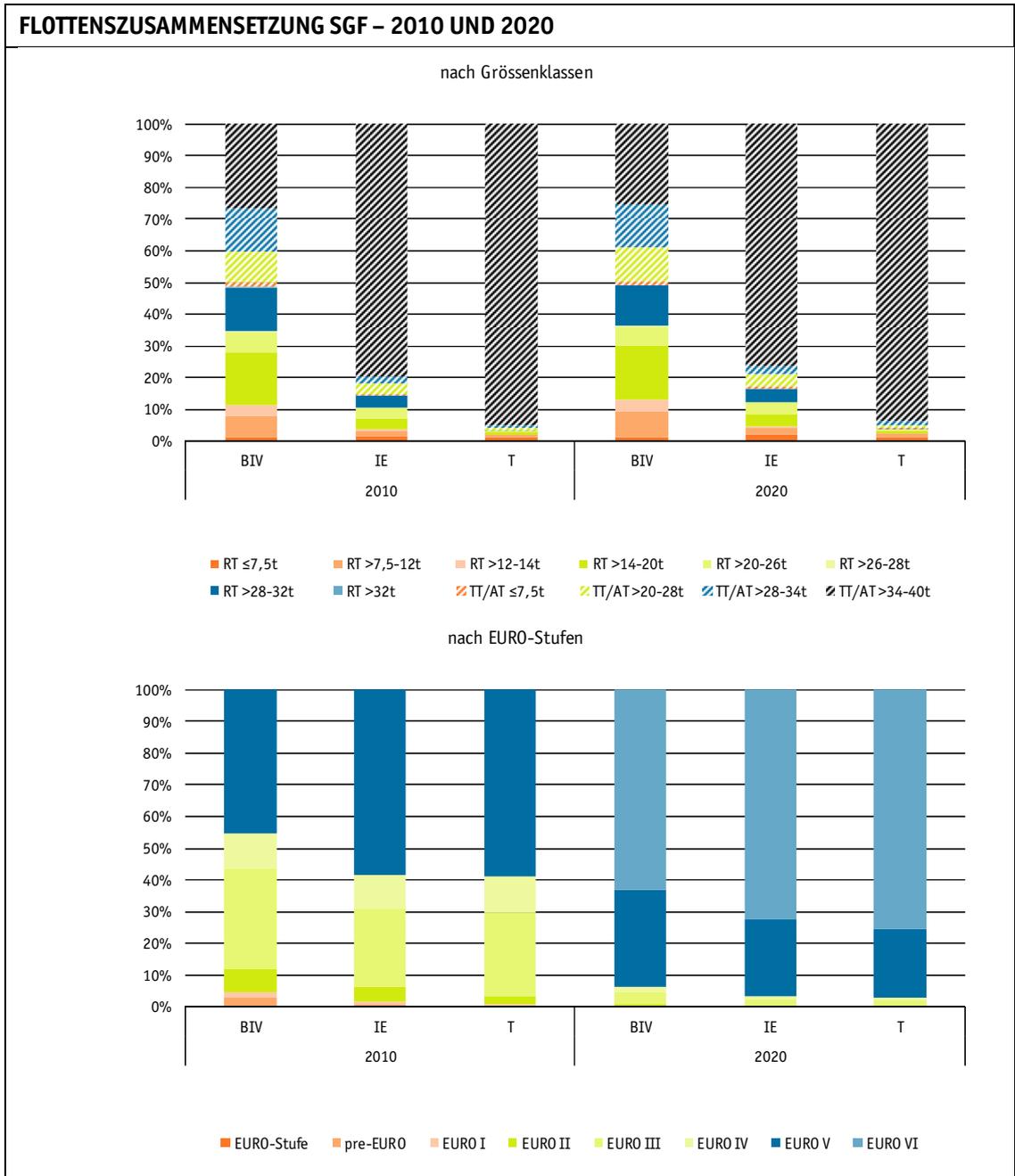
Flottenzusammensetzung

Die Flottenzusammensetzungen der nicht-SGF (PW, MR, LNF, nicht alpenquerende SGF, etc.) entsprechen dem Schweizer Mittel gemäss BAFU 2010.

Die Flottenzusammensetzung für den alpenquerenden schweren Güterverkehr unterscheidet sich nach Verkehrsart (Binnen-, Import-, Export und Transitverkehr). Die Flottenzusammensetzungen bezüglich Grössenklassen und EURO-Standards nach Verkehrsarten sind in Figur 10 illustriert (Detaildaten in Annex I (Tabelle 16, Tabelle 3) dargestellt⁵. Die Flottenzusammensetzungen sind charakterisiert durch folgende Elemente:

- › Im Binnenverkehr verkehren je ca. zur Hälfte Lastwagen und Sattel-/Lastenzüge, während im Import/Export- und Transitverkehr der Verkehr grossmehrheitlich mit Sattel- und Lastenzügen abgewickelt wird.
- › 95% des Transitverkehrs wird mit Sattel-/Lastenzügen bis max. 40t Gesamtgewicht („40-Tönnner“) abgewickelt, im Import-/Export-Verkehr sind es immerhin noch gut drei Viertel des Verkehrs. Im Binnenverkehr machen die 40-Tönnner dagegen lediglich 25% der Fahrzeuge aus.
- › Die modernsten (und damit saubersten) Fahrzeuge verkehren im Import-/Export- und Transitverkehr. Drei Viertel der Fahrzeuge im internationalen Verkehr (IE, T) werden 2020 EURO-VI-Fahrzeuge sein, weitere gut 20% EURO-V. Im Binnenverkehr ist namentlich der EURO-VI-Anteil 2020 geringer, er macht rund 63% der Fahrzeuge aus.
- › Die Flottenzusammensetzung nach EURO-Stufen ist insgesamt sehr dynamisch: Während beispielsweise 2010 der EURO-V-Anteil im Transitverkehr noch bei rund 60% liegt, entspricht ein Grossteil der Flotte in zehn Jahren bereits den EURO-VI-Grenzwerten.

⁵ Die Flottenzusammensetzungen aus BAFU 2010 wurden für vorliegendes Projekt an die neuesten Entwicklungen angepasst. Basis dafür sind Auswertungen der LSVA-Logfiles (Auswertungen von Daten des BAV 2001 bis 2012) bzw. eigene Extrapolationen bis 2020.



Figur 10 Flottenzusammensetzungen schwere Güterfahrzeuge SGF, nach Grössenklassen (oben) und EURO-Stufen (unten). Die Werte 2010 sind zu Vergleichszwecken angegeben.

Alpenquerender Güterverkehr auf den Achsen A2 und A13

Die Modellinputs für den alpenquerenden schweren Güterverkehr (AQGV) auf A2 und A13 unter dem Referenzzustand, Realszenario Verlagerung, basieren auf folgenden Annahmen (vgl. Tabelle 4):

- › Total 1.457 Millionen Fahrten alpenquerender schwerer Gütertransporte an allen vier Schweizer Alpenübergängen (abgeleitet aus heutigem Belastungsniveau und oben genannten Wachstumsfaktoren, siehe Tabelle 3).
- › Diese verteilen sich auf die einzelnen Alpenübergänge nach den gleichen Anteilen wie im Jahr 2010: Demnach entfallen 75% auf den Gotthard, 15% auf den San Bernardino, und die restlichen 10% auf Simplon und Grosser St. Bernhard (BAV 2011c).
- › Die Anteile nach Verkehrsart an der Gesamtbelastung schwerer Gütertransporte an den Alpenübergängen beruhen auf den Resultaten des „Tischmodells Güterverkehr“ des BAV (BAV 2012, Tabelle 4).
- › Gemäss dem „Tischmodell Güterverkehr“ (BAV 2012) kommen 10% des alpenquerenden Import/Export-Verkehrs aus dem Norden ins Tessin bzw. gehen aus dem Tessin Richtung Norden. 90% überqueren die Alpen aus dem Süden Richtung Deutschschweiz und umgekehrt. Weiter wird angenommen, dass der aus dem Norden kommende Importverkehr im Durchschnitt bis Bellinzona verkehrt bzw. der in den Norden gehende Exportverkehr aus der Region Bellinzona stammt. Für den südwärts gerichteten Import/Export wird unterstellt, dass Start/Ziel auf der Gotthardachse Härkingen ist, und auf der San Bernardino-Achse St. Margrethen. Diese vereinfachende Annahme wurde zur Operationalisierung für die abschnittsweise Berechnung getroffen. Die geographischen Start- und Endpunkte sind dabei sekundär, wichtig ist, dass die zurückgelegten Durchschnitts-Distanzen plausibel sind.
- › Vom alpenquerenden Binnenverkehr ist bekannt, dass die durchschnittlich zurückgelegte Distanz der Güter rund 220 km beträgt (BAV 2011b). Aus der Multiplikation dieser Distanz mit der Anzahl Binnenverkehrs-Fahrten an den Alpenübergängen lassen sich die Fahrleistungen des alpenquerenden Binnengüterverkehrs herleiten. Die Differenz dieser Fahrleistungen zu den gesamten Fahrleistungen des Binnenverkehrs sind Lastwagenfahrten auf A2 und A13, welche die Alpen nicht überqueren.

BELASTUNGEN SGF AN ALPENÜBERGÄNGEN 2020, REAL-SZENARIO VERLAGERUNG				
Übergang	Total SGF-Fahrten	Binnenver- kehr	Import / Export	Transitver- kehr
Gotthard (Tunnel)	1'094'147	29%	20%	51%
San Bernardino	216'051	25%	30%	45%
Alle Alpenübergänge	1'457'000	26%	26%	48%

Tabelle 4 Jährliche Anzahl Fahrten schwerer Güterfahrzeuge (SGF), sowie Anteile Binnenverkehr, Import/Export und Transitverkehr, an den Alpenübergängen unter dem Real-Szenario Verlagerung (Quelle: BAV 2012).

Alpenquerender Güterverkehr im Ausland

Von den Zufahrtsstrecken im Ausland sind aus der Untersuchung des alpenquerenden Güterverkehrs 2009 sowie aus dem „Tischmodell Güterverkehr“ des BAV (BAV 2011b, BAV 2012) die Gütermengen sowie deren Quellen und Ziele im Norden und Süden der Schweiz bekannt. Aus diesen Informationen konnten fahrleistungsgewichtete mittlere Distanzen des alpenquerenden Güterverkehrs im Ausland ermittelt werden. Die durchschnittlich im Norden zurückgelegte Distanz beträgt 510 km, die durchschnittlich im Süden zurückgelegte Distanz 259 km. Für den Transitverkehr wurde die gesamte Anzahl Fahrten mit beiden Distanzen multipliziert. Für den Import-/Exportverkehr wurden wiederum im Norden der Schweiz 10% der Fahrten, und im Süden 90% angenommen.

Verkehrssituationen

Die Verkehrssituationen (Kombination von Strassentyp, signalisierter Geschwindigkeit und Steigungsklasse) wurden aus dem Linknetz des VM-UVEK übernommen. Die Zuweisung von „Levels of Service“ (Verkehrszustandsklassen, von Freeflow über Heavy und Saturated bis Stop&Go) erfolgte pro Streckenabschnitt anhand des Verhältnisses α von stündlicher Verkehrsbelastung und stündlicher Kapazität (Schwellenwerte s. Annex 2). Die stündliche Verkehrsbelastung wurde basierend auf dem durchschnittlichen täglichen Verkehr (DTV) des VM-UVEK anhand relativer Wochentags-, Monats- und Jahresganglinien geschätzt, welche aus Daten repräsentativer Zählstellen der Schweizerischen Automatischen Verkehrszählung (AVZ, vgl. ASTRA 2012) des Jahres 2010 entlang der betrachteten Verkehrsachsen abgeleitet wurden.

Für das Ausland wurden die Verkehrssituationen nicht abschnittsweise bestimmt. Der für die Zufahrtsstrecken in der Schweiz geltende Mix wurde durch die Verwendung der abgeleiteten Emissionsfaktoren dieser Strecken für das Ausland implizit übernommen (vgl. Kap. 2.2.3).

Die aus der beschriebenen Methodik resultierenden Fahrleistungen für das Realszenario Verlagerung im Referenzzustand sind in Tabelle 7 festgehalten.

2.2.2. VERKEHRSMENGENGERÜSTE FÜR RESTLICHE MENGENSZENARIOEN

Die Verkehrsmengengerüste (VMG) für die weiteren Mengenszenarien wurden aus dem VMG für das Realszenario Verlagerung abgeleitet, wobei jeweils ausschliesslich der schwere Güterverkehr verändert wurde.

Für die beiden Szenarien **„Verlagerungsziel erreicht“** sowie **„Zwischenziel erreicht“** wurde davon ausgegangen, dass der Binnenverkehr von der Verlagerung unbeeinflusst bleibt. Import/Export- sowie Transitverkehr wurden gemäss ihren Anteilen unter dem „Real-Szenario Verlagerung“ reduziert.

Aus der Vorgabe von 650'000 (Verlagerungsziel) respektive 1'000'000 (Zwischenziel) Fahrten an allen Übergängen liess sich die Menge Fahrzeuge pro Pass aufgrund der fürs Real-Szenario geltenden Verteilung ableiten (Tabelle 5). Davon wurden wiederum die Binnenverkehrsfahrten (gleiche Anzahl wie unter dem Real-Szenario, da unbeeinflusst) abgezogen und die restliche Anzahl Fahrten gemäss ihrem relativen Anteil unter dem Real-Szenario Verlagerung auf Import/Export- und Transitverkehr verteilt.

Nachdem so die SGF-Belastung nach den drei Transporttypen Binnen-, Import/Export und Transitverkehr (BIET) an den Alpenübergängen bekannt war, wurden für Import-/Export- und Transitverkehr die jeweiligen Differenzen zum Real-Szenario Verlagerung gebildet und diese auf alle Streckenabschnitte des Modellnetzes angewendet. Die Aufteilung des Import-/Exportverkehrs in die beiden Richtungen wurde analog zum Real-Szenario Verlagerung mit 90% (Süd-Nord) zu 10% (Nord-Süd) angenommen.

Für das Szenario **„Keine Verlagerungspolitik“** wurde unterstellt, dass die im Real-Szenario transportierten Güter mit 28t-Fahrzeugen statt mit 40t-Fahrzeugen transportiert werden. Dies resultiert in zusätzlichem Aufkommen an schweren Güterverkehrsfahrten über die Alpenübergänge, insgesamt 2.25 Millionen/Jahr (vgl. Tabelle 2). In ECOPLAN,INFRAS 2011 wurde untersucht, wie sich die Erhöhung der Tonnenlimite und die Einführung der LSVA auf Verkehrs- und Fahrleistungen auswirkt. Daraus resultiert die Annahme, dass die Fahrleistungen von Binnen-, Import/Export- und Transitverkehr im Jahr 2020 ohne Verlagerungspolitik um die folgenden Beträge höher liegen würden als im Real-Szenario:

- › Die Fahrleistungen des Binnenverkehrs um +17.5%
- › Die Fahrleistungen des Import/Export-Verkehrs um +55%

› Die Fahrleistungen des Transitverkehrs um +70%

Im Szenario **„Nachtfahrverbot aufheben“** wird angenommen, dass die Aufhebung des Nachtfahrverbots zu 200'000 zusätzlichen Transit-Fahrten an den Übergängen führt (vgl. Tabelle 5). Diese Zahl wurde in eine Differenz im DTV an den Alpenübergängen umgerechnet und dann dieselbe Differenz in Transittfahrten auf alle Streckenabschnitte der jeweiligen Achse angewendet.

Im Szenario **„Teil-Verlagerungszwang“** wird unterstellt, dass vom sektoralen Fahrverbot (SFV) die gleichen Warengruppen betroffen wären wie am Brenner, wo eine solche Verordnung stufenweise seit Mai 2008 eingeführt worden ist. Daraus wurde der Anteil SFV-affiner Güter an Binnenverkehr, Import, Export und Transitverkehr am Gotthard abgeschätzt (siehe Oekoscience 2013). Dies resultiert in einer Differenz jährlicher Binnen-, Import/Export- und Transittfahrten an Gotthard und San Bernardino, welche in eine DTV-Differenz umgewandelt und auf alle Streckenabschnitte der jeweiligen Achsen appliziert wird (vgl. Tabelle 5).

Die resultierenden Fahrleistungen unter den weiteren Mengenszenarien sind in Tabelle 7 festgehalten.

BELASTUNGEN SGF AN ALPENÜBERGÄNGEN, 2020, WEITERE MENGENSZENARIOEN					
Mengenszenario	Übergang	Total SGF-Fahrten	Binnenverkehr	Import / Export	Transitverkehr
Verlagerungsziel erreicht	Gotthard	512'131	62%	11%	27%
	San Bernardino	94'556	57%	17%	26%
Zwischenziel erreicht	Gotthard	759'519	42%	16%	42%
	San Bernardino	146'198	37%	25%	38%
Keine Verlagerungspolitik	Gotthard	1'659'714	23%	20%	57%
	San Bernardino	329'055	19%	31%	50%
„Nachtfahrverbot aufheben“	Gotthard	1'250'270	26%	17%	57%
	San Bernardino	243'224	22%	27%	51%
„Teil-Verlagerungszwang“	Gotthard	976'755	30%	20%	49%
	San Bernardino	192'732	26%	31%	43%

Tabelle 5 Jährliche SGF-Fahrten an den Alpenübergängen Gotthard und San Bernardino im Jahr 2020 unter den weiteren untersuchten Mengenszenarien, mit Aufteilung in Binnen-, Import/Export- und Transitverkehr.

2.2.3. EMISSIONSMODELLIERUNG

Betriebsemissionen (warm)

Die „Tank-to-Wheel“ (TTW, d.h. die im Betrieb entstehenden) CO₂-, NO_x- und Partikelemissionen wurden mit dem Modell EMOD (INFRAS 2007a) berechnet. Dazu wurden die Emissionsfaktoren aus dem Handbuch für Emissionsfaktoren (HBEFA) Version 3.1 (BAFU 2010a) verwendet. Die Emissionsfaktoren verschiedener Luftschadstoffe und Klimagase unterscheiden sich je nach Fahrzeugkategorie, Fahrzeugeigenschaften, Längsneigung der Strasse und Verkehrssituation. Die durchschnittlichen Emissionsfaktoren pro Fahrzeugkategorie (PW weiter aufgetrennt in Benzin/Diesel, Lastwagen in Transit/Import-Export/Binnenverkehr) und Untersuchungsraum (Alpen/Zufahrtsstrecken) sind in Annex 3 (Tabelle 19, Tabelle 20) dargestellt.

Für das Referenzszenario und die Mengenszenarien (ausser „Keine Verlagerungspolitik“, siehe unten) wurden diese Emissionsfaktoren unverändert angewendet.

Für die Technologieszenarien, sowie das Mengenszenario „Keine Verlagerungspolitik“, wurden die Emissionsfaktoren folgendermassen modifiziert:

› **Szenario „halbe Effizienz Euro-VI“**: Die in HBEFA 3.1 angenommenen Absenkraten der Emissionsfaktoren für NO_x und PM10 von Euro-5/V zu Euro-6/VI wurden halbiert, d.h.

$$EFA \text{ Euro } 6/VI_{Sz \text{ halbeEffizienz}} = (EFA \text{ Euro } 5/V_{HBEFA 3.1} + EFA \text{ Euro } 6/VI_{HBEFA 3.1}) / 2$$

› **Szenario BAT „alle SGF Euro-VI“**: Für alle schweren Güterfahrzeuge (SGF) und alle Stoffe wurden die Emissionsfaktoren der Euro-Klasse VI angewendet.

› **Szenario BAT „alle Fahrzeugkategorien Euro VI“**: Für alle Fahrzeugkategorien und alle Stoffe wurden die Emissionsfaktoren der Euro-Klasse VI angewendet.

› **„PW Tempo 100“**: Für alle Streckenabschnitte im Alpenraum, auf denen im Referenzzustand Tempo >100 km/h gilt (ca. 70 km von total 200 km auf A2 und A13), wurden die Verkehrssituationen dermassen angepasst, dass neu die analoge HBEFA-Verkehrssituation für Tempo 100 zur Anwendung kam.

› **„Keine Verlagerungspolitik“**: Auf die Beibehaltung der 28t-Limite sind zwei Reaktionsmuster denkbar:

› **Reaktionsmuster A**: Die Fracht wird mit kleineren Fahrzeugen, also eigentlichen 28t-LKW transportiert. Die Auslastung der Fahrzeuge steigt aufgrund laufender Optimierungen durch die Branche 5 von 15 möglichen Tonnen Fracht (also 33% Auslastung) auf 8.6t pro Fahrzeug im Jahr 2020 (also 57% Auslastung) (BAV 2011c). Dies führt zu höheren Emissionsfaktoren.

- › Reaktionsmuster B: Die Fracht wird mit 40t-Fahrzeugen transportiert, welche aber aufgrund der Gewichtslimite nicht ausgelastet werden können. Die Auslastung sinkt von durchschnittlich 52% (12.9 von 25 möglichen Tonnen Fracht) auf 34% (8.6 von 25 möglichen Tonnen Fracht). Die Emissionsfaktoren dieser Fahrzeuge sind zwar grundsätzlich höher als die der 28t-Fahrzeuge, durch die geringere Auslastung sinken sie aber.
- › Für die Emissionsberechnung wurde davon ausgegangen, dass beide Reaktionsmuster gleich relevant sind; sie werden daher gleich gewichtet. Die neuen Emissionsfaktoren wurden basierend auf dem Auslastungsgrad linear von den entsprechenden Emissionsfaktoren für 0%, 50% und 100% Auslastung aus HBEFA interpoliert.

Die Modellberechnungen in EMOD wurden für das Gebiet der Schweiz „linkwise“, d.h. auf Ebene der einzelnen Streckenabschnitte, durchgeführt. Für die Strecken im Ausland wurden die abgeleiteten Emissionsfaktoren der Zufahrtsstrecken in der Schweiz verwendet (s. Tabelle 19, Tabelle 20 in Annex 3).

Vorprozess-Emissionen

Die Emissionen bzw. der Energieverbrauch der Vorprozesse („Well-to-tank“, WTT – d.h. die aus der Herstellung der Treibstoffe resultierenden Emissionen) wurden mittels der WTT-Emissionsfaktoren aus der Ecoinvent-Datenbank Version 2.2 (Ecoinvent 2010) und der Masse der verbrauchten Benzin- bzw. Dieseltreibstoffe berechnet⁶. Da keine Prognosen zur zukünftigen Entwicklung der Emissionsfaktoren der Vorprozesse vorliegen, wurden die Werte für 2010 verwendet. Da voraussichtlich auch bei den Vorprozessen technologische Entwicklungen stattfinden werden, welche die Emissionen senken werden, führt die Verwendung der Faktoren für 2010 tendenziell zu einer Überschätzung der Vorprozess-Emissionen.

Bei den Vorprozess-Emissionen kann nicht strikt zwischen Abgas- und Nicht-Abgas-Emissionen unterschieden werden. Da gemäss Ecoinvent 2.2 (Ecoinvent 2010) grossmehrheitlich Verbrennungsprozesse hinter den Vorprozess-Emissionen stehen, werden die PM10-Vorprozess-Emissionen in diesem Bericht zu den PM10-Abgas-Emissionen gezählt.

⁶ Die Emissionsfaktoren in Ecoinvent liegen für den heutigen Zustand (2010) vor. Veränderungen in den Emissionsfaktoren der Vorprozesse einzelner Energieträger bis 2020 wurden hier nicht berücksichtigt.

2.3. METHODIK SCHIENENVERKEHR

2.3.1. VERKEHRSMENGENGERÜSTE

Die vorliegende Studie konzentriert sich auf die Veränderungen der Emissionen, welche sich durch die Verlagerung der Gütertransporte auf die Schiene ergeben. Die Betrachtung fokussiert auf die Achse Basel – Gotthard – Chiasso (bzw. die dazugehörigen ausl. Zufahrten), da sich sowohl die Verlagerungen auf die ROLA als auch im UKV auf diese Achse beschränken (ROLA Lötschberg ist heute bereits nahezu ausgelastet).

Das Verkehrsmengengerüst für die Gotthardachse für den Referenzzustand stammt aus einem SVI-Forschungsprojekt zum Güterverkehr in der Schweiz (SVI [in Bearbeitung]). Es beinhaltet die Strecke Basel-Chiasso und die darauf verkehrenden Güterzüge. Vereinfachend wird davon ausgegangen, dass alle Güterzüge alpenquerend sind⁷.

Für die restlichen Szenarien wurden die über dem jeweiligen Verlagerungsniveau liegenden Fahrten vollständig auf die Schiene verlagert. Dem liegt die Annahme zugrunde, dass Massnahmen zur Verlagerung zwischen den Alpenländern zwingend koordiniert werden müssen, so dass die Schweiz nicht im Alleingang verlagerungspolitische Massnahmen beschliessen könnte, welche in der Folge zu Umwegfahrten auf der Strasse über französische und österreichische Alpenübergänge führen würden. Für die Operationalisierung waren folgende weitere Annahmen notwendig:

- › Der Import/Exportverkehr wird im unbegleiteten kombinierten Verkehr (UKV) abgewickelt, während der Transitverkehr auf eine (hochwertige) Rollende Landstrasse (ROLA) gelangt, die aber nicht alle zu verlagernden Fahrten aufnehmen kann; die verbleibenden Fahrten werden ebenfalls auf den UKV verlagert.
- › Zur hochwertigen ROLA wird ein Angebot von 400'000 Stellplätzen angenommen, wovon 110'000 via Lötschberg/Simplon und 290'000 via NEAT-Flachbahn am Gotthard/Ceneri geführt werden⁸. Sämtliche zusätzlichen ROLA-Züge fallen auf der Gotthard/Ceneri-Linie zwischen Freiburg im Breisgau und Chiasso an, da die Lötschberg-Simplon-Linie bereits heute ausgelastet ist. Die Auslastung des Angebots wird der heutigen (mittleren und damit insgesamt sehr hohen) Auslastung der ROLA von 85% gleichgesetzt. Zur Ermittlung der Zugzahlen wird von

⁴ Die entlang der gesamten Strecke Basel-Chiasso ähnlichen Zugzahlen und Tonnagen (ca. 200 Züge resp. 180'000 Bt/Tag) lassen darauf schliessen, dass der Grossteil der Züge alpenquerend ist. Wird die Fahrleistung auf der Strecke durch Multiplikation der Belastung am Gotthard (d.h. auf der NEAT-Flachbahn) mit der Distanz der Strecke Basel-Chiasso (270 km) berechnet, resultiert eine Fahrleistung von 18.47 Mio. Zugskm/Jahr, gegenüber den in diesem Bericht verwendeten 20.47 Mio. Zugskm/Jahr (s. Tabelle 8).

⁸ Dies in Anlehnung an entsprechende Überlegungen im Rahmen ZEB durch das BAV (Sensitivitätsbetrachtungen zu den Perspektiven des schweizerischen Güterverkehrs bis 2030, INFRAS und ProgTrans 2008).

25 Wagen je Zug ausgegangen, bei einer Auslastung von 85% werden 21 Wagen genutzt. Es wird von 225 Betriebstagen ausgegangen.

- › Für die auf den UKV zu verlagernde Fahrtenanzahl wird die damit verbundene Tonnage auf UKV-Sendungen umgerechnet, wobei 19.3 Tonnen je Sendung resp. 15 Tonnen je (zu verlagerndem) Fahrzeug⁹ unterstellt werden, zusätzlich unter der Annahme, dass 30 Sendungen auf einem UKV-Zug transportiert werden¹⁰.
- › Die durchschnittlichen zurückgelegten Distanzen des UKV im Ausland betragen im Norden 595 km ab Grenze und im Süden 111 km (Abschätzung aufgrund der Gütermengen sowie deren Quellen und Ziele im Norden und Süden der Schweiz analog Strasse, basierend auf BAV 2011b, BAV 2012).

Die resultierenden verlagerten Zugfahrten pro Tag sind in Tabelle 6 dargestellt.

VERLAGERUNGSEFFEKTE SCHIENE NACH SZENARIO IN ANZAHL ZÜGEN/TAG GEGENÜBER REF 2020 „REAL-SZENARIO VERLAGERUNG“		
Szenario	UKV	ROLA
REF 2020 – „Verlagerungsziel erreicht“ (650'000 SGF-Fahrten)	+65	+48
REF 2020 – „Zwischenziel erreicht“ (1 Mio. SGF-Fahrten)	+24	+48
Szenario „Nachtfahrverbot aufheben“	-12	-21
Szenario „Teil-Verlagerungszwang“	+16	±0

Tabelle 6 Differenz in Anz. Zügen pro Tag zum „Realszenario Verlagerung“ im Unbegleiteten Kombinierten Verkehr (UKV) und auf der Rollenden Landstrasse (ROLA).

Szenario „Keine Verlagerungspolitik“: Hier stellt sich die Frage, wie sich der Schienenverkehr ohne Verlagerungspolitik und flankierende Massnahmen (Abgeltungen im kombinierten Verkehr, Terminal-/ Anschlussgleisfinanzierungshilfen) seit deren Einführung entwickelt hätte. Die Abschätzung des Wachstums des Schienenverkehrs bis 2020 ohne verlagerungspolitische Förderungsmassnahmen geschieht auf der Basis des Wachstums zwischen 2000 und 2010. Für das Jahr 2010 wird von einem halbierten Wachstum (generelles Verkehrswachstum Güterverkehr Schiene) ausgegangen. Auf diesem Referenzpunkt 2010 aufsetzend, wird bis 2020 von einem Wachstum

⁹ Ausgehend von einer heutigen mittleren netto-Tonnage von 14 Tonnen je Fahrzeug im IET-Verkehr durch die Alpen gemäss der Erhebung AQQV 2009 (BAV 2011b) und der Überlegung einer weiteren Auslastungsoptimierung hin zu den an den französischen und österreichischen Übergängen bereits heute registrierten, geringfügig höheren Auslastungen, jedoch unter Berücksichtigung des zunehmenden Volumentrends bei der Beladung der Fahrzeuge im langlaufenden internationalen Verkehr.

¹⁰ Unter Beachtung der maximal möglichen Zuglänge, die heute auf den für den Nord-Süd-Verkehr die Zuglängen limitierenden Strecken auf der italienischen Seite fahrbar ist (= 575m); Sowie unter der Berücksichtigung eines Auslastungsgrads wie bei den UKV-Zügen von 85%.

von 20% ausgegangen; dies entspricht dem mittleren Wachstum eines sogenannten Nullfalls (d.h. ohne NEAT, analog der Betrachtung im Verlagerungsbericht 2011, BAV 2011a).

Szenario „**Nachtfahrverbot aufheben**“: Eine Aufhebung des Nachtfahrverbots würde die Attraktivität der Strasse erhöhen, was zu einer Rückverlagerung von 200'000 Lastwagenfahrten jährlich auf die Strasse führen würde (vgl. Kap. 2.2.2). Es wird angenommen, dass die Hälfte dieser Gütertransporte beim UKV und die andere Hälfte bei der ROLA wegfallen würde, da die ROLA besonders intensiv in der Nacht genutzt wird.

Szenario „**Teil-Verlagerungszwang**“: Es wird angenommen, dass die auf die Schiene verlagerten „bahnaffinen“ Güter (vgl. Kap. 2.2.2) per UKV transportiert würden.

2.3.2. EMISSIONSMODELLIERUNG

Die aus den Szenarien resultierenden Differenzen in den Schienenverkehrsemissionen zum Referenzzustand/Realszenario Verlagerung wurden via den Energieverbrauch der zusätzlichen bzw. wegfallenden ROLA- resp. UKV-Züge berechnet. Dazu wurde die Distanz der Strecke Basel-Chiasso mit dem mittleren Zugsgewicht der ROLA/UKV-Züge und deren spezifischem Energieverbrauch auf dieser Strecke multipliziert. Da die Schiene in der Schweiz zu nahezu 100% elektrifiziert ist, fallen keine CO₂- und NO_x- Emissionen aus dem Schienenbetrieb an. Betriebsemissionen (TTW) entstehen für Feinstaub aus Bremsen und Abrieb, für deren Berechnung fehlen aber die Grundlagen, insbesondere streckenspezifische Emissionsfaktoren. Aus diesem Grund wird lediglich in der untenstehenden Info-Box eine grobe Abschätzung der PM10-Betriebsemissionen für den Schienenverkehr für das Realszenario Verlagerung vorgenommen, welche aber aufgrund des unterschiedlichen Niveaus der Berechnungsgrundlagen nicht zusammen mit den restlichen Zahlen verrechnet und präsentiert wird (siehe Info-Box am Ende dieses Kapitels).

Die CO₂-, NO_x- und PM10-Emissionen und der Energieverbrauch der Vorprozesse (WTT) wurden mit Hilfe der Emissionsfaktoren aus der Ecoinvent-Datenbank Version 2.2 (Ecoinvent 2010) berechnet. Für die in der Schweiz anfallenden Emissionen wurden die Faktoren des SBB-Versorgungsmixes verwendet. Diese entsprechen den Werten für 2010, da beim SBB-Versorgungsmix keine wesentliche Veränderung bis 2020 zu erwarten ist.

Für die Auslandstrecken wurden die Emissionsfaktoren der Stromherstellung aus verschiedenen Energiequellen (aus Ecoinvent 2.2, siehe Tabelle 22 in Annex 3) gemäss deren erwarteten Anteilen am Bahnstrommix im Jahr 2020 gewichtet. Für den Güterverkehr im Norden wurde der Bahnstrommix für Deutschland verwendet, für den Güterverkehr im Süden derjenige von Italien.

Die in die Emissionsfaktoren einbezogenen Netzverluste basieren auf Ecoinvent 2.2 (Tabelle 25, Annex 3).

Für Deutschland stammen die Anteile der Energiequellen (Kohle, Öl, Gas, Kernenergie, Erneuerbare) am Bahnstrommix aus Pressemitteilungen und Publikationen sowie von Mitarbeitern der Deutschen Bahn (Deutsche Bahn 2012a, Deutsche Bahn 2012b, Gerhardt et al. 2011; persönliche Mitteilung, Deutsche Bahn, am 17.12.2012). Demgemäss wird für 2020 mit 35% Erneuerbaren Energien von, 10.5% Gas, 14% Kernenergie und 40.5% Kohle gerechnet. Die Feinaufteilung innerhalb dieser Anteile auf die einzelnen Energieträger (Braun- bzw. Steinkohle, Wasserkraft/Photovoltaik/Wind/Biomasse/andere Erneuerbare) geschah für die bereits heute konsumierten Mengen basierend auf den heutigen Anteilen (Frischknecht u. a. 2007, INFRAS und IFEU 2011) und für die zusätzlichen Anteile erneuerbarer Energien (v.a. Wasserkraft) auf den bereits erwähnten Mitteilungen und Publikationen der Deutschen Bahn. Die resultierenden, im vorliegenden Bericht verwendeten Anteile der Energieträger und die resultierenden Emissionsfaktoren für den deutschen Bahnstrom 2020 können in Annex 3 (Tabelle 23 - Tabelle 26 und Figur 26), eingesehen werden. Mit 494 g/kWh CO₂, 0.481 g/kWh NO_x und 0.048 g/kWh PM10 mögen die Emissionsfaktoren bis 2020 weniger stark sinken als erwartet. Der Grund dafür ist, dass aufgrund der Reduktion des Kernenergie-Anteils von 23% auf 14% der Kohlenanteil am Strommix mit 40.5% relativ hoch bleibt.

Für Italien stammen die Energieträger-Anteile auf einem Szenario der Sustainable Development Foundation für 2020 (persönliche Mitteilung, Sustainable Development Foundation, am 9.12.2012). Hier wird von einem Anteil Erneuerbarer Energien von 38% (entspricht dem Zielwert der International Energy Agency für den UCTE-Mix für 2030), 20% Kohle, 40% Gas und 2% Öl ausgegangen. Die Feinaufteilung innerhalb dieser Anteile auf die einzelnen Energieträger geschah wiederum basierend auf INFRAS und IFEU (2011). Die resultierenden, im vorliegenden Bericht verwendeten Anteile der Energieträger und die resultierenden Emissionsfaktoren für den italienischen Bahnstrom 2020 können ebenfalls in Annex 3 (Tabelle 23 - Tabelle 26 und Figur 26) eingesehen werden.

Bei den Vorprozess-Emissionen kann nicht strikt zwischen Abgas- und Nicht-Abgas-Emissionen unterschieden werden. Da gemäss Ecoinvent 2.2 (Ecoinvent 2010) grossmehrheitlich Verbrennungsprozesse hinter den Vorprozess-Emissionen stehen, werden die PM10-Vorprozess-Emissionen in diesem Bericht zu den PM10-Abgas-Emissionen gezählt.

INFO-BOX: FEINSTAUB-BETRIEBSEMISSIONEN DER SCHIENE

Die Schiene verursacht im Betrieb keine Luftschadstoff-Emissionen – mit Ausnahme von Feinstaub aus Abrieb und Bremsen. Die empirischen Grundlagen für deren Abschätzung in der Schweiz sind aber sehr

begrenzt: Gemäss einer Schätzung (INFRAS 2007b) betragen die Feinstaub-Emissionen aus Bremsen und Abrieb im Schienenbetrieb (ganze Schweiz, Personenverkehr und Güterverkehr) im Jahr 2004 ca. 800 - 1300 t/a. Rund die Hälfte davon wird durch den Schienengüterverkehr verursacht. Diese Schätzung basiert hauptsächlich auf Daten zu Materialverlusten an Bremsklötzen, Rädern, Schienen und Fahrdrabt. Die Faktoren, welche den Abrieb beeinflussen, sind bisher nur ungenügend erforscht. Aus Immissionsmessungen ist zum Beispiel bekannt, dass an Stellen, wo Züge oft anhalten müssen, sowie in Kurven, relativ viel Feinstaub aus Abrieb entsteht, während auf geraden Strecken, wo die Züge frei fahren können, fast kein Feinstaub freigesetzt wird.

Gemäss der Hochrechnung der gesamtschweizerischen Feinstaub-Betriebsemissionen der Schiene für 2020 des BAFU (Submission für die Konvention über weiträumige grenzüberschreitende Luftverreinigung der UNECE) sowie unter der Annahme, dass sich die Feinstaub-Betriebsemissionen des alpenquerenden Güterverkehrs gemäss Fahrleistung proportional zu den Emissionen des Güterverkehrs in der Schweiz verhalten, würde der alpenquerende Güterverkehr im Jahr 2020 unter dem „Realszenario Verlagerung“ auf der Gotthardachse 225 t Feinstaub verursachen. Dazu kämen rund 573 t aus den Zufahrtsstrecken im Ausland. Das Total von rund 800 t Feinstaub-Emissionen aus dem Schienenbetrieb beträgt ungefähr das Vierfache der ansonsten in dieser Studie berechneten Feinstaub-Emissionen (der Strasse und der Schienen-Vorprozesse).

Diese grobe Abschätzung ist jedoch aufgrund der erwähnten Faktoren mit grossen Unsicherheiten behaftet, und die Zahlen lassen sich auch nicht direkt miteinander vergleichen. Die gesundheitlichen Auswirkungen des Feinstaubes aus dem Schienenbetrieb sind vermutlich weniger gravierend als diejenigen des Feinstaubes aus Abgasen: Feinstaub aus Schienenabrieb besteht zu über 75% aus Eisen- und ca. 3% Kupferpartikeln (INFRAS 2007b), während Feinstaub aus Abgasen aus kleineren und stärker kanzerogenen Partikeln besteht.

2.4. FAHRLEISTUNGEN

Die aus den oben beschriebenen Mengengerüsten resultierenden Fahrleistungen für Strasse und Schiene sind in Tabelle 7 und Tabelle 8 zusammengefasst, und in Figur 11 visualisiert.

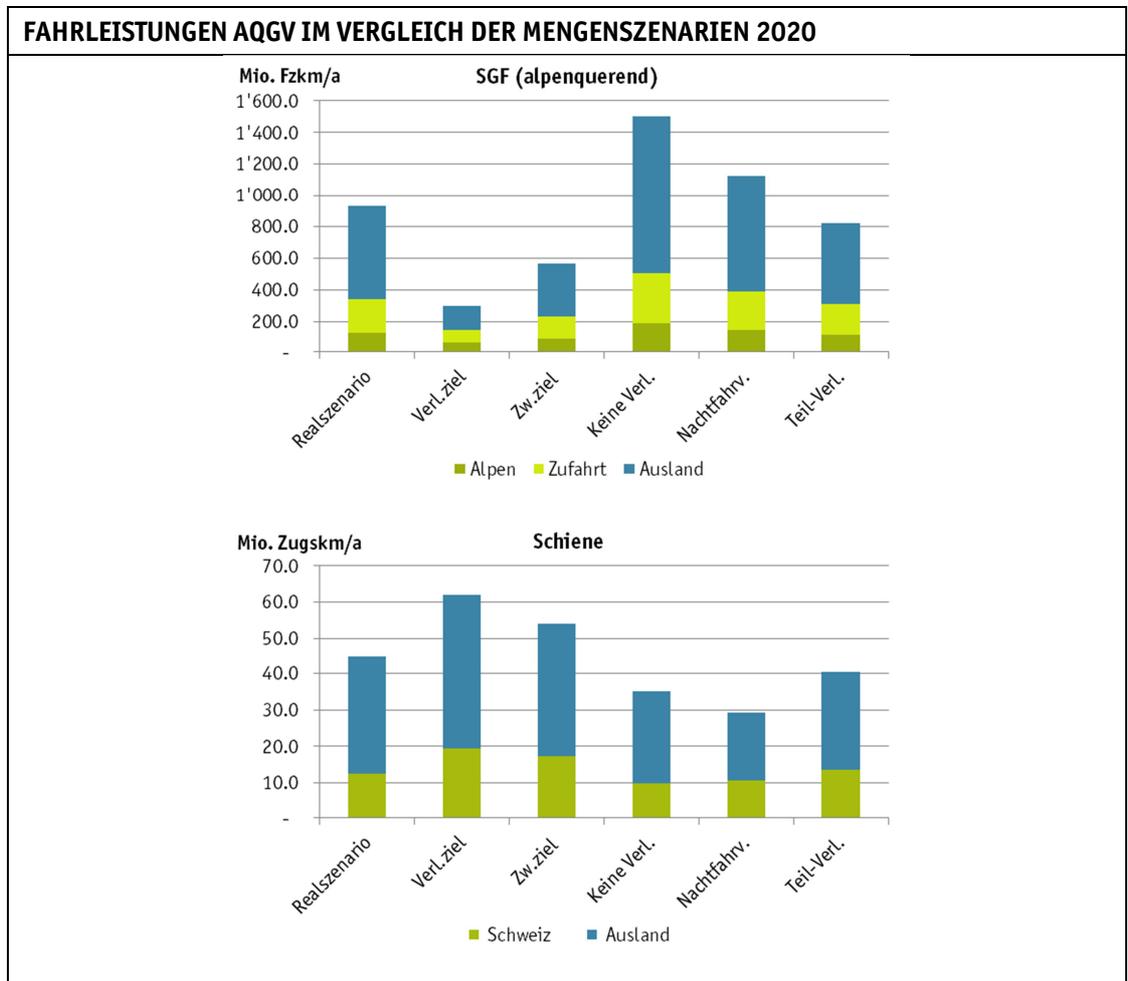
FAHRLEISTUNGEN STRASSE IM JAHR 2020 UNTER DEN SZENARIEN¹¹						
Szenario	Alpenraum			Zufahrtsstrecken CH		Ausland
	SGF alpenquerend	Rest SGF	Andere Fzkat	SGF alpenquerend	Rest SGF	SGF alpenquerend
Mio. Fzkm/Jahr						
Realszenario Verlagerung	129.0	7.9	1'137.0	210.1	226.7	592.0
Verlagerungsziel erreicht	59.5	7.9	1'137.0	88.1	226.7	147.2
Zwischenziel erreicht	89.1	7.9	1'137.0	139.9	226.7	336.2
Keine Verlagerungspolitik	189.6	15.7	1'137.0	317.6	274.7	994.1
Nachtfahrverbot aufheben	147.1	7.9	1'137.0	244.1	226.7	735.1
Teil-Verlagerungszwang	117.7	5.4	1'137.0	190.1	224.2	515.6
Veränderung gegenüber Realszenario Verlagerung						
Verlagerungsziel erreicht	-54%	0%	0%	-58%	0%	-75%
Zwischenziel erreicht	-31%	0%	0%	-33%	0%	-43%
Keine Verlagerungspolitik	47%	98%	0%	51%	21%	68%
Nachtfahrverbot aufheben	14%	0%	0%	16%	0%	24%
Teil-Verlagerungszwang	-9%	-32%	0%	-10%	-1%	-13%

Tabelle 7 Fahrleistungen auf der Strasse im Jahr 2020 unter den verschiedenen Szenarien. Das Szenario „PW Tempo 100“ ist nicht aufgeführt, da es keine Veränderungen in den Fahrleistungen zum „Realszenario Verlagerung“ impliziert.

FAHR-/VERKEHRSLAISTUNGEN SCHIENE				
Szenario	Fahrleistung [Mio. Zugskm/Jahr]		Verkehrsleistung [Mio. Btkm/Jahr]	
	Schweiz	Ausland	Schweiz	Ausland
Realszenario Verlagerung	12.6	32.2	11'843	30'887
Verlagerungsziel erreicht	19.5	42.5	19'194	50'059
Zwischenziel erreicht	17.3	36.8	16'849	43'941
Keine Verlagerungspolitik	9.9	25.3	8'854	23'092
Nachtfahrverbot aufheben	10.6	18.5	9'737	25'393
Teil-Verlagerungszwang	13.6	26.7	12'927	33'714

Tabelle 8 Fahrleistungen bzw. Verkehrsleistungen auf der Schiene unter verschiedenen Szenarien.

¹¹ Die hier aufgeführten Fahrleistungen sind aufgrund der unterschiedlichen Datengrundlage nicht direkt mit den Resultaten des MFU-Monitoring (BAFU 2010b) vergleichbar.



Figur 11 Fahrleistungen auf Strasse und Schiene im Vergleich der Mengenszenarien 2020.

3. RESULTATE

Die nachfolgenden Kapitel präsentieren die Resultate der Emissionsberechnungen für das Jahr 2020 unter den verschiedenen Szenarien. Die Emissionsresultate liegen für zahlreiche Kombinationen von untersuchten Teilräumen (Alpen, Zufahrtsstrecken Schweiz, Ausland), Verkehrsträger und Fahrzeugkategorien bzw. Transportart (Strasse/Schiene, SGF/Restverkehr, alpenquerende/nicht alpenquerende SGF), Emissionsarten (Betrieb/Vorprozesse) und Stoffen (CO₂, NO_x, PM10) vor. Dabei interessieren nicht alle Kombinationsmöglichkeiten gleichermaßen. Der Übersicht halber wird die nachfolgende Zusammenstellung der Emissionsresultate wie folgt strukturiert:

- › Kapitel 3.1 widmet sich relativ ausführlich dem Referenzzustand 2020 für die weiteren Betrachtungen, d.h. der Kombination des Realszenarios Verlagerung bezüglich Mengen und der technologischen Referenzentwicklung.
- › In Kapitel 3.2 werden die Resultate der verschiedenen Mengenszenarien und in Kapitel 3.3 diejenigen der Technologie-Szenarien präsentiert.
- › Innerhalb der Kapitel 3.2 und 3.3 wird nach den folgenden zwei Betrachtungsweisen unterschieden:
 - › **Optik Alpenraum:** Die geographisch im Alpenraum anfallenden Emissionen, d.h. die Betriebsemissionen aller Fahrzeugkategorien auf der Strasse.
 - › **Optik Umweltbilanz:** Die Gesamtemissionen des Güterverkehrs über die Alpenübergänge Gotthard und San Bernardino, d.h. die Summe der Emissionen der Strasse (ausschliesslich alpenquerende SGF) und der Schiene, Betriebs- und Vorprozessemissionen, Schweiz und Ausland. Nicht-Abgas-Feinstaub-Emissionen werden in dieser Optik nicht mit betrachtet, da sie für die Schiene nur mit Vorbehalten quantifizierbar sind (s. Info-Box in Kap. 2.3.2) und bezüglich ihrer Umwelt- und Gesundheitsauswirkungen nicht mit Feinstaub-Emissionen aus Abgasen verglichen werden können. Die Feinstaub-Emissionen der Vorprozesse werden zu den Abgas-Emissionen gezählt, da hinter ihnen gemäss Ecoinvent (2010) grossmehrheitlich Verbrennungsprozesse stehen (vgl. Kap. 2.2.3, 2.3.2).
- › Weitere Resultate können in Annex 4-8 eingesehen werden.

3.1. REFERENZZUSTAND

3.1.1. GESAMTEMISSIONEN UND ENERGIEVERBRAUCH IM AQGV

Unter dem Referenzzustand (Mengenszenario „Realszenario Verlagerung“ kombiniert mit Referenzentwicklung Technologie) werden durch den alpenquerenden Güterverkehr im Jahr 2020 gesamthaft rund 1.1 Mio. t CO₂, 1'600 t NO_x und 95 t Feinstaub (PM10, nur Abgas-Emissionen) verursacht (Tabelle 9). Der Primärenergieverbrauch beträgt rund 16 PJ. Diese Gesamtemissionen teilen sich wie folgt auf:

- › Anteil Strasse/Schiene: Der Transport auf der Strasse ist für 63% (PM10) bis 81% (NO_x) der Gesamtemissionen des Güterverkehrs verantwortlich, die Schiene für den Rest.
- › Anteil Betriebs-/Vorprozessemissionen: Die Betriebsemissionen machen 10% (PM10 aus Abgasen) bis 65% (CO₂) der gesamten Emissionen aus.
- › Anteil Schweiz/Ausland: 28% (CO₂) bis 31% (NO_x) der gesamten Emissionen sowie 39% des Primärenergieverbrauchs des AQGV werden in der Schweiz verursacht und 69% (NO_x) bis 72% (CO₂) im Ausland. Betrachtet man nur die Betriebsemissionen, fällt ein höherer Anteil in der Schweiz an, nämlich 37% (CO₂) bis 39% (NO_x).

Der hohe Anteil der Vorprozesse an den Gesamtemissionen wie auch der hohe Auslandanteil liegt einerseits an den Streckenanteilen, die im Ausland zurückgelegt werden und andererseits an den hohen Anteilen der Vorprozess-Emissionen des Schienenverkehrs im Ausland. Die dort unterstellten Bahnstrommische verursachen in der Herstellung wesentlich höhere Emissionen als der in der Schweiz für die Schiene verwendete SBB-Versorgungsmix (vgl. Kap. 3.1.3, Ecoinvent 2010).

EMISSIONEN / ENERGIEVERBRAUCH AQGV (STRASSE + SCHIENE), REFERENZZUSTAND				
Raum	CO₂ [t/a]	NO_x [t/a]	PM10 (Abgas) [t/a]	Energieverbrauch [PJ]
<i>Betrieb (Tank-to-Wheel)</i>				
Schweiz	262'104	315.6	3.72	4.39
Ausland	451'135	498.6	5.90	6.15
Total	713'239	814.2	9.62	10.54
Anteil Schweiz	37%	39%	39%	42%
Anteil Ausland	63%	61%	61%	58%
<i>Vorprozesse (Well-to-tank)</i>				
Schweiz	44'157	195.0	24.14	1.69
Ausland	341'020	633.8	61.10	3.38
Total	385'177	828.8	85.24	5.07
Anteil Schweiz	11%	24%	28%	33%
Anteil Ausland	89%	76%	72%	67%
<i>Total (Well-to-Wheel)</i>				
Schweiz	306'261	510.5	27.86	6.08
Ausland	792'155	1'132.5	67.00	9.53
Total	1'098'416	1'643.0	94.86	15.61
Anteil Schweiz	28%	31%	29%	39%
Anteil Ausland	72%	69%	71%	61%
Anteil Betrieb	65%	50%	10%	68%
Anteil Vorprozesse	35%	50%	90%	32%
Anteil Strasse	75%	81%	63%	80%
Anteil Schiene	25%	19%	37%	33%

Tabelle 9 Emissionen und Primärenergieverbrauch des alpenquerenden Güterverkehrs (AQGV) im Jahr 2020 im Referenzzustand, Realszenario Verlagerung.

3.1.2. STRASSE

Gesamtemissionen

Der alpenquerende Güterverkehr auf der Strasse stösst im Jahr 2020 im Betrieb rund 713'000 t CO₂, 800 t NO_x, 10 t Feinstaub aus Abgasen und ungefähr 80 t Feinstaub aus Abrieb und Bremsen aus (Tabelle 10). Dazu kommen Emissionen aus Vorprozessen in der Höhe von rund 114'000 t CO₂, 500 t NO_x und 50 t Feinstaub.

Alpenraum

Im Alpenraum werden im Jahr 2020 im Referenzzustand 306'000 t CO₂, 480 t NO_x, 9 t Feinstaub aus Abgas und 64 t Feinstaub aus Abrieb und Bremsen ausgestossen (= „Optik Alpenraum“). Die Emissionen des Restverkehrs (Personenverkehr, leichte Güterfahrzeuge) sind dabei bedeutender als die des schweren Güterverkehrs – die Betriebsemissionen des Restverkehrs betragen rund

194'000 t CO₂, 340 t NO_x und 60 t Feinstaub. Der nicht-alpenquerende Anteil der schweren Güterfahrzeuge ist gering – er beträgt etwa 5% aller SGF.

Die von den Fahrten im Alpenraum verursachten (aber nicht dort anfallenden) Vorprozess-Emissionen liegen in der Grössenordnung von 16% (CO₂) bis 47% (NO_x) der Betriebsemissionen (Tabelle 10).

Zufahrtsstrecken

Auf den Zufahrtsstrecken in der Schweiz werden im Jahr 2020 im Referenzzustand 309'000 t CO₂, 430 t NO_x, 5,5 t Feinstaub aus Abgas und ungefähr 40 t Feinstaub aus Abrieb und Bremsen von schweren Güterfahrzeugen während des Betriebs ausgestossen (Tabelle 10). Davon beträgt der alpenquerende Anteil etwa die Hälfte der Fahrleistungen (vgl. Tabelle 7) und damit auch die Hälfte der Emissionen (Tabelle 10). Hinzu kommen Vorprozess-Emissionen in der Höhe von rund 50'000 t CO₂, 220 t NO_x und 20 t Feinstaub.

Auf den ausländischen Zufahrtsstrecken verursacht der alpenquerende schwere Güterverkehr auf der Strasse im Betrieb rund 450'000 t CO₂, 500 t NO_x, 6 t Feinstaub aus Abgas und ungefähr 50 t Feinstaub aus Abrieb. Dazu kommen rund 72'000 t CO₂, 320 t NO_x und 31 t Feinstaub aus Vorprozessen.

EMISSIONEN STRASSE, REFERENZZUSTAND					
Raum	Fzkat	CO ₂ [t/a]	NO _x [t/a]	PM10 (Abgas) [t/a]	PM10 (Brem- sen, Abrieb) [t/a]
Betrieb (Tank-to-Wheel)					
Alpen	SGF AQ	106'867	128.2	1.42	10.79
	SGF Nicht-AQ	5'875	8.8	0.11	0.66
	Rest	194'101	340.4	7.14	52.68
	Total	306'844	477.4	8.67	64.13
Zufahrtsstrecken CH	SGF AQ	155'237	187.3	2.30	17.98
	SGF Nicht-AQ	153'672	240.4	3.19	20.40
	Total	308'909	427.7	5.49	38.38
Ausland	SGF AQ	451'135	498.6	5.90	50.22
Alle Räume	SGF AQ	713'239	814.2	9.62	78.99
Vorprozesse (Well-to-tank)					
Alpen	SGF AQ	17'103	76.9	7.45	-
	SGF Nicht-AQ	940	4.2	0.41	-
	Rest	31'063	139.7	13.53	-
	Total	49'106	220.8	21.38	-
Zufahrtsstrecken CH	SGF AQ	24'844	111.7	10.82	-
	SGF Nicht-AQ	24'593	110.6	10.71	-
	Total	49'437	222.3	21.53	-
Ausland	SGF AQ	72'198	324.6	31.44	-
Alle Räume	SGF AQ	114'145	513.2	49.70	-
Total (Well-to-Wheel)					
Alpen	SGF AQ	123'970	205.1	19.66	10.79
	SGF Nicht-AQ	6'815	13.0	1.18	0.66
	Rest	225'164	480.0	73.34	52.68
	Total	355'950	698.2	94.19	64.13
Zufahrtsstrecken CH	SGF AQ	180'080	299.0	31.09	17.98
	SGF Nicht-AQ	178'266	351.0	34.30	20.40
	Total	358'346	650.0	65.40	38.38
Ausland	SGF AQ	523'333	823.2	87.56	50.22
Alle Räume	SGF AQ	827'384	1'327.4	138.32	78.99

Tabelle 10 Emissionen des Strassenverkehrs im Referenzzustand, Realszenario Verlagerung.

3.1.3. SCHIENE

Die Emissionen des AQGV auf der Schiene betragen im Jahr 2020 unter dem Realszenario Verlagerung rund 271'000 t CO₂, 315 t NO_x und 35 t Feinstaub (Tabelle 11).

Nur 1-2% der CO₂- und NO_x-Emissionen werden in der Schweiz verursacht, die restlichen 98-99% im Ausland. Beim Feinstaub beträgt das Verhältnis 17% zu 83%. Gründe für den hohen Auslandanteil beim Schienenverkehr sind einerseits die bedeutenden Streckenanteile, die im

Ausland zurückgelegt werden und andererseits die Tatsache, dass die in Deutschland und Italien verwendeten Strommixe bei der Herstellung rund 50 mal mehr CO₂-, ca. 17-30 mal mehr NO_x- und ca. 4-6 mal mehr Feinstaub-Emissionen verursachen als der von den SBB verwendete Versorgungsmix (vgl. Annex 3, Tabelle 26).

EMISSIONEN UND ENERGIEVERBRAUCH GÜTERVERKEHR SCHIENE, REFERENZZUSTAND				
Raum	Energie [PJ/a]	CO₂ [t/a]	NO_x [t/a]	PM10 (Abgas) [t/a]
Schweiz	1.50	2'211	6.4	5.88
Ausland	3.64	268'821	309.2	29.66
Total	5.11	271'032	315.6	35.54
Anteil Schweiz	29%	1%	2%	17%
Anteil Ausland	71%	99%	98%	83%

Tabelle 11 Emissionen des Schienengüterverkehrs im Referenzzustand, Realszenario Verlagerung.

3.2. VERGLEICH MENGENSZENARIEN

Optik Alpenraum

Unter den Mengenszenarien verändern sich die **Betriebsemissionen der SGF** im Alpenraum in einer Grössenordnung von -56% (Verlagerungsziel erreicht) bis +33% (keine Verlagerung) (Tabelle 12, Figur 12 - Figur 15). Dabei ist die relative Veränderung am grössten beim CO₂ und am kleinsten beim Feinstaub. Dies liegt daran, dass der Binnenverkehr, welcher pro Fahrzeug am wenigsten CO₂ und am meisten Feinstaub verursacht (da die Binnenverkehrsflotte im Schnitt kleinere, aber weniger neue Fahrzeuge aufweist), von den Verlagerungsmassnahmen am wenigsten betroffen ist.

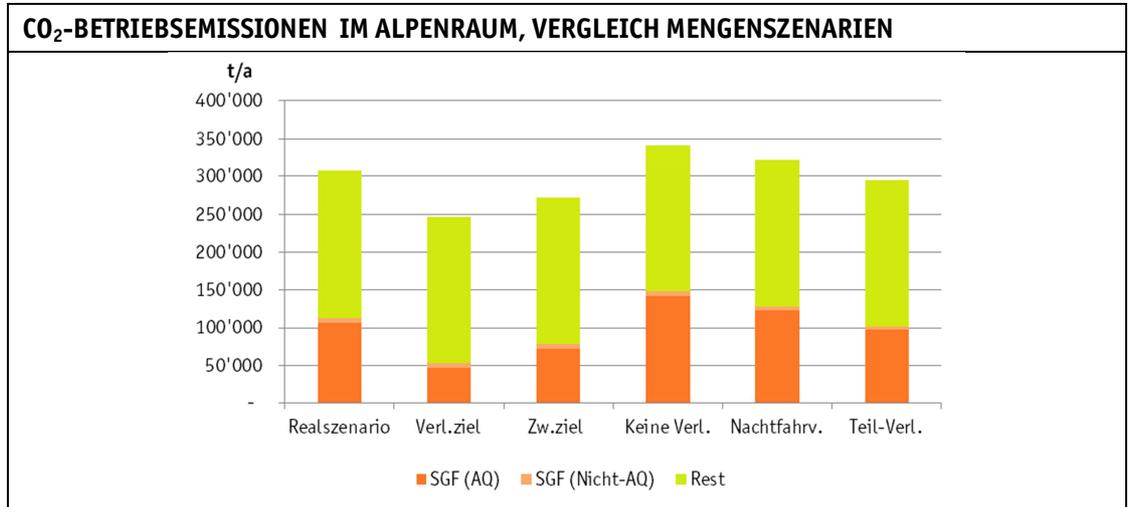
Allerdings werden diese Veränderungen in der **Gesamtbetrachtung aller Fahrzeugkategorien** gedämpft, da der Restverkehr von den Veränderungen nicht beeinflusst wird. Damit bewegen sie sich in der Grössenordnung von -20% bis +11% (CO₂), -14% bis +8% (NO_x), -8% bis +6% (Feinstaub aus Abgas) und -9% bis +9% (Feinstaub aus Abrieb).

Die grösste emissionsreduzierende Wirkung erzielt dabei das Verlagerungsziel. Ein Teil-Verlagerungszwang vermag die Emissionen der SGF um 8-9% (alle Stoffe) zu senken, was aber unter Einbezug des Restverkehrs nur noch 2-4% ausmacht.

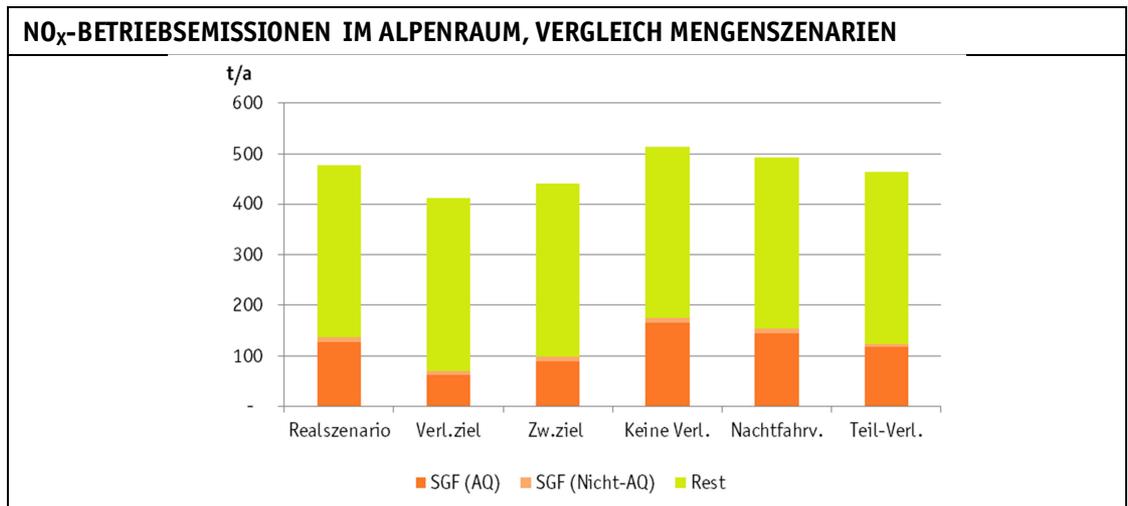
Umgekehrt steigen die Emissionen gegenüber dem Referenzzustand am stärksten, wenn keine Verlagerungspolitik stattfindet (SGF: je nach Stoff um 29% bis 47%; alle Fahrzeugkategorien: 6% bis 11%, je nach Stoff). Wird das Nachtfahrverbot aufgehoben, steigen die SGF-Emissionen um 13-15% und die gesamten Betriebsemissionen um 2-5%.

VERÄNDERUNG BETRIEBSEMISSIONEN IM ALPENRAUM UNTER DEN MENGENSZENARIEN					
Szenario	Fahrzeugkat.	CO ₂	NO _x	PM10 (Abgas)	PM10 (Bremsen, Abrieb)
Verlagerungsziel erreicht	SGF (AQ)	-56%	-51%	-49%	-54%
	Alle Fzkat	-20%	-14%	-8%	-9%
Zwischenziel erreicht	SGF (AQ)	-32%	-30%	-28%	-31%
	Alle Fzkat	-11%	-8%	-5%	-5%
Keine Verlagerungspolitik	SGF (AQ)	33%	29%	32%	47%
	Alle Fzkat	11%	8%	6%	9%
Nachtfahrverbot aufheben	SGF (AQ)	15%	13%	13%	14%
	Alle Fzkat	5%	4%	2%	2%
Teil-Verlagerungszwang	SGF (AQ)	-9%	-8%	0%	-9%
	Alle Fzkat	-4%	-3%	-2%	-2%

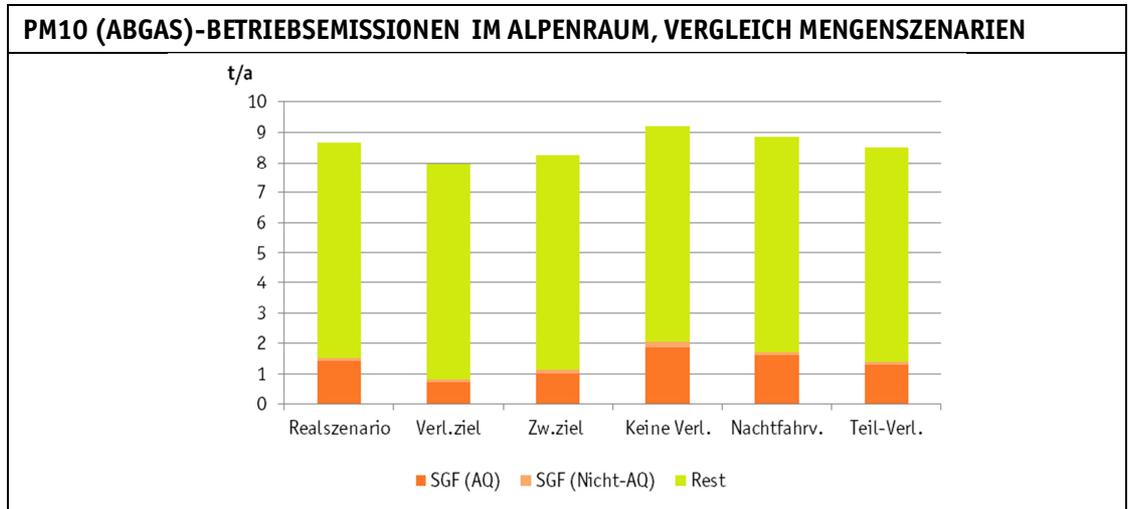
Tabelle 12 Veränderung der Betriebsemissionen aller Fahrzeugkategorien im Alpenraum unter den Mengenszenarien, relativ zum Realszenario Verlagerung.



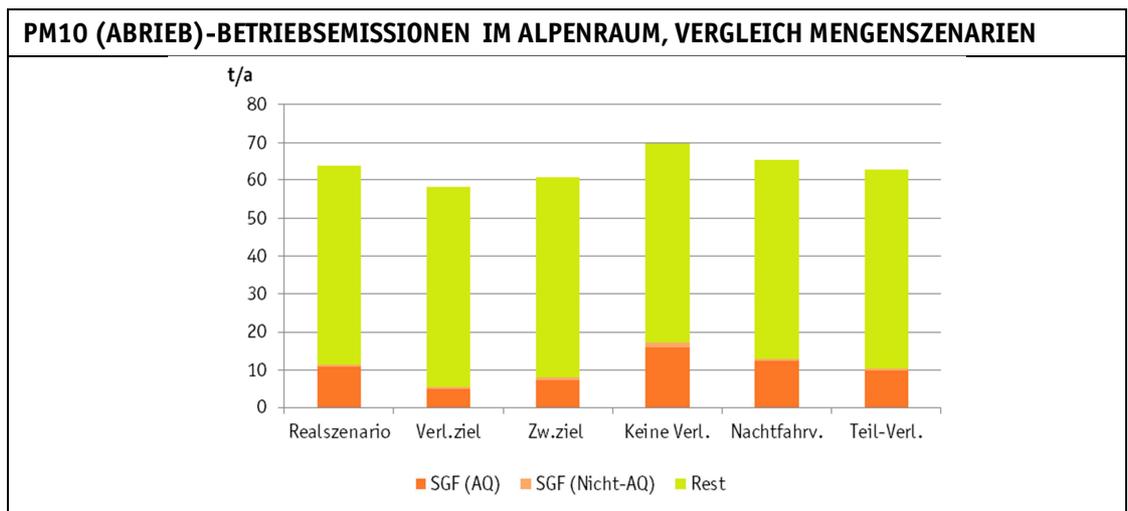
Figur 12 CO₂-Betriebsemissionen im Alpenraum im Vergleich der Mengenszenarien. Die nicht-alpenquerenden SGF machen rund 5% der Emissionen aller SGF aus.



Figur 13 NO_x-Betriebsemissionen im Alpenraum im Vergleich der Mengenszenarien.



Figur 14 PM10 (Abgas)-Betriebsemissionen im Alpenraum im Vergleich der Mengenzszenarien.



Figur 15 PM10 (Abrieb)-Betriebsemissionen im Alpenraum im Vergleich der Mengenzszenarien.

Optik Umweltbilanz

Der Reduktion von Emissionen im Strassenverkehr durch Verlagerung der Transporte auf die Schiene stehen zusätzliche Emissionen des Schienenverkehrs gegenüber, welche die Einsparungen auf der Strasse zum Teil kompensieren (Tabelle 13, Figur 16 - Figur 18).

Bei den **SGF** allein schwanken die Emissionen unter verschiedenen Graden der Verlagerung zwischen -68 bis -69% (Verlagerungsziel erreicht) und +43 - +45% (Keine Verlagerung).

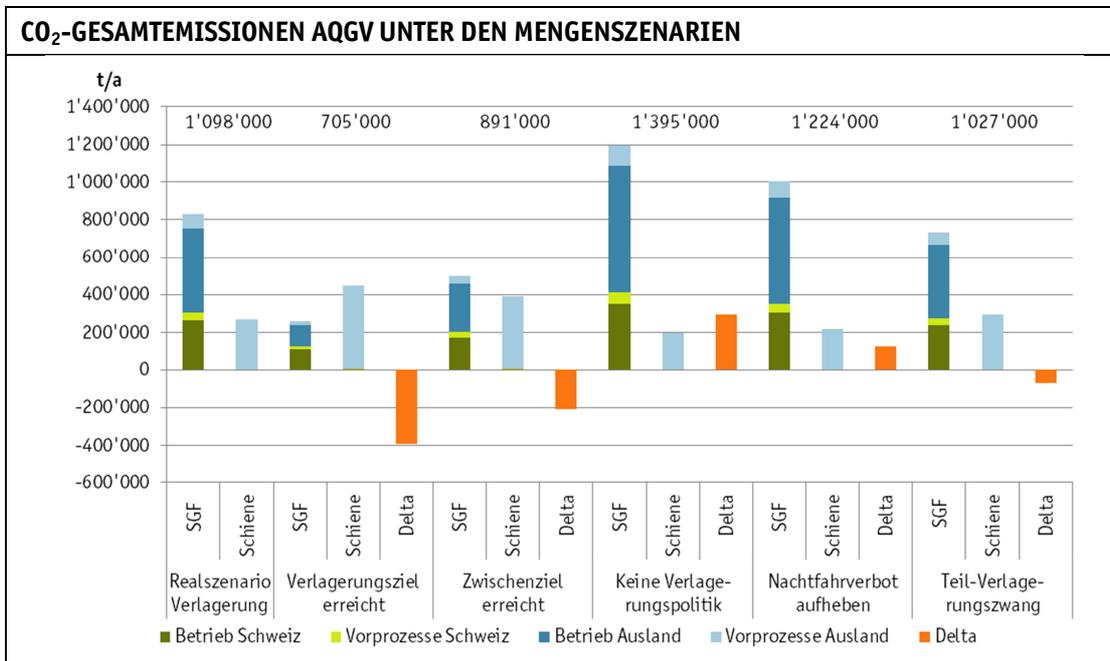
Auf der **Schiene** hingegen nehmen die Emissionen beim Erreichen des Verlagerungsziels um 64 - 65% zu, während sie ohne Verlagerung um 26% niedriger liegen würden als im Referenzzustand 2020. Die Vorprozess-Emissionen im Ausland machen dabei den grössten Anteil aus.

In der **Gesamtbilanz** liegen die Strassenverkehrsemissionen und damit die möglichen Einsparungen auf der Strasse absolut so viel höher, dass die Verlagerung trotz zusätzlicher Schienenverkehrsemissionen zu deutlichen Einsparungen führt (Figur 16 - Figur 18). Der Vergleich zwischen Einsparungen auf der Strasse und Zusatzemissionen auf der Schiene fällt in der Schweiz aufgrund des verhältnismässig emissionsarmen Strommixes klar zu Gunsten der Schiene aus. Dieser Effekt verringert sich im Ausland bei den dort unterstellten Strommischen.

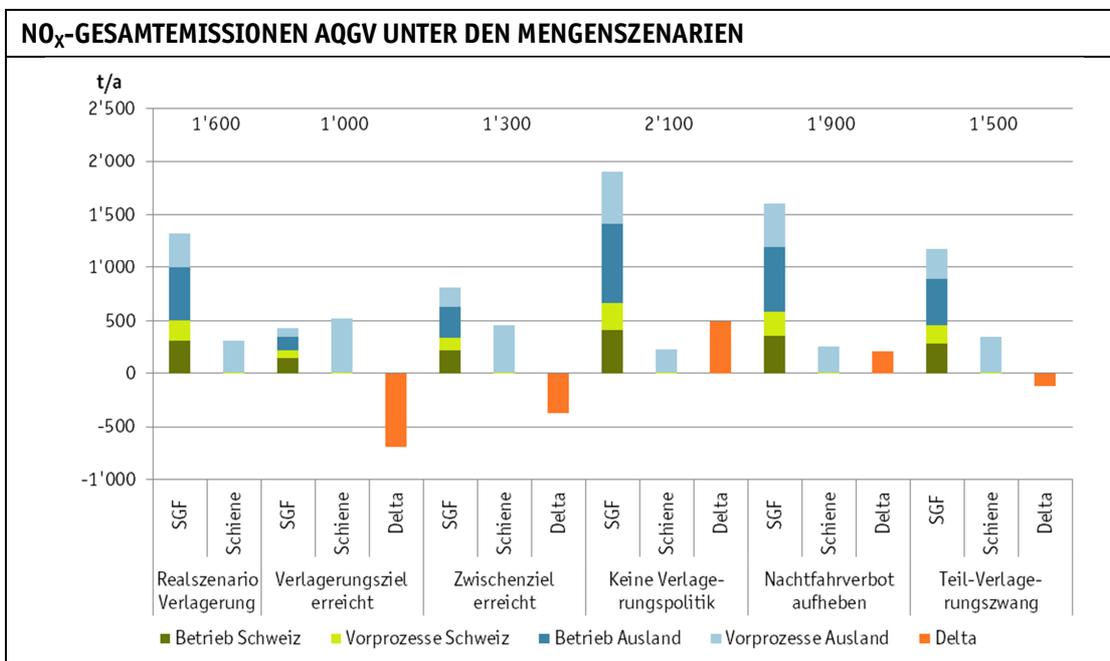
Beim Feinstaub aus Abgasen fallen die Emissionen aus der Energieherstellung für die Schiene am stärksten ins Gewicht. Die unterschiedliche Exposition der Bevölkerung (Emissionen von Verkehrsachsen in dicht besiedelten Gebieten gegenüber weit entfernt von dicht besiedelten Räumen entstehenden Kraftwerksemissionen zur Produktion von Bahnstrom) ist jedoch hier nicht mit berücksichtigt.

RELATIVE VERÄNDERUNG GESAMT-EMISSIONEN GEGENÜBER REALSZENARIO VERLAGERUNG				
Szenario	Strasse/Schiene	CO₂	NO_x	PM10 (Abgas)
Verlagerungsziel erreicht	SGF (AQ)	-69%	-68%	-68%
	Schiene	65%	65%	64%
	Total	-36%	-42%	-19%
Zwischenziel erreicht	SGF (AQ)	-40%	-39%	-39%
	Schiene	44%	44%	44%
	Total	-19%	-23%	-8%
Keine Verlagerungspolitik	SGF (AQ)	44%	43%	45%
	Schiene	-26%	-26%	-26%
	Total	27%	30%	18%
Nachfahrverbot aufheben	SGF (AQ)	21%	21%	21%
	Schiene	-19%	-19%	-19%
	Total	11%	13%	6%
Teil-Verlagerungszwang	SGF (AQ)	-12%	-11%	-12%
	Schiene	9%	9%	9%
	Total	-6%	-7%	-4%

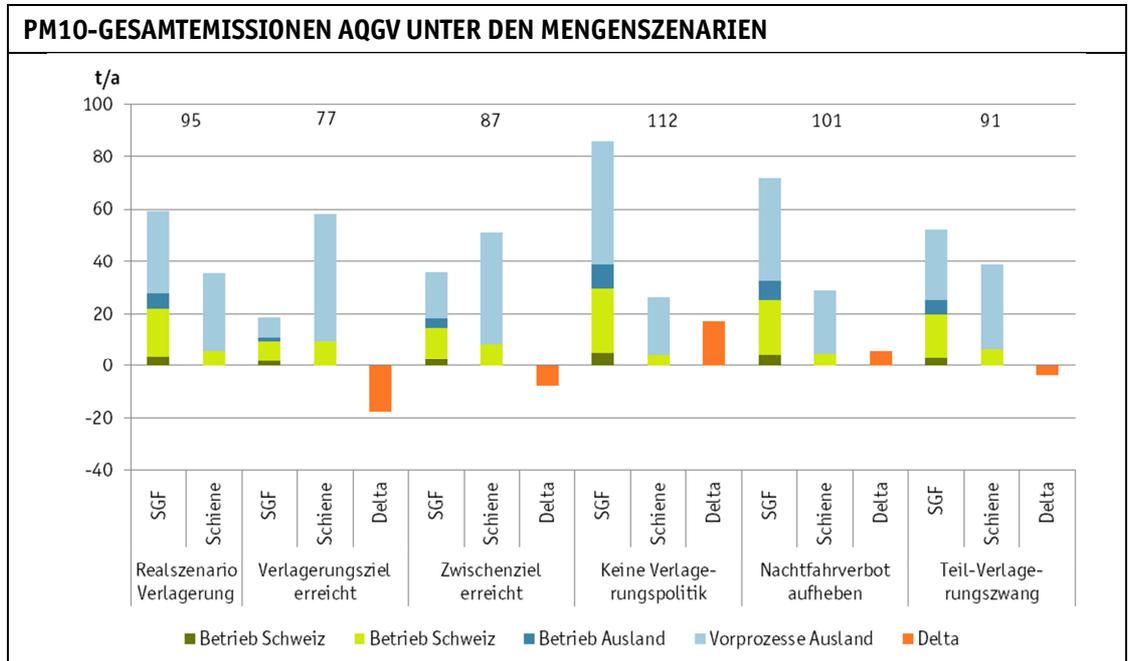
Tabelle 13 Relative Veränderungen der Gesamt-Emissionen des alpenquerenden Güterverkehrs unter den Mengenszenarien gegenüber dem Realszenario Verlagerung.



Figur 16 CO₂-Gesamtemissionen des AQGV unter den Mengenszenarien. Die Totale von Strasse und Schiene sind über den Szenarien als Zahl angegeben, die Unterschiede in den Gesamtemissionen gegenüber dem Realszenario Verlagerung („Delta“) sind als orange Balken dargestellt.



Figur 17 NO_x-Gesamtemissionen des AQGV unter den Mengenszenarien. Die Totale von Strasse und Schiene sind über den Szenarien als Zahl angegeben, die Unterschiede in den Gesamtemissionen gegenüber dem Realszenario Verlagerung („Delta“) sind als orange Balken dargestellt.



Figur 18 PM10-Gesamtemissionen des AQGV unter den Mengenszenarien. Die Totale von Strasse und Schiene sind über den Szenarien als Zahl angegeben, die Unterschiede in den Gesamtemissionen gegenüber dem Realszenario Verlagerung („Delta“) sind als orange Balken dargestellt.

3.3. VERGLEICH TECHNOLOGIE-SZENARIEN

Die unterschiedlichen Annahmen zu den Entwicklungen verbesserter Technologien bei schweren Güterfahrzeugen (primär: Partikelfilter, DeNO_x-Systeme wie SCR/EGR) führen vor allem bei den Stickoxiden und dem Feinstaub zu einem breiten Schwankungsbereich. Der Verbrauch und damit der CO₂-Ausstoss wird durch motorentechnische Massnahmen wenig beeinflusst. Die im Folgenden erwähnten Veränderungen beziehen sich jeweils auf das Mengenszenario „Realszenario Verlagerung“ (vgl. Tabelle 15). Resultate zu Kombinationen mit den anderen Mengenszenarien sind in den Annexes 6-8 einsehbar.

Optik Alpenraum

Während CO₂ und Feinstaub aus Abrieb von den untersuchten technologischen Veränderungen kaum beeinflusst werden, sind die NO_x- und PM10-Abgas-Betriebsemissionen der SGF durch die Technologie stark beeinflussbar (Tabelle 14, Figur 19 - Figur 22).

Unter dem Szenario „Halbe Effizienz Euro-VI“ liegen die **SGF-Emissionen** um 65% (NO_x) bzw. 53% (PM10) über dem Referenzniveau 2020 (allerdings immer noch deutlich unter dem

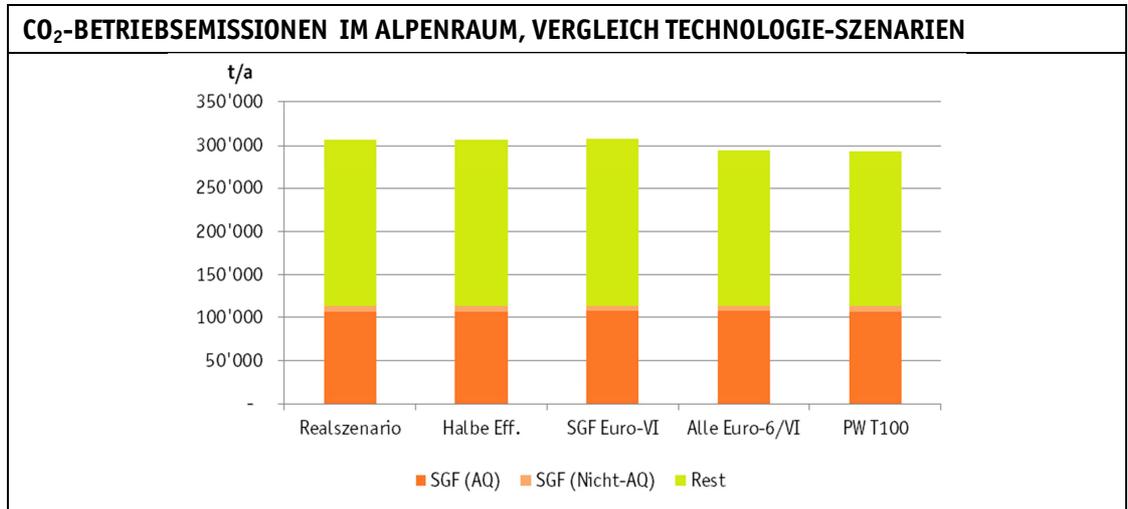
Niveau 2009). Entsprechen alle SGF dem Euro-VI-Standard (Szenarien „BAT SGF Euro-VI“ und „BAT alle Fahrzeuge Euro-VI/6), lassen sich die NO_x-Emissionen ebenfalls um 65% und die Feinstaub-Emissionen gar um 72% senken.

In der Gesamtbetrachtung der **Betriebsemissionen aller Fahrzeugkategorien** im Alpenraum werden diese Effekte wiederum abgeschwächt, so dass die Emissionen unter „Halbe Effizienz Euro-VI“ noch um 32% (NO_x) respektive 11% (PM10) über dem Referenzniveau liegen. Entsprechen alle SGF dem Euro-VI-Standard, sinken die Gesamtemissionen der Stickoxide um 19% und die des Feinstaubes um 13%. Entsprechen hingegen alle Fahrzeuge Euro-VI/6, können im Alpenraum 56% der Stickoxide und 70% des Feinstaubes aus Abgasen vermieden werden. In diesem Fall sinken auch die CO₂-Emissionen um 4%.

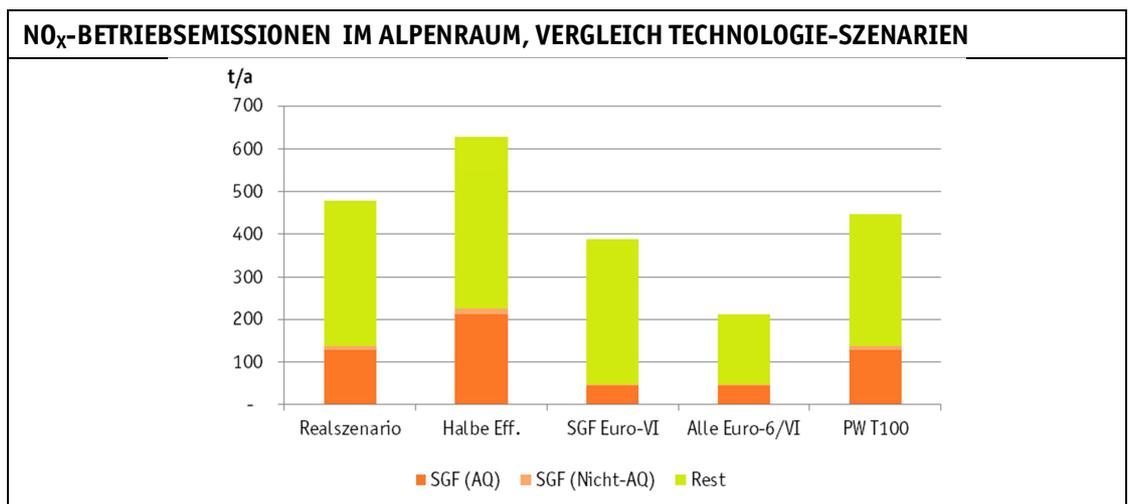
Wird für die PW ein Tempolimit von 100 km/h eingeführt, sinken die CO₂-Emissionen aller Fahrzeugkategorien durchschnittlich um 4%. Bei den Stickoxiden lassen sich 6% und beim Feinstaub aus Abgas 10% einsparen.

VERÄNDERUNG BETRIEBSEMISSIONEN IM ALPENRAUM UNTER DEN TECHNOLOGIE-SZENARIEN					
Szenario	Fzkat	CO₂	NO_x	PM10 (Abgas)	PM10 (Bremsen, Abrieb)
Halbe Effizienz Euro-VI	SGF (AQ)	0.0%	64.7%	53.4%	0.0%
	Alle Fzkat	0.0%	31.8%	10.9%	0.0%
BAT SGF Euro-VI	SGF (AQ)	0.4%	-65.0%	-71.9%	0.0%
	Alle Fzkat	0.2%	-18.8%	-12.8%	0.0%
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	SGF (AQ)	0.4%	-65.0%	-71.9%	0.0%
	Alle Fzkat	-4.0%	-55.6%	-69.2%	0.0%
PW Tempo 100	PW	-8.8%	-15.0%	-20.3%	0.0%
	Alle Fzkat	-4.4%	-6.2%	-9.6%	-1.0%

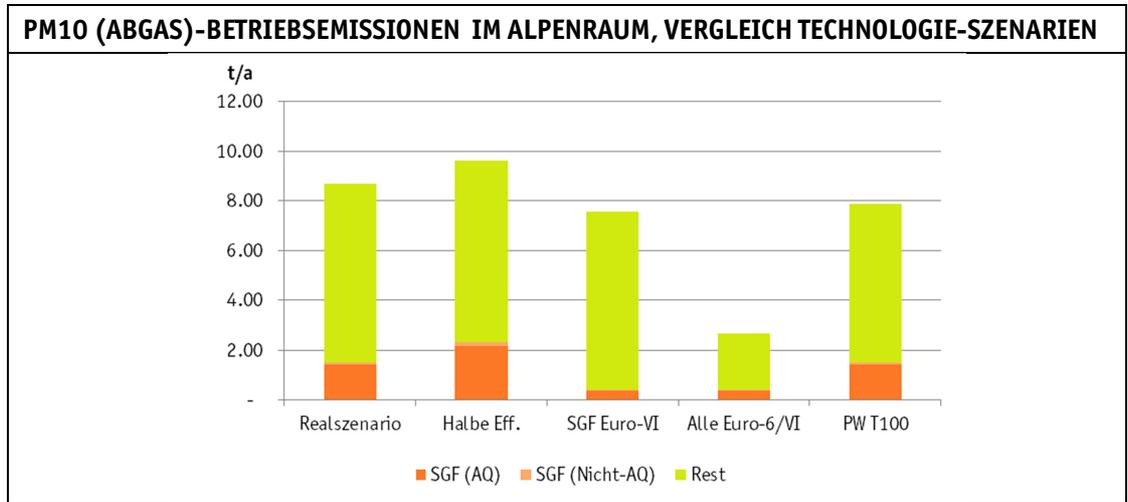
Tabelle 14 Veränderung der Betriebsemissionen im Alpenraum unter den Technologie-Szenarien im Vergleich zum Referenzzustand, Realszenario Verlagerung.



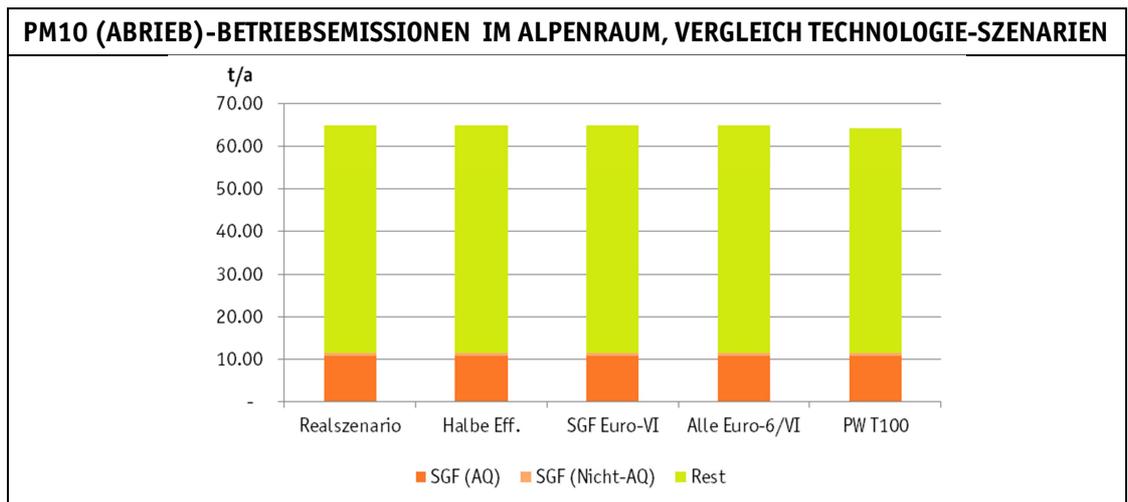
Figur 19 CO₂-Betriebsemissionen im Alpenraum im Vergleich der Technologie-Szenarien. Die nicht-alpenquerenden SGF machen rund 5% der Emissionen aller SGF aus.



Figur 20 NO_x-Betriebsemissionen im Alpenraum im Vergleich der Technologie-Szenarien.



Figur 21 PM10 (Abgas)-Betriebsemissionen im Alpenraum im Vergleich der Technologie-Szenarien.



Figur 22 PM10 (Abrieb)-Betriebsemissionen im Alpenraum im Vergleich der Technologie-Szenarien.

Optik Umweltbilanz

In der Gesamtbetrachtung des alpenquerenden Güterverkehrs unterscheiden sich die Emissionen der Stickoxide (NO_x) je nach Szenario um rund $\pm 40\%$ von den Emissionen im Referenzzustand (Tabelle 15, Figur 23 - Figur 25).

- › **Halbe Effizienz Euro-VI:** Die Unterstellung, dass sich der NO_x - und PM10-Ausstoss zwischen den Emissionsstandards Euro-V/5 und Euro-VI/6 nur halb so stark sinkt wie gegenwärtig angenommen (z.B. BAFU 2010a), führt zu insgesamt 45% höheren NO_x -Emissionen und zu 5% höheren PM10-Emissionen gegenüber der Referenzentwicklung 2020 im schweren Güterverkehr.

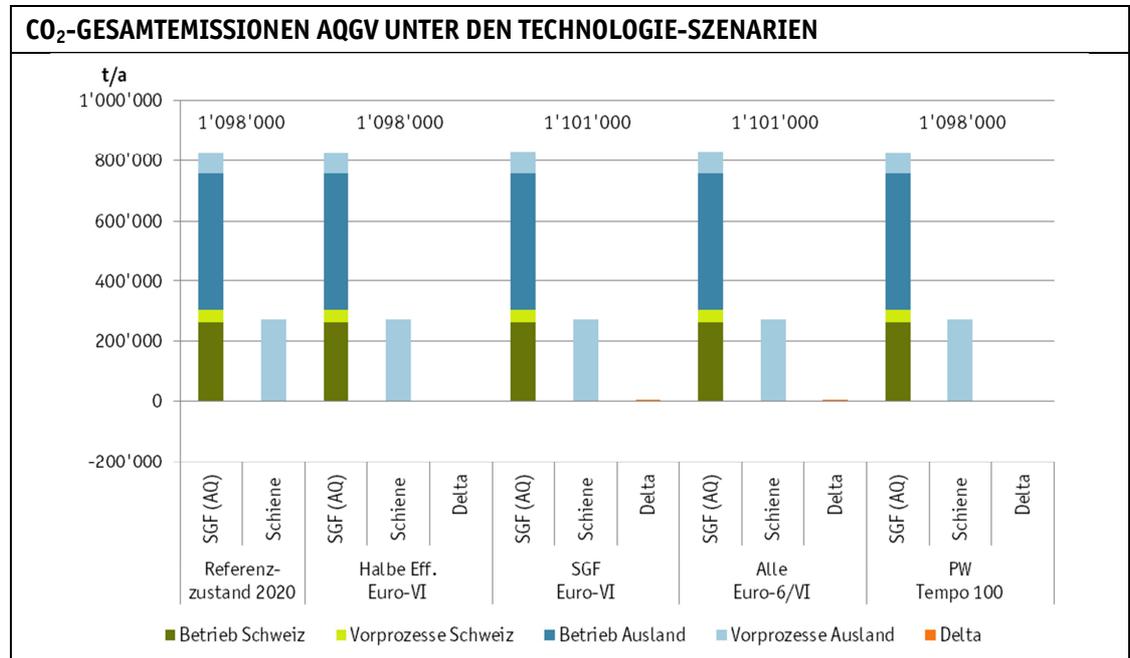
› **BAT SGF EURO-VI:** Umgekehrt würden die Gesamtemissionen des AQGV auf der Strasse bei den NO_x um 39% und beim PM10 um 5% sinken, wenn bis 2020 alle schweren Güterfahrzeuge dem Euro-VI-Standard entsprechen.

Das Szenario „PW Tempo 100“ hat auf den alpenquerenden Güterverkehr selbst keinen Einfluss.

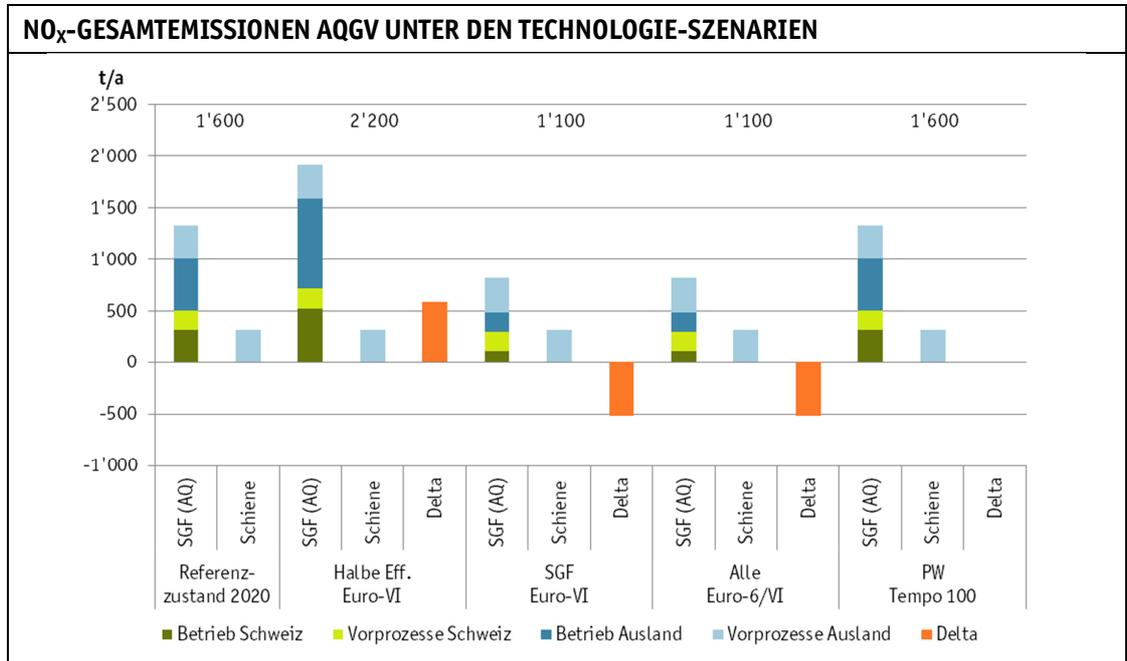
Die Schiene bleibt von den Technologie-Szenarien unbeeinflusst. Sozusagen unbeeinflusst bleiben auch die Vorprozess-Emissionen der Strasse, da diese vom Treibstoffverbrauch abhängig sind, welcher fast keine Veränderung erfährt (vgl. Spalte „CO₂“ in Tabelle 15).

RELATIVE VERÄNDERUNG GESAMT-EMISSIONEN UNTER TECHNOLOGIESZENARIOEN				
Szenario	Fzkat	CO ₂	NO _x	PM10 (Abgas)
Halbe Effizienz Euro-VI	SGF (AQ)	0.0%	44.5%	4.5%
BAT SGF Euro-VI	SGF (AQ)	0.3%	-38.6%	-4.8%

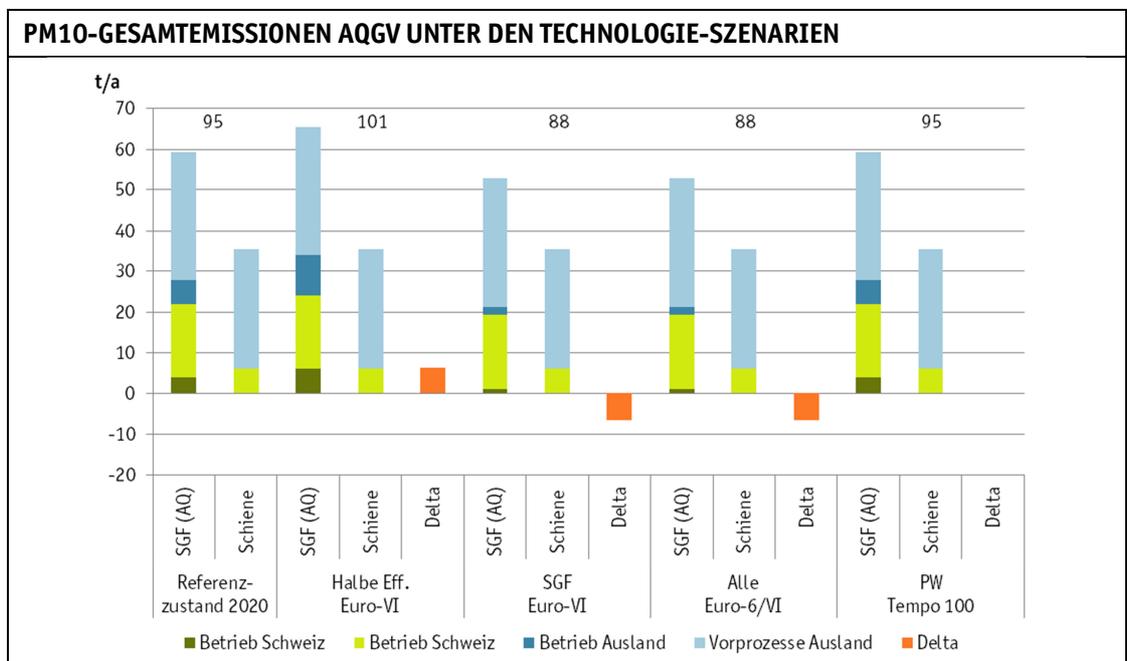
Tabelle 15 Relative Veränderung der Gesamt-Emissionen unter den drei Technologie-Szenarien gegenüber dem Referenzzustand, Realszenario Verlagerung.



Figur 23 CO₂-Gesamtemissionen des AQGV unter den Technologie-Szenarien. Die Totale von Strasse und Schiene sind über den Szenarien als Zahl angegeben, die Unterschiede in den Gesamtemissionen gegenüber dem Referenzzustand 2020 („Delta“) sind als orange Balken dargestellt.



Figur 24 NO_x-Gesamtemissionen des AQGV unter den Technologie-Szenarien. Die Totale von Strasse und Schiene sind über den Szenarien als Zahl angegeben, die Unterschiede in den Gesamtemissionen gegenüber dem Referenzzustand 2020 („Delta“) sind als orange Balken dargestellt.



Figur 25 PM10-Gesamtemissionen des AQGV unter den Technologie-Szenarien. Die Totale von Strasse und Schiene sind über den Szenarien als Zahl angegeben, die Unterschiede in den Gesamtemissionen gegenüber dem Referenzzustand 2020 („Delta“) sind als orange Balken dargestellt.

4. FAZIT

Fazit

Der vorliegende Bericht untersucht Schadstoff- und Klimagas-Emissionen für mögliche Szenarien des alpenquerenden Güterverkehrs (AQGV) über die Übergänge Gotthard und San Bernardino im Jahr 2020, inklusive der auf den Zufahrtsstrecken in der Schweiz und im Ausland verursachten Emissionen. Zusätzlich werden für den Alpenraum auch die Emissionen des Restverkehrs (Personenverkehr, leichter Güterverkehr, nicht-alpenquerender schwerer Güterverkehr) berechnet. Die wichtigsten Befunde sind:

- › Eine äusserst wirkungsvolle Massnahme für die Reduktion der Luftschadstoffe sind die Verbesserungen der Motorentechnologie bzw. der Abgasnachbehandlung, die nötig sind, um die verschärften EURO-6/VI-Grenzwerte einzuhalten. Diese Massnahmen sind in der Referenzentwicklung unterstellt. Bis 2020 sinken dadurch beispielsweise die NO_x-Emissionen im Betrieb der schweren Nutzfahrzeuge um 74% gegenüber 2009. Im Vergleich dazu sind die in den Szenarien betrachteten zusätzlichen Veränderungen der Luftschadstoffemissionen geringer.
- › Diese Aussagen gelten allerdings nur, wenn die bis 2020 erwarteten Absenkungen auch in der Realität und nicht nur bei der Typenprüfung stattfinden: Namentlich Euro-VI lässt bei Personen- und Güterfahrzeugen auf der Strasse markante Absenkungen erwarten. Wie weit sich auch das reale Emissionsverhalten entsprechend den Grenzwertabsenkungen entwickelt, ist Gegenstand laufender, umfangreicher Forschung. Verschiedentlich haben sich rückblickend die Emissionen im Realbetrieb weniger stark reduziert als es die Grenzwert-Absenkungen hätten erwarten lassen. Allerdings sind bei Euro-VI flankierende Massnahmen vorgesehen, welche Emissionsminderungen nicht nur im Testzyklus, sondern auch im täglichen Betrieb auf der Strasse gewährleisten sollten. Diesen Unsicherheiten wurde hier mit einer Sensitivitätsbetrachtung Rechnung getragen, welche den Effizienzgewinn der Emissionen von EURO-5/V zu EURO-6/VI halbiert. Gegenüber der Referenzentwicklung der Emissionsfaktoren wären demzufolge die NO_x-Emissionen rund 30% und die PM10 (Abgas)-Emissionen rund 10% höher. Somit wäre die Absenkung der Luftschadstoff-Emissionen zwischen 2009 gegenüber dem Referenzzustand 2020 entsprechend geringer.
- › Auf den Treibstoffverbrauch bzw. die CO₂-Emissionen des schweren Strassengüterverkehrs wirken sich technologische Massnahmen (Einhaltung der Luftschadstoff-Grenzwerte) kaum aus. Die Verlagerung des Güterverkehrs von der Strasse auf die Schiene bringt eine Reduktion von ca. 35% der CO₂-Emissionen.

- › Verlagerungen des Güterverkehrs auf die Schiene bringen lokal weitere Schadstoffreduktionen, die allerdings durch den Schienenverkehrsanteil im Ausland mit den höheren Emissionen für die Stromproduktion teilweise wieder kompensiert werden, auch wenn die Emissionen aus der Stromproduktion nicht im gleichen Umfang zur Belastung der Bevölkerung beitragen wie beispielsweise die direkt entlang der Strassenachsen emittierten Schadstoffe des Strassengüterverkehrs. Eine Reduktion von rund 40% bei den NO_x- und rund 20% bei den Feinstaub-(Abgas)-Emissionen bleibt gleichwohl bestehen.
- › Wäre die 40-t-Limite für schwere Nutzfahrzeuge in der Schweiz nicht eingeführt und in diesem Zuge die flankierenden Massnahmen für die Schiene nicht ergriffen worden, wären die Luftschadstoff-Emissionen im Jahr 2020 knapp 30% (NO_x) bzw. rund 20% (Feinstaub durch Abgase) höher als mit den Instrumenten der Verlagerungspolitik. Der CO₂-Ausstoss des alpenquerenden Güterverkehrs wäre rund einen Viertel höher. Diese Angaben basieren zwangsläufig auf Annahmen und sind dementsprechend zurückhaltend zu interpretieren.
- › Die Feinstaub-Emissionen setzen sich aus unterschiedlichen Quellen zusammen. Grobschätzungen zeigen, dass die Nicht-Abgas-Emissionen (künftig) ein Mehrfaches der Abgasemissionen ausmachen werden: bei der Strasse werden es im Jahr 2020 gut 80 t sein gegenüber rund 10 t aus dem Abgas. Allerdings sind die Feinstaub-Emissionen ein sehr komplexes Gemisch, und die schlichte Addition der emittierten Massen aus unterschiedlichen Quellen trägt dieser Komplexität nicht Rechnung. Bei den Auswirkungen der verschiedenen Feinstaubfraktionen auf die menschliche Gesundheit besteht zurzeit noch weiterer Forschungsbedarf.
- › Analoge Fragen stellen sich beim Schienenverkehr: auch hier tragen unterschiedliche Quellen zur Feinstaub-Belastung bei: einerseits sind es die Emissionen aus der Stromproduktion durch (ausländische) Kohlekraftwerke, die im Jahr 2020 auf rund 35 t (PM10) geschätzt werden – in dieser Zahl sind allerdings keine technologischen Verbesserungen der Kraftwerke gegenüber heute unterstellt. Andererseits verursacht der Schienenverkehr nicht unerhebliche Nicht-Abgas-Emissionen, die ebenfalls dem Feinstaub zuzurechnen sind und v.a. durch Bremsvorgänge entstehen – entscheidend ist hier, ob Güterzüge elektrisch bremsen und ob sie kontinuierlich fahren können oder immer wieder anhalten müssen. Auch hier trägt aber die massenbezogene Betrachtung den unterschiedlichen Auswirkungen der verschiedenen Feinstaubfraktionen auf die menschliche Gesundheit nicht genügend Rechnung. Zusätzlicher Forschungsbedarf beim Schienenverkehr betrifft die Quantifizierung der Abriebemissionen – dazu liegen derzeit nur wenige Studien mit groben Abschätzungen vor.

LITERATUR

- ARE 2012:** Ergänzungen zu den Schweizerischen Energieperspektiven bis 2030. Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), Bern.
- ASTRA 2012:** Schweizerische automatische Strassenverkehrszählung. [<http://www.portal-stat.admin.ch/sasvz/files/de/00.xml>].
- BAFU 2010a:** Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1990-2035. Aktualisierung 2010. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern.
- BAFU 2010b:** Umweltmonitoring flankierende Massnahmen - MFM-U. Verkehrsemissionen und Treibstoffverbrauch 2008/2009. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern.
- BAFU 2008:** Umweltmonitoring Flankierende Massnahmen MFM-U, Verkehrsemissionen und Treibstoffverbrauch 2006/2007. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern.
- BAV 2012:** Auswirkungen der Fertigstellung der NEAT auf die Erreichung des Verlagerungsziels im Güterverkehr. Schlussbericht inkl. der Erkenntnisse aus den Vertiefungsarbeiten. Bundesamt für Verkehr (BAV), Bern/Zürich.
- BAV 2009:** Bericht über die Verkehrsverlagerung vom November 2009 (Verlagerungsbericht Januar 2007 – Juni 2009). Bericht des Bundesrates an die parlamentarischen Kommissionen. Bundesamt für Verkehr (BAV), Bern.
- BAV 2011a:** Bericht über die Verkehrsverlagerung vom November 2011 (Verlagerungsbericht Juli 2009 - Juni 2011). Bericht des Bundesrates an die parlamentarischen Kommissionen. Bundesamt für Verkehr (BAV), Bern.
[<http://www.bav.admin.ch/verlagerung/01600/01604/index.html?lang=de>].
- BAV 2011b:** Güterverkehr auf Strasse und Schiene durch die Schweizer Alpen 2009 (revidierte Fassung). Bundesamt für Verkehr (BAV), Bern.
- BAV 2011c:** Güterverkehr durch die Schweizer Alpen 2010. Bundesamt für Verkehr (BAV), Bern.
- Deutsche Bahn 2012a:** DB setzt auf grünen Strom. Mobil 12.2012.
[<http://mobil.deutschebahn.com/was-verbindet/db-setzt-auf-grunen-strom/>].
- Deutsche Bahn 2012b:** Kennzahlen und Fakten zur Nachhaltigkeit 2011. Deutsche Bahn AG, Berlin.
[http://www.deutschebahn.com/file/2832210/data/nachhaltigkeitskennzahlen_2011.pdf].
- Ecoinvent 2010:** Ecoinvent Database v2.2. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.
[www.ecoinvent.ch].
- ECOPLAN, INFRAS 2011:** Strassengüterverkehr in der Schweiz: Entwicklung im alten und neuen Verkehrsregime. Aktualisierung für die Jahre 2005 bis 2009. Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), Bern.

Frischknecht, R., Tuchschnid, M., Faist-Emmenegger, M. 2007: Strommix und Stromnetz. Ecoinvent Report No. 6 / Teil XVI. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Uster.

Gerhardt, N., Valov, B., Trost, T., Lehnert, W., Ruch, M., Schaarschmidt, J., Dietrich, M., Weiland, K., Carlstaedt, B. 2011: Bahnstrom Regenerativ - Analyse und Konzepte zur Erhöhung des Anteils der Regenerativen Energie des Bahnstroms. Endbericht. Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES), Kassel.

INFRAS 2007a: ARTEMIS: Assessment and reliability of transport emission models and inventory systems. Road Emission Model – Model Description. European Commission, Brussels.

INFRAS 2007b: PM10-Emissionen Verkehr. Teil Schienenverkehr. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern.

INFRAS, IFEU 2011: ÖV und Umwelt. Herausforderungen und Handlungsbedarf. Bundesamt für Verkehr (BAV), Bern.

INFRAS, ProgTrans 2008: ZEB-2: Sensitivitätsbetrachtungen zu den Perspektiven des schweizerischen Güterverkehrs bis 2030. Bundesamt für Verkehr (BAV), Bern.

Oekoscience 2013: Szenarien 2020 für die MfMU-Stationen Erstfeld, Moleno und Rothenbrunnen. Immissionen und Emissionen an Luftschadstoffen. Bundesamt für Umwelt (BAFU) und Amt für Umweltschutz Uri (AfU UR), Bern und Altdorf.

SVI [in Bearbeitung]: Forschungspaket „Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz“ (FP GüV): Teilprojekt H - Ortsbezogene Massnahmen zur Reduktion der Auswirkungen des Güterverkehrs. Teil I: Referenzzustände 2010 und 2020 („Umweltatlas“). Schlussbericht. Schweizerische Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI), Bern.

GLOSSAR

a	Jahr
ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
AQ	Alpenquerend
AQGV	Alpenquerender Güterverkehr
ASTRA	Bundesamt für Strassen
AT	Sattelzug (Lastwagen mit Auflieger), articulated truck
AVZ	Automatische Strassenverkehrszählung
BAFU / BUWAL	Bundesamt für Umwelt (ehemals Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft)
BAT	„best available technology“
BAV	Bundesamt für Verkehr
CA	Car, Reisebusse
CO ₂	Kohlendioxid
DTV	Durchschnittlicher Tagesverkehr
Euro-0/1/2/3/4/5/6	Europäische Emissionsstandards für leichte Motorfahrzeuge <3.5t
Euro-0/I/II/.../VI	Europäische Emissionsstandards für schwere Motorfahrzeuge >3.5t
Fzkat	Fahrzeug-Kategorie (PW, Lieferwagen, Reisebus, Motorrad, Lastwagen)
Fzkm	Fahrzeug-Kilometer
GV	Güterverkehr
LI	Lieferwagen
LSVA	Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe
MR	Motorräder
NO _x	Stickoxide (Summe aus NO ₂ und NO)
PM ₁₀	Partikel, Feinstaub (max. Grösse 10 µm)
PW	Personenwagen
RT	Rigid Truck, Lastwagen
ROLA	Rollende Landstrasse, d.h. Verlad ganzer Lastwagen auf die Bahn
SGF	Schwere (Strassen-)Güterfahrzeuge
t/a	Tonnen pro Jahr
TT	Lastenzug (Lastwagen mit Anhänger), tractor trailer

UKV	Unbegleiteter Kombiniertes Verkehr: nur die Transportbehälter werden auf die Bahn verladen, während Zugfahrzeug und Chauffeur am Terminal verbleiben
VMG	Verkehrsmengengerüst
VM-UVEK	Verkehrsmodell UVEK

ANNEX

ANNEX 1: FLOTTENZUSAMMENSETZUNG SGF BINNEN-, IMPORT/EXPORT- UND TRANSITVERKEHR

Segment	2010			2020		
	BIV	IE	T	BIV	IE	T
RT ≤7,5t	1.2%	1.6%	0.8%	1.1%	2.0%	1.1%
RT >7,5-12t	6.8%	1.7%	1.2%	8.0%	2.0%	1.4%
RT >12-14t	3.4%	0.5%	0.0%	3.8%	0.6%	0.0%
RT >14-20t	16.3%	3.2%	0.5%	17.0%	3.8%	0.6%
RT >20-26t	6.4%	3.3%	0.5%	5.9%	3.6%	0.6%
RT >26-28t	0.3%	0.1%	0.0%	0.3%	0.1%	0.0%
RT >28-32t	14.0%	3.9%	0.1%	12.9%	4.2%	0.1%
RT >32t	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%
TT/AT ≤7,5t	1.4%	0.4%	0.1%	1.5%	0.5%	0.1%
TT/AT >20-28t	10.0%	3.5%	0.9%	10.3%	4.1%	1.1%
TT/AT >28-34t	13.6%	2.0%	0.8%	13.7%	2.4%	1.1%
TT/AT >34-40t	26.6%	79.8%	95.0%	25.5%	76.4%	93.9%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabelle 16 Flottenzusammensetzung Binnenverkehr (BiV), Import/Export-Verkehr (IE) und Transitverkehr (T) im alpenquerenden Güterverkehr nach Grössenklassen.

EURO-Stufe	2010			2020		
	BIV	IE	T	BIV	IE	T
pre-EURO	2.9%	0.8%	0.3%	0.1%	0.0%	0.0%
EURO I	1.8%	0.6%	0.3%	0.1%	0.0%	0.0%
EURO II	7.3%	4.9%	2.8%	0.6%	0.3%	0.1%
EURO III	31.9%	24.4%	26.4%	3.8%	1.9%	1.7%
EURO IV	11.0%	11.0%	11.4%	1.6%	1.2%	1.1%
EURO V	45.1%	58.4%	58.8%	30.4%	24.3%	21.4%
EURO VI	0.0%	0.0%	0.0%	63.4%	72.4%	75.7%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabelle 17 Flottenzusammensetzung Binnenverkehr (BiV), Import/Export-Verkehr (IE) und Transitverkehr (T) im alpenquerenden Güterverkehr nach EURO-Stufen.

ANNEX 2: PARAMETER FÜR DIE ZUWEISUNG DER LEVELS OF SERVICE (LOS)

SCHWELLENWERTE α FÜR DEN LINKVERKEHR					
Linktyp	Fzkat	LOS 1 Freeflow	LOS 2 Heavy	LOS 3 Saturated	LOS 4 Stop+Go
Autobahn	alle	0-0.75	0.75-0.80	0.80-0.95	>0.95
Hauptverkehrsstrasse, Verbindungsstrasse	alle	0-0.50	0.50-0.80	0.80-0.90	>0.90
Erschliessungsstrasse	alle	0-0.60	0.60-0.80	0.80-0.90	>0.90

Tabelle 18 Schwellenwerte α für den Linkverkehr (pro Strassenabschnitt modelliertes Netz). Lesebeispiel: Verkehrsbelastungen auf Autobahnen, die unter 75% der Kapazität liegen, gelten als Freeflow (flüssiger Verkehr), jene über 95% als Stop+Go (Stau).

ANNEX 3: EMISSIONSFAKTOREN

BETRIEBS-EMISSIONSFAKTOREN STRASSE

Fzkat	CO2	NOx	PM10 (Abgas)	PM10 (Bremsen, Abrieb)
Realszenario Verlagerung				
PW, Benzin	169.51	0.072	0.003	0.047
PW, Diesel	138.68	0.365	0.005	0.047
LI	239.65	0.911	0.022	0.047
CA	784.53	2.010	0.028	0.084
MR	119.09	0.356	0.000	0.012
SGF Transit	869.47	0.934	0.010	0.083
SGF Import/Export	847.90	0.985	0.011	0.084
SGF Binnenverkehr	740.35	1.108	0.013	0.084
Keine Verlagerung (28t-SGF statt 40t)				
SGF Transit	775.93	0.834	0.009	0.083
SGF Import/Export	756.68	0.879	0.010	0.084
SGF Binnenverkehr	660.70	0.989	0.012	0.084
Halbe Effizienz				
PW, Benzin	169.51	0.072	0.003	0.047
PW, Diesel	138.68	0.461	0.005	0.047
LI	239.65	1.051	0.022	0.047
CA	784.53	2.496	0.033	0.084
MR	119.09	0.356	0.000	0.012
SGF Transit	869.47	1.647	0.016	0.083
SGF Import/Export	847.90	1.643	0.017	0.084
SGF Binnenverkehr	740.35	1.615	0.018	0.084
BAT SGF/alle Fzkat Euro 6/VI				
PW, Benzin	154.96	0.051	0.002	0.047
PW, Diesel	131.64	0.188	0.001	0.047
LI	226.02	0.380	0.003	0.047
CA	788.29	0.389	0.003	0.084
MR	111.10	0.192	0.000	0.012
SGF Transit	871.43	0.362	0.003	0.083
SGF Import/Export	852.48	0.360	0.003	0.084
SGF Binnenverkehr	746.07	0.314	0.003	0.084
PW Tempo 100				
PW, Benzin	152.68	0.061	0.002	0.047
PW, Diesel	128.90	0.310	0.005	0.047

Tabelle 19 Durchschnittliche Betriebs-Emissionsfaktoren pro Fahrzeugkategorie für das Untersuchungsgebiet „Alpenraum“.

Fzkat	CO2	NOx	PM10 (Abgas)	PM10 (Bremsen, Abrieb)
Realszenario Verlagerung				
SGF Transit	767.72	0.842	0.010	0.085
SGF Import/Export	724.12	0.842	0.010	0.081
SGF Binnenverkehr	678.01	1.061	0.014	0.090
Keine Verlagerung (28t-SGF statt 40t)				
SGF Transit	685.13	0.752	0.009	0.085
SGF Import/Export	646.22	0.752	0.009	0.081
SGF Binnenverkehr	605.07	0.947	0.013	0.090
Halbe Effizienz				
SGF Transit	767.72	1.494	0.017	0.085
SGF Import/Export	724.12	1.421	0.016	0.081
SGF Binnenverkehr	678.01	1.556	0.020	0.090
BAT SGF/alle Fzkat Euro 6/VI				
SGF Transit	769.65	0.324	0.003	0.085
SGF Import/Export	727.88	0.294	0.003	0.081
SGF Binnenverkehr	682.80	0.299	0.003	0.090

Tabelle 20 Durchschnittliche Betriebs-Emissionsfaktoren pro SGF-Kategorie für die Zufahrtsstrecken in der Schweiz und im Ausland.

VORPROZESS-EMISSIONSFAKTOREN STRASSE

EMISSIONSFAKTOREN TREIBSTOFFE				
Treibstoff	Einheit	Emissionsfaktor		
		CO2	NOx	PM10
Benzin	g/g (=t/t)	0.678	0.00254	0.000274
Diesel	g/g (=t/t)	0.504	0.00227	0.000220
CNG	g/g (=t/t)	0.386	0.00122	0.000074

Tabelle 21 Emissionsfaktoren der im Strassenverkehr verwendeten Treibstoffe (Quelle: Ecoinvent Version 2.2).

EMISSIONSFAKTOREN STROMPRODUKTION

EMISSIONSFAKTOREN NACH ENERGIEQUELLE [g/kWh]												
	Steinkohle	Braun- kohle	Öl	Nat. Gas	Industr. Gas	Nuklear	Wasser- kraft	Wind	Photo- voltaik	Biomasse	Abfall	Andere Erneuer- bare
CO₂												
Deutschland	968	1'203	1'109	525	1'441	9	4	10	74	49	-	34
Italien	987	1'216	856	620	2'007	7	5	10	59	68	-	36
NO_x												
Deutschland	0.981	0.835	1.214	0.501	1.300	0.031	0.014	0.024	0.180	0.438	-	0.164
Italien	2.919	1.424	2.772	0.828	0.148	0.031	0.015	0.024	0.142	0.319	-	0.125
PM₁₀												
Deutschland	0.083	0.071	0.149	0.013	0.628	0.040	0.016	0.020	0.051	0.045	-	0.033
Italien	0.329	0.549	0.197	0.017	0.148	0.044	0.013	0.020	0.040	0.029	-	0.026

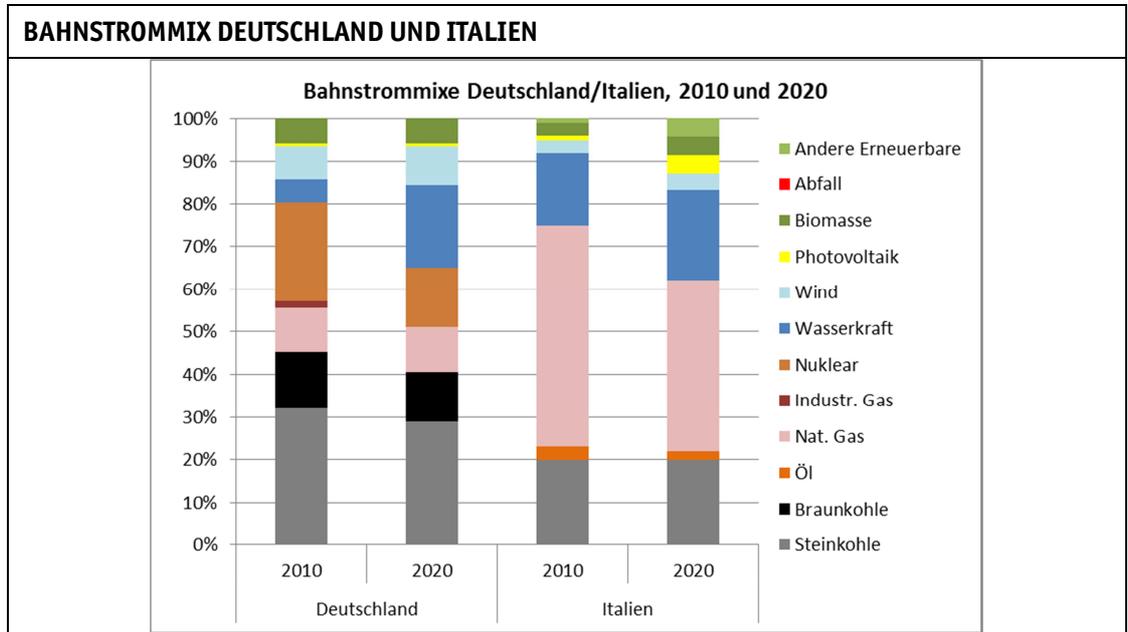
Tabelle 22 Emissionsfaktoren der Energiequellen des Bahnstroms in Deutschland und Italien (Quelle: Ecoinvent Version 2.2).

BAHNSTROMMIX DEUTSCHLAND UND ITALIEN												
	Steinkohle	Braun- kohle	Öl	Nat. Gas	Industr. Gas	Nuklear	Wasser- kraft	Wind	Photo- voltaik	Biomasse	Abfall	Andere Erneuer- bare
Deutschland												
2010	32.1%	13.0%	0.0%	10.5%	1.6%	22.9%	5.6%	7.8%	0.6%	5.9%	0.0%	0.0%
2020	28.8%	11.7%	0.0%	10.5%	0.0%	14.0%	19.2%	9.2%	0.6%	5.9%	0.0%	0.0%
Italien												
2010	20.0%	0.0%	3.0%	52.0%	0.0%	0.0%	17.0%	3.0%	1.0%	3.0%	0.0%	1.0%
2020	20.0%	0.0%	2.0%	40.0%	0.0%	0.0%	21.1%	4.2%	4.2%	4.2%	0.0%	4.2%

Tabelle 23 Anteile der verschiedenen Energieträger am Bahnstrommix in Deutschland und Italien in den Jahren 2010 und 2020 (Quellen: Deutsche Bahn 2012a, Deutsche Bahn 2012b, Gerhardt et al. 2011, INFRAS und IFEU 2011, persönliche Mitteilungen Deutsche Bahn, 17.12.2012 und Sustainable Development Foundation, 9.12.2012).

VERWENDETE ECOINVENT 2.2-PROZESSE		
Energieträger	Prozessname	Prozess-Location
Deutschland		
Steinkohle	electricity, hard coal, at power plant	DE
Braunkohle	electricity, lignite, at power plant	DE
Öl	electricity, oil, at power plant	DE
Nat. Gas	electricity, natural gas, at power plant	DE
Industr. Gas	electricity, industrial gas, at power plant	DE
Nuklear	electricity, nuclear, at power plant	DE
Wasserkraft	electricity, hydropower, at power plant	DE
Wind	electricity, at wind power plant	RER
Photovoltaik	electricity, production mix photovoltaic, at plant	DE
Biomasse	electricity, at cogen 6400kWh, wood, emission control, allocation exergy (54%)* electricity, at cogen with biogas engine, allocation exergy (46%)*	CH
Abfall	electricity from waste, at municipal waste incineration plant	CH
Andere Erneuerbare	Mittelwert aus Erneuerbaren	CH
Italien		
Steinkohle	electricity, hard coal, at power plant	IT
Braunkohle	electricity, lignite, at power plant	UCTE
Öl	electricity, oil, at power plant	IT
Nat. Gas	electricity, natural gas, at power plant	IT
Industr. Gas	electricity, industrial gas, at power plant	IT
Nuklear	N/A	N/A
Wasserkraft	electricity, hydropower, at power plant	IT
Wind	electricity, at wind power plant	RER
Photovoltaik	electricity, production mix photovoltaic, at plant	IT
Biomasse	electricity, at cogen 6400kWh, wood, emission control, allocation exergy (19%)* electricity, at cogen with biogas engine, allocation exergy (81%)*	CH
Abfall	electricity from waste, at municipal waste incineration plant	CH
Andere Erneuerbare	Mittelwert aus Erneuerbaren	CH

Tabelle 24 Prozesse in Ecoinvent 2.2, welche zur Berechnung der Bahnstrom-Emissionsfaktoren verwendet wurden.



Figur 26 Anteile der verschiedenen Energieträger am Bahnstrommix in Deutschland und Italien in den Jahren 2010 und 2020 (Quellen: Deutsche Bahn 2012a, Deutsche Bahn 2012b, Gerhardt et al. 2011, INFRAS und IFEU 2011, persönliche Mitteilungen Ulrich Ostermayer, Deutsche Bahn, 17.12.2012 und Raimondo Orsini, Sustainable Development Foundation, 9.12.2012).

NETZVERLUSTE		
	2010	2020
Schweiz	2.4%	2.4%
Deutschland	1.9%	2.5%
Italien	2.1%	2.0%

Tabelle 25 Netzverluste in Deutschland und Italien in den Jahren 2010 und 2020 (Quelle: Ecoinvent 2.2).

EMISSIONSFAKTOREN BAHNSTROM [g/kWh]			
	CO ₂	NO _x	PM ₁₀
Schweiz			
2010-2020	10	0.028	0.026
Deutschland			
2010	564	0.545	0.063
2020	494	0.481	0.048
Italien			
2010	561	1.135	0.087
2020	479	1.014	0.086
UCTE (zum Vergleich, nicht verwendet)			
2010	496	0.864	0.158

Tabelle 26 Emissionsfaktoren Bahnstrom in der Schweiz, Deutschland und Italien für die Jahre 2010 und 2020.

ANNEX 4: VERGLEICH MENGENSZENARIEN - ZUSÄTZLICHE AUSWERTUNGEN

CO ₂ -EMISSIONEN UND ENERGIEVERBRAUCH UNTER DEN MENGENSZENARIEN												
Belastungsniveau	Alpen			Zufahrtsstrecken CH		Schweiz gesamt		Ausland		SGF (AQ) Total	GV Schiene (AQ) total	GV Strasse + Schiene (AQ) total
	SGF (AQ)	SGF (Rest)	Rest Strasse	SGF (AQ)	SGF (Rest)	SGF (AQ)	GV Schiene (AQ)	SGF (AQ)	GV Schiene (AQ)			
Tank-to-Wheel-Emissionen (TWW) [t/a]												
Realszenario Verlagerung	106'867	5'875	194'101	155'237	153'672	262'104	-	451'135	-	713'239	-	713'239
Verlagerungsziel erreicht	46'863	5'875	194'101	62'883	153'672	109'746	-	112'501	-	222'247	-	222'247
Zwischenziel erreicht	72'368	5'875	194'101	102'138	153'672	174'507	-	256'456	-	430'962	-	430'962
Keine Verlagerungspolitik	142'055	5'875	194'101	211'326	166'186	353'380	-	676'106	-	1'029'486	-	1'029'486
Nachtfahrverbot aufheben	122'608	5'875	194'101	181'353	153'672	303'960	-	560'978	-	864'939	-	864'939
Teil-Verlagerungszwang	97'038	3'980	194'101	140'038	152'090	237'076	-	392'925	-	630'001	-	630'001
Well-to-tank-Emissionen (WTT) [t/a]												
Realszenario Verlagerung	17'103	1'126	37'200	24'844	24'593	41'946	2'211	72'198	268'821	114'145	271'032	385'177
Verlagerungsziel erreicht	7'500	1'126	37'200	10'064	24'593	17'563	3'568	18'004	443'179	35'568	446'746	482'314
Zwischenziel erreicht	11'582	1'126	37'200	16'346	24'593	27'927	3'142	41'042	388'401	68'970	391'543	460'512
Keine Verlagerungspolitik	22'734	1'126	37'200	33'820	26'596	56'554	1'667	108'202	198'917	164'756	200'583	365'339
Nachtfahrverbot aufheben	19'622	1'126	37'200	29'023	24'593	48'645	1'819	89'777	218'457	138'422	220'276	358'698
Teil-Verlagerungszwang	15'530	763	37'200	22'411	24'340	37'941	2'408	62'882	294'140	100'823	296'547	397'371
Total Emissionen (WTW) [t/a]												
Realszenario Verlagerung	123'970	7'001	231'301	180'080	178'266	304'051	2'211	523'333	268'821	827'384	271'032	1'098'416
Verlagerungsziel erreicht	54'363	7'001	231'301	72'946	178'266	127'309	3'568	130'505	443'179	257'815	446'746	704'561
Zwischenziel erreicht	83'950	7'001	231'301	118'484	178'266	202'434	3'142	297'498	388'401	499'932	391'543	891'475
Keine Verlagerungspolitik	164'789	7'001	231'301	245'146	192'782	409'934	1'667	784'307	198'917	1'194'242	200'583	1'394'825
Nachtfahrverbot aufheben	142'229	7'001	231'301	210'376	178'266	352'605	1'819	650'755	218'457	1'003'361	220'276	1'223'637
Teil-Verlagerungszwang	112'568	4'742	231'301	162'450	176'430	275'017	2'408	455'807	294'140	730'825	296'547	1'027'372
Primärenergieverbrauch (WTW) [PJ]												
Realszenario Verlagerung	1.87	0.10	3.51	2.71	2.69	4.58	1.50	7.88	3.62	12.46	5.11	17.58
Verlagerungsziel erreicht	0.82	0.10	3.51	1.10	2.69	1.92	2.41	1.97	5.97	3.88	8.38	12.26
Zwischenziel erreicht	1.26	0.10	3.51	1.78	2.69	3.05	2.13	4.48	5.23	7.53	7.35	14.89
Keine Verlagerungspolitik	2.48	0.10	3.51	3.69	2.90	6.18	1.13	11.82	2.68	17.99	3.81	21.80
Nachtfahrverbot aufheben	2.14	0.10	3.51	3.17	2.69	5.31	1.23	9.80	2.94	15.12	4.17	19.29
Teil-Verlagerungszwang	1.70	0.07	3.51	2.45	2.66	4.14	1.85	6.87	4.51	11.01	6.36	17.37

Tabelle 27 CO₂-Emissionen und Energieverbrauch unter den Mengenszenarien.

NO _x -EMISSIONEN UNTER DEN MENGENSZENARIEN												
Belastungsniveau	Alpen			Zufahrtsstrecken CH		Schweiz gesamt		Ausland		SGF (AQ) Total	GV Schiene (AQ) total	GV Strasse + Schiene (AQ) total
	SGF (AQ)	SGF (Rest)	Rest Strasse	SGF (AQ)	SGF (Rest)	SGF (AQ)	GV Schiene (AQ)	SGF (AQ)	GV Schiene (AQ)			
Tank-to-Wheel-Emissionen (TWW) [t/a]												
Realszenario Verlagerung	128.2	8.8	340.4	187.3	240.4	315.6	-	498.6	-	814.19	-	814.2
Verlagerungsziel erreicht	62.3	8.8	340.4	84.6	240.4	146.8	-	124.3	-	271.15	-	271.2
Zwischenziel erreicht	90.3	8.8	340.4	128.2	240.4	218.5	-	283.4	-	501.99	-	502.0
Keine Verlagerungspolitik	165.7	8.8	340.4	248.1	260.1	413.8	-	747.3	-	1'161.17	-	1'161.2
Nachtfahrverbot aufheben	145.1	8.8	340.4	216.0	240.4	361.1	-	619.1	-	980.17	-	980.2
Teil-Verlagerungszwang	117.5	6.0	340.4	170.5	238.0	288.0	-	434.5	-	722.52	-	722.5
Well-to-tank-Emissionen (WTT) [t/a]												
Realszenario Verlagerung	76.9	4.2	139.7	111.7	110.6	188.6	6.4	324.6	309.2	513.21	315.6	828.8
Verlagerungsziel erreicht	33.7	4.2	139.7	45.2	110.6	79.0	10.3	80.9	509.8	159.92	520.1	680.0
Zwischenziel erreicht	52.1	4.2	139.7	73.5	110.6	125.6	9.0	184.5	446.8	310.10	455.8	765.9
Keine Verlagerungspolitik	102.2	4.2	139.7	152.1	119.6	254.3	4.8	486.5	228.8	740.76	233.6	974.4
Nachtfahrverbot aufheben	88.2	4.2	139.7	130.5	110.6	218.7	5.2	403.6	251.3	622.36	256.5	878.9
Teil-Verlagerungszwang	69.8	2.9	139.7	100.8	109.4	170.6	6.9	282.7	338.4	453.31	345.3	798.6
Total Emissionen (WTW) [t/a]												
Realszenario Verlagerung	205.1	13.0	480.0	299.0	351.0	504.2	6.4	823.2	309.2	1'327.40	315.6	1'643.0
Verlagerungsziel erreicht	96.0	13.0	480.0	129.8	351.0	225.8	10.3	205.3	509.8	431.07	520.1	951.1
Zwischenziel erreicht	142.4	13.0	480.0	201.7	351.0	344.1	9.0	468.0	446.8	812.09	455.8	1'267.9
Keine Verlagerungspolitik	267.9	13.0	480.0	400.2	379.7	668.1	4.8	1'233.8	228.8	1'901.93	233.6	2'135.5
Nachtfahrverbot aufheben	233.4	13.0	480.0	346.4	351.0	579.8	5.2	1'022.7	251.3	1'602.53	256.5	1'859.1
Teil-Verlagerungszwang	187.3	8.8	480.0	271.3	347.4	458.6	6.9	717.2	338.4	1'175.83	345.3	1'521.1

Tabelle 28 NO_x-Emissionen und Energieverbrauch unter den Mengenszenarien.

PM10- (ABGAS-)EMISSIONEN UNTER DEN MENGENSZENARIEN												
Belastungsniveau	Alpen			Zufahrtsstrecken CH		Schweiz gesamt		Ausland		SGF (AQ) Total	GV Schiene (AQ) total	GV Strasse + Schiene (AQ) total
	SGF (AQ)	SGF (Rest)	Rest Strasse	SGF (AQ)	SGF (Rest)	SGF (AQ)	GV Schiene (AQ)	SGF (AQ)	GV Schiene (AQ)			
Tank-to-Wheel-Emissionen (TWW) [t/a]												
Realszenario Verlagerung	1.42	0.11	7.14	2.30	3.19	3.72	-	5.90	-	9.62	-	9.6
Verlagerungsziel erreicht	0.72	0.11	7.14	1.08	3.19	1.80	-	1.47	-	3.27	-	3.3
Zwischenziel erreicht	1.02	0.11	7.14	1.59	3.19	2.62	-	3.35	-	5.97	-	6.0
Keine Verlagerungspolitik	1.87	0.20	7.14	3.11	3.57	4.98	-	9.13	-	14.11	-	14.1
Nachfahrverbot aufheben	1.60	0.11	7.14	2.63	3.19	4.23	-	7.32	-	11.55	-	11.6
Teil-Verlagerungszwang	1.31	0.07	7.14	2.10	3.16	3.41	-	5.14	-	8.55	-	8.5
Well-to-tank-Emissionen (WTT) [t/a]												
Realszenario Verlagerung	7.45	0.41	13.53	10.82	10.71	18.27	5.88	31.44	29.66	49.70	35.54	85.2
Verlagerungsziel erreicht	3.27	0.41	13.53	4.38	10.71	7.65	9.49	7.84	48.89	15.49	58.38	73.9
Zwischenziel erreicht	5.04	0.41	13.53	7.12	10.71	12.16	8.35	17.87	42.85	30.03	51.20	81.2
Keine Verlagerungspolitik	9.90	0.41	13.53	14.73	11.58	24.63	4.43	47.12	21.95	71.74	26.38	98.1
Nachfahrverbot aufheben	8.54	0.41	13.53	12.64	10.71	21.18	4.84	39.09	24.10	60.27	28.94	89.2
Teil-Verlagerungszwang	6.76	0.28	13.53	9.76	10.60	16.52	6.40	27.38	32.45	43.90	38.85	82.8
Total Emissionen (WTT) [t/a]												
Realszenario Verlagerung	8.87	0.52	20.67	13.11	13.90	21.98	5.88	37.34	29.66	59.32	35.54	94.9
Verlagerungsziel erreicht	3.99	0.52	20.67	5.46	13.90	9.45	9.49	9.31	48.89	18.76	58.38	77.1
Zwischenziel erreicht	6.06	0.52	20.67	8.71	13.90	14.78	8.35	21.23	42.85	36.00	51.20	87.2
Keine Verlagerungspolitik	11.77	0.61	20.67	17.83	15.15	29.61	4.43	56.25	21.95	85.85	26.38	112.2
Nachfahrverbot aufheben	10.15	0.52	20.67	15.27	13.90	25.42	4.84	46.41	24.10	71.83	28.94	100.8
Teil-Verlagerungszwang	8.07	0.35	20.67	11.85	13.76	19.93	6.40	32.52	32.45	52.45	38.85	91.3

Tabelle 29 PM10-(Abgas)-Emissionen und Energieverbrauch unter den Mengenszenarien.

ANNEX 5: VERGLEICH TECHNOLOGIE-SZENARIEN, MENGENSZENARIO „REALSZENARIO VERLAGERUNG“ - ZUSÄTZLICHE AUSWERTUNGEN

CO ₂ -EMISSIONEN UND ENERGIEVERBRAUCH UNTER DEN TECHNOLOGIE-SZENARIEN									
Belastungsniveau	Alpen			Zufahrtsstrecken CH		Schweiz SGF (AQ)	Ausland SGF (AQ)	Total SGF (AQ)	Total SGF + Schiene (AQ)
	SGF (AQ)	SGF (Rest)	Andere Fzkat	SGF (AQ)	SGF (Rest)				
Tank-to-Wheel-Emissionen (TWW) [t/a]									
Realszenario Verlagerung	106'867	5'875	194'101	155'237	153'672	262'104	451'135	713'239	713'239
Halbe Effizienz	106'867	5'875	194'101	155'237	153'672	262'104	451'135	713'239	713'239
BAT SGF (AQ) Euro-VI	107'331	5'921	194'101	155'853	154'756	263'184	452'426	715'610	715'610
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	107'331	5'921	181'282	155'853	154'756	263'184	452'426	715'610	715'610
PW Tempo 100	106'867	5'875	180'646	155'237	153'672	262'104	451'135	713'239	713'239
Well-to-tank-Emissionen (WTT) [t/a]									
Realszenario Verlagerung	17'103	940	37'200	24'844	24'593	41'946	72'198	114'145	385'177
Halbe Effizienz	17'103	940	37'200	24'844	24'593	41'946	72'198	114'145	385'177
BAT SGF (AQ) Euro-VI	17'177	948	37'200	24'942	24'767	42'119	72'405	114'524	385'556
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	17'177	948	34'743	24'942	24'767	42'119	72'405	114'524	385'556
PW Tempo 100	17'103	940	34'621	24'844	24'593	41'946	72'198	114'145	385'177
Total Emissionen (WTW) [t/a]									
Realszenario Verlagerung	123'970	6'815	231'301	180'080	178'266	304'051	523'333	827'384	1'098'416
Halbe Effizienz	123'970	6'815	231'301	180'080	178'266	304'051	523'333	827'384	1'098'416
BAT SGF (AQ) Euro-VI	124'508	6'868	231'301	180'795	179'522	305'303	524'831	830'134	1'101'166
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	124'508	6'868	216'026	180'795	179'522	305'303	524'831	830'134	1'101'166
PW Tempo 100	123'970	6'815	215'268	180'080	178'266	304'051	523'333	827'384	1'098'416
Primärenergieverbrauch (WTW) [PJ]									
Realszenario Verlagerung	1.87	0.10	1.93	2.71	53%	4.58	7.88	12.46	17.58
Halbe Effizienz	1.87	0.10	1.93	2.71	2.69	4.58	7.88	12.46	17.58
BAT SGF (AQ) Euro-VI	1.88	0.10	1.94	2.72	2.70	4.60	7.91	12.51	17.62
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	1.88	0.10	1.94	2.72	2.70	4.60	7.91	12.51	17.62
PW Tempo 100	1.87	0.10	1.93	2.71	2.69	4.58	7.88	12.46	17.58

Tabelle 30 CO₂-Emissionen im Referenzzustand und unter den Technologie-Szenarien, Mengenszenario „Realszenario Verlagerung“.

NO _x -EMISSIONEN UNTER DEN TECHNOLOGIE-SZENARIEN									
Belastungsniveau	Alpen			Zufahrtsstrecken CH		Schweiz SGF (AQ)	Ausland SGF (AQ)	Total SGF (AQ)	Total SGF + Schiene (AQ)
	SGF (AQ)	SGF (Rest)	Andere Fzkat	SGF (AQ)	SGF (Rest)				
<i>Tank-to-Wheel-Emissionen (TWW) [t/a]</i>									
Realszenario Verlagerung	128.2	8.8	340.4	187.3	240.4	315.6	498.6	814.2	814.2
Halbe Effizienz	211.2	12.8	405.2	313.9	352.8	525.2	879.0	1'404.2	1'404.2
BAT SGF (AQ) Euro-VI	44.9	2.5	340.4	65.6	67.8	110.5	189.2	299.7	299.7
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	44.9	2.5	164.6	65.6	67.8	110.5	189.2	299.7	299.7
PW Tempo 100	128.2	8.8	310.9	187.3	240.4	315.6	498.6	814.2	814.2
<i>Well-to-tank-Emissionen (WTT) [t/a]</i>									
Realszenario Verlagerung	76.9	4.2	139.7	111.7	110.6	188.6	324.6	513.2	828.8
Halbe Effizienz	76.9	4.2	139.7	111.7	110.6	188.6	324.6	513.2	828.8
BAT SGF (AQ) Euro-VI	77.2	4.3	139.7	112.1	111.4	189.4	325.5	514.9	830.5
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	77.2	4.3	130.4	112.1	111.4	189.4	325.5	514.9	830.5
PW Tempo 100	76.9	4.2	130.0	111.7	110.6	188.6	324.6	513.2	828.8
<i>Total Emissionen (WTW) [t/a]</i>									
Realszenario Verlagerung	205.1	13.0	480.0	299.0	351.0	504.2	823.2	1'327.4	1'643.0
Halbe Effizienz	288.1	17.0	544.8	425.6	463.3	713.8	1'203.7	1'917.4	2'233.0
BAT SGF (AQ) Euro-VI	122.1	6.8	480.0	177.7	179.1	299.9	514.8	814.6	1'130.2
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	122.1	6.8	295.1	177.7	179.1	299.9	514.8	814.6	1'130.2
PW Tempo 100	205.1	13.0	440.8	299.0	351.0	504.2	823.2	1'327.4	1'643.0

Tabelle 31 NO_x-Emissionen im Referenzzustand und unter den Technologie-Szenarien, Mengenszenario „Realszenario Verlagerung“.

PM10-(ABGAS)-EMISSIONEN UNTER DEN TECHNOLOGIE-SZENARIEN									
Belastungsniveau	Alpen			Zufahrtsstrecken CH		Schweiz SGF (AQ)	Ausland SGF (AQ)	Total SGF (AQ)	Total SGF + Schiene (AQ)
	SGF (AQ)	SGF (Rest)	Andere Fzkat	SGF (AQ)	SGF (Rest)				
Tank-to-Wheel-Emissionen (TWW) [t/a]									
Realszenario Verlagerung	1.42	0.11	7.14	2.30	3.19	3.72	5.90	9.62	9.62
Halbe Effizienz	2.18	0.15	7.29	3.67	4.45	5.85	9.98	15.83	15.83
BAT SGF (AQ) Euro-VI	0.40	0.02	7.14	0.64	0.64	1.04	1.85	2.88	2.88
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	0.40	0.02	2.25	0.64	0.64	1.04	1.85	2.88	2.88
PW Tempo 100	1.42	0.11	6.31	2.30	3.19	3.72	5.90	9.62	9.62
Well-to-tank-Emissionen (WTT) [t/a]									
Realszenario Verlagerung	7.45	0.41	13.53	10.82	10.71	18.27	31.44	49.70	85.24
Halbe Effizienz	7.45	0.41	13.53	10.82	10.71	18.27	31.44	49.70	85.24
BAT SGF (AQ) Euro-VI	7.48	0.41	13.53	10.86	10.78	18.34	31.53	49.87	85.41
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	7.48	0.41	12.63	10.86	10.78	18.34	31.53	49.87	85.41
PW Tempo 100	7.45	0.41	12.59	10.82	10.71	18.27	31.44	49.70	85.24
Total Emissionen (WTW) [t/a]									
Realszenario Verlagerung	8.87	0.52	20.67	13.11	13.90	21.98	37.34	59.32	94.86
Halbe Effizienz	9.63	0.55	20.81	14.48	15.16	24.11	41.42	65.54	101.07
BAT SGF (AQ) Euro-VI	7.88	0.43	20.67	11.50	11.42	19.38	33.37	52.75	88.29
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	7.88	0.43	14.88	11.50	11.42	19.38	33.37	52.75	88.29
PW Tempo 100	8.87	0.52	18.90	13.11	13.90	21.98	37.34	59.32	94.86

Tabelle 32 PM10-(Abgas)-Emissionen im Referenzzustand und unter den Technologie-Szenarien, Mengenszenario „Realszenario Verlagerung“.

ANNEX 6: VERGLEICH TECHNOLOGIE-SZENARIEN, MENGENSZENARIO „VERLAGERUNGSZIEL ERREICHT“ - ZUSÄTZLICHE AUSWERTUNGEN

CO ₂ -EMISSIONEN UND ENERGIEVERBRAUCH UNTER DEN TECHNOLOGIE-SZENARIEN									
Belastungsniveau	Alpen			Zufahrtsstrecken CH		Schweiz SGF (AQ)	Ausland SGF (AQ)	Total SGF (AQ)	Total SGF + Schiene (AQ)
	SGF (AQ)	SGF (Rest)	Andere Fzkat	SGF (AQ)	SGF (Rest)				
Tank-to-Wheel-Emissionen (TWW) [t/a]									
Realszenario Verlagerung	46'863	5'875	194'101	62'883	153'672	109'746	112'501	222'247	222'247
Halbe Effizienz	46'863	5'875	194'101	62'883	153'672	109'746	112'501	222'247	222'247
BAT SGF (AQ) Euro-VI	47'135	5'921	194'101	63'207	154'756	110'342	112'823	223'165	223'165
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	47'135	5'921	181'283	63'207	154'756	110'342	112'823	223'165	223'165
Well-to-tank-Emissionen (WTT) [t/a]									
Realszenario Verlagerung	7'500	940	37'200	10'064	24'593	17'563	18'004	35'568	306'600
Halbe Effizienz	7'500	940	37'200	10'064	24'593	17'563	18'004	35'568	306'747
BAT SGF (AQ) Euro-VI	7'543	948	37'200	10'115	24'767	17'659	18'056	35'715	306'747
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	7'543	948	34'743	10'115	24'767	17'659	18'056	35'715	271'032
Total Emissionen (WTW) [t/a]									
Realszenario Verlagerung	54'363	6'815	231'301	72'946	178'266	127'309	130'505	257'815	528'847
Halbe Effizienz	54'363	6'815	231'301	72'946	178'266	127'309	130'505	257'815	528'847
BAT SGF (AQ) Euro-VI	54'679	6'868	231'301	73'322	179'522	128'001	130'878	258'880	529'912
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	54'679	6'868	216'026	73'322	179'522	128'001	130'878	258'880	529'912
Primärenergieverbrauch (WTW) [PJ]									
Realszenario Verlagerung	0.82	0.10	0.85	1.10	44%	1.92	1.97	3.88	9.00
Halbe Effizienz	0.82	0.10	0.85	1.10	2.69	1.92	1.97	3.88	9.00
BAT SGF (AQ) Euro-VI	0.82	0.10	0.85	1.10	2.70	1.93	1.97	3.90	9.01
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	0.82	0.10	0.85	1.10	2.70	1.93	1.97	3.90	9.01

Tabelle 33 CO₂-Emissionen im Referenzzustand und unter den Technologie-Szenarien, Mengenszenario „Verlagerungsziel erreicht“.

NO _x -EMISSIONEN UNTER DEN TECHNOLOGIE-SZENARIEN									
Belastungsniveau	Alpen			Zufahrtsstrecken CH		Schweiz	Ausland	Total	Total SGF +
	SGF (AQ)	SGF (Rest)	Andere Fzkat	SGF (AQ)	SGF (Rest)	SGF (AQ)	SGF (AQ)	SGF (AQ)	Schiene (AQ)
Tank-to-Wheel-Emissionen (TWW) [t/a]									
Realszenario Verlagerung	62.3	8.8	340.4	84.6	240.4	146.8	124.3	271.2	271.2
Halbe Effizienz	96.8	12.8	405.2	133.8	352.8	230.6	219.2	449.8	449.8
BAT SGF (AQ) Euro-VI	19.8	2.5	340.4	27.0	67.8	46.8	47.2	94.0	94.0
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	19.8	2.5	164.6	27.0	67.8	46.8	47.2	94.0	94.0
Well-to-tank-Emissionen (WTT) [t/a]									
Realszenario Verlagerung	33.7	4.2	139.7	45.2	110.6	79.0	80.9	159.9	475.5
Halbe Effizienz	33.7	4.2	139.7	45.2	110.6	79.0	80.9	159.9	475.5
BAT SGF (AQ) Euro-VI	33.9	4.3	139.7	45.5	111.4	79.4	81.2	160.6	476.2
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	33.9	4.3	130.4	45.5	111.4	79.4	81.2	160.6	476.2
Total Emissionen (WTW) [t/a]									
Realszenario Verlagerung	96.0	13.0	480.0	129.8	351.0	225.8	205.3	431.1	746.7
Halbe Effizienz	130.5	17.0	544.8	179.0	463.3	309.6	300.2	609.7	925.3
BAT SGF (AQ) Euro-VI	53.7	6.8	480.0	72.5	179.1	126.2	128.4	254.6	570.2
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	53.7	6.8	295.1	72.5	179.1	126.2	128.4	254.6	570.2

Tabelle 34 NO_x-Emissionen im Referenzzustand und unter den Technologie-Szenarien, Mengenszenario „Verlagerungsziel erreicht“.

PM10-(ABGAS)-EMISSIONEN UNTER DEN TECHNOLOGIE-SZENARIEN									
Belastungsniveau	Alpen			Zufahrtsstrecken CH		Schweiz	Ausland	Total	Total SGF +
	SGF (AQ)	SGF (Rest)	Andere Fzkat	SGF (AQ)	SGF (Rest)	SGF (AQ)	SGF (AQ)	SGF (AQ)	Schiene (AQ)
Tank-to-Wheel-Emissionen (TWW) [t/a]									
Realszenario Verlagerung	0.72	0.11	7.14	1.08	3.19	1.80	1.47	3.27	3.27
Halbe Effizienz	1.05	0.15	7.29	1.62	4.45	2.66	2.49	5.15	5.15
BAT SGF (AQ) Euro-VI	0.18	0.02	7.14	0.26	0.64	0.44	0.46	0.90	0.90
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	0.18	0.02	2.25	0.26	0.64	0.44	0.46	0.90	0.90
Well-to-tank-Emissionen (WTT) [t/a]									
Realszenario Verlagerung	3.27	0.41	13.53	4.38	10.71	7.65	7.84	15.49	51.02
Halbe Effizienz	3.27	0.41	13.53	4.38	10.71	7.65	7.84	15.49	51.02
BAT SGF (AQ) Euro-VI	3.28	0.41	13.53	4.40	10.78	7.69	7.86	15.55	51.09
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	3.28	0.41	12.63	4.40	10.78	7.69	7.86	15.55	51.09
Total Emissionen (WTW) [t/a]									
Realszenario Verlagerung	3.99	0.52	20.67	5.46	13.90	9.45	9.31	18.76	54.29
Halbe Effizienz	4.31	0.55	20.81	6.00	15.16	10.31	10.33	20.64	56.17
BAT SGF (AQ) Euro-VI	3.46	0.43	20.67	4.66	11.42	8.13	8.32	16.45	51.98
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	3.46	0.43	14.88	4.66	11.42	8.13	8.32	16.45	51.98

Tabelle 35 PM10-(Abgas)-Emissionen im Referenzzustand und unter den Technologie-Szenarien, Mengenszenario „Verlagerungsziel erreicht“.

ANNEX 7: VERGLEICH TECHNOLOGIE-SZENARIEN, MENGENSZENARIO „ZWISCHENZIEL ERREICHT“ - ZUSÄTZLICHE AUSWERTUNGEN

CO ₂ -EMISSIONEN UND ENERGIEVERBRAUCH UNTER DEN TECHNOLOGIE-SZENARIEN									
Belastungsniveau	Alpen			Zufahrtsstrecken CH		Schweiz SGF (AQ)	Ausland SGF (AQ)	Total SGF (AQ)	Total SGF + Schiene (AQ)
	SGF (AQ)	SGF (Rest)	Andere Fzkat	SGF (AQ)	SGF (Rest)				
Tank-to-Wheel-Emissionen (TWW) [t/a]									
Realszenario Verlagerung	72'368	5'875	194'101	102'138	153'672	174'507	256'456	430'962	430'962
Halbe Effizienz	72'368	5'875	194'101	102'138	153'672	174'507	256'456	430'962	430'962
BAT SGF (AQ) Euro-VI	72'722	5'921	194'101	102'587	154'756	175'308	257'190	432'498	432'498
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	72'722	5'921	181'283	102'587	154'756	175'308	257'190	432'498	432'498
Well-to-tank-Emissionen (WTT) [t/a]									
Realszenario Verlagerung	11'582	940	37'200	16'346	24'593	27'927	41'042	68'970	340'002
Halbe Effizienz	11'582	940	37'200	16'346	24'593	27'927	41'042	68'970	340'248
BAT SGF (AQ) Euro-VI	11'638	948	37'200	16'418	24'767	28'056	41'160	69'216	340'248
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	11'638	948	34'743	16'418	24'767	28'056	41'160	69'216	271'032
Total Emissionen (WTW) [t/a]									
Realszenario Verlagerung	83'950	6'815	231'301	118'484	178'266	202'434	297'498	499'932	770'964
Halbe Effizienz	83'950	6'815	231'301	118'484	178'266	202'434	297'498	499'932	770'964
BAT SGF (AQ) Euro-VI	84'360	6'868	231'301	119'004	179'522	203'364	298'349	501'714	772'746
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	84'360	6'868	216'026	119'004	179'522	203'364	298'349	501'714	772'746
Primärenergieverbrauch (WTV) [PJ]									
Realszenario Verlagerung	1.26	0.10	1.31	1.78	50%	3.05	4.48	7.53	12.65
Halbe Effizienz	1.26	0.10	1.31	1.78	2.69	3.05	4.48	7.53	12.65
BAT SGF (AQ) Euro-VI	1.27	0.10	1.32	1.79	2.70	3.06	4.49	7.56	12.67
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	1.27	0.10	1.32	1.79	2.70	3.06	4.49	7.56	12.67

Tabelle 36 CO₂-Emissionen im Referenzzustand und unter den Technologie-Szenarien, Mengenszenario „Zwischenziel erreicht“.

NO _x -EMISSIONEN UNTER DEN TECHNOLOGIE-SZENARIEN									
Belastungsniveau	Alpen			Zufahrtsstrecken CH		Schweiz	Ausland	Total	Total SGF +
	SGF (AQ)	SGF (Rest)	Andere Fzkat	SGF (AQ)	SGF (Rest)	SGF (AQ)	SGF (AQ)	SGF (AQ)	Schiene (AQ)
Tank-to-Wheel-Emissionen (TWW) [t/a]									
Realszenario Verlagerung	90.3	8.8	340.4	128.2	240.4	218.5	283.4	502.0	502.0
Halbe Effizienz	145.4	12.8	405.2	210.4	352.8	355.8	499.7	855.5	855.5
BAT SGF (AQ) Euro-VI	30.4	2.5	340.4	43.4	67.8	73.9	107.6	181.4	181.4
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	30.4	2.5	164.6	43.4	67.8	73.9	107.6	181.4	181.4
Well-to-tank-Emissionen (WTT) [t/a]									
Realszenario Verlagerung	52.1	4.2	139.7	73.5	110.6	125.6	184.5	310.1	625.7
Halbe Effizienz	52.1	4.2	139.7	73.5	110.6	125.6	184.5	310.1	625.7
BAT SGF (AQ) Euro-VI	52.3	4.3	139.7	73.8	111.4	126.1	185.1	311.2	626.8
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	52.3	4.3	130.4	73.8	111.4	126.1	185.1	311.2	626.8
Total Emissionen (WTW) [t/a]									
Realszenario Verlagerung	142.4	13.0	480.0	201.7	351.0	344.1	468.0	812.1	1'127.7
Halbe Effizienz	197.5	17.0	544.8	283.9	463.3	481.4	684.2	1'165.6	1'481.2
BAT SGF (AQ) Euro-VI	82.8	6.8	480.0	117.2	179.1	200.0	292.6	492.6	808.2
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	82.8	6.8	295.1	117.2	179.1	200.0	292.6	492.6	808.2

Tabelle 37 NO_x-Emissionen im Referenzzustand und unter den Technologie-Szenarien, Mengenszenario „Zwischenziel erreicht“.

PM10-(ABGAS)-EMISSIONEN UNTER DEN TECHNOLOGIE-SZENARIEN									
Belastungsniveau	Alpen			Zufahrtsstrecken CH		Schweiz	Ausland	Total	Total SGF +
	SGF (AQ)	SGF (Rest)	Andere Fzkat	SGF (AQ)	SGF (Rest)	SGF (AQ)	SGF (AQ)	SGF (AQ)	Schiene (AQ)
Tank-to-Wheel-Emissionen (TWW) [t/a]									
Realszenario Verlagerung	1.02	0.11	7.14	1.59	3.19	2.62	3.35	5.97	5.97
Halbe Effizienz	1.53	0.15	7.29	2.49	4.45	4.02	5.68	9.69	9.69
BAT SGF (AQ) Euro-VI	0.27	0.02	7.14	0.42	0.64	0.69	1.05	1.74	1.74
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	0.27	0.02	2.25	0.42	0.64	0.69	1.05	1.74	1.74
Well-to-tank-Emissionen (WTT) [t/a]									
Realszenario Verlagerung	5.04	0.41	13.53	7.12	10.71	12.16	17.87	30.03	65.57
Halbe Effizienz	5.04	0.41	13.53	7.12	10.71	12.16	17.87	30.03	65.57
BAT SGF (AQ) Euro-VI	5.07	0.41	13.53	7.15	10.78	12.22	17.92	30.14	65.68
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	5.07	0.41	12.63	7.15	10.78	12.22	17.92	30.14	65.68
Total Emissionen (WTW) [t/a]									
Realszenario Verlagerung	6.06	0.52	20.67	8.71	13.90	14.78	21.23	36.00	71.54
Halbe Effizienz	6.57	0.55	20.81	9.60	15.16	16.18	23.55	39.72	75.26
BAT SGF (AQ) Euro-VI	5.34	0.43	20.67	7.57	11.42	12.91	18.97	31.88	67.42
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	5.34	0.43	14.88	7.57	11.42	12.91	18.97	31.88	67.42

Tabelle 38 PM10-(Abgas)-Emissionen im Referenzzustand und unter den Technologie-Szenarien, Mengenszenario „Zwischenziel erreicht“.

ANNEX 8: VERGLEICH TECHNOLOGIE-SZENARIEN, MENGENSZENARIO „KEINE VERLAGERUNGSPOLITIK“ - ZUSÄTZLICHE AUSWERTUNGEN

CO ₂ -EMISSIONEN UND ENERGIEVERBRAUCH UNTER DEN TECHNOLOGIE-SZENARIEN									
Belastungsniveau	Alpen			Zufahrtsstrecken CH		Schweiz SGF (AQ)	Ausland SGF (AQ)	Total SGF (AQ)	Total SGF + Schiene (AQ)
	SGF (AQ)	SGF (Rest)	Andere Fzkat	SGF (AQ)	SGF (Rest)				
Tank-to-Wheel-Emissionen (TWW) [t/a]									
Realszenario Verlagerung	142'055	10'385	194'101	211'326	166'186	353'380	676'106	1'029'486	1'029'486
Halbe Effizienz	142'055	10'385	194'101	211'326	166'186	353'380	676'106	1'029'486	1'029'486
BAT SGF (AQ) Euro-VI	142'610	10'465	194'101	212'098	167'357	354'708	678'022	1'032'730	1'032'730
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	142'610	10'465	181'283	212'098	167'357	354'708	678'022	1'032'730	1'032'730
Well-to-tank-Emissionen (WTT) [t/a]									
Realszenario Verlagerung	22'734	1'662	37'200	33'820	26'596	56'554	108'202	164'756	435'788
Halbe Effizienz	22'734	1'662	37'200	33'820	26'596	56'554	108'202	164'756	436'307
BAT SGF (AQ) Euro-VI	22'823	1'675	37'200	33'943	26'783	56'766	108'509	165'275	436'307
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	22'823	1'675	34'743	33'943	26'783	56'766	108'509	165'275	271'032
Total Emissionen (WTW) [t/a]									
Realszenario Verlagerung	164'789	12'047	231'301	245'146	192'782	409'934	784'307	1'194'242	1'465'274
Halbe Effizienz	164'789	12'047	231'301	245'146	192'782	409'934	784'307	1'194'242	1'465'274
BAT SGF (AQ) Euro-VI	165'433	12'140	231'301	246'041	194'141	411'474	786'531	1'198'005	1'469'037
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	165'433	12'140	216'026	246'041	194'141	411'474	786'531	1'198'005	1'469'037
Primärenergieverbrauch (WTW) [PJ]									
Realszenario Verlagerung	2.48	0.18	2.57	3.69	56%	6.18	11.82	17.99	23.11
Halbe Effizienz	2.48	0.18	2.57	3.69	2.90	6.18	11.82	17.99	23.11
BAT SGF (AQ) Euro-VI	2.49	0.18	2.58	3.71	2.92	6.20	11.85	18.05	23.16
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	2.49	0.18	2.58	3.71	2.92	6.20	11.85	18.05	23.16

Tabelle 39 CO₂-Emissionen im Referenzzustand und unter den Technologie-Szenarien, Mengenszenario „Keine Verlagerungspolitik“.

NO _x -EMISSIONEN UNTER DEN TECHNOLOGIE-SZENARIEN									
Belastungsniveau	Alpen			Zufahrtsstrecken CH		Schweiz	Ausland	Total	Total SGF +
	SGF (AQ)	SGF (Rest)	Andere Fzkat	SGF (AQ)	SGF (Rest)	SGF (AQ)	SGF (AQ)	SGF (AQ)	Schiene (AQ)
Tank-to-Wheel-Emissionen (TWW) [t/a]									
Realszenario Verlagerung	165.7	15.5	340.4	248.1	260.1	413.8	747.3	1'161.2	1'161.2
Halbe Effizienz	277.6	22.7	405.2	422.4	381.8	700.0	1'318.2	2'018.2	2'018.2
BAT SGF (AQ) Euro-VI	59.7	4.4	340.4	89.1	73.3	148.7	283.9	432.6	432.6
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	59.7	4.4	164.6	89.1	73.3	148.7	283.9	432.6	432.6
Well-to-tank-Emissionen (WTT) [t/a]									
Realszenario Verlagerung	102.2	7.5	139.7	152.1	119.6	254.3	486.5	740.8	1'056.4
Halbe Effizienz	102.2	7.5	139.7	152.1	119.6	254.3	486.5	740.8	1'056.4
BAT SGF (AQ) Euro-VI	102.6	7.5	139.7	152.6	120.4	255.2	487.9	743.1	1'058.7
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	102.6	7.5	130.4	152.6	120.4	255.2	487.9	743.1	1'058.7
Total Emissionen (WTW) [t/a]									
Realszenario Verlagerung	267.9	23.0	480.0	400.2	379.7	668.1	1'233.8	1'901.9	2'217.5
Halbe Effizienz	379.9	30.1	544.8	574.4	501.3	954.3	1'804.7	2'759.0	3'074.6
BAT SGF (AQ) Euro-VI	162.3	11.9	480.0	241.7	193.8	403.9	771.8	1'175.7	1'491.3
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	162.3	11.9	295.1	241.7	193.8	403.9	771.8	1'175.7	1'491.3

Tabelle 40 NO_x-Emissionen im Referenzzustand und unter den Technologie-Szenarien, Mengenszenario „Keine Verlagerungspolitik“.

PM10-(ABGAS)-EMISSIONEN UNTER DEN TECHNOLOGIE-SZENARIEN									
Belastungsniveau	Alpen			Zufahrtsstrecken CH		Schweiz	Ausland	Total	Total SGF +
	SGF (AQ)	SGF (Rest)	Andere Fzkat	SGF (AQ)	SGF (Rest)	SGF (AQ)	SGF (AQ)	SGF (AQ)	Schiene (AQ)
Tank-to-Wheel-Emissionen (TWW) [t/a]									
Realszenario Verlagerung	1.87	0.20	7.14	3.11	3.57	4.98	9.13	14.11	14.11
Halbe Effizienz	2.93	0.27	7.29	5.05	4.98	7.98	15.46	23.44	23.44
BAT SGF (AQ) Euro-VI	0.55	0.04	7.14	0.90	0.71	1.45	2.86	4.30	4.30
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	0.55	0.04	2.25	0.90	0.71	1.45	2.86	4.30	4.30
Well-to-tank-Emissionen (WTT) [t/a]									
Realszenario Verlagerung	9.90	0.72	13.53	14.73	11.58	24.63	47.12	71.74	107.28
Halbe Effizienz	9.90	0.72	13.53	14.73	11.58	24.63	47.12	71.74	107.28
BAT SGF (AQ) Euro-VI	9.94	0.73	13.53	14.78	11.66	24.72	47.25	71.97	107.50
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	9.94	0.73	12.63	14.78	11.66	24.72	47.25	71.97	107.50
Total Emissionen (WTW) [t/a]									
Realszenario Verlagerung	11.77	0.92	20.67	17.83	15.15	29.61	56.25	85.85	121.39
Halbe Effizienz	12.83	0.99	20.81	19.78	16.56	32.60	62.58	95.18	130.72
BAT SGF (AQ) Euro-VI	10.49	0.77	20.67	15.68	12.37	26.16	50.11	76.27	111.81
BAT Alle Fzkat Euro-6/VI	10.49	0.77	14.88	15.68	12.37	26.16	50.11	76.27	111.81

Tabelle 41 PM10-Emissionen im Referenzzustand und unter den Technologie-Szenarien, Mengenszenario „Keine Verlagerungspolitik“.