



Januar 2007



Der Energieverbrauch des Verkehrs 1990 - 2035

Ergebnisse der Szenarien I bis IV und der zugehörigen Sensitivitäten „BIP hoch“, „Preise hoch“ und „Klima wärmer“

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE, 3003 Bern

Auftragnehmer:

Infras AG, Bern

Autoren:

Mario Keller

Diese Studie wurde im Rahmen der Energieperspektiven 2035 des Bundesamts für Energie BFE erstellt.

Für den Inhalt ist allein der/die Studiennehmer/in verantwortlich.

ÜBERSICHT

1.	EINLEITUNG	9
2.	VORGEHEN	11
3.	RAHMENENTWICKLUNGEN	47
4.	MASSNAHMEN UND INSTRUMENTE	63
5.	SZENARIO I - REFERENZ-ENTWICKLUNG	98
6.	SZENARIO II - „VERSTÄRKTE ZUSAMMENARBEIT“	126
7.	SZENARIO III - „NEUE PRIORITÄTEN“	132
8.	SZENARIO IV - „WEG ZUR 2000-WATT-GESELLSCHAFT“	147
9.	ZUSAMMENFASSENDE ÜBERSICHT	158
	ANNEX	166
	GLOSSAR	191
	LITERATUR	195

INHALT

1.	EINLEITUNG	9
1.1.	ZWECK DER ENERGIEPERSPEKTIVEN	9
1.2.	INHALT DES BERICHTS	9
2.	VORGEHEN	11
2.1.	SZENARIEN	11
2.1.1.	Zum Stellenwert von Szenarien	11
2.1.2.	Charakterisierung der Szenarien	12
2.2.	BISHERIGE ABSATZENTWICKLUNG	14
2.3.	BOTTOM-UP MODELLIERUNG IM VERKEHR	15
2.3.1.	Der Ansatz	15
2.3.2.	Systemabgrenzungen	16
2.4.	DIE MODELLIERUNG IN DEN EINZELNEN SEGMENTEN	17
2.4.1.	Der Ansatz	17
2.4.2.	Modellierung des Strassenverkehrs	19
2.4.3.	Modellierung des Schienenverkehrs	25
2.4.4.	Modellierung des Offroad-Bereichs	30
2.4.5.	Spezialfall Flugverkehr	31
2.5.	VERBRAUCH NACH VERBRAUCHERGRUPPEN, ENTWICKLUNG 1990-2005	33
2.6.	AUSWIRKUNGEN	37
2.6.1.	Berechnung der Schadstoff-Emissionen	37
2.6.2.	Finanzielle AUswirkungen	42
3.	RAHMENENTWICKLUNGEN	47
3.1.	ALLGEMEINE RAHMENDATEN	47
3.2.	VERKEHRSSPEZIFISCHER RAHMEN	48
3.3.	ENTWICKLUNG VON INFRASTRUKTUR UND VERKEHRSANGEBOT	53
3.3.1.	Bahninfrastruktur	53
3.3.2.	Strasseninfrastruktur	55
3.4.	VERKEHRSPERSPEKTIVEN DES ARE	57
3.4.1.	Perspektiven des Güterverkehrs	58
3.4.2.	Perspektiven des Personenverkehrs	60
4.	MASSNAHMEN UND INSTRUMENTE	63
4.1.	STRATEGIEN ZUR REDUKTION DES ENERGIEVERBRAUCHS IM VERKEHR	63

4.1.1.	Grundsätzliche Ansatzpunkte im Verkehr	63
4.1.2.	Konnex Energie-/Verkehrspolitik	64
4.2.	ZUR EFFIZIENZ-STRATEGIE	64
4.2.1.	Effizienzstrategie in der Schweiz	64
4.2.2.	Effizienzstrategie in der EU	66
4.3.	TECHNISCHE OPTIONEN ZUR REDUKTION DES TREIBSTOFFVERBRAUCHS	69
4.3.1.	Einleitung	69
4.3.2.	Optimierungen bei der Überwindung von Fahrwiderständen	70
4.3.3.	Fahrzeuggewicht	73
4.3.4.	Motorentechnische Optionen	74
4.3.5.	Klima-Anlagen	80
4.4.	ZUM FAHRVERHALTEN	80
4.5.	ZU DEN ALTERNATIVEN TREIBSTOFFEN	81
4.5.1.	Übersicht	82
4.5.2.	Treibstoffe auf Basis von Erdgas	83
4.5.3.	Treibstoffe auf Basis von Biomasse	83
4.5.4.	Wasserstoff	86
4.5.5.	Einschätzungen	87
4.6.	INSTRUMENTE	91
4.6.1.	Freiwillige Massnahmen	91
4.6.2.	Preisliche Instrumente	92
4.6.3.	Vorschriften zur Energieeffizienz	95
4.7.	UMSETZUNG	96
5.	SZENARIO I - REFERENZ-ENTWICKLUNG	98
5.1.	IDEE DES REFERENZ-SZENARIOS	98
5.2.	UMSETZUNG	98
5.2.1.	Mengenentwicklungen	98
5.2.2.	Spezifischer Energieverbrauch	102
5.2.3.	Tanktourismus	105
5.2.4.	Alternative Treibstoffe/Antriebe	105
5.3.	AUSWIRKUNGEN	106
5.3.1.	Energieverbrauch und CO ₂ -Emissionen	106
5.3.2.	Schadstoff-Emissionen	109
5.3.3.	Finanzielle Auswirkungen	110

5.4.	EXKURS SZENARIO Ib (REFERENZ MIT CO ₂ -ABGABE)	112
5.4.1.	Idee	112
5.4.2.	Umsetzung	113
5.4.3.	Auswirkungen	115
5.5.	SENSITIVITÄT „BIP HOCH“	118
5.5.1.	Idee	118
5.5.2.	Umsetzung	118
5.5.3.	Auswirkungen	119
5.6.	SENSITIVITÄT „ERDÖLPREIS HOCH“	120
5.6.1.	Idee	120
5.6.2.	Umsetzung	120
5.6.3.	Auswirkungen	121
5.7.	SENSITIVITÄT „KLIMA“	122
5.7.1.	Idee	122
5.7.2.	Umsetzung	122
5.7.3.	Auswirkungen	124
6.	SZENARIO II - „VERSTÄRKTE ZUSAMMENARBEIT“	126
6.1.	IDEE	126
6.2.	UMSETZUNG	126
6.3.	AUSWIRKUNGEN	126
6.3.1.	Energieverbrauch und CO ₂ -Emissionen	126
6.3.2.	Schadstoff-Emissionen	129
6.3.3.	Finanzielle Auswirkungen	130
7.	SZENARIO III - „NEUE PRIORITÄTEN“	132
7.1.	IDEE	132
7.2.	UMSETZUNG	133
7.2.1.	Ansatzpunkt Effizienz	133
7.2.2.	Ansatzpunkt alternativer Energiemix	137
7.3.	AUSWIRKUNGEN	138
7.3.1.	Energieverbrauch und CO ₂ -Emissionen	138
7.3.2.	Schadstoff-Emissionen	141
7.3.3.	Finanzielle Auswirkungen	141
8.	SZENARIO IV - „WEG ZUR 2000-WATT-GESELLSCHAFT“	147
8.1.	IDEE	147

8.2.	UMSETZUNG	147
8.2.1.	Ansatzpunkt Mengen-Anpassungen	147
8.3.	AUSWIRKUNGEN	148
8.3.1.	Energieverbrauch und CO ₂ -Emissionen	148
8.3.2.	Schadstoff-Emissionen	151
8.3.3.	Finanzielle Auswirkungen	151
8.4.	SENSITIVITÄT „BIP HOCH“	155
8.4.1.	Idee	155
8.4.2.	Umsetzung	155
8.4.3.	Auswirkungen	156
8.5.	SENSITIVITÄT „KLIMA“	157
9.	ZUSAMMENFASSENDE ÜBERSICHT	158
9.1.	ENTWICKLUNG VON ENERGIEVERBRAUCH UND CO ₂ -EMISSIONEN	158
9.2.	FINANZIELLE AUSWIRKUNGEN	159
9.3.	FOLGERUNGEN	162
ANNEX		166
ANNEX 1:	ABSATZ- UND VERBRAUCHSENTWICKLUNG VERKEHR 1990-2005	166
ANNEX 2:	MENGENGERÜST STRASSENVERKEHR - AUSGANGSLAGE	167
ANNEX 3:	MENGENGERÜST SCHIENENVERKEHR - AUSGANGSLAGE	170
ANNEX 4:	MENGENGERÜST OFFROAD SEKTOR - AUSGANGSLAGE	172
ANNEX 5:	VERGLEICH ENERGIE-VERBRAUCH UND -ABSATZ 1990-2005	173
ANNEX 6:	GRUNDLAGEN FÜR DIE EMISSIONSBERECHNUNGEN	174
ANNEX 7:	SZEN. I (REFERENZ): MENGENGERÜST, ENERGIEVERBRAUCH UND CO ₂ -EMISSIONEN	179
ANNEX 7A:	SZENARIO Ib: „REFERENZ MIT CO ₂ -ABGABE“: MENGENGERÜST, ENERGIEVERBRAUCH UND CO ₂ -EMISSIONEN	181
ANNEX 7B:	SZEN. I SENSITIVITÄT „BIP HOCH“: MENGENGERÜST, ENERGIEVERBRAUCH UND CO ₂ -EMISSIONEN	182
ANNEX 7C:	SZEN. I: SENSITIVITÄT „ERDÖLPREIS HOCH“: MENGENGERÜST, ENERGIEVERBRAUCH UND CO ₂ -EMISSIONEN	183
ANNEX 8:	SZEN. II: MENGENGERÜST, ENERGIEVERBRAUCH UND CO ₂ -EMISSIONEN	184
ANNEX 9:	SZEN. III: MENGENGERÜST, ENERGIEVERBRAUCH UND CO ₂ -EMISSIONEN	185
ANNEX 10:	SZEN. IV: MENGENGERÜST, ENERGIEVERBRAUCH UND CO ₂ -EMISSIONEN	187
ANNEX 10A:	SZEN. IV SENSITIVITÄT „BIP HOCH“: MENGENGERÜST, ENERGIEVERBRAUCH UND CO ₂ -EMISSIONEN	189

ANNEX 11: UMRECHNUNGSFAKTOREN	190
GLOSSAR	191
LITERATUR	195

1. EINLEITUNG

1.1. ZWECK DER ENERGIEPERSPEKTIVEN

Die Energieperspektiven sollen Optionen aufzeigen, wie die energiepolitischen Ziele zur Erreichung einer nachhaltigen und sicheren Energieversorgung erreicht werden können. Die Perspektiven umfassen Angaben zum Energieangebot und zur -nachfrage, zu den wirtschaftlichen Rahmenperspektiven, zu den energiepolitischen Massnahmen und, davon ausgehend, zu den volkswirtschaftlichen und ökologischen Auswirkungen.

Um die Optionen aufzuzeigen, wird mit Szenarien gearbeitet. Es werden je zwei massnahmenorientierte und zwei zielorientierte Szenarien formuliert. Im ersten Fall (Szenario I und II) werden Massnahmen für die Ziele Versorgungssicherheit und Umweltverträglichkeit festgelegt, und daraus werden der Zielerreichungsgrad sowie die Auswirkungen auf die volkswirtschaftlichen Kosten sowie auf Einkommens- und Vermögensverteilung abgeleitet. Im zweiten Fall (Szenario III und IV) werden Zielgrössen quantitativ festgelegt und mögliche Massnahmen iterativ verschärft bis die Zielgrössen erreicht werden. Wiederum sollen Modellrechnungen auf die volkswirtschaftlichen Kosten sowie deren Auswirkungen auf die Einkommens- und Vermögensverteilung schliessen lassen. Zu diesem Zweck werden verschiedene Modelltypen eingesetzt (Bottom up Modelle, Gleichgewichtsmodelle).

1.2. INHALT DES BERICHTS

Der vorliegende Bericht beschreibt das Vorgehen, die Annahmen und Ergebnisse der Szenarien für den **Sektor Verkehr**. Behandelt werden darin die vier oben erwähnten Szenarien. Unter Verwendung eines **Bottom-up-Ansatzes** wird die Entwicklung der Energienachfrage im Bereich Verkehr aufgezeigt. Es werden die wichtigsten Annahmen, Mengengerüste und Ergebnisse dargestellt. Dazu werden je nach Szenario auch anhand verschiedener Sensitivitätsberechnungen abgeschätzt, welchen Effekt ein verändertes Wirtschaftswachstum, erhöhte Rohölpreise sowie eine Änderung des Klimas auf die Energienachfrage im Verkehrsbereich hätten. Der Bericht hat folgenden Aufbau:

- › Kapitel 2 beschreibt das Vorgehen, charakterisiert die vier Szenarien und erläutert die Art und Weise, wie Mengengerüst und Modellierung aufgebaut sind, um die Energienachfrage im Verkehr in Bottom up- Manier nachzubilden.
- › Kapitel 3 erläutert einerseits die generellen Rahmenentwicklungen, die für alle Verbrauchersektoren (Haushalte, Industrie, Dienstleistungen, Verkehr) gelten, andererseits werden die verkehrsspezifischen Rahmenbedingungen und Projekte erläutert, die für die Sze-

narien-Entwicklung von Belang sind. Insbesondere werden hier auch die Verkehrsperspektiven des ARE dargestellt.

- › Kapitel 4 macht eine Auslegeordnung der verkehrsspezifischen Massnahmen und Instrumente, welche für diesen Sektor zur Verfügung stehen und auf die bei der Szenario-Bildung Bezug genommen wird.
- › Die Kapitel 5 bis 8 gehen dann einzeln auf die vier Szenarien ein
 - › Kap. 5: Szenario I (Weiter wie bisher), einschliesslich verschiedener Sensitivitätsbetrachtungen
 - › Kap. 6: Szenario II (Verstärkte Zusammenarbeit)
 - › Kap. 7: Szenario III (Neue Prioritäten)
 - › Kap. 8: Szenario IV (Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft)
- › Schliesslich zeigt Kapitel 9 eine zusammenfassende Übersicht, bei der die verschiedenen Indikatoren (Energienachfrage, CO₂- und Schadstoff-Emissionen, finanzielle Auswirkungen) der Szenarien einander gegenübergestellt werden.

2. VORGEHEN

2.1. SZENARIEN¹

2.1.1. ZUM STELLENWERT VON SZENARIEN

Als Methode zur Bereitstellung quantitativer und qualitativer Entscheidungsgrundlagen werden modellgestützte Szenarien verwendet. Szenarien stellen sich der Aufgabe, konsistente Bilder über eine mögliche Zukunft zu entwickeln, bei der bestimmte Rahmenbedingungen und politisch-gesellschaftliche Voraussetzungen kontrolliert verändert werden. Damit können – im Gegensatz zu Prognosen, die die Beschreibung einer „möglichst wahrscheinlichen Zukunft“ anstreben – auch die Auswirkungen von starken Veränderungen der Voraussetzungen gegenüber heutigen Verhältnissen eingeschätzt werden. Szenarien stellen komplexe „Wenn-dann-Aussagen“ dar. Für die Zwecke der Energieperspektiven können sie grundsätzlich in zwei Richtungen orientiert sein:

- › Einerseits werden Voraussetzungen wie Rahmenbedingungen, Politikstrategien und z.T. auch politische Einzelinstrumente und (technische) Massnahmen festgelegt oder abgeleitet. Deren Auswirkungen auf das Gesamtenergiesystem im Zeitablauf (Verbrauch, Energieträgermix, Anteil der erneuerbaren Energieträger etc.) wird ermittelt und unter strategischen Kriterien oder Zielsetzungen bewertet. Es handelt sich hierbei um eine „Was wäre, wenn...?“ – Aussage („Strategie-Szenario“). Diese Methodik wird für die Szenarien I „Weiter wie bisher“ und II „Verstärkte Zusammenarbeit“ angewendet.
- › Andererseits können konkrete oder strategische Ziele für einen bestimmten Zeitpunkt festgelegt werden. Mit Hilfe der Modellrechnungen lässt sich dann ein Satz notwendiger Massnahmen und Instrumente – und somit politikstrategische Voraussetzungen ableiten, um diese Ziele zu erreichen. Die abgeleiteten Aussagen sind somit vom Charakter „Was muss geschehen, damit...?“ („Zielszenarien“). Diese Methodik wird für die Szenarien III „Neue Prioritäten“ und IV „Weg zur 2000 Watt-Gesellschaft“ angewendet.

In den Abschätzungen der Energienachfrage der Energieperspektiven kommen beide Arten von Szenarien zum Einsatz. Die Szenarien werden darüber hinaus durch Sensitivitätsrechnungen auf ihre Robustheit hin überprüft: Hierfür werden die Entwicklungen der Rahmenbedingungen Weltmarktenergiepreise, BIP sowie Veränderung des Klimas (Erwärmung) vorgegeben und deren Auswirkungen mit den Szenarienergebnissen unter unveränderten Rahmenbedingungen („Trend“) verglichen.

¹ Diese Textpassage entspricht dem Sinne nach den Beschreibungen im Synthesebericht. Damit wird die Konsistenz zwischen den Sektoren gewahrt, aber sektorspezifische Punkte werden hervorgehoben.

Für Aussagen zu Möglichkeiten und Grenzen der Perspektiven sei auf den Synthesebericht verwiesen.

2.1.2. CHARAKTERISIERUNG DER SZENARIEN

Szenario I - „Weiter wie bisher“

Als Referenz wurde eine Fortsetzung der bisherigen Energiepolitik ohne Verstärkung, aber auch ohne substanzielle Reduktion gegenüber heute, angenommen. Für den Sektor Verkehr wurde dabei auf die jüngsten Verkehrsperspektiven des Personen- und Güterverkehrs abgestellt, welche durch das ARE erarbeitet wurden (ARE 2004a, ARE 2006). In den dort erarbeiteten sog. Basis-Szenarien werden die wichtigsten Entwicklungen der letzten Dekade fortgeschrieben im Sinne von „Weiter wie bisher“. Dort wurden weitgehend identische Annahmen zur Rahmenentwicklung (wie Bevölkerungsentwicklung, BIP-Wachstum etc.) getroffen wie in den Energieperspektiven (vgl. Kap. 3). Bei der Angebotsentwicklung wurde von den derzeit gültigen Beschlüssen ausgegangen, d.h. im wesentlichen Fertigstellung Autobahnnetz, ÖV-Grossprojekte gemäss FinöV, mit punktuellen Ergänzungen vor allem in den Agglomerationen. Die bereits bestehenden ordnungsrechtlichen Massnahmen – namentlich Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe (LSVA), aber auch Grenz- und Zielwerte (z.B. freiwillige Vereinbarungen), Luftreinhalteverordnung (LRV) etc. – bleiben bestehen. Neue ordnungsrechtliche Instrumente werden nicht unterstellt. Auch die Finanzierung wird nicht grundlegend verändert. Im energiespezifischen Bereich wird auf freiwilliger Ebene das Programm EnergieSchweiz fortgesetzt, mit unterstützenden Massnahmen auch im Verkehrsbereich (wie z.B. Eco-Drive, Mobilitätsmanagement etc.).

Zum Zeitpunkt der Szenariendefinition war offen, ob eine substanzielle CO₂-Abgabe mit Lenkungseffekt beschlossen werden würde. Daher wurden zwei Varianten der Referenz gerechnet, Ia ohne CO₂-Abgabe sowie eine Sensitivität (Ib) mit einer CO₂-Abgabe auf Brenn- und Treibstoffen, die sehr wahrscheinlich zur Erfüllung der Ziele des CO₂-Gesetzes führen sollte (gemäss den Arbeiten BUWAL (2003a, 2003b)). In der hier vorliegenden Fassung wird das ursprüngliche Szenario Ia als Referenz verwendet (im Folgenden unter der Bezeichnung Szenario I).

Szenario II – „Verstärkte Zusammenarbeit“

In Szenario II werden über die in der Referenz bestehenden Instrumente hinaus vor allem neue Formen der Kooperation zwischen Wirtschaft und Staat, aber auch zwischen verschiedenen wirtschaftlichen Akteuren angenommen, um insbesondere derzeit wirtschaftliche,

aber gehemmte, Effizienzpotenziale zu erschliessen. Zu den wesentlichen neuen Instrumenten zählen (ausserhalb des Verkehrs):

- › eine CO₂-Abgabe auf Brennstoffen in der Höhe von 35 CHF/t CO₂ in Verbindung mit den Vereinbarungslösungen mit Akteuren aus dem Dienstleistungs- und Industriesektor und
- › ein „Stromrappen“ als Fondslösung mit Aufkommen 380 Mio. CHF/a, aus deren Aufkommen mit 50 Mio. CHF/a Massnahmen der Stromeffizienz gefördert werden sowie mit bis zu 330 Mio. CHF/a neue Erneuerbare für die Stromerzeugung.

Die Instrumente im Verkehrsbereich konzentrieren sich auf

- › Klimarappen auf Treibstoffen (bis zu 1.6 Rp./l) mit einem Aufkommen von ca. 100 Mio. CHF/ a, der einen Fonds zur Umsetzung von CO₂-reduzierenden Massnahmen im Inland sowie zum Kauf von CO₂-Zertifikaten auf dem internationalen Markt speist,
- › Bonus-Malus-System für Neuwagen,
- › Fiskalische Förderung alternativer Treibstoffe, d.h. von Erd- und Flüssiggas sowie Biogas und andere Treibstoffe aus erneuerbaren Rohstoffen.

Szenario III – „Neue Prioritäten“

Szenario III ist das erste der „Zielszenarien“. Hier wird unterstellt, dass es eine grundsätzliche Verschiebung der gesellschaftlichen Prioritäten gibt und Klima- sowie Ressourcenschutz und Energieeffizienz weiter nach oben auf der globalen Agenda rücken. Entsprechend erscheinen konkrete Zielsetzungen in den Bereichen Reduktion des Endenergieverbrauchs pro Kopf, Reduktion der integralen (nationalen) CO₂-Emissionen sowie Ziele für Anteile der Erneuerbaren an den Treibstoffen (sowie an der Wärmeerzeugung und am Elektrizitätsverbrauch) möglich. Diese Ziele sind in einem ersten Schritt so ausgerichtet, dass sie zwar voraussichtlich über die Ergebnisse der Szenarien I und II deutlich hinausgehen, aber innerhalb der bisher bekannten institutionellen Strukturen und mit bekannten Technologien noch erreicht werden können.

Die Ziele sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

ZIELE IN SZENARIO III – „NEUE PRIORITÄTEN“	
Zielkategorie	Quantifizierung
Endenergieverbrauch pro Kopf in 2035 gegenüber 2000	-20%
Energiebedingte nationale CO ₂ -Emissionen	-20%
Anteil der Erneuerbaren an den Treibstoffen in 2035	5%
Anteil der Erneuerbaren am Brennstoffmix der Wärmeerzeugung in 2035	20%
Anteil der Neuen Erneuerbaren an der Elektrizitätsnachfrage in 2035	10%

Tabelle 1

Die Instrumente für dieses Szenario werden abgeleitet, wenn aus den Modellrechnungen ein Set von Massnahmen identifiziert ist. Auf sie wird in den Szenarien-Kapiteln ausführlicher eingegangen.

Szenario IV - „Weg zur 2000 Watt-Gesellschaft“

Szenario IV ist wie Szenario III ein „Zielszenario“, jedoch mit höheren Anforderungen an die Ziele. Diese sollen einen Weg in eine Effizienzgesellschaft aufzeigen, wie sie unter dem Stichwort „2000-Watt-Gesellschaft“ von der Arbeitsgruppe „Novatlantis“ für das Jahr 2050 als „Vision“ (BFE 2006, Exkurs 21) formuliert wurde. In Bezug auf die bereits in Szenario III verwendeten Indikatoren „Endenergieverbrauch pro Kopf“, „energiebedingte Landes- CO₂-Emissionen“ sowie „Anteile der erneuerbaren Energien an Treibstoffen (und Wärmeproduktion und Elektrizitätsproduktion)“ werden die Ziele bis 2035 nochmals deutlich verschärft.

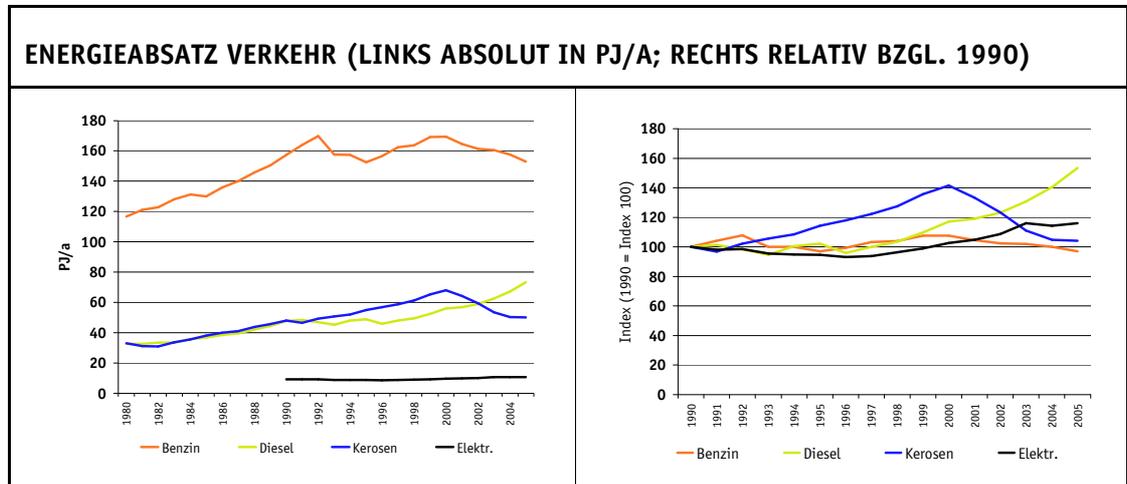
Tabelle 2 zeigt die hier verwendeten Ziele. Diese lassen erwarten, dass diese Ziele sowohl an die Entwicklung der Technik als auch an die zum Einsatz kommenden Instrumente höhere Ansprüche stellen als Szenario III

ZIELE IN SZENARIO IV – „WEG ZUR 2000 WATT-GESELLSCHAFT“	
Zielkategorie	Quantifizierung
Endenergieverbrauch pro Kopf in 2035 gegenüber 2000	-35%
Energiebedingte nationale CO ₂ -Emissionen	-35%
Anteil der Erneuerbaren an den Treibstoffen in 2035	10%
<i>Anteil der Erneuerbaren am Brennstoffmix der Wärmeerzeugung in 2035</i>	30%
<i>Anteil der Neuen Erneuerbaren an der Elektrizitätsnachfrage in 2035</i>	20%

Tabelle 2

2.2. BISHERIGE ABSATZENTWICKLUNG

Ausgangspunkt ist die Entwicklung des Energiebedarfs im Verkehr nach Energieträgern. Die nachstehende Figur zeigt die Entwicklung des Treibstoffabsatzes bzw. Strombedarfs ab 1980 bis 2005. Der Gesamtverbrauch hat seit 1990 bis 2005 um 9.3% zugenommen auf total 287 PJ/a (Referenzjahr 2003), was rund ein Drittel des Gesamtenergieverbrauchs der Schweiz ausmacht (2003: 873 PJ). Auffallend dabei ist der unterschiedliche Verlauf von Benzin (+/- stagnierend bzw. in den letzten Jahren leicht abnehmend), der konstante Zuwachs beim Diesel, und der durch die Turbulenzen um „9/11“ geprägte Verlauf beim Kerosen, dessen Absatz 2005 nur knapp über dem Wert von 1990 lag. Der Stromverbrauch macht mit rund 10 PJ etwa 4% aus.



Figur 1 Energieabsatz Treibstoffe bis 2005 gemäss Energiestatistik (bei Strom nur Teil Bahnen) [Zahlen sh. Annex 1].

Diese Absatzzahlen taugen zwar für allgemeine Aussagen zum sektorspezifischen Energiebedarf. Für Szenario-Betrachtungen sind aber feinere Aufgliederungen nach einzelnen Verbrauchergruppen einerseits, nach Bestimmungsfaktoren wie Mengen, Technologie abhängige spezifische Verbräuche etc. andererseits notwendig. Dazu werden die Bottom Up Modelle eingesetzt.

2.3. BOTTOM-UP MODELLIERUNG IM VERKEHR

2.3.1. DER ANSATZ

Zur quantitativen Abbildung von Energienachfrage werden Bottom-up-Modelle verwendet, die die einzelnen Verwendungszwecke (wie z.B. Fahrzeugparks) in unterschiedlich hohem Detaillierungsgrad abbilden. In diesen Modellen werden die Energieverbräuche für die Verwendungszwecke nach Mengenkomponten in Kohorten und spezifischen Verbräuchen aufgeteilt und ermittelt. Auf die so genannten „Mengenkomponeten“ (z.B. Fahrzeuge, spezifische Fahrleistungen pro Jahr) wirken modellexterne Einflussgrössen wie Wirtschaftswachstum, Bevölkerung, Lebensstandard, Raum- und Verkehrsorganisation etc. ein. In den spezifischen Verbräuchen spiegeln sich technische Entwicklungen wider; hierauf wirken politische Instrumente (wie z.B. Vorschriften, Zielvereinbarungen, Förderprogramme), aber auch Werthaltungen und gesellschaftliche Prioritäten, ein. Die Abbildung nach Kohorten ermöglicht es, die Altersstruktur (Lebensdauer) und Investitionszyklen (z.B. Neuanschaffungen oder Ersatz von Fahrzeugen) einzubeziehen. Implizit wird von der Voraussetzung

ausgegangen, dass Energieeffizienzinvestitionen nicht beliebig vorgezogen werden, selbst wenn neue und kostengünstige Technologien zur Verfügung stehen sollten.

Neben diesen für den Energieverbrauch wesentlichen Modellierungsansätzen spielen gerade im Verkehrsbereich die Mengenkomponten und ihre Struktur eine wichtige Rolle. Damit sind die Verkehrsleistungen (absolut in Personen-km bzw. in Tonnen-km), aber auch ihre modale Verteilung (z.B. auf Individual- bzw. öffentlichen Verkehr) gemeint. Hierzu wird auf die jüngsten Verkehrsperspektiven des Personen- und Güterverkehrs des ARE abgestellt. Diese liefern gewissermassen die Eckwerte der Verkehrsnachfrage, ausgeprägt in verschiedenen Szenarien, die allerdings inhaltlich nicht völlig deckungsgleich sind mit denjenigen der Energieperspektiven. Deshalb mussten aufgrund von Analogieschlüssen gewisse Anpassungen durchgeführt werden. Diese Anpassungen werden bei der Beschreibung der Szenarien näher erläutert. Modelltechnisch wurden die hier eingesetzten Bottom-up- und Kohorten-Modelle so abgestimmt, dass sie mit den Verkehrsperspektiven konsistent sind.

2.3.2. SYSTEMABGRENZUNGEN

Segmente des Verkehrssektors

Dem Sektor Verkehr werden in den nachstehenden Ausführungen folgende Segmente zugeordnet:

VERBRAUCHSKLASSEN		
Onroad (Strassenverkehr)	Offroad / Verkehr	Offroad / Nicht-Verkehr
<i>Fossile Treibstoffe:</i> - Personenverkehr: Personenwagen, Reisebusse, Linienbusse, Motorräder, Mofas - Güterverkehr: Leichte u. Schwere Nutzfahrzeuge	<i>Fossile Treibstoffe:</i> - Schienenverkehr - Schifffahrt - Flugverkehr (national)	<i>Fossile Treibstoffe:</i> - Land-, Forstwirtschaft, - Baumaschinen, - Industrie, - Militär, - Mobile Geräte (Gartenpflege etc)
	<i>Elektrizität:</i> - Schienenverkehr (Güter-, Personenverkehr)	

Tabelle 3 Aufteilung der Verbraucher im Kontext Verkehr in verschiedene Gruppen

Auf den Anteil der verschiedenen Sektoren am Energieverbrauch wird im nächsten Abschnitt eingegangen.

„Absatz“ vs. „Verbrauch“

Im Sektor Verkehr ist zu unterscheiden zwischen „Absatz“ (Verkäufe an den Tanksäulen) und „Verbrauch“ (Energie, die auf den Verkehrswegen der Schweiz „verbraucht“ wird). Aufgrund von Transfers über die Grenzen (Tanktourismus namentlich infolge von Preisdifferenzen zwischen der Schweiz und den angrenzenden Ländern) sind diese Mengen nicht identisch. Diese Differenzierung wird in den Szenario-Berechnungen mitgeführt. Relevant sind letztlich die Absatz-Zahlen, u.a. weil im Rahmen internationaler Vereinbarungen (namentlich des Kyoto-Protokolls) der Energieverbrauch bzw. die CO₂-Emissionen der Verkehrsträger nach dem Absatzprinzip berechnet werden. Ein Sonderfall ist der **Flugverkehr**: Hier wird gemäss den internationalen Konventionen Inlandverkehr (alle Flüge von A nach B in der Schweiz) und Auslandverkehr (alle Flüge von der Schweiz zu einer ausländischen Destination) unterschieden. Die Treibstoffmenge aus dem Inlandverkehr wird im Rahmen des Kyoto-Protokolls der Schweiz zugerechnet, die Treibstoffmenge aus dem Auslandverkehr gehört zu den so genannten „Bunkerfuels“. Die „Bunkerfuels“ der verschiedenen Länder kommen in einen gemeinsamen Pool (wie auch die „Bunkerfuels“ der internationalen Schifffahrt). Faktisch kann deshalb die Schweiz nur auf den nationalen Flugverkehr einwirken. Dieser macht allerdings quantitativ sehr wenig aus (vgl. 2.4.5). Deshalb spielt der Flugverkehr im Rahmen der hier beschriebenen (nationalen) Nachfragemodellierung kaum eine Rolle. Zum Flugverkehr hat das BFE einen separaten Exkurs verfasst (BFE 2006, Exkurs 7). Überdies behandelt das BAZL diese Thematik in eigenen Projekten, deshalb wird der Flugverkehr in diesem Bericht nur am Rande thematisiert.

2.4. DIE MODELLIERUNG IN DEN EINZELNEN SEGMENTEN

2.4.1. DER ANSATZ

Die Eckwerte der Verkehrsentwicklung (in Personen-km bzw. Tonnen-km, getrennt nach Schienen- und Strassenverkehr) sind einerseits durch verschiedene empirische Grundlagen (bis 2005) vorgegeben, andererseits skizzieren die ARE-Verkehrsperspektiven die künftige Entwicklung. Das gilt in erster Linie für die Referenz-Entwicklung (Basis-Szenario = Szenario I), aber durch das Szenario-Spektrum der Verkehrsperspektiven liegen auch Hinweise vor über das erwartbare Spektrum der Nachfrageveränderung infolge variierender Rahmenbedingungen.

Modelltechnisch ging es darum, die Bottom-up-Modellierung mit der Kohortenbildung und dem „vehicle-turnover“ so anzupassen, dass die resultierenden Fahrleistungen mit den Nachfrage-Entwicklungsvorgaben konsistent wurden.

Der zugrunde liegende Bottom-up-Ansatz bildet den „Verbrauch“ in den verschiedenen Segmenten nach, und zwar gemäss der Rechenanweisung *Aktivität * spezifischer Energieverbrauch*, jeweils je Jahr über die Zeitreihe 1990-2035, mit der Vergangenheitsentwicklung 1990-2003 (teilweise 2005) als Ausgangspunkt. Kernpunkte für die Abschätzung der weiteren Entwicklung sind Erwartungen bei im Wesentlichen drei Einflussfaktoren:

- › der Verkehrsaktivität (ausgedrückt als Verkehrsleistung [in Pers-km bzw. Tonnen-km] oder Fahrleistung [Fahrzeug-km] resp. Betriebsleistung [Zugs-km]),
- › dem spezifischen Energieverbrauch (in l Treibstoff pro 100 km, oder in Wh je Btkm [Brutto-Tonnenkm] bei der Schiene),
- › verschiedenen Substitutionseffekten (innerhalb eines Segmentes [z.B. von schweren zu leichten Nutzfahrzeugen], zwischen Treibstoff- oder Antriebsarten [Benzin/Diesel/CNG], zwischen Verkehrsträgern [motorisierter Individualverkehr [MIV] und öffentlichem Verkehr [ÖV] etc.).

Referenzjahr 2003

Grundsätzlich wurde aus Gründen der Einheitlichkeit über alle Sektoren das Jahr 2003 als Referenzjahr herangezogen. Gleichwohl wurden im Sektor Verkehr auch neuere Informationen integriert, um die Mengengerüste auf einen möglichst aktuellen Stand zu bringen. Im Einzelfall bedurfte es dann der pragmatischen Anpassung einzelner Datensätze, zumal gerade im Verkehr weitere externe „Vorgaben“ (wie etwa die Verkehrsperspektiven des ARE, vgl. 3.4) zu berücksichtigen waren. Diese hatten ihrerseits das Jahr 2000 als Ausgangspunkt, inzwischen aber liegen neuere Informationen vor. Konkret wurden die folgenden Anpassungen durchgeführt:

- › Die neuesten Informationen zur Entwicklung der Struktur des Fahrzeugparks (gemäss EF-KO) sowie des spezifischen Treibstoffverbrauchs der Neuwagen (gemäss auto-schweiz) wurden bis 2005 berücksichtigt.
- › Einzelne Datensätze im ÖV wurden einerseits seit der Erarbeitung der Verkehrsperspektiven aufgrund neuer Schienendaten durch das BFS retrospektiv angepasst, andererseits hat sich die Verkehrsnachfrage 2000/2005 besonders entwickelt, wodurch sich eine Anpassung des Mengengerüsts wie auch der zeitlichen Entwicklung aufdrängte. Das gilt namentlich für die namhaften Angebotserweiterungen im Schienenverkehr durch das Konzept Bahn

2000 (erste Etappe) im Jahr 2004, welche auch mit nennenswerten Zunahmen der Verkehrsnachfrage begleitet waren. Deshalb wurde im Schienenverkehr das Mengengerüst des Jahres 2005 zum Ausgangspunkt der Betrachtungen genommen.

Wie bereits aus der Entwicklung des Treibstoffabsatzes hervorgeht, ist der Strassenverkehr (Benzin, Diesel) der dominierende Verbraucher. Die Modellierung legt deshalb die Priorität auf diesen Sektor. Die andern Bereiche werden nach dem gleichen Grundmuster modelliert, aber in deutlich geringerem Detaillierungsgrad.

2.4.2. MODELLIERUNG DES STRASSENVERKEHRS

Modellierung der Verkehrsmengen bzw. Fahrleistungen

Die Modellierung erfolgt differenziert nach verschiedenen Fahrzeugkategorien (Personenwagen [PW], Leichte und Schwere Nutzfahrzeuge [LNF, SNF], Busse (Reisecar, ÖV-Busse), motorisierte Zweiräder). Für jede Kategorie werden drei Elemente berücksichtigt:

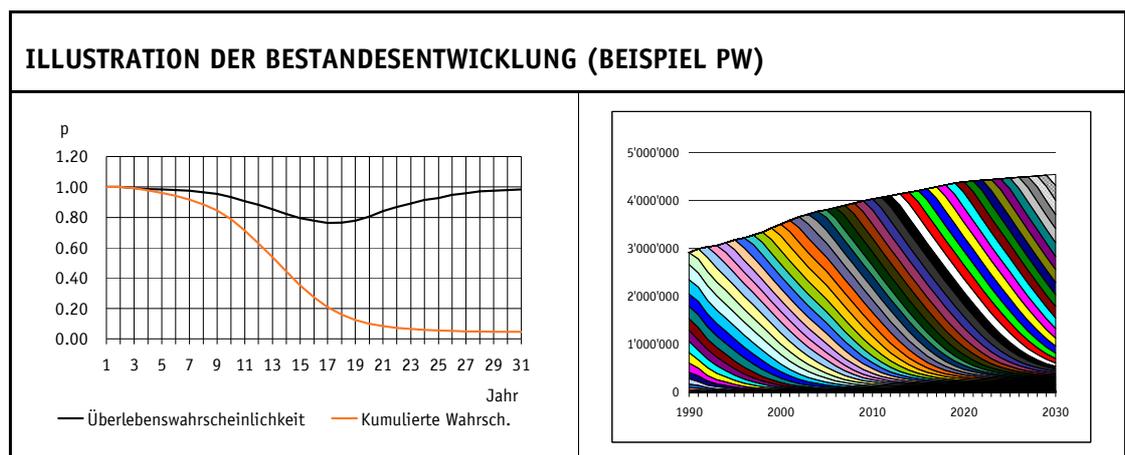
- › die Verkehrsmengen, d. h. die Fahrleistung (Fzkm) – und über Annahmen zum Auslastungsgrad wird der Bezug zu den Verkehrsleistungen (in Pkm bzw. Tkm) hergestellt,
- › die Verkehrszusammensetzung, nach Antriebsart (Benzin/Diesel) und nach Grössenklassen (Gewichts- bzw. Hubraumklassen),
- › das Fahrverhalten, d.h. die Aufteilung der Fahrleistung auf verschiedene sog. „Verkehrssituationen“ (unterschiedliche Geschwindigkeits- und Beschleunigungsmuster).

Die Fahrleistungen werden ermittelt nach der Formel

$$\text{Fahrleistung Schweiz (pro Jahr)} = \text{Fzg-Bestand} * \text{spezifische Fahrleistung (pro Jahr u. Fzg)}$$

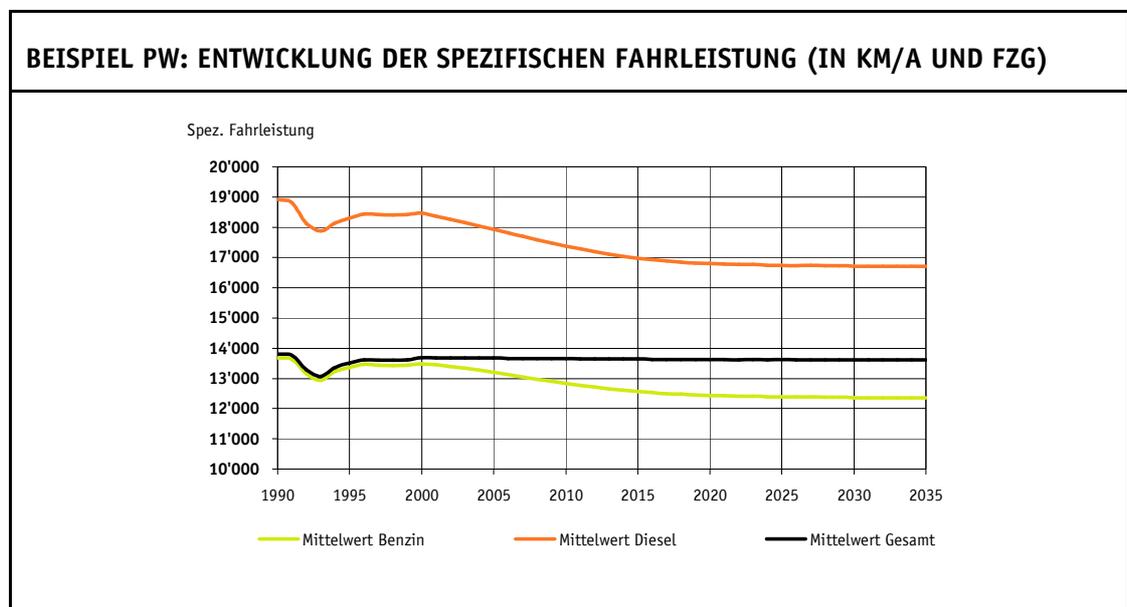
So werden einerseits die statistischen Angaben zur Fahrleistung für die vergangenen Jahre reproduziert. Andererseits kann damit die künftige Fahrleistungsentwicklung über Annahmen zur Entwicklung von Bestand und der spezifischen Fahrleistung ermittelt werden, welche letztlich auch den Verkehrsperspektiven zugrunde lagen. So stimmen die resultierenden Mengen mit den Eckwerten der Verkehrsperspektiven überein. So lässt sich auch die Diffusion von neuen Technologien im Bestand bzw. der Fahrleistung nachvollziehbar modellieren (was bei den Verkehrsperspektiven nicht im Vordergrund stand). Konkret erfolgt dies in zwei Schritten:

- › Der erste Schritt modelliert die **Fahrzeugbestandesentwicklung**. Die Vergangenheit wird über statistische Angaben der Eidg. Fahrzeugkontrolle (EFKO) zu Bestand und Altersverteilung abgebildet. Ausgehend von einem Basisjahr, d.h. dem letzten Jahr, zu dem statistische Angaben vorliegen (im vorliegenden Fall 2005) wird die künftige Entwicklung über Annahmen zu Neuzulassungen und sog. Überlebenswahrscheinlichkeiten (oder äquivalent Ausfallraten) ermittelt. Dieses Verfahren wird für jede Fahrzeugkategorie separat durchgeführt, wobei jeweils innerhalb der einzelnen Fahrzeugkategorien noch weiter differenziert wird, z.B. bei den PW nach 6 Segmenten, d.h. nach Diesel/Benzin-PW und zusätzlich nach drei Hubraumklassen (<1.4 l, 1.4-2 l und >2 l). Die nachstehende Figur zeigt links ein Beispiel einer Überlebenswahrscheinlichkeitskurve, rechts die Entwicklung des PW-Bestandes inklusive Altersverteilung.



Figur 2 Die Grafik links zeigt illustrativ die Überlebenswahrscheinlichkeitskurve der PW (Stand 2001/2002). Die schwarze Linie zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass ein Fahrzeug (in Abhängigkeit seines Alters) im Folgejahr noch im Verkehr ist, die orange Kurve zeigt die kumulierten Werte (= „Lifetime-funktion“) und macht eine Aussage zur Wahrscheinlichkeit, dass ein Fahrzeug nach x Betriebsjahren noch im Verkehr ist. Rechts ist die Entwicklung des Schweizer PW-Bestandes dargestellt, inkl. Neuzulassungen und allmählichen Ausfällen aus dem Verkehr. Durch einen vertikalen Schnitt in einem bestimmten Bezugsjahr lässt sich die entsprechende Altersverteilung der Fahrzeuge ablesen. Damit lassen sich Rückschlüsse auf deren baujahr-spezifischen Treibstoffverbrauch machen.

› Der zweite Schritt bildet die **Fahrleistungen** nach: Auf der Basis diverser Erhebungen (wie LSVA-Auswertungen, PEFA [Ermittlung der Jahresfahrleistung durch Strassenverkehrsämter, ARE 2002a] u.a.m.) werden je Fahrzeugkategorie die spezifischen Fahrleistungen bestimmt (in km/a und Fzg). Diese wird gleichzeitig differenziert nach Alter, nach Grössenklassen etc. (so haben beispielsweise Diesel-PW höhere Fahrleistungen als Benzin-PW, schwerere Fahrzeuge fahren mehr als leichtere, neuere fahren mehr als ältere etc.). Diese Information wird für die Zukunft fortgeschrieben, unter Beachtung struktureller Änderungen wie etwa der Verlagerung zu Diesel-PW (vgl. Figur 3), welche dazu führt, dass der Mittelwert zwar etwa konstant bleibt, die Werte der Diesel- bzw. Benzin-PW jedoch in beiden Fällen sinken. Gleichzeitig wird berücksichtigt, dass ein Teil der Fahrleistung im Ausland, aber auch ein Teil der Fahrleistung auf Schweizer Strassen durch Ausländer zurückgelegt wird. Anschliessend wird diese Fahrleistung je Fahrzeugkategorie auf die drei Strassentypen verteilt (Autobahnen, ausserorts, innerorts). Bei den Nutzfahrzeugen wird neben den Gewichtsklassen nach Typen (Solo-LW, Lastenzüge, Sattelzüge) differenziert, was mittlerweile anhand empirischer Grundlagen aus dem Kontext der LSVA möglich ist. Zudem interessiert auch der Beladungsgrad zur Charakterisierung der SNF-Fahrleistungen.



Figur 3 Entwicklung der spezifischen Fahrleistung der PW nach Treibstoff im Zeitraum 1990 – 2035.

Diese Bottom-up-Modellierung wird abgeglichen mit den „Makro-Vorgaben“ zur künftigen Entwicklung der Fahrleistung gemäss den Verkehrsperspektiven (vgl. 3.4). Die inhaltliche Diskussion der Entwicklungserwartungen folgt in den Ausführungen zu den Szenarien.

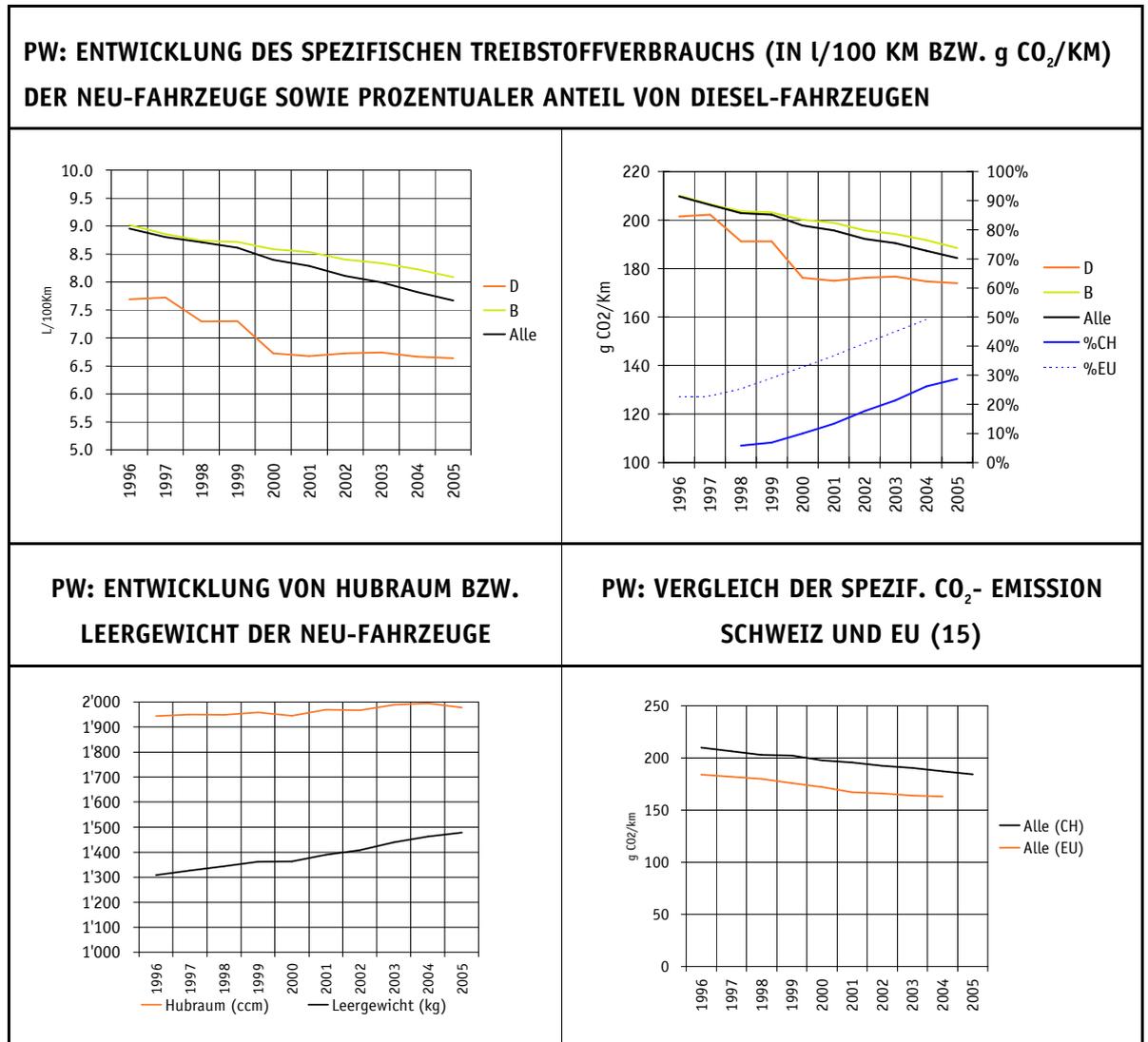
Modellierung des Energieverbrauchs

Kernpunkt hier sind die spezifischen Energieverbräuche und deren Entwicklung. Figur 4 zeigt, dass der Verbrauch der Neu-PW in den letzten knapp 10 Jahren im Mittel jährlich um 1.5% abnahm. Allerdings ist diese Reduktion zu einem guten Teil auf die Verlagerung zu Diesel-Fahrzeugen zurückzuführen, die innert knapp 10 Jahren von ca. 5% auf knapp 30% angestiegen ist (zum Vergleich EU: ca. 50% Anteil Diesel-PW am Neuwagenpark) und im Mittel rund 20% weniger Treibstoff verbrauchen (was aufgrund unterschiedlicher Dichten von Benzin und Diesel rund -10% CO₂ bedeutet). Gleichzeitig fällt auf, dass der Verbrauch der Dieselfahrzeuge seit 2000 praktisch konstant ist. Dass der spezifische Verbrauch nicht stärker abgenommen hat, ist u.a. auf die gleichzeitig leicht ansteigende Hubraumentwicklung, vor allem aber auf das zunehmende Gewicht der Fahrzeuge zurückzuführen. Dieses nahm in den letzten 10 Jahren um knapp 200 kg zu. Bemerkenswert ist auch, dass der Mittelwert der schweizerischen PW markant über dem europäischen Mittel liegt (2000: CH 198 g CO₂/km; EU 172 g CO₂/km; 2004: CH 187 CO₂/km; EU 163 g CO₂/km).

Anzufügen bleibt, dass diese Angaben sich jeweils auf den Normverbrauch von Neuwagen auf der Basis des sog. NEFZ (Neuer europäischer Fahrzyklus) bzw. NEDC (New European Driving Cycle) beziehen. Der effektive Verbrauch auf der Strasse ist in der Regel höher, weil der Normzyklus kein reales Fahrverhalten abbildet (vgl. Grafik in Annex 2) und unter Laborbedingungen gefahren wird (z.B. kein Gepäckträger, keine Längsneigungen etc.), insbesondere sind auch zusätzliche Verbraucher wie Klimaanlage² darin nicht eingeschlossen. Europäische Studien (z.B. TNO et.al. 2006) setzen den „Real World“-Verbrauch um 19.5% höher an. In der hier verwendeten Modellierung wird ein um rund 10% höherer Verbrauch verwendet. Im vorliegenden Kontext interessiert vor allem die *relative* Entwicklung des Verbrauchs der Neuwagen, welche aus den Daten von auto-schweiz abgeleitet wird und auf ein Ausgangsmengengerüst appliziert wird. Dieses ist in Annex 2 weiter erläutert.

Die Annahmen zur künftigen Entwicklung – in Kombination mit der differenzierten Bestandentwicklung (vgl. Figur 2) und mit den Erwartungen zu den strukturellen Verschiebungen innerhalb der Fahrzeugflotte (z.B. mehr Dieselanteile) – erlaubt es, die zeitliche Entwicklung des Treibstoffverbrauchs zu modellieren. Gleichzeitig wird auch der zusätzliche Energiekonsum für Klimaanlage in Rechnung gestellt, welcher in den Angaben in Figur 4 nicht enthalten ist.

² vgl. dazu eine Sensitivitätsbetrachtung in Kap. 5.7

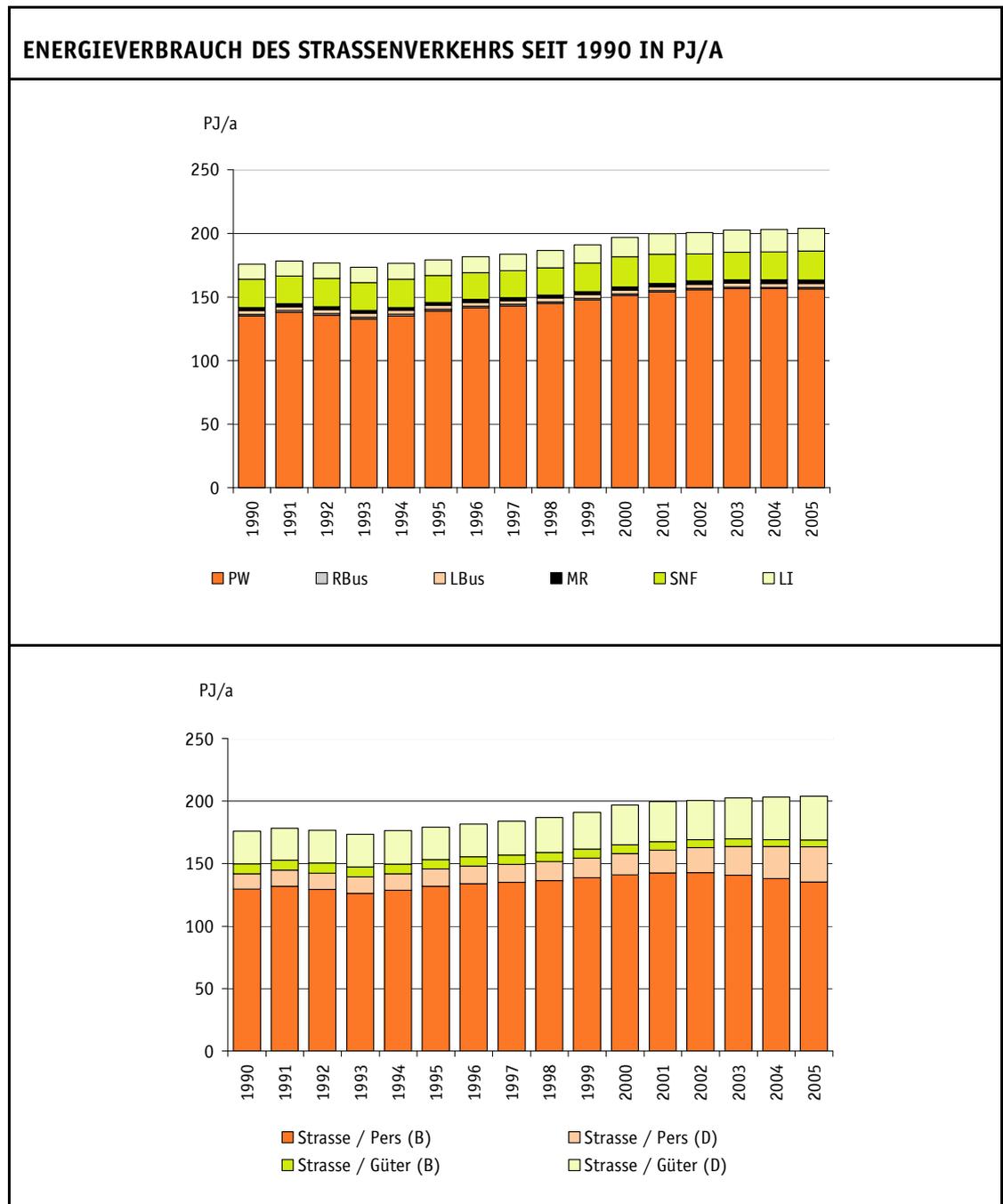


Figur 4 Entwicklung des spezifischen Energieverbrauchs der Neu-PW 1996 – 2005 (Angaben auto-schweiz 2006 bzw. COM 2006). Zahlen Schweiz sh. Annex 2.

Ergebnis: Energieverbrauchsentwicklung seit 1990

Die nachstehende Figur zeigt den (modellierten) Energieverbrauch des Strassenverkehrs nach Fahrzeugkategorien bzw. nach Benzin/Diesel. Demnach entfallen knapp 70% des Energieverbrauchs im Verkehr auf die PW, der Strassengüterverkehr verbraucht rund 16%, knapp 10% fallen auf den sog. Offroad-Bereich. Der gesamte elektrifizierte öffentliche Verkehr (Schienenpersonen- und güterverkehr einschliesslich Nahverkehr) konsumiert etwa 4%, und

der nationale Flugverkehr macht in dieser „Verbrauchsbetrachtung“ etwa 2% aus, während er absatzseitig etwa 19% ausmacht (2003).



Figur 5 Energieverbrauchsentwicklung des Strassenverkehrs 1990 – 2005, differenziert nach Fahrzeugkategorien bzw. nach Benzin/Diesel. Die Zahlen finden sich in Annex 2. Verwendete Abkürzungen für die Fahrzeugkategorien: PW: Personenkraftwagen, RBus: Reisebus, LBus: Linienbus, MR: Motorräder, SNF: Schwere Nutzfahrzeuge, LI: Lieferwagen. Abkürzungen für die Treibstoffe: B: Benzin, D: Diesel.

2.4.3. MODELLIERUNG DES SCHIENENVERKEHRS

Abgrenzungsfragen

Bei der Modellierung des Stromverbrauchs im Verkehr stellt sich vorweg die Frage nach der Systemabgrenzung. Gemäss Gesamtenergiestatistik³ wird dem Verkehr der eigentliche Traktionsstrom zugewiesen. Die Elektrizitätsstatistik weist allerdings noch zwei weitere Segmente auf, die zumindest teilweise dem Sektor Verkehr zugeordnet werden könnten (öffentliche Beleuchtung, sowie „übriger Verkehr“ wie Belüftung Tunnel, Bahnhöfe etc.⁴), welche nennenswerte Anteile ausmachen, nämlich gut halb soviel wie der Bedarf für die Traktion (vgl. nachstehende Tabelle).

STROMVERBRAUCH VERKEHR: ANTEILE GEMÄSS ELEKTRIZITÄTSSTATISTIK (JAHR 2005)		
Segmente	GWh	Anteile
Bahnen, Öff. Nahverkehr, Skilifte	2'983	64%
öffentliche Beleuchtung	477	10%
übriger Verkehr“ wie Belüftung Tunnel, Bahnhöfe	1'220	26%
Total	4'680	100%

Tabelle 4 Stromverbrauch Verkehr

Für die Energieperspektiven wird hier jedoch die Abgrenzung gemäss Gesamtenergiestatistik übernommen (Traktionsenergie). Es wird davon ausgegangen, dass die übrigen Segmente bei den andern Sektoren enthalten sind.

Statistische Grundlagen

Zum Bahnstrom existieren verschiedene Grundlagen: die Angaben der schweizerischen Elektrizitätsstatistik (ELSTAT) bzw. deren Aufteilung des Endverbrauchs der Elektrizität nach den wichtigsten Verbrauchergruppen basiert auf einer jährlichen Erhebung bei rund 275 Elektrizitätsunternehmen, welche rund 85% des Endverbrauchs von Elektrizität der Schweiz repräsentieren. Diese jährliche Erhebung ist keine Vollerhebung; ein Teil des Elektrizitätsverbrauchs (der Verbrauchergruppen) muss deshalb hochgerechnet werden. Andererseits weist auch die ÖV-Statistik des BAV bzw. des BFS Angaben zum Stromverbrauch aus. Diese Angaben basieren auf jährlichen Erhebungen bei den Transportunternehmungen. Diese Angaben sind etwas tiefer als jene in der Gesamtenergiestatistik (vgl. Annex 3). Weil für die Bottom-Up-Modellierung nicht nur der Energieverbrauch per se, sondern auch die zugrunde-

³ „Bahnen, ÖPNV, Skilift“, z.B. GES 2006, Tab. 17, S. 22.

⁴ Der „Übrige Verkehr“ umfasst auch Teile der Luftfahrt, das Speditionsgewerbe, Lager- und Kühlhäuser sowie Reisebüros

liegenden Mengengerüste (wie Pkm, Zugkm, Btkm etc.) interessieren, orientieren wir uns im Folgenden an den Daten von BAV/BFS⁵, welche auch entsprechende Angaben enthalten.

Wie oben schon erwähnt, hat sich der Bahnverkehr durch die sukzessive Einführung verschiedener Elemente von Bahn 2000 (1. Etappe) im Verlauf der letzten Jahre und dann insbesondere durch die Inbetriebnahme der Neubaustrecke Mattstetten-Rothrist im Jahr 04/05 markant entwickelt (Zunahme der Zugkm um knapp 10% allein 2004/2005). Zudem haben die derzeitigen Planungsarbeiten zur Weiterentwicklung des Schienenverkehrs jeweils den Stand 2005 als Ausgangspunkt. Deshalb wird auch für die Bottom-up-Modellierung das Jahr 2005 als Referenzjahr herangezogen. Allerdings enthält die ÖV-Statistik dazu noch keine Angaben. Deshalb musste eigens ein Ausgangsmengengerüst aufgrund punktueller Angaben (namentlich der SBB, Angaben gemäss Geschäftsbericht 2005) konstruiert werden (vgl. Annex 3). Es enthält deshalb gewisse Unschärfen. Solche Unschärfen betreffen allerdings auch die Vergangenheitsentwicklung. So liegen die statistischen Grundlagen zum ÖV für die erwähnte Nachbildung der „Bottom-up-Kette“ nicht als konsistente Zeitreihe ab 1990 vor⁶. U.a. hat das BFS einige Zahlen des ÖV im Verlauf der Bearbeitung rückwirkend verändert. Deshalb werden in diesem Bericht Zahlen zum Verkehrsmengengerüst im ÖV erst ab 2000 bzw. 2005 aufgezeigt. Massgebend dabei sind die folgenden Verbrauchswerte:

- › 2000: 2'461 GWh (8.86 PJ) – gemäss ÖV-Statistik
- › 2004: 2'607 GWh (9.39 PJ) – gemäss ÖV-Statistik
- › 2005: 2'743 GWh (9.88 PJ) – geschätzt (Infras)

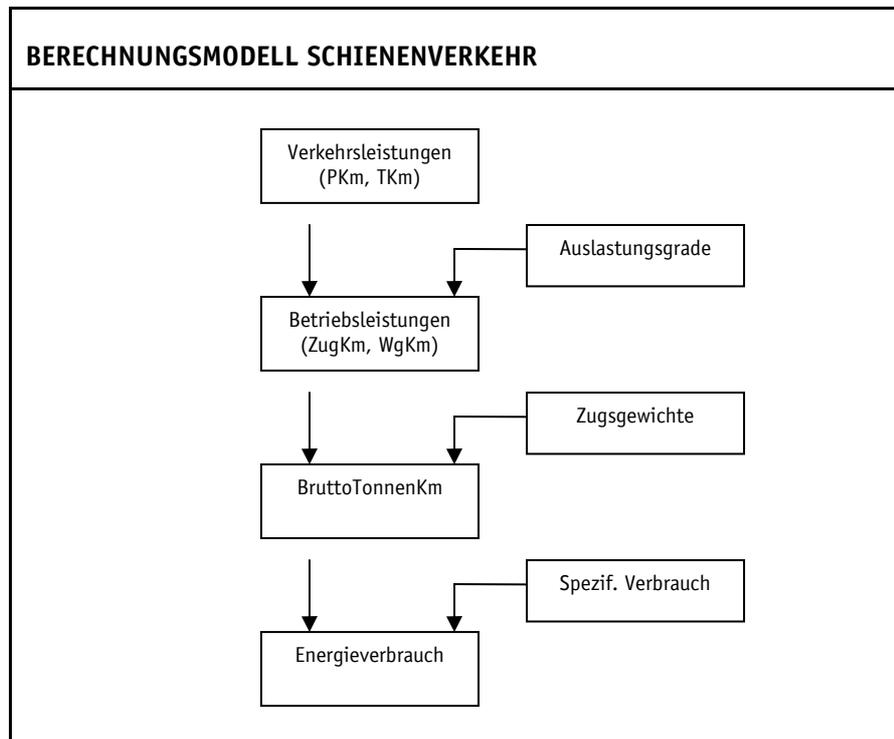
Modellierungsansatz

Kernelement der Modellierung ist ein Mengengerüst, das den Stromverbrauch über eine Verkettung mehrerer Einflussfaktoren ermittelt (vgl. Figur 6): Ausgehend von der Nachfrage (Pkm bzw. Tkm) und Annahmen zum Auslastungsgrad wird das Angebot (d.h. die Zugleistungen in Zugkm im Personen- bzw. Güter-Bereich) ermittelt, wobei dies durchaus Interaktion bedeutet, da die Nachfrageentwicklung selbst durch das Angebot beeinflusst wird. Über Annahme zur Entwicklung der Zugsgewichte werden Bruttotonnenkm [Btkm] ermittelt, über

5 http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/verkehr_und_nachrichtenwesen.html

6 So sind aufgrund wechselnder Konventionen und Abgrenzungen kaum konsistente Zeitreihen für die verschiedenen Parameter verfügbar. Zudem sind z.B. öffentlich zugängliche Angaben der SBB (Geschäftsberichte) nicht in jedem Fall direkt verwendbar, weil sie teilweise die „Management-Sicht“ wiedergeben (z.B. Betriebsleistungen durch das Unternehmen SBB), was nicht notwendig mit den hier mehr interessierenden Betriebsleistungen auf der Infrastruktur (der SBB) einschliesslich jener von Dritt-Unternehmen etc. übereinstimmt.

die – mit ergänzenden Annahmen und Erwartungen zum spezifischen Energieverbrauch (ausgedrückt in g/Btkm) – schliesslich der Gesamtenergieverbrauch ermittelt wird.



Figur 6 Berechnungsmodell Schienenverkehr

Dieser Berechnungsgang wird nach 5 Segmenten differenziert durchgeführt:

- › Personenverkehr: Schienen-Fern- und -Regionalverkehr,
- › Güterverkehr: Fern- und Nahverkehr, sowie
- › ÖPNV (öffentlicher Personennahverkehr, d.h. Tram und Trolleybusse).

Grundsätzlich wird somit auch im Schienenverkehr bottom-up modelliert, allerdings vereinfacht, da der Stromverbrauch lediglich etwa 4% des Verkehrsenergieverbrauchs ausmacht. Zudem erfolgt keine explizite Modellierung des „vehicle turnover“, weil der Fahrzeug- und damit Technologie-Ersatz im Schienenverkehr weniger kontinuierlich abläuft als im Strassenverkehr, sondern über „Generationen“. Deshalb wird dieser an Energieeffizienz gekoppelte Ablöseprozess vereinfacht über Altersverteilungen approximiert.

Ausgangspunkt für die quantitative Nachbildung sind Mengengerüste für die Jahre 2000 bzw. 2005. Davon ausgehend wird die weitere Referenz-Entwicklung (2005-2035) [=Szenario I] unter Einbezug verschiedener externer Studien oder Vorgaben (wie die Verkehrsperspektiven 3.4) oder Zusatzinformationen (wie etwa laufende Arbeiten aus dem Umfeld von ZEB

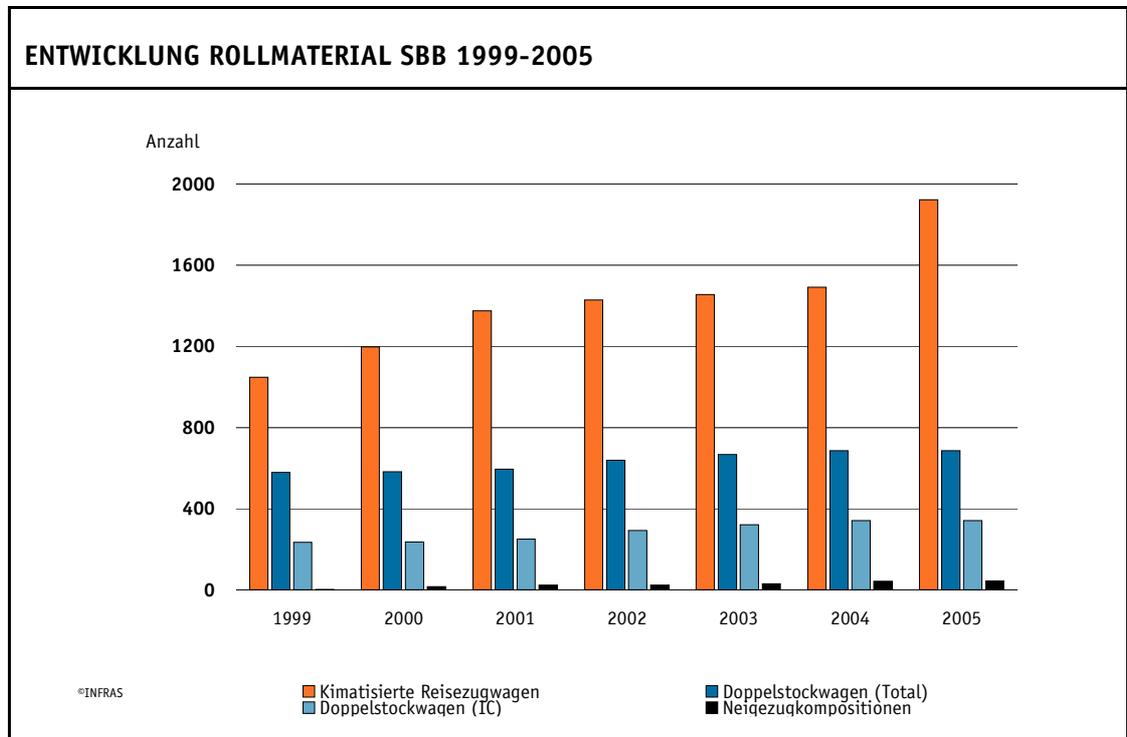
(Zukünftige Entwicklung der Bahninfrastruktur, vgl. 3.3) ermittelt. Dieses Mengengerüst der Referenzentwicklung (vgl. Kapitel 5) wiederum ist die Basis für die Modellierung der verschiedenen Szenarien, wobei die Einflüsse auf die diversen Faktoren direkt eingeschätzt und modifiziert werden und schliesslich daraus auf die Energieverbrauchsentwicklung geschlossen werden kann.

Zum spezifischen Energieverbrauch im Schienenverkehr

Grundsätzlich liesse sich der Energieverbrauch im Schienenverkehr nach dem ähnlichen Grundmuster wie im Strassenverkehr modellieren, d.h. als Funktion des Rollmaterials (Zugskategorie wie IC, Regionalverkehr mit entsprechenden Charakteristiken wie Gewicht, Kapazitäten, Zuglängen etc), der technologischen Einstufung und Ausrüstung der Zugfahrzeuge (z.B. Leistungsfähigkeit, Zugkraft, Rekuperationsfähigkeit [Stromrückgewinnung], Umrichtertechnologie, Aerodynamik), der Streckenbeschaffenheiten im Netz (Höchstgeschwindigkeiten, Längsneigungen, Tunnelanteile etc.) und Fahrverhalten (Geschwindigkeitsprofile, worin sich Höchstgeschwindigkeiten, Anzahl Stopps, Anteile und Intensität von Beschleunigung und Verzögerungen etc. niederschlagen). Ein solches Modell würde allerdings ein sehr differenziertes (derzeit nicht verfügbares) Mengengerüst voraussetzen. Die Modellierung musste deshalb stark vereinfacht werden, einerseits weil der gesamte Energiebedarf des Schienenverkehrs einen vergleichsweise geringen Anteil am gesamten Energieverbrauch des Verkehrs ausmacht (ca. 4%), andererseits weil das Schienensystem („Stahl auf Stahl“) schon heute vergleichsweise effizient ist. Die vereinfachte Modellierung stützt sich u.a. auf Grundlagenmaterial, das von den SBB zur Verfügung gestellt wurde. Für den spezifischen Energieverbrauch wurden im Ausgangsmengengerüst 2005 folgende Werte verwendet (vgl. Annex 3):

› Personenzüge:	Fernverkehr	34.1 Wh/Btkm,	Regionalzüge	40.2 Wh/Btkm
› Güterzüge:	Ferngüterzüge	22.2 Wh/Btkm,	Nahgüterzüge	27.5 Wh/Btkm

Die zeitliche Entwicklung kann anhand einer Zeitreihe dieser Werte abgeleitet werden. Diese ergab für den Zeitraum 1996 – 2004 eine jährliche Reduktion im Personenverkehr von 0.27 Wh/Btkm und im Güterverkehr eine solche von 0.37 Wh/Btkm. Dies ist hauptsächlich auf technologische Verbesserung (v.a. Umrichtertechnologie mit effizienterer Rekuperation) zurückzuführen. Darin sind aber auch „verbrauchstreibende“ Faktoren mit eingeschlossen, so höhere Geschwindigkeiten, zusätzliche Tunnels sowie qualitativ besseres Rollmaterial mit höheren Gewichten und Klimatisierung (vgl. Figur 7).



Figur 7 Quelle: SBB Vademecum 2005.

Leistung vs. Arbeit

Im Rahmen dieser Untersuchung liegt der Fokus auf dem Energiebedarf (im Sinne von Watt-Stunden oder PJ). Gerade im Schienenverkehr interessiert letztlich aber auch der Leistungsbedarf (im Sinne von Watt) – auch wenn dieser in diesem Bericht nicht weiter thematisiert wird. Die Hauptproblematik liegt in der Gleichzeitigkeit des Leistungsbedarfs wie es im Konzept Bahn 2000 angelegt ist: Die Züge fahren tendenziell im ganzen Netz kurz vor der Stunde in die Knotenbahnhöfe ein und verlassen diese mehr oder weniger simultan kurz nach der Stunde (bzw. dem jeweiligen Symmetrie-Zeitpunkt). Dadurch überlagern sich eine Vielzahl von Verbrauchern zum etwa gleichen Zeitpunkt. Weil im Schienennetz geplant ist, das Knotenprinzip noch zu verstärken (vgl. Kap. 3.3.1), wird der Leistungsbedarf (ausgedrückt in W) künftig noch stärker zunehmen als der Energiebedarf (ausgedrückt in Wh).

2.4.4. MODELLIERUNG DES OFFROAD-BEREICHS

Ansatz

Zum sog. Offroad-Bereich zählen die folgenden acht Bereiche

- › Baumaschinen
- › Industrie
- › Landwirtschaftliche Geräte und Maschinen
- › Forstwirtschaft
- › Gartenpflege/Hobby
- › Schiffe
- › Schiene
- › Militär

Die hier verwendeten Angaben zum Energieverbrauch basieren auf provisorischen Ergebnissen aus einer Modell-Aktualisierungsarbeit, welche einen ersten BUWAL-Bericht aus dem Jahr 1996 (sog. Bericht 49, BUWAL 1996) zum Bereich Offroad auf eine neue Basis stellt⁷. An dieser Stelle interessieren vor allem die mit diesem Modell ermittelten Energieverbräuche. Diese basieren im Wesentlichen auf zwei Grundlagen:

- › Mengengerüste, d.h. Bestände und Betriebsstunden der verschiedenen Geräte- und Maschinentypen des ganzen Offroad-Sektors. Dabei wird nach Einsatzart, Leistungsklasse und Motorentyp differenziert.
- › Aktualisierte Treibstoffverbrauchsfaktoren. Diese geben – je Motortyp – den Verbrauch (und die Schadstoffemissionen) in g/kWh an. Diese werden über die Zeitreihe variiert. Namentlich bei den Schadstoffemissionen ist diese Variation relevant, weil die Grenzwerte und in der Folge die spezifischen Emissionen im Zug der neueren (EU-) Gesetzgebung stufenweise reduziert werden.

Aufgrund dieser zwei Datensätze (Mengengerüste, Verbrauchs- und Emissionsfaktoren) lassen sich Treibstoffverbrauch (und Emissionen) ermitteln (vgl. Annex 4).

Ergebnisse

Aufgrund provisorischer Zahlen fällt auf den Offroad-Sektor ein Verbrauch von rund 21 PJ (Jahr 2005). Davon sind 3.0 PJ dem eigentlichen Verkehrsbereich zuzurechnen (Schiene, Schifffahrt), während etwa 18 PJ auf die übrigen Sektoren fallen und davon hauptsächlich auf Baumaschinen (gut 30%) bzw. Land- und Forstwirtschaft (knapp 40%). Weil dazu kaum

⁷ Die Arbeit ist derzeit noch im Gang und soll im Verlauf 2007 abgeschlossen werden. Die hier verwendeten Werte basieren auf einem noch unveröffentlichten internen Berichtsentwurf.

sektorspezifische statistische Grundlagen vorliegen, muss für den Offroad-Bereich auf diese Modellgrundlagen abgestützt werden. Im Vergleich zum Strassenverkehr (204 PJ im Jahr 2005) sind das rund 10%, weshalb allfällige Unschärfen hier wenig ins Gewicht fallen.

		1990	1995	2000	2005
Offroad Benzin	PJ/a	3.2	3.1	3.0	3.0
Offroad Diesel	PJ/a	15.0	16.7	17.7	18.1
Offroad Verkehr-B+D	PJ/a	2.8	2.9	2.9	3.0
Offroad Nicht-Verkehr-B+D	PJ/a	15.4	16.9	17.8	18.1
Sum	PJ/a	18.2	19.8	20.7	21.1

Tabelle 5 Energieverbrauch Offroad

2.4.5. SPEZIALFALL FLUGVERKEHR

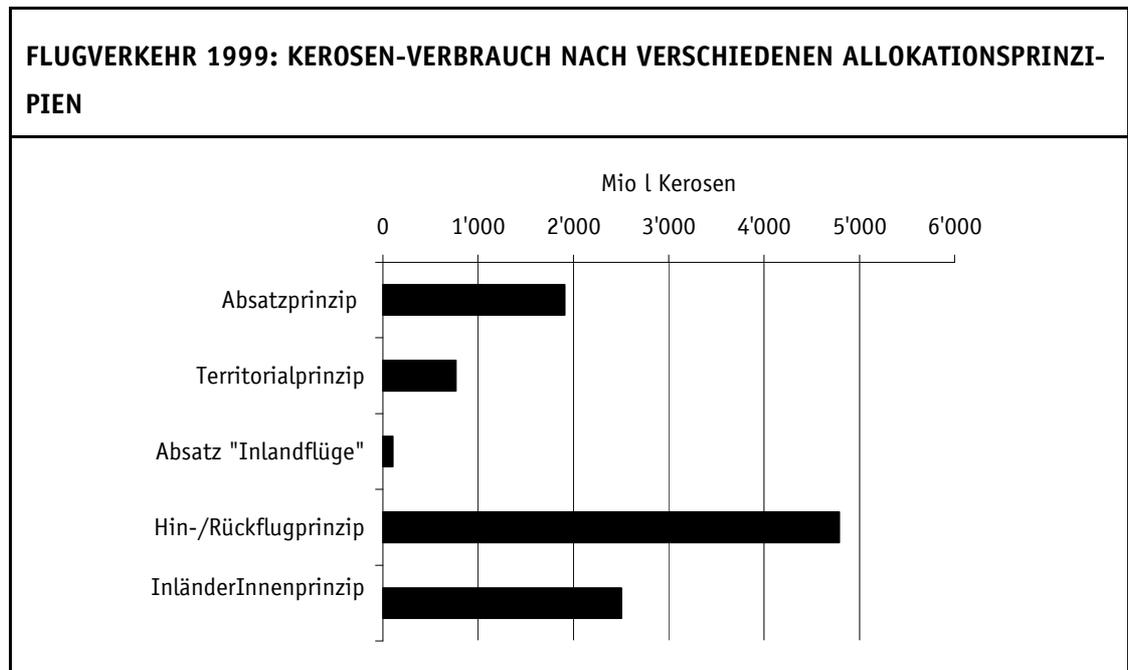
Im Fall des Strassenverkehrs wird der gesamte Absatz dem Verkehrsbereich und damit der Schweiz angerechnet⁸, auch wenn dieser sich vom effektiv auf den Verkehrswegen verbrauchten Treibstoff auf dem Territorium Schweiz unterscheidet. Anders im Flugverkehr: Wie oben bereits erwähnt, wird zwischen Inlandverkehr (alle Flüge von A nach B in der Schweiz) und Auslandverkehr (alle Flüge von der Schweiz zu einer ausländischen Destination) unterschieden. Der nationale Verkehr macht gemäss dieser Abgrenzung quantitativ lediglich etwa ca. 6-7%⁹ des Kerosen-Absatzes aus (Quelle: CO₂-Inventar bzw. BAZL). Wie gross der effektive Anteil des Flugverkehrs am gesamten Energieverbrauch des Verkehrs (bzw. des Gesamtverbrauchs über alle Sektoren) ist, hängt allerdings von der Betrachtungsoptik ab. Dazu bestehen verschiedene Allokationsprinzipien. BUWAL/BAZL/ARE 2001 nennt folgende Möglichkeiten:

- › Territorialprinzip (Flüge innerhalb des Luftraums der Schweiz)
- › Absatzprinzip (die im Inland total getankte Menge an Treibstoffen, entspricht der IPCC-Richtlinie)
- › Absatzprinzip nur Inlandflüge (der Schweiz gemäss Kyoto-Protokoll zugerechnet)
- › Inländer/Inländerinnenprinzip (sämtliche Flüge der Schweizerinnen und Schweizer, entspricht der Idee des Verursacherprinzips).
- › Hin-/Rückflugprinzip (Start in der Schweiz bis zur nächsten Landung und vom letzten Auslandsflughafen wieder zurück in die Schweiz).

⁸ z.B. im Rahmen internationaler Konventionen wie dem Kyoto-Protokoll, aber auch gemäss CO₂-Gesetz

⁹ Absatz Kerosen 2005: 50.1 PJ, davon nationaler ziviler Flugverkehr 2005 2.0 PJ und Militär 1.5 PJ.

Die nachstehende Figur zeigt beispielhaft anhand der Daten 1999, dass der Umfang des Flugverkehrs je nach Optik stark variiert.



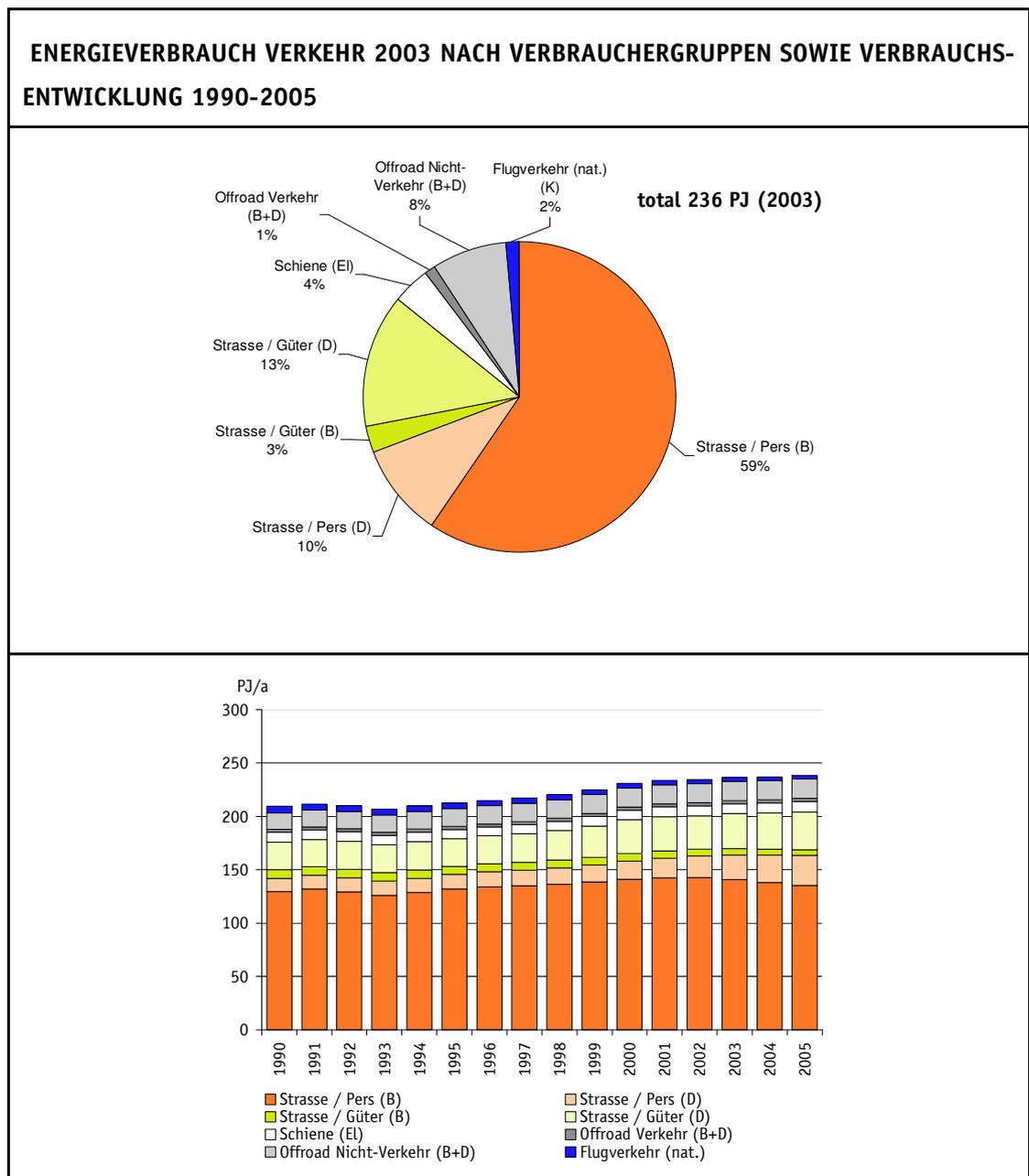
Figur 8 Flugverkehr nach verschiedenen Allokationsprinzipien (Daten 1999)

Allerdings sind auch die Berechnungsgrundlagen für die verschiedenen Prinzipien nicht identisch. Zum Teil sind sie mit Annahmen und Unsicherheiten verbunden (v.a. Hin-/Rückflugprinzip). Auch würde eine Summierung über alle Länder nicht immer zum globalen Gesamtkerosenverbrauch führen (Doppelzählungen). Gleichwohl lässt sich aussagen, dass das Absatzprinzip (gemäss GES, vgl. auch Figur 1) den Flugverkehrsanteil tendenziell überschätzt, das Absatzprinzip, das sich nur auf die Inlandflüge bezieht, aber deutlich unterschätzt.

Wie bereits erwähnt, wird der Flugverkehr in diesem Bericht nicht weiter thematisiert, vor allem weil nationale Massnahmen sich nicht oder kaum auf den internationalen Flugverkehr auswirken und das BAZL den Flugverkehr und seine Entwicklung in eigenen Projekten behandelt (vgl. auch Exkurs 7 des BFE). Lediglich der nationale Flugverkehr wird als Subsegment des Offroad-Bereichs in den Szenario-Mengengerüsten mitberücksichtigt.

2.5. VERBRAUCH NACH VERBRAUCHERGRUPPEN, ENTWICKLUNG 1990-2005

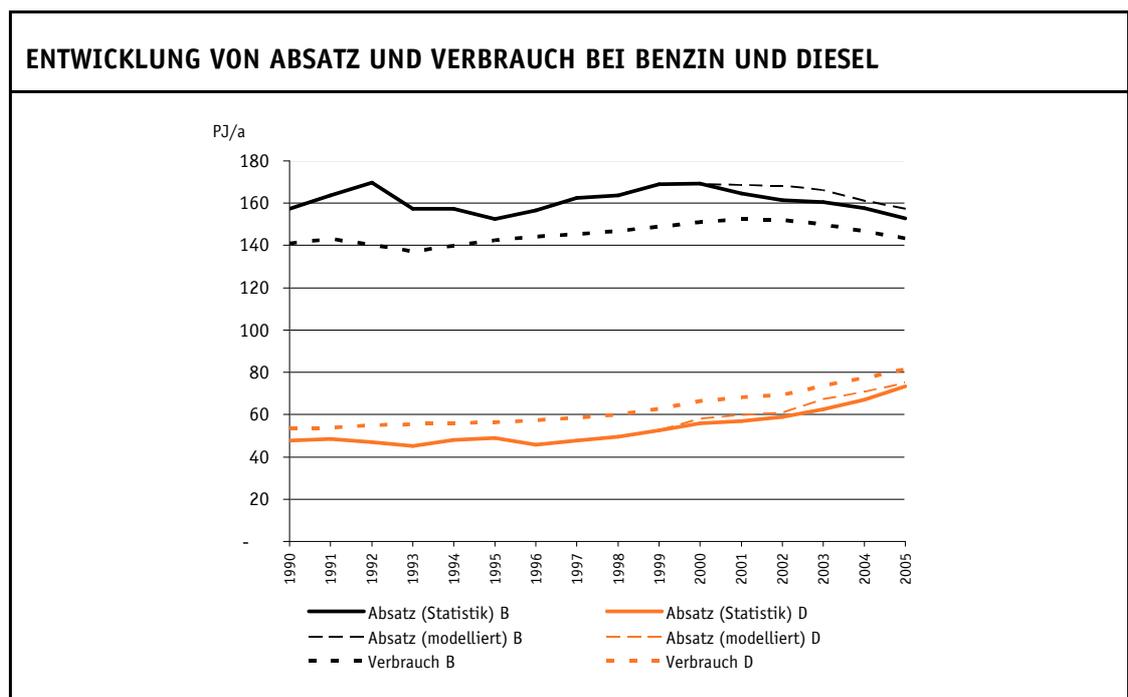
Die Bottom-Up-Modellierung führt zu einer nach Verbrauchergruppen differenzierten Verbrauchsentwicklung, wie sie in Figur 9 dargestellt ist. Demnach entfallen knapp 70% des



Figur 9 Verbrauchsentwicklung Verkehr (Territorialprinzip) 1990 – 2005, differenziert nach Sektoren bzw. Benzin/Diesel. Die Zahlen finden sich in Annex 1.

Energieverbrauchs im Verkehr auf die PJ, der Strassengüterverkehr verbraucht rund 16%, knapp 10% fallen auf den sog. Offroad-Bereich. Der gesamte elektrifizierte öffentliche Verkehr (Schienenpersonen- und güterverkehr einschliesslich Nahverkehr) konsumiert etwa 4%, und der nationale Flugverkehr macht in dieser „Verbrauchsbetrachtung“ etwa 2% aus.

Der Vergleich von Absatz und Verbrauch zeigt, dass die Diskrepanz vor allem im Flugverkehr markant ist: einem Absatz von 68 PJ (2000) bzw. 50 PJ (2005) steht ein (nationaler) Verbrauch von lediglich 3 bis 4 PJ gegenüber, der überwiegende Teil entfällt auf den internationalen Verkehr. Bei Benzin und Diesel ist die Diskrepanz wesentlich kleiner, netto insgesamt knapp 10 PJ, wobei einem „Absatzüberhang“ beim Benzin eine umgekehrte (aber kleinere) Differenz beim Diesel gegenübersteht, wie in Figur 10 dargestellt. Diese Differenz führen wir primär auf den Tanktourismus zurück.



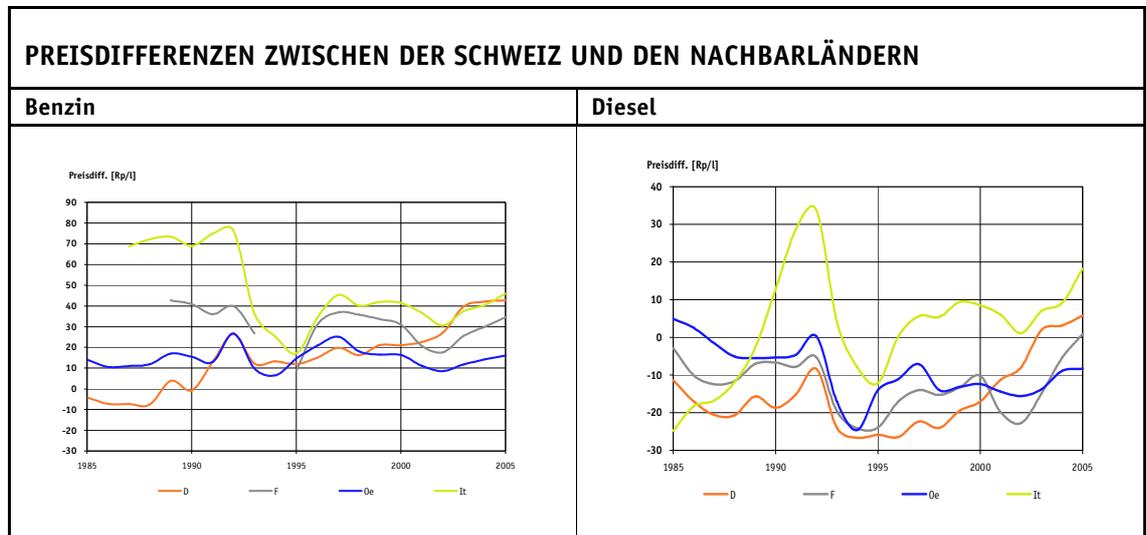
Figur 10 Zahlen in Annex 5

Tanktourismus

Tanktourismus entsteht aufgrund unterschiedlicher Preise zwischen Nachbarländern. Derzeit führen diese Preisrelationen dazu (vgl. nachstehende Figur), dass über alles betrachtet Benzin exportiert und Diesel importiert wird. Der Begriff „Tanktourismus“ (TT) löst allerdings teilweise falsche Assoziationen aus. Nur ein kleiner Teil des Tanktourismus entsteht durch KonsumentInnen, welche eigens zu diesem Zweck in die Schweiz (oder ins Ausland) reisen.

Ein grösserer Teil fährt zu andern Zwecken über die Grenze, und Tanken ist nur ein Mitnahmeeffekt. Auch SchweizerInnen produzieren Tanktourismus, indem sie z.B. bei Auslandsfahrten kurz vor der Grenze noch den Tank füllen, die entsprechende Fahrleistung aber im Ausland zurücklegen. Beim Diesel ist die Situation im Vergleich zum Benzin invers. Weil nur wenig empirische Grundlagen bestehen, ist es schwierig, das quantitative Ausmass des Tanktourismus genau zu fassen. Hier wird er definiert über die Differenz zwischen Absatz und modelliertem Verbrauch, er ist also eine Residualgrösse, die mit Plausibilitätsüberlegungen ergänzt wird.

Das hier unterlegte Mengengerüst geht von je rund 10% beim Benzin wie beim Diesel aus (Bezugsjahr 1999), allerdings einmal als Export (Benzin) und einmal als Import (Diesel). Weil der Benzinabsatz rund 3x so gross ist wie der Dieselabsatz, resultiert netto ein Export. Die Preisentwicklung seither deutet darauf hin, dass keine grundlegenden Veränderungen stattgefunden haben; tendenziell ist bei beiden Treibstoffen eher mit einer wenn auch geringen Abnahme zu rechnen, wobei im Zeitraum 2001/02 eine Delle zu verzeichnen ist, die dann wieder kompensiert und zum Teil mehr als kompensiert wird, was heissen müsste, dass die Differenz sogar eher zunehmen müsste. In der Tat geht die Differenz zwischen Verbrauchsmodell und statistischem Absatz beim Benzin zurück. Allerdings haben sich die Preisrelationen zu Deutschland deutlich vergrössert, was auf eine konstante Zunahme hinweisen müsste; gleichzeitig wurden aber in der Lombardei spezifische Massnahmen zur Reduktion des Tanktourismus eingeführt, so dass der Absatz im Tessin deutlich tiefer veranschlagt wird. Gegenüber Österreich und Frankreich haben sich die Preise nicht wesentlich verändert.



Figur 11 Entwicklung der Preisdifferenzen zwischen der Schweiz und den Nachbarländern für Diesel bzw. Benzin 1985 – 2005. Dargestellt ist die Schweizer Sicht. Für ausländische KonsumentInnen müssen die Werte wegen den Währungsdifferenzen um 5-7 Rp. reduziert werden, damit sie die korrekten Signale repräsentieren (positive Werte: Treibstoff ist in der Schweiz günstiger als im entsprechenden Land; negative Werte: Treibstoff ist in der Schweiz teurer als im entsprechenden Land; mittlere Jahreswerte). Quelle: OZD.

Beim Diesel sind die Preisdifferenzen im Zeitraum 2000/2005 eher zurückgegangen (v.a. gegenüber Deutschland), so dass hier eher mit einer Abnahme des Imports zu rechnen ist. Ein Vergleich Modell/Absatz zeigt somit über die letzten Jahre kein mit der Preisentwicklung völlig konsistentes Bild. Wir bewegen uns hier allerdings in einem sehr schmalen Wertebereich und vergleichen die Differenz von zwei grossen Zahlen, was fehlertechnisch ungünstig ist. Bereits kleinste Änderungen in den Annahmen (z.B. zum Verkehrswachstum oder zum spezifischen Verbrauch) können eine scheinbare grosse Diskrepanz im Tanktourismus begründen, obwohl es sich absolut betrachtet um kleine Differenzen handelt. Wichtig für die Szenario-Überlegungen ist die strukturelle Verschiebung in den Anteilen zwischen Benzin und Diesel bei den PW: Weil der Anteil der Benziner laufend zurückgeht (im In- wie im Ausland)¹⁰ und jener der Diesel-Fahrzeuge entsprechend zunimmt, so verschiebt sich tendenziell auch die Relation im Tanktourismus: der Benzin-Export nimmt ab und der Diesel-Import tendenziell zu. Allerdings sind bei Diesel die Preisdifferenzen gering, zudem sind die Kenntnisse über den Umfang von „Diesel-Importen“ sehr beschränkt, weil hierzu kaum Absatzdaten (auf Schweizer Seite) herangezogen werden können¹¹. Gleichwohl: die

¹⁰ In Deutschland betrug z.B. 1990 der Benzin-Anteil 59% (bezogen auf das Total von Benzin+Diesel), im Jahr 2005 noch 45%.

¹¹ Dazu kommen auch Unsicherheiten im Bereich der Preise: Beispielsweise weist der deutsche Mineralölwirtschaftsverband für die Preisentwicklung ab 2000 in Deutschland eine flachere Tendenz aus als die in Figur 11 aufgezeigte Preisentwicklung für Deutschland gemäss OZD.

strukturelle Verschiebung im Fahrzeugmarkt deutet darauf hin, dass sich die Einflüsse bei Benzin und Diesel immer mehr kompensieren, so dass der Stellenwert des Tanktourismus immer geringer wird. Für die weiteren Überlegungen zu den Szenarien wird dieser Aspekt denn auch keine wesentliche Rolle mehr spielen, zumal der wichtigste Einflussfaktor dafür steuerlich bedingte Preisdifferenzen zwischen Nachbarländern sind, welche sich kaum als langfristig geeignete und dauerhaltbare Steuergrösse eignen.

Konkret wurde von folgenden Werten ausgegangen: Als Ausgangszeitpunkt, bei dem Modell und Absatz übereinstimmen, wurde das Bezugsjahr 1999 gewählt. Anschliessend wurde der Absatz theoretisch hergeleitet aus Verbrauch plus Tanktourismus, wobei bei Benzin und Diesel leicht abnehmende Tendenzen unterstellt wurden (vgl. Figur 10 bzw. Annex 5). Für das Jahr 2005 wurde ein Tanktourismus-Anteil von 330 kt bei Benzin und von -150 kt bei Diesel eingesetzt, mit einem Netto-Effekt von rund 180 kt. Damit ergibt sich für die Jahre 2000 bis 2005 rein rechnerisch eine kleine Differenz zur Absatz-Statistik von netto 2 PJ (2000) bzw. 6 PJ (2005). Aufgrund weiterer struktureller Verschiebungen wird (beispielsweise in der Referenzentwicklung) erwartet, dass dieser Wert weiter abnimmt, und zwar z.B. bis 2010 auf 90 kt.

2.6. AUSWIRKUNGEN

Die wichtigsten Komponenten – verkehrliche Mengengerüste sowie spezifische Energieverbräuche – werden szenario-spezifisch ausgebildet, auf der Basis entsprechender Massnahmen, auf die in Kapitel 3 bzw. 4 näher eingegangen wird. Neben den Wirkungen der jeweiligen Massnahmen auf diese beiden Kern-Parameter werden als wichtigste Effekte bei den einzelnen Szenarien jeweils der resultierende gesamte Energieverbrauch bzw. die CO₂-Emissionen ermittelt und ausgewiesen. Zusätzlich werden auch die Schadstoffemissionen (NO_x und Partikel) berechnet. Ergänzend werden auch Kostenerwägungen und finanzielle Auswirkungen angefügt. Namentlich letzteres interessiert im Verkehrsbereich besonders, weil ein substanzieller Teil der Finanzierung des Verkehrssystems über die Mineralölsteuer erfolgt und somit ein enger Bezug zum Treibstoffverbrauch besteht.

2.6.1. BERECHNUNG DER SCHADSTOFF-EMISSIONEN

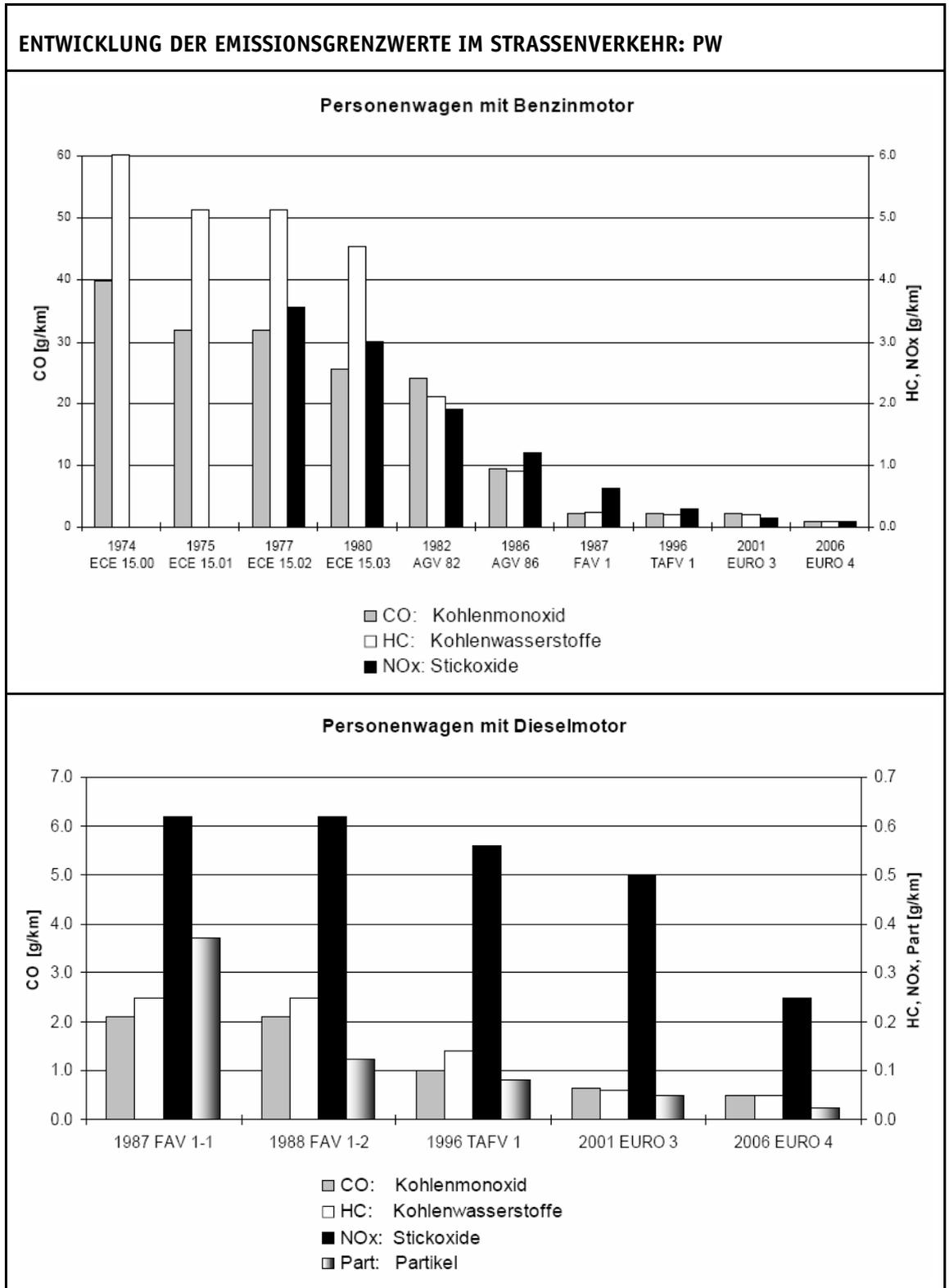
Abgrenzungsfragen

Grundsätzlich wird der Fokus lediglich auf die Emissionen während des Betriebs der Fahrzeuge ermittelt. Die Emissionen der sog. Vorprozesse, d.h. Emissionen, die während der Bereitstellung der Treibstoffe, Strom etc. anfallen, wie auch noch weitergehender Kompo-

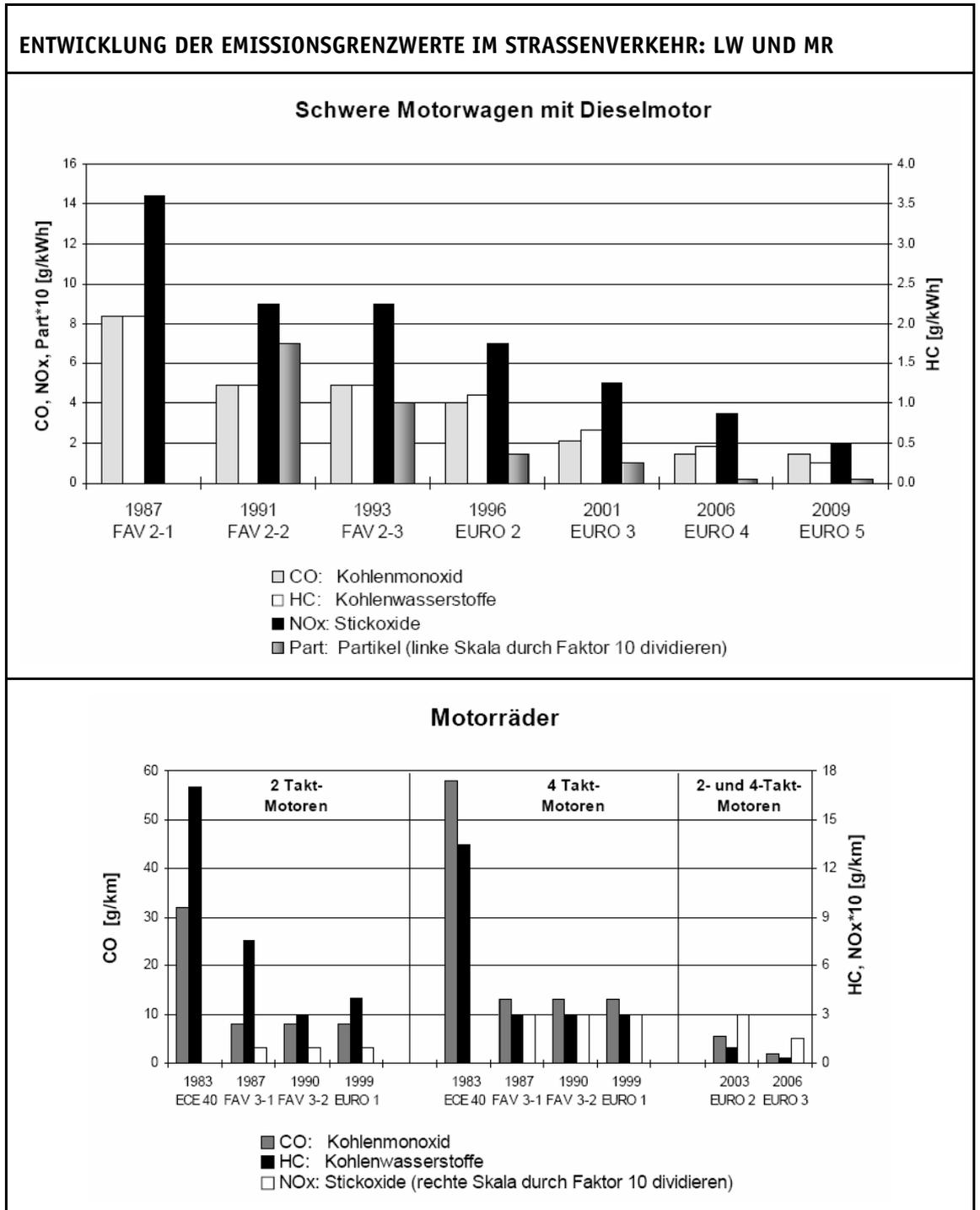
nenten (Emissionen bei der Produktion von Fahrzeugen bzw. der Verkehrsinfrastruktur) werden hier ausgeblendet. Das ist vor allem bei den CO₂-Emissionen im Kontext von erneuerbaren Treibstoffen zu beachten: den biogenen Treibstoffen wird hier unter dem Stichwort „Betriebsemission“ CO₂-Neutralität attestiert, weil das bei der Verbrennung freigesetzte CO₂ zuvor (durch das Pflanzenwachstum) aus der Atmosphäre gebunden wurde. Entsprechend werden die CO₂-Emissionen im Betrieb (nicht aber die übrigen Schadstoffe) nicht klimarelevant und werden mit Null eingesetzt.

Berechnungsgrundlagen

Für die Berechnung der Schadstoffemissionen wird im Wesentlichen das gleiche Modell eingesetzt wie für die Ermittlung der Emissionsentwicklung (vgl. BUWAL 2004). Dazu werden die Segmente im Bottom Up Modell (namentlich im Bereich der fossilen Treibstoffe, d.h. für den Strassenverkehr und den Offroad-Bereich) noch weiter aufgesplittet nach Emissionskonzepten. Diese berücksichtigen die Einführung der sukzessive eingeführten Grenzwertstufen. Im Strassenbereich sind dies die sog. Euro-Stufen. Diese sind fixiert bis 2006 für die leichten Motorwagen (bis Euro-4) und bis 2008/09 (bis Euro-5) für die Schweren Motorwagen. Die nachstehenden Figuren zeigen deren Entwicklung für die PW, SNF und Motorräder. Dieser Verlauf zeigt schon markante Reduktionen, so dass die Emissionen heute bereits und noch vermehrt in absehbarer Zukunft z.B. gegenüber 1990 deutlich tiefer liegen werden.



Figur 12 Details siehe Annex 6, Quelle: BAFU 2006a



Figur 13 Details siehe Annex 6, Quelle: BAFU 2006a

Die Grenzwerte werden laufend weiter entwickelt. So wurden inzwischen bei den PW und den leichten Nutzfahrzeugen weitere Stufen für Euro-5 und Euro-6 „praktisch“ beschlos-

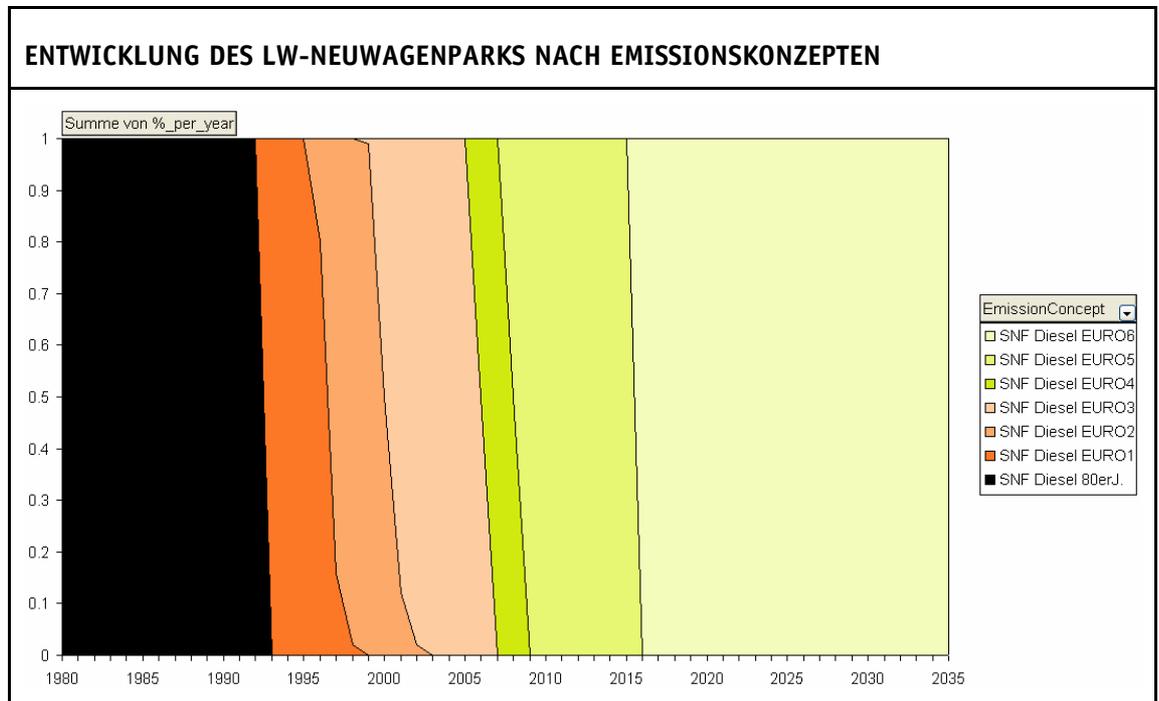
sen¹². Die Euro-5-Normen gelten ab dem 1. September 2009 und beinhalten strengere Emissionsgrenzwerte für Partikel und NO_x (z. B. werden die Grenzwerte für den Partikelausstoß von Dieselfahrzeugen durch Euro 5 um 80 % gesenkt). Damit werden Partikelfilter in Dieselfahrzeugen unumgänglich. Euro 6 wird niedrigere Grenzwerte für NO_x-Emissionen aus Dieselfahrzeugen verlangen (rund zwei Drittel niedriger als die heute geltenden Grenzwerte) und wird fünf Jahre nach Euro-5 in Kraft treten, d.h. 2014. Ein Jahr später werden die analogen Grenzwert für leichte Nutzfahrzeuge und Spezialfahrzeuge gelten.

Bei den Schweren Nutzfahrzeugen (LW, Busse) sind ebenfalls weitere Verschärfungen in Diskussion. Die Euro-5-Stufe, gültig ab 2009, ist beschlossen, zur Euro-6-Norm besteht ein Vorschlag, der ab 2015/2016 gelten soll und die Stickoxidemissionen um weitere 75% gegenüber Euro-5 absenkt und auch bei den Partikeln weitere Minderungen vorsieht.

Analoges gilt auch für den Offroad-Bereich. Die derzeit gültigen bzw. absehbaren Emissionsstufen basieren auf der EU-Richtlinie 97/68. Die massgebenden Grenzwerte finden sich in Annex 6.

Die nachstehende Grafik zeigt illustrativ für den Bereich der Schweren Nutzfahrzeuge die Art der Umsetzung, d.h. für welche Baujahre welche Emissionsstufen als massgebend betrachtet werden.

¹² Die Berechnungsszenarien basierten noch auf dem Stand 2005. Inzwischen (Stand Dez. 2006) hat das Europäische Parlament diesen Vorschlag für Euro-5 und Euro-6 beschlossen, dem der EU-Rat in absehbarer Zeit auch zustimmen dürfte, da es sich um ein Kompromisspaket handelt.



Figur 14

2.6.2. FINANZIELLE AUSWIRKUNGEN

Unter dem Titel „finanzielle Auswirkungen“ werden in den Szenarien einerseits Betrachtungen aus Nutzersicht angestellt, andererseits aus Betreibersicht, d.h. aus Sicht der öffentlichen Hand, welche für die Infrastruktur und im ÖV auch für den Betrieb aufkommen muss.

Strassenverkehr

Aus Nutzersicht interessieren im vorliegenden Kontext vor allem drei Komponenten, welche kostenseitig relevant sind:

- › die Energiekosten als wichtiger Teil der Betriebskosten der Fahrzeuge,
- › die kantonalen Motorfahrzeugsteuern und Gebühren,
- › die Anschaffungskosten für die Fahrzeuge.

Modellhaft kann man die Grössenordnung der **Ausgaben für die Energie** abschätzen (Jahr 2005): Pro PW und Jahr fallen im Durchschnitt Energiekosten von rund 1'680 CHF an¹³.

¹³ Diese Rechnung gilt lediglich für PW: bei 15'000 km/a, 8 l/100 km Verbrauch, und Treibstoffpreis von CHF 1.50 / l. Die aus dem Gesamtabatz von Treibstoffen abgeleiteten Zahlen beziehen sich jedoch auf alle Fahrzeugkategorien.

Hochgerechnet über die Fahrleistungen aller Fahrzeugkategorien bzw. vom Gesamtabsatz von knapp 7 Mrd. Litern Benzin und Diesel rückgerechnet betragen die Ausgaben für die Energie rund 10.2 Mrd. CHF (2005). Ein namhafter Teil dieser Ausgaben fällt auf die Mineralölsteuern. Tabelle 6 zeigt, wie sich der Tankstellenpreis derzeit zusammensetzt. Rund 55% bis 60% entfällt auf fiskalische Abgaben. Das begründet auch, weshalb eine Preiserhöhung des Rohölpreises sich unterproportional auf den Treibstoffpreis und damit letztlich auf die Verkehrsnachfrage auf der Strasse auswirkt.

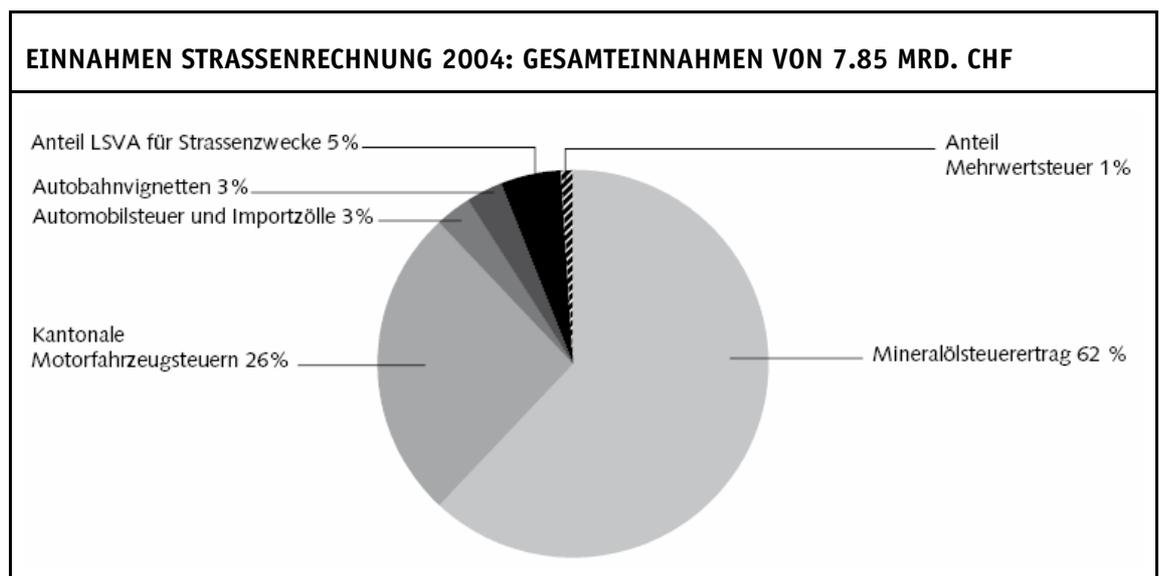
Treibstoffpreise und Fiskalbelastung (Rp. / Liter, Stand ca. Mitte 2005)		
	Benzin unverbleit	Dieselöl
Mineralölsteuer	43.1	45.9
Mineralölsteuerzuschlag	30.0	30.0
<i>Gesamtsteuersatz</i>	73.1	75.9
Mehrwertsteuer 7.6% (bzgl.Tankst.Preis)	10.6	10.6
<i>Gesamtfiskalbelastung</i>	83.7	86.5
CARBURA-Gebühr	1.3	0.8
<i>Total Belastung</i>	84.1	86.4
Durchsch. Tankstellenpreis inkl. MWSt	150	150
Warenwert inkl. Handel (aus Differenz zw. Tankstellenpreis und „Total Belastung“)	66	64

Tabelle 6 Fiskalbelastung der Treibstoffe (Quelle: OZD).

Aus dieser Zusammenstellung kann man auch ableiten, dass von den Gesamtausgaben von 10.2 Mrd. CHF rund 4.5 Mrd. CHF auf den Warenwert fallen, rund 5 Mrd. auf die Mineralölsteuer und etwa 0.7 Mrd. CHF auf die Mehrwertsteuer. Die Mineralölsteuer ihrerseits ist eine der wichtigen Finanzierungsquellen für den Bau, Betrieb und Unterhalt der Strassen- und Verkehrsinfrastruktur. Energieverbrauch und Finanzierung sind im Strassenverkehr also eng aneinander gekoppelt – u.a. auch aus Gründen der einfachen Erhebung über den Treibstoff. Eine Änderung des Treibstoffverbrauchs hat deshalb unmittelbare Konsequenzen auf die für das Verkehrssystem verfügbaren Mittel. Entsprechend wird bei den Szenarien besonders auf die Mineralölsteuererträge geachtet. Diese werden – in einer etwas mechanistischen Annahme gleicher Sätze – anhand des je Szenario variierenden Energieabsatzes berechnet. Weil zudem die erneuerbaren Treibstoffe in einzelnen Szenarien privilegiert behandelt werden, wird auch aufgezeigt, wie sich die Mineralölsteuererträge aufgrund dieser Massnahmen theoretisch entwickeln würden. Theoretisch deshalb, weil gleichzeitig mit der Privilegierung die Haushaltsneutralität gewahrt werden soll, d.h. die erwarteten Ausfälle bei den erneuer-

baren Treibstoffen sollen durch Aufschläge bei den fossilen Treibstoffen kompensiert werden.

Figur 15 zeigt eine Übersicht der Erträge im Strassenwesen gemäss der Schweizerischen Strassenrechnung (BFS 2006a). Die Strassenrechnung ist hauptsächlich eine Infrastrukturrechnung. Sie enthält die Kosten, die Ausgaben und die Einnahmen der öffentlichen Hand für den privaten motorisierten Strassenverkehr. Im Gegensatz zur sog. Transportrechnung werden in der Strassenrechnung die externen Kosten, die Unfallkosten und die Aufwendungen für die Fahrzeuge (Anschaffung, Betrieb, Unterhalt) nicht berücksichtigt. An dieser Stelle interessiert primär die Kapitalrechnung, und hier namentlich die Einnahmenseite. Aus der Jahresrechnung 2004 geht hervor, dass 62% der insgesamt 7.85 Mrd. CHF Einnahmen aus der Mineralölsteuer stammen (d.h. 4.89 Mrd. CHF).



Figur 15 Quelle: BFS 2006a.

Diesen Einnahmen von 7.85 Mrd. CHF stehen Gesamtkosten von rund 8.0 Mrd. CHF gegenüber. Davon ist ein Teil allerdings nicht anrechenbar (30% bei den Gemeindestrassen und 10% bei den Kantonsstrassen). Somit ergeben sich anrechenbare Kosten von 6.83 Mrd. CHF, woraus ein Überschuss von rund 1 Mrd. CHF bzw. ein Eigenwirtschaftlichkeitsgrad von 115% (2004) resultiert¹⁴. Diese gesamten Kosten setzen sich aus Betriebskosten von 2.7 Mrd. CHF

¹⁴ Die Investitionen in den Strassenbau werden als Staatsvermögen betrachtet. Sie werden kapitalisiert und in der Strassenrechnung entsprechend der durchschnittlichen Lebensdauer der Bauten und Anlagen abgeschrieben und verzinst. Daraus ergeben sich die Kapitalkosten, welche – zusammen mit den Betriebskosten und dem Zins auf den über die Jahre hinweg kumulierten Saldi (Überschüsse und Fehlbeträge) – den anrechenbaren Einnahmen gegenübergestellt werden.

und Kapitalkosten von 5.3 Mrd. CHF zusammen, wovon 2.4 Mrd. CHF auf Kapitalzinsen und 2.9 Mrd. CHF auf Abschreibungen fallen.

Die nächst grössere Position sind die **kantonalen Motorfahrzeug-Steuern und Gebühren** im Umfang von 2.0 Mrd. CHF. Für die Szenarien wird neben der Mineralölsteuer auch dieser Posten mitberechnet, auch wenn der Satz pro Fahrzeug nicht variiert wird. Vielmehr soll damit eine Mengenkomponekte mitberücksichtigt werden. Wir nehmen diese Position lediglich im Sinne einer Überschlagsrechnung mit¹⁵.

Dazu kommen aus Nutzersicht die **Fahrzeugkosten**, wobei hier vor allem die Anschaffungskosten interessieren. Heute werden in der Schweiz jährlich rund 250'000 bis 300'000 Neuwagen abgesetzt¹⁶. Bei einem mittleren Verkaufspreis von rund 30'000 bis 35'000 CHF eines Neuwagens kommen somit Ausgaben von rund 9 Mrd. CHF dazu. Mit Blick auf die Szenarien stehen die Neuwagen im Vordergrund, wenn es darum geht abzuschätzen, in welcher Relation technologisch bedingte Mehrkosten für ein Fahrzeug und Sparwirkungen dank verstärkter Energieeffizienz stehen. Solche Veränderungen bei den Neuwagen werden sich zeitverzögert auch auf die Occasionen übertragen¹⁷. Die Abschätzung von technologisch bedingten Mehrkosten bei Fahrzeugen mit erhöhter Effizienz ist nicht unproblematisch, denn es ist unklar, welche Technologien sich durchsetzen werden (vgl. dazu die Ausführungen in Kapitel 4.3), welche Lernkurven die verschiedenen technischen Ansätze durchmachen, wie verschiedene Massnahmen interagieren und mit welchen Mehrkosten letztlich zu rechnen sein wird. Auf diesem Hintergrund verfolgen wir zwei Pfade: auf der einen Seite versuchen wir (gleichwohl) grob aufgrund von Literaturangaben überschlagsmässig Mehrkosten zu schätzen, auf der andern Seite wenden wir – im Gleichschritt mit den andern Sektoren (Haushalte, Dienstleistungen, Industrie) – den Ansatz der sog. anlegbaren Kosten zur Schätzung der zusätzlichen durchschnittlichen Kosten für die Energieeinsparungen an. Dazu werden die Energieausgaben in allen Szenarien mit den jeweils geltenden Preisen berechnet und dem Referenzszenario gegenübergestellt. Darin wirken sich einerseits die erhöhte Effizienz durch geringere Verbräuche, andererseits erhöhte spezifische Ausgaben infolge erhöhter Treibstoffpreise aus. Aus diesen Mehr- bzw. Minderkosten lässt sich auf die mit diesen Kosten zu finanzierenden Investitionen schliessen, wenn zusätzliche Annahmen über die Nutzungsdauer und die geforderte Kapitalverzinsung getroffen werden. Die Kern-

15 Bei rund 2 Mrd. CHF Erträgen und knapp 5 Mio. Fahrzeugen ergibt sich ein Satz von ca. 410 CHF/Fahrzeug.

16 2000: 315'000 Neuwagen, 2005: 261'000 Neuwagen.

17 Man geht davon aus, dass der Occasionsmarkt etwa doppelt so gross ist wie jener der Neuwagen, d.h. es wechseln rund 500'000 bis 550'000 Fahrzeuge die Hand. Frühere Schätzungen gingen von noch grösseren Volumina aus (Automobil-Revue Nr. 44/2006: „Occasionenmarkt: Kleiner als vermutet“).

annahme besteht darin, dass die Zusatzinvestitionen nur so hoch sein dürfen, dass sie in der halben Nutzungsdauer durch die vermiedenen Energieausgaben refinanziert werden können. Die in einem Jahr neu zu tätigen Zusatzinvestitionen (kumulierte Mehrkosten für Neufahrzeuge) ergeben sich somit aus den jährlich zusätzlich eingesparten Energiekosten, multipliziert mit der halben Lebensdauer. Für den PW-Sektor gehen wir beispielsweise für die halbe Nutzungsdauer von einem Wert von 5 Jahren aus, im Bewusstsein, dass die „Lebenserwartung“ eines PW mehr als das Doppelte davon beträgt, hingegen sind die jährlichen Fahrleistungen in den ersten 5 Jahren höher als in der Zeit nach 5 Jahren. Die in Figur 2 dargestellte, aus den Überlebenswahrscheinlichkeiten ableitbare kumulierte Kurve lässt auf eine mittlere Erwartung von 12 bis 13 Jahren schliessen. Als Zinssatz wird ein Wert von 4% gewählt. Eine detailliertere Beschreibung dieser Methode ist im Sektorbericht zu den Dienstleistungen (von CEPE) nachzulesen.

Eisenbahnrechnung

Im Sinne einer Komplettierung des Bildes, aber ohne auf Details einzugehen, sei hier auch auf den Schienenverkehr verwiesen. Dieser ist Gegenstand der Eisenbahnrechnung (BFS 2006b). Diese ist aufgrund struktureller Unterschiede anders konzipiert als die Strassenrechnung:

Der **Gesamtaufwand** betrug im Jahr 2004 8.4 Mrd. CHF, wovon 5.6 Mrd. CHF auf die Sparte Verkehr (~ Betrieb) und 3.9 Mrd. CHF auf die Infrastruktur fallen. Bei den Betriebskosten machen Personal- und Sachkosten den Hauptteil und die Kapitalkosten rund 12% aus, während letztere bei der Infrastruktur für rund einen Drittel des Gesamtaufwandes verantwortlich sind. Nicht mitberechnet sind in dieser betriebswirtschaftlichen Sicht die Kapitalkosten von Spezialfinanzierungen wie etwa des FinöV-Fonds zur Finanzierung der NEAT, Bahn 2000, HGV und Lärm. Die Eisenbahnrechnung 2004 weist diese in Form kalkulatorischer Zinsen im Umfang von knapp 0.9 Mrd. CHF aus.

Diesem Aufwand stehen **Erträge** im Umfang von rund 8.6 Mrd. CHF gegenüber, wovon ein Verkehrsertrag von 3.4 Mrd. CHF (ca. 2/3 Personenverkehr, 1/3 Güterverkehr) und rund 2.5 Mrd. CHF übrige Erträge¹⁸ – total also Nettoerträge von 5.9 Mrd. CHF. Dazu kommen Beiträge der öffentlichen Hand (Abgeltungen und Leistungen für die Infrastruktur) im Umfang von 2.7 Mrd. CHF, was zu einem Kostendeckungsgrad von 103% führt. Ohne die Beiträge der öffentlichen Hand resultierte ein Deckungsgrad von rund 70%.

¹⁸ Die Rubrik „übrige Erträge“ beinhaltet gemäss den Geschäftsberichten der TU den Ertrag aus Betriebsbesorgungen für Dritte, Pacht und Miete, Leistungen für Dritte, Eigenleistungen für Anlagenrechnung, Beteiligungen, usw.

3. RAHMENENTWICKLUNGEN

3.1. ALLGEMEINE RAHMENDATEN

Als Rahmendaten für die Szenarienrechnungen wurden für alle Sektoren einheitliche Vorgaben vereinbart. Konkret waren die Rahmendaten des Perspektivstabes für die Bevölkerungsentwicklung sowie die Wachstumsentwicklung des BIP zu Grunde zu legen, zudem Annahmen zur Entwicklung der Energiepreise. Genauere Beschreibungen hierzu finden sich in Exkurs 1, Band 4.

- › Die Annahmen zur **Bevölkerungsentwicklung** orientieren sich an dem vom Bundesamt für Statistik im Jahre 2001 veröffentlichten Szenario Trend, wurde aber leicht (nach oben) angepasst, um den jüngsten Immigrationsentwicklungen Rechnung zu tragen. Diese Annahmen bewirken ab 2005 einen stetigen Rückgang der Zuwachsrates der Bevölkerung. Ab 2027 nimmt die Bevölkerungszahl absolut ab. Konkret bedeutet es eine Zunahme von 7.21 Mio. (2000) auf 7.57 Mio. (2035).
- › Die Annahmen zur **BIP-Entwicklung** orientieren sich an den vom Seco zuhanden des Perspektivstabes erarbeiteten BIP-Szenarien. Diese beruhen auf einer Schätzung des Produktivitätswachstums und den Resultaten der Demografieszenarien des BFS. Der Berechnungsansatz geht davon aus, dass sich die Entwicklung der Demografie und der Produktivität langfristig nicht beeinflussen (d.h. zum Beispiel, dass das Bevölkerungswachstum die Produktivität nicht ändert) und deshalb unabhängig voneinander analysiert werden können. In die Berechnungen flossen das aus dem Bevölkerungsszenario resultierende Arbeitsangebot (Erwerbstätige) ergänzt mit Annahmen zu den Erwerbstätigen (Grenzgänger und Kurzaufenthalter). Es resultiert ein durchschnittliches jährliches Wachstum von 0.89%, allerdings mit konstant abnehmenden Werten von 1.4%/a im Zeitraum 2000-2010 bis auf 0.7%/a im Zeitraum nach 2030.
Ergänzend wurde auch für Sensitivitätsbetrachtungen ein Szenario „BIP-hoch“ definiert, welches im Wesentlichen von einem um 0.5% höheren jährlichen BIP-Wachstum ausgeht.
- › Für die Entwicklung der **Weltmarktenergiepreise** wurden zwei Szenarien zu Grunde gelegt (weitere Ausführungen siehe Exkurs 1):
 - › Das Szenario „Trend“ geht von einer real konstanten Entwicklung der Weltmarktölpreise von 30 \$ (in Preisen von 2003) bis 2030 aus, danach steigen sie linear an bis auf 50 \$ (reale \$ 2003) im Jahr 2050.

- › Für Sensitivitätsbetrachtungen wurde ein Szenario „Preise hoch“ definiert, das von einer im Wesentlichen real konstanten Entwicklung der Weltmarkt-Ölpreise von 50 \$ in realen Preisen von 2003 ausgeht.

Die nachstehende Tabelle zeigt diese Annahmen als Zeitreihenentwicklung:

RAHMENDATEN											
	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Bevölkerung	Mio.	6.80	7.08	7.21	7.47	7.54	7.58	7.60	7.62	7.61	7.57
BIP „Trend“ ¹⁹	Mrd. CHF	374	376	423	441	474	503	526	542	554	572
BIP „hoch“	Mrd. CHF	374	376	423	450	497	546	591	630	663	692
Preise Benzin "Trend"	CHF/L	1.20	1.18	1.43	1.31	1.33	1.34	1.36	1.37	1.37	1.40
Preise Diesel "Trend"	CHF/L	1.35	1.23	1.47	1.38	1.40	1.42	1.44	1.45	1.45	1.49
Preise Benzin "hoch"	CHF/L	1.20	1.18	1.43	1.43	1.50	1.52	1.54	1.55	1.56	1.56
Preise Diesel "hoch"	CHF/L	1.35	1.23	1.47	1.52	1.60	1.62	1.64	1.66	1.66	1.66

Tabelle 7 Kenngrössen der Rahmenentwicklung (Quelle: gemeinsame Vorgaben für alle Sektoren gemäss BFE)

3.2. VERKEHRSSPEZIFISCHER RAHMEN

Der Sektor Verkehr ist – im Vergleich zu den andern Sektoren (wie Industrie, Haushalte, Dienstleistungen etc.) – in dem Sinne speziell, als für diesen Bereich eigene verkehrspolitische Ziele formuliert und debattiert werden, bei denen Energie eine zwar wichtige, aber nicht die einzige Zieldimension darstellt. Deshalb gilt es im Rahmen der Energieperspektiven die spezifisch für den Verkehrsbereich formulierten Strategien – z.B. von der Angebotsentwicklung bis zu preislichen Rahmenbedingungen – zu beachten. Auf diesem Hintergrund legt das Bundesamt für Raumentwicklung periodisch eigene Verkehrsperspektiven mit Aussagen zu den Nachfrage-Erwartungen vor. Bevor die jüngsten Verkehrsperspektiven des ARE vorgestellt werden, wird im Folgenden kurz auf die **verkehrspolitischen Rahmenbedingungen** eingegangen.

Die schweizerische Verkehrspolitik orientiert sich am Prinzip der **Nachhaltigkeit**. Entsprechend werden drei Zielbereiche formuliert (UVEK 2001):

- › In Bezug auf die ökologische Nachhaltigkeit steht die Senkung der Umweltbelastungen auf ein langfristig unbedenkliches Niveau im Vordergrund, wobei gleichermassen die Luft-

¹⁹ real, zu Preisen von 2000

schadstoffe bzw. die Beeinträchtigung des Klimas, der Lärm, der Bodenverbrauch und die Belastung von Landschaften und Lebensräumen angesprochen sind.

- › Im Bereich der wirtschaftlichen Nachhaltigkeit umfassen die übergeordneten Ziele die Bereitstellung einer leistungsfähigen Verkehrsinfrastruktur, die effiziente Leistungserbringung und die Erhöhung der Eigenwirtschaftlichkeit des Verkehrs; konkret bedeutet es Sicherstellen einer ausgewogenen Entwicklung des Verkehrs auf Strasse und Schiene, so dass jeder Verkehrsträger seine Stärken zum Tragen bringen kann, aber auch Sicherstellen der langfristigen Finanzierung des Verkehrssystems, die gesunde öffentliche Finanzen anvisiert.
- › Im Hinblick auf die soziale Nachhaltigkeit steht die landesweite Grundversorgung im Vordergrund, mit der allen Bevölkerungsgruppen und Landesteilen Zugang zur Mobilität gesichert werden soll.

Es lassen sich verschiedene Meilensteine im Zeichen der Umsetzung dieser Verkehrspolitik finden, die sich auch in einer Reihe von Abstimmungsvorlagen niedergeschlagen haben, somit beschlossen und für die Rahmenentwicklung relevant sind. So etwa

- › Das **Konzept BAHN 2000** für ein flächendeckendes Angebot im Schienenverkehr basierend auf dem Knotenprinzip – mit Grundsatzbeschlüssen im Jahr 1987 und einer Konkretisierung der 1. Etappe im Jahr 1996, die im Dez. 2004 ihren Abschluss fand.
- › Der Entscheid für eine **Verlagerungspolitik im Güter(transit)verkehr**, der sich in verschiedenen Beschlüssen niederschlug, wie
 - › **NEAT** (Neue Eisenbahnalpentransversalen, 1992) für eine Verbesserung des Nord-Süd-Verkehrs und als Beitrag zur Verlagerung des Güterverkehrs auf die Schiene, mit dem Konzept von zwei Basistunnels (Lötschberg: Eröffnung 2007, Gotthard: Eröffnung erwartet im Zeitraum 2015-2017).
 - › Bestätigung der Verlagerungspolitik im Jahr 1994 mit Annahme der Initiative zum Schutz des Alpengebietes vor den schädlichen Auswirkungen des Verkehrs (**Alpenschutzartikel**) mit dem Ziel der Verlagerung des Güterverkehrs von der Strasse auf die Schiene.
 - › Ebenfalls im 1994 Beschluss zur Einführung einer **leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe** zur verursachergerechten Anlastung der Kosten des Strassengüterverkehrs.
- › 1999 wurde die **Bahnreform 1** eingeführt, mit dem Ziel, den öffentlichen Verkehr effizienter zu machen und das Kosten-Nutzen-Verhältnis für die öffentliche Hand zu verbessern. Dazu wurden verschiedene Reformschritte eingeführt, namentlich eine vollständige

Öffnung der Netze im Güterverkehr, eine Trennung von Verkehr und Netz, eine Neuregelung der Finanzierung des Regionalverkehrs sowie der SBB, bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung des Systemverkehrs im Personenfernverkehr.

- › Bundesbeschluss über Bau und Finanzierung von Infrastrukturvorhaben des öffentlichen Verkehrs (**FinöV**) vom 29. November 1998. Dieser Finanzierungsbeschluss bestimmt auch heute noch weitgehend Art und Umfang, wie die Bahninfrastruktur in den nächsten rund 25 Jahren modernisiert und weiterentwickelt werden soll. Es steht ein Budgetrahmen von rund 30.5 Mrd. CHF (Preisbasis 1995) zur Verfügung für vier „Grossprojekte“, nämlich
 - › die NEAT (Neue Eisenbahn-Alpentransversale) mit den neuen Basistunnels durch Gottard, Lötschberg, Ceneri und Zimmerberg,
 - › die Anschlüsse der Ost- und Westschweiz an das europäische Hochgeschwindigkeitverkehrs-Netz (auch HGV-Anschluss) sowie
 - › die erste und zweite Etappe der Bahn 2000 (mit der Neubaustrecke Mattstetten–Rothrist als Kernstück, eröffnet Dez. 2004),
 - › die Lärmsanierung der Eisenbahnen.

Neben den FinöV-Geldern stehen für die Schienenverkehrsinfrastruktur auch Gelder aus den sog. *Leistungsvereinbarungen* (zwischen Bund und SBB)²⁰ bzw. den sog. *Rahmenkrediten* (für die konzessionierten Transportunternehmungen)²¹ zur Verfügung.

Inzwischen wurden unter dem Titel *HGV-Anschluss* verschiedene Projekte beschlossen²².

Nach der Eröffnung der ersten Etappe von Bahn 2000 konzentrieren sich die derzeitigen Planungsarbeiten auf die *zukünftige Weiterentwicklung der Bahninfrastruktur* (ZEB). Für die Infrastruktur des Kernangebots von ZEB stehen gemäss derzeitigem Stand (vgl. BAV-website, Ende 2006) rund 5.2 Mrd. Franken bereit (Preisstand 2005), plus allenfalls nicht benötigte Gelder der vier Grossprojekte. Auf ZEB wird im nächsten Abschnitt noch näher eingegangen.

- › Bilaterales Abkommen ab 2001 zwischen der Schweiz und der EU, insbesondere das **Landverkehrsabkommen**, worin die EU die schweizerische Verkehrspolitik (und somit die

20 Die sog. LV 2007-2010 umfasst einen Betrag von 5.88 Mrd. CHF (für vier Jahre) und soll für Sicherheit, Werterhalt, Modernisierung und Betrieb der bestehenden Eisenbahninfrastruktur eingesetzt werden. Davon sollen 390 Mio. Franken verwendet werden, um Kapazitätsengpässe im Personen- und Güterverkehr zu beseitigen.

21 Im Herbst 2006 hat das Parlament neben der LV 2007-2010 für die SBB auch den sog. 9. Rahmenkredit für Investitionsbeiträge für die KTU beschlossen, das bedeutet 800 Mio. CHF für die Substanzerhaltung der Infrastruktur der Privatbahnen.

22 Beschluss des Parlamentes vom 18. März 2005, für rund 1.1 Mrd. CHF verschiedene Projekte zu realisieren zur Verkürzung der Reisezeiten nach Paris, Stuttgart und München.

LSVA) akzeptiert. Im Gegenzug akzeptierte die Schweiz die schrittweise Erhöhung der Gewichtslimite für Lastwagen. Diese wurde bis 2005 von 28 auf 40 Tonnen erhöht.

- › Die **Neugestaltung des Finanzausgleichs** und der Aufgabenteilung zwischen Bund und Kantonen (**NFA**, beschlossen am 28. Nov. 2004) hat auch Folgen für den Verkehr, namentlich den Strassenverkehr, indem die Nationalstrassen neu zur vollständigen Bundessache erklärt werden. Die Umsetzung erfolgt ab 2008. (Eine ähnlich gelagerte Vorlage im öffentlichen Verkehr [Bahnreform 2²³], welche u.a. eine Restrukturierung der Bahninfrastruktur in ein Grund- und Ergänzungsnetz vorsah, wurde 2005 vom Parlament zurückgewiesen).
- › Ein weiterer wichtiger Rahmen-Bestandteil ist der **Sachplan Verkehr** (ARE 2006a). Dieser legt Ziele, Grundsätze und Prioritäten des Bundes für die Verkehrsinvestitionen fest. Er sichert die Koordination der verkehrsträger-bezogenen Massnahmen untereinander und mit der Raumplanung. Der strategische Teil wurde im April 2006 genehmigt. Damit sind die Grundlagen für die künftigen Netze gelegt worden. Diese sollen in neuen **Netzbeschlüssen (NEB)** des Parlaments (für das Nationalstrassennetz) bzw. des Bundesrats (für das Hauptstrassennetz) konkretisiert werden (bis ca. 2010). Diese werden die Strassen von gesamtschweizerischer Bedeutung neu definieren und bisherige Beschlüsse ablösen. Vor allem in den Agglomerationen, aber auch auf einigen weiteren Strecken, ist das Netz im Rahmen der künftigen Beschlüsse indessen noch genau festzulegen.
- › In der „Agglomerationspolitik des Bundes“ vom Dezember 2001 hat der Bund den Willen zu einem stärkeren Engagement in dieser Sache deklariert. Eine Konkretisierung im Sektor Verkehr wurde durch die Lancierung des **Agglomerationsprogramms Siedlung und Verkehr** initialisiert. Ein Agglomerationsprogramm ist ein langfristiges Planungsinstrument, das inhaltlich und zeitlich koordinierte Massnahmen zur Lenkung der Siedlungsentwicklung sowie infrastrukturelle und betriebliche Massnahmen der verschiedenen Verkehrsträger eines ganzen Agglomerationsraums umfasst. Es wird periodisch erneuert und umfasst Programmvereinbarungen zwischen Bund und Trägerschaft. Darin wird u.a. auch die Beitragszahlung durch den Bund geregelt. Die finanziellen Voraussetzungen für Bundesbeiträge an Verkehrsinfrastrukturen des Agglomerationsverkehrs hat das Parlament kürzlich (6. Oktober 2006) durch Einführung des **Infrastrukturfonds** geschaffen.

²³ Mit der Bahnreform 2 hätte die Finanzierung der Bahninfrastruktur modernisiert, die Privatbahnen mit der SBB gleichgestellt, die Sicherheit für die Bahnreisenden erhöht und die Wettbewerbsfähigkeit der Bahnen durch die Harmonisierung der schweizerischen mit den europäischen Normen verbessert werden sollen.

- › Der **Infrastrukturfonds**²⁴ (BR 2005) sichert die langfristige Verfügbarkeit der finanziellen Mittel für die Fertigstellung und den Ausbau der Nationalstrassen. Gleichzeitig schafft er neue Finanzierungsmöglichkeiten für Ausbauten in den Agglomerationen (einschliesslich ÖV und Langsamverkehr). Konkret umfasst der Infrastrukturfonds vier Elemente:
 - › Fertigstellung des Nationalstrassennetzes (8,5 Mrd. CHF).
 - › Gewährleistung der Funktionalität des bestehenden Nationalstrassennetzes (für die Beseitigung der dringendsten Kapazitätsengpässe sind 5,5 Mrd. CHF reserviert).
 - › Bundesbeiträge an die Infrastruktur für den privaten und öffentlichen Agglomerationsverkehr (6 Mrd. CHF).
 - › Substanzerhaltung der Hauptstrassen in Berggebieten und Randregionen (0.8 Mrd. CHF).
- › Nachdem **Road Pricing** (oder genereller **Mobility Pricing**) in verschiedenen Städten im Ausland eingeführt wurde (Singapur, Norwegen, London, neuestens Stockholm) wird diese Diskussion auch in der Schweiz intensiviert geführt. Mit Road Pricing wird eine gezielte Lenkung des Verkehrs ermöglicht. Dieser kann räumlich und zeitlich besser auf die zur Verfügung stehende Strassenfläche und das Angebot des öffentlichen Verkehrs abgestimmt werden und ermöglicht eine optimale Nutzung der bestehenden Verkehrsinfrastrukturen. Dabei werden gleichzeitig der Bedarf nach kostenintensiven Neubauten verringert und finanzielle Mittel für Erstellung, Unterhalt und Betrieb von Verkehrsinfrastrukturen generiert. Mobility Pricing dient also grundsätzlich zwei Zwecken, einerseits der Nachfragebeeinflussung (innerhalb eines Verkehrsträgers wie auch zur Beeinflussung des Modal Splits), und andererseits der Finanzierung der Verkehrsinfrastruktur oder des -betriebs. Experten gehen davon aus, dass Strassenbenutzungsgebühren – wie die Einführung der LSVA und der Autobahnvignette – eine Verfassungsänderung bedingen. Welche Anpassungen in welcher Form nötig wären und weitere Fragen, die sich mit der Umsetzung von Road Pricing-Projekten stellen, werden zurzeit vom UVEK vertieft untersucht²⁵.

²⁴ Bundesgesetz über den Infrastrukturfonds, für den Agglomerationsverkehr und das Nationalstrassennetz (IANG). Dieser Fonds geht zurück auf die Arbeit der Expertengruppe „Bieri“ zur «Finanzierung des Agglomerationsverkehrs»- veröffentlicht im Mai 2001. Die wichtigsten Vorschläge wurden mit dem Infrastrukturfonds realisiert.

²⁵ Im Auftrag des Nationalrats erstellt das ARE einen Bericht über die Einführung eines Road Pricing. Das ASTRA prüft im Rahmen des Forschungspakets Mobility Pricing benutzungsbezogene Verkehrsabgaben für den öffentlichen und den privaten Verkehr mit dem Ziel, die Mobilitätsnachfrage zu beeinflussen.

3.3. ENTWICKLUNG VON INFRASTRUKTUR UND VERKEHRSANGEBOT

Der vorgängig beschriebene Überblick zeigt, dass die verkehrspolitische Weiterentwicklung namentlich der Verkehrsinfrastruktur bzw. des Verkehrsangebots und damit auch einer wichtigen Bestimmungsgrösse für die Verkehrsnachfrage eine eigene Dynamik besitzt. Daraus geht auch hervor, dass die finanziellen Rahmenbedingungen für die Weiterentwicklung der Infrastruktur schon zu einem guten Teil festgelegt und die Spielräume somit nicht beliebig gross sind. Ausgehend von aktuellsten Planungen wird im Folgenden skizziert, wie sich die Verkehrsinfrastruktur in den nächsten 20-25 Jahren entwickeln dürfte.

3.3.1. BAHNINFRASTRUKTUR

Die Weiterentwicklung der Bahninfrastruktur wird gegenwärtig im Rahmen der Vorlage ZEB (Zukünftigen Entwicklung der Bahninfrastruktur) vorbereitet²⁶ – ergänzend zu den bereits beschlossenen Projekten NEAT und HGV-Anschlüsse. Unter der Führung des BAV und in enger Zusammenarbeit mit den SBB wird gegenwärtig ein Verkehrsangebot für den Planungshorizont 2030 erarbeitet, um daraus den künftigen Infrastrukturbedarf abzuleiten. Mit einer Netzlösung für die gesamte Schweiz sollen die Reisezeiten flächendeckend weiter verkürzt werden. Das „Knotenprinzip“ soll auf weitere Bahnhöfe ausgedehnt werden, um die Anschlüsse in den grösseren Bahnhöfen und damit die Voraussetzungen für die Integration des Regionalverkehrs zu verbessern. Wo eine Ausweitung aus Marktsicht gerechtfertigt ist, soll überdies das Angebot verdichtet werden. Des Weiteren soll die notwendige Kapazität für die Verlagerung des Alpen querenden Schwerverkehrs auf die Schiene geschaffen und auch der Binnengüterverkehr beschleunigt werden.

Für die Planung ist ein Finanzrahmen vorgegeben, der sich aus der übergeordneten Betrachtung zum FinöV-Fonds ableitet. In der Folge muss sich die ZEB-Planung (gemäss gegenwärtigem Planungsstand) an einem Finanzrahmen von rund 5 Mrd. CHF orientieren. Das bedeutet zum vorneherein Verzicht auf verschiedene Grossprojekte, die bisher in Diskussion waren (wie z.B. Neuer Juradurchstich, neuer Tunnel Zürich-Winterthur, neuer Heitersberg-tunnel u.a.), da diese zu viele Finanzmittel binden und keine schweizweite Angebotsverbesserung mehr zulassen. Neben den allgemeinen Prinzipien der weiteren Festigung des Knotenprinzips orientiert sich das Angebotskonzept am Marktpotenzial, um zu einem ausgewogenen Verhältnis von „schneller“ und „häufiger“ zu gelangen. Aufgrund des so bestimmten

²⁶ www.bav.admin.ch/zeb/

Angebots wurden Kapazitätsengpässe bei der Infrastruktur identifiziert, um entsprechende Massnahmen, namentlich Infrastrukturinvestitionen, abzuleiten.

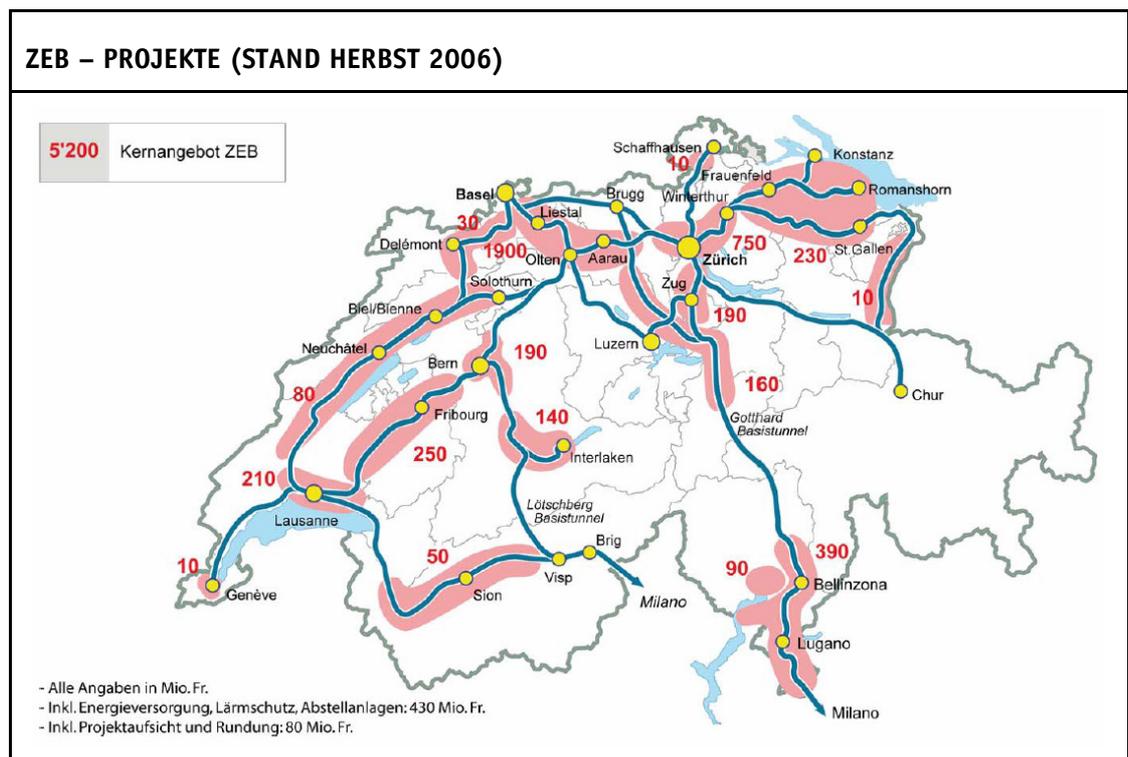
Mit ZEB sind allerdings einige Dilemmata oder offene Fragen verknüpft: ZEB fokussiert auf den Personenfern- und Güterverkehr; Mittel für die Weiterentwicklung des Regionalverkehrs sind derzeit nicht vorgesehen. Zudem werden die Mittel erst Mitte des nächsten Jahrzehnts verfügbar sein, weil die Mittel des FinöV-Fonds derzeit prioritär für die Realisierung der NEAT-Bauwerke eingesetzt werden, dabei gleichzeitig eine „Bevorschussungslimite“ besteht. Schliesslich ist derzeit unklar, wie umfangreich die verfügbaren Mittel letztlich sein werden, da sie vom Fortgang der NEAT-Arbeiten abhängen. Im bessern Fall sollen damit weitere sog. Erweiterungsoptionen realisiert werden.

Die wichtigsten Stossrichtungen von ZEB

- › Vernetzen und Vervollständigen der Angebote von Bahn 2000, Hochgeschwindigkeitsanschlüsse HGV und NEAT.
- › Schrittweise, kontinuierliche Umsetzung im Lauf der nächsten 20-25 Jahre mit Verbesserungen im Personenfern- und Güterverkehr - wo Marktpotenzial am grössten.
- › Landesweit ausgewogene Verbesserungen.
- › Anwendung des Grundsatzes „Technik vor Beton“: Fahrzeitgewinne durch Nutzen der Möglichkeiten des Rollmaterials; d.h. Einsatz von Neigezügen und neuem Rollmaterial mit hohem Beschleunigungsvermögen und schnellem Fahrgastwechsel.
- › Stossrichtung Reisezeiten verkürzen, vor allem auf der Ost-West-Achse, aber auch Nord-Süd (z.B. um die Vorteile des Lötschberg-Basistunnels optimal zu integrieren) sowie Verdichtung und Systematisierung des Zugsangebots.
- › Ausbau Knotensystem mit guten Anschlüssen (mit neuen Vollknoten in Lausanne, Biel, St. Gallen und Interlaken sowie Verbesserungen in Luzern, Olten und Genf); Kürzere Umsteige- und Wartezeiten in Zürich mit der neuen Durchmesserlinie (Bahnhof Löwenstrasse – Oerlikon).
- › Neues Konzept am Gotthard, das sich an den Nachfragespitzen der verschiedenen Verkehrsarten orientiert: Halbstundentakt Zürich – Lugano an Wochenenden, während werktags dem Güterverkehr mehr Kapazität zur Verfügung steht.
- › Vorteile auch für den Güterverkehr durch erhöhte Kapazitäten auf der Gotthardachse, systematische Trassen, kürzere Fahrzeiten und zusätzliche Kapazitäten im Ost-West-Verkehr, Wachstumsmöglichkeiten für den Import/Export-Verkehr.

Die wichtigsten vorgeschlagenen Infrastruktur-Ausbauten

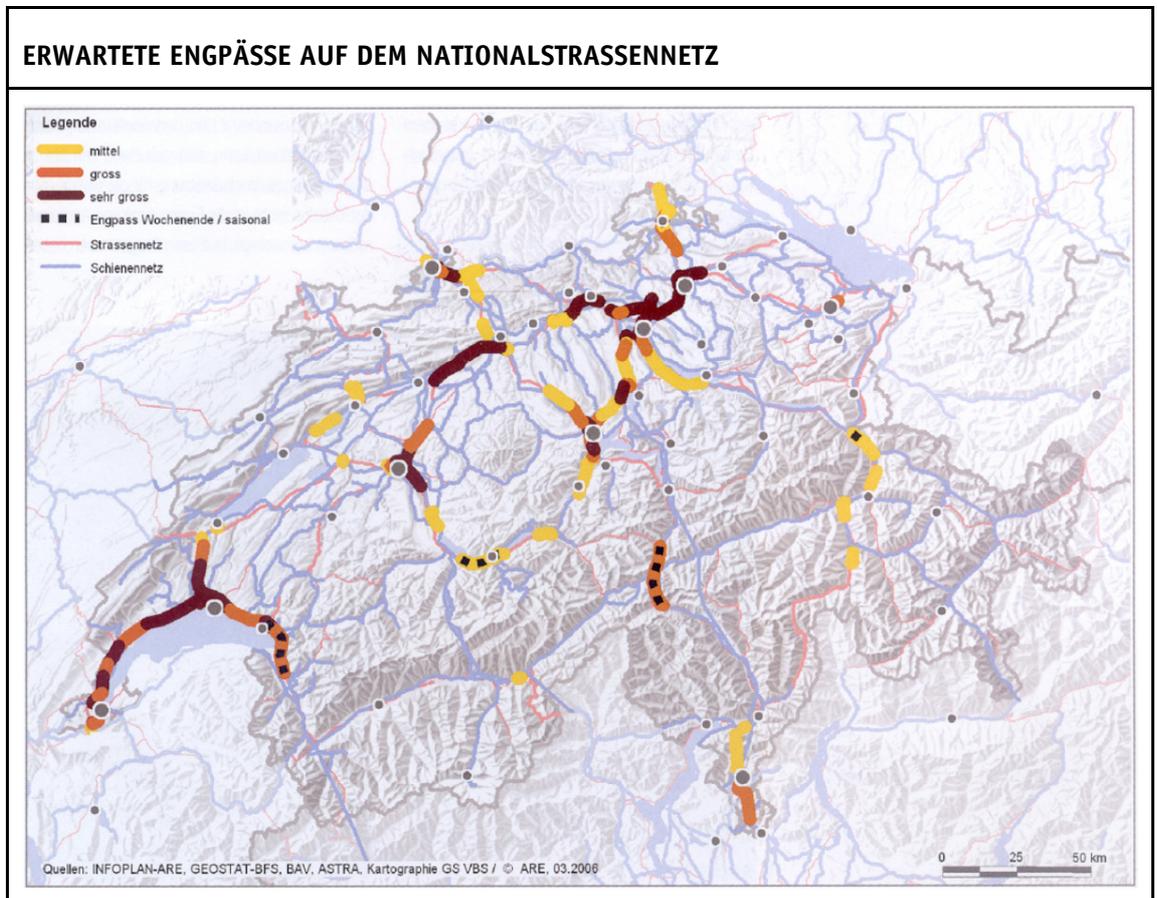
Die nachstehende Figur zeigt, dass mit ZEB eine schweizweit flächendeckende Modernisierung und Attraktivitätssteigerung angestrebt wird, welche auf dem Konzept Bahn 2000 (1. Etappe) aufsetzt und auch die neuen Investitionen (v.a. NEAT, HGV-Anschlüsse) integrieren will.



Figur 16 Quelle: BAV (<http://www.bav.admin.ch/zeb/01342/index.html>)

3.3.2. STRASSENINFRASTRUKTUR

Der Beschluss zum Bau des Nationalstrassennetzes datiert aus dem Jahr 1960. Er wurde bisher in vergleichsweise geringem Umfang angepasst (1984: Verzicht auf Rawyl-Verbindung und Neuaufnahme der Transjurane, im Jahr 2000 die Aufnahme der Prättigauerstrasse ins Nationalstrassennetz). Rund 150 km (von ca. 2000 km) müssen noch gebaut werden, was noch weitere 15 Jahre dauern dürfte. Allerdings hat der Verkehr bekanntlich markant zugenommen – seit 1960 etwa eine Vervierrneinhalbfachung. Die Zahl der Engpässe ist vor allem in den letzten 10 Jahren gestiegen, gemäss ASTRA (2006) haben sich die Staustunden vervielfacht, von 3000 Stunden im 1995 auf 11'000 Stunden im 2005, zum grössern Teil aufgrund von Verkehrsüberlastungen, aber auch infolge von Baustellen.



Figur 17 Quelle: ARE 2006a

In der Erwartung weiteren Verkehrswachstums (vgl. 3.4) – und damit zunehmender Engpässe (vgl. Figur 17) – wurde in den letzten Jahren die oben bereits erwähnte Vorlage zur Finanzierung der Verkehrsinfrastruktur vorbereitet (Infrastrukturfonds). Handlungsbedarf wurde vor allem in den Städten und Agglomerationen geortet, wo das grösste Verkehrswachstum erwartet wird und sich lokale, regionale und nationale Verkehrsnetze auf engstem Raum überlagern. Probleme beim Agglomerationsverkehr haben deshalb unmittelbar auch Auswirkungen auf die übergeordneten Netze und somit auf das Verkehrssystem des ganzen Landes, mit bekannten Folgen wie Staus, Zeitverluste, Mehrkosten für die Wirtschaft, Umweltprobleme und eine Beeinträchtigung der Lebensqualität. Beantragt – und im Oktober 2006 vom Parlament beschlossen – wurde in der Folge die Schaffung eines Infrastrukturfonds. Dieser sichert die langfristige Verfügbarkeit der finanziellen Mittel für die Fertigstellung und den Ausbau der Nationalstrassen. Er schafft damit die Voraussetzungen für eine Verstetigung der Planung und Realisierung der Strasseninfrastruktur. Gleichzeitig schafft er neue Finanzierungsmöglichkeiten für Ausbauten in den Agglomerationen.

Inzwischen bestehen bereits eine ganze Reihe konkreter Projektvorschläge oder – begehren bzw. es laufen in mehreren Regionen und vor allem Agglomerationen Planungsstudien, wie dieser Ausbau stattfinden soll (z.B. neuer Bypass in Luzern, kantonales Gesamtverkehrskonzept in Zürich, Vorstellungen zu neuen Infrastrukturerweiterungen auch in den Räumen Basel, Bern, Schaffhausen, St. Gallen, Chur, Lausanne, Genf, Lugano etc.).

Ein grösserer Teil dieser Mittel des Infrastrukturfonds von rund 20.8 Mrd. CHF ist bereits fix zugeteilt, so 8,5 Mrd. CHF für die Fertigstellung des Nationalstrassennetzes, 2.5 Mrd. CHF für die dringlichsten Projekte des Agglomerationsverkehrs und 0.8 Mrd. CHF für die Substanzerhaltung der Hauptstrassen in Berggebieten und Randregionen. In den nächsten Jahren wird konkret zu bestimmen sein²⁷, welche Projekte mit den übrigen rund 9 Mrd. CHF zu finanzieren sein werden. Das erfolgt einerseits über die Konkretisierung der Agglomerationsprogramme, andererseits über die Weiterentwicklung des Nationalstrassennetzes.

3.4. VERKEHRSPERSPEKTIVEN DES ARE

Verkehrsperspektiven sind für das ARE eine wichtige Grundlage für die Verkehrs-, Raumordnungs-, Energie- und Umweltpolitik. Auch für die Verkehrsplanung auf nationaler und regionaler Ebene – etwa zur Beurteilung der oben erwähnten Projektvorschläge – sind quantitative Vorstellungen über die zukünftige Entwicklung des Verkehrs eine wichtige Voraussetzung. Aus diesen Gründen publiziert das ARE regelmässig Perspektivarbeiten, so im Jahr 2004 die „Perspektiven des schweizerischen Güterverkehrs bis 2030“ (ARE 2004a) und im Jahr 2006 die „Perspektiven des schweizerischen Personenverkehrs bis 2030“ (ARE 2006). Die beiden Berichte lösten die entsprechenden Perspektiven aus dem Jahr 1995 ab. Diese Grundlagen bilden die Basis für die im Rahmen der Energieperspektiven verwendeten Verkehrsmengengerüste. Der Fokus der Verkehrsperspektiven lag allerdings auf den Verkehrsleistungen (d.h. Nachfragekennziffern in Form von Personen- oder Tonnen-km), für die Verwendung bei den Energieperspektiven mussten zum Teil ergänzende Annahmen getroffen werden, um auf entsprechende Fahr- oder Betriebsleistungen (in Fahrzeug- oder Zugskm) zu schliessen, weil diese letztlich den Energiebedarf zu einem wesentlichen Teil mit bestimmen.

²⁷ Formal muss der Bundesrat spätestens zwei Jahre nach In-Kraft-Treten des Infrastrukturfonds dem Parlament seine Vorschläge für die Verwendung der Mittel betreffend Engpassbeseitigung wie auch Agglo-Programme in einer Programmbotschaft darlegen. Allenfalls resultiert daraus dann eine Programmfinanzierung, indem das Parlament stufenweise (z.B. alle vier Jahre) über die Fortführung des Programms befindet.

3.4.1. PERSPEKTIVEN DES GÜTERVERKEHRS

Die Szenarien

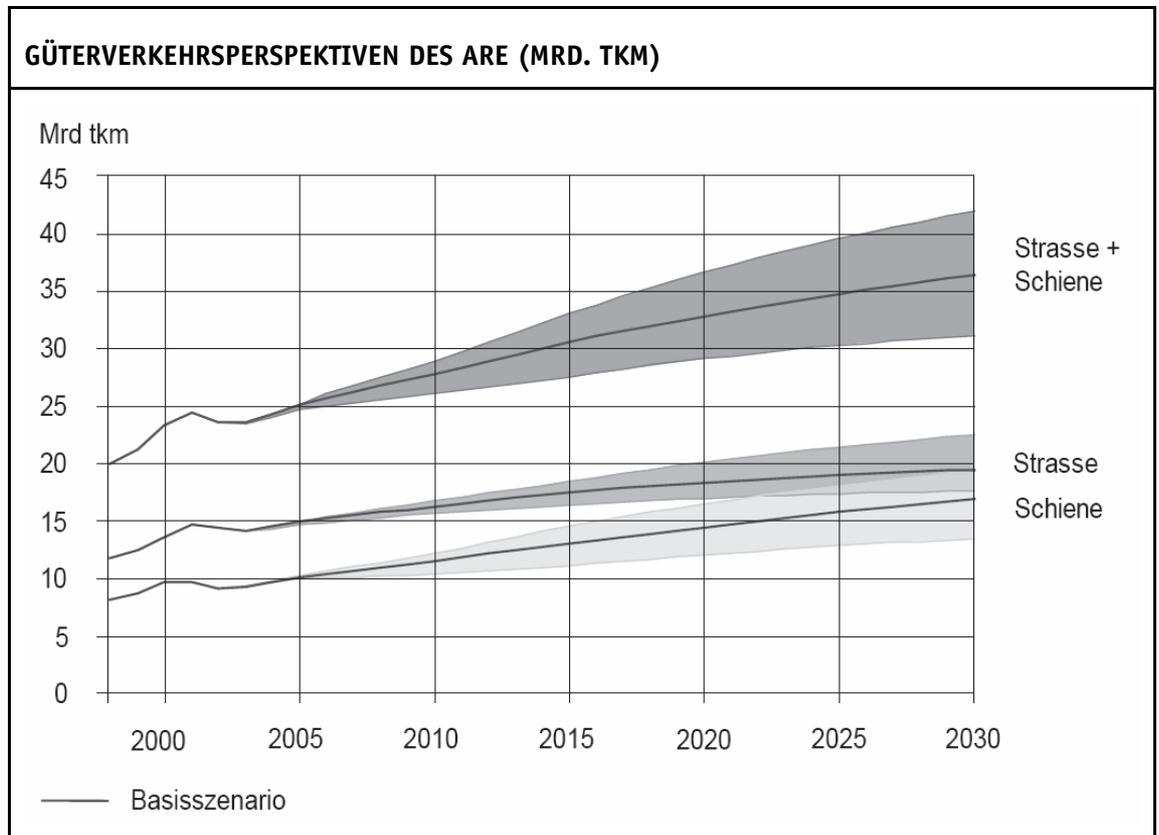
Über Annahmen zu den wesentlichen sozioökonomischen und verkehrspolitischen Einflussfaktoren wurden drei mögliche Entwicklungsszenarien erarbeitet:

- › Im **Basisszenario** wird von einer trendmässigen Entwicklung der Wirtschaft und der schweizerischen und europäischen Güterverkehrspolitik ausgegangen. Entsprechend unterscheiden sich die Alternativszenarien hauptsächlich durch die Veränderung des Wirtschaftswachstums und der Intensität der Verlagerungspolitik in der Schweiz und in Europa.
- › Das **Alternativszenario 1 – „Bahndynamik und Alpenschutz in Europa“** – geht gegenüber dem Basisszenario von einer stärkeren Wirtschaftsentwicklung mit entsprechend grösserem Güterverkehrswachstum aus. Dies erhöht den Druck auf eine starke Bahn, so dass auch in Europa die Verlagerungspolitik deutlich intensiviert wird.
- › Im **Alternativszenario 2 – „Stagnation und schwache Bahn“** – dümpelt die Wirtschaft. Vor allem in Europa bremst dies die Bereitschaft zu einer forcierten Liberalisierung und Verbesserung der Bahn. Knapper werdende öffentliche Finanzmittel werden eher in punktuelle Kapazitätserweiterungen bei der Strasse eingesetzt.

Die Ergebnisse nach Verkehrsträgern (Strasse und Schiene)

Die gesamten Güterverkehrsleistungen nehmen bis 2030 je nach Szenario zwischen 32% und 78% weiter zu; im Basisszenario um 54%. Diese Zunahme wird zu einem grossen Teil von der Schiene getragen. Sie legt im Basisszenario um 85% zu, während auf der Strasse von einer Zunahme um 35% ausgegangen wird. Dementsprechend steigt der Marktanteil der Schiene um fast 8 Prozentpunkte von zirka 39% auf 47%, was gegenüber der Vergangenheitsentwicklung eine Trendwende bedeutet. Die Strasse wird das Güterverkehrsgeschehen in Zukunft also nicht mehr so deutlich dominieren. Im Transitverkehr wird eine Steigerung des Bahnanteils von heute 66% auf gut 71% im Jahr 2030 erwartet. Im „Bahndynamik“-Szenario gar bis auf 77%.

Den Energie-Szenarien I bis III wurde das Basisszenario zu Grunde gelegt, dem Szenario Energie-Szenario IV das Alternativ-Szenario I.



Figur 18 Quelle: ARE Faktenblatt Güterverkehrsperspektiven (2004)

Die Ergebnisse nach Verkehrsarten (Binnen-, Import-, Export- und Transitverkehr)

Die grenzüberschreitenden Verkehrsarten, das heisst die Transit-, Import- und Exportverkehre, werden sich nach wie vor am dynamischsten entwickeln. Der Transitverkehr wird zwischen 46% und 104% wachsen. Der Binnengüterverkehr verliert mit nur 13% bis 49% Wachstum daher weiter an Bedeutung. Sein Anteil verringert sich von 50% auf 42% bis 2030. Umgekehrt wird sich der Anteil des Transitverkehrs von heute 30% auf 35% erhöhen. Dies liegt einerseits am fortschreitenden europäischen Integrationsprozess und andererseits daran, dass im Inland in Bezug auf die Transportintensität (Verhältnis zwischen Verkehrsleistung und wirtschaftlicher Produktion) allmählich ein Plafond erreicht wird.

Einfluss LSVA und 40t-Limite

In einer speziellen Arbeit (ARE 2004b) wurde die Zahl der vom Schwerverkehr gefahrenen Kilometer (Fahrleistung) ermittelt. Da die stufenweise Anhebung der Gewichtslimite und die Erhöhung der LSVA zu einer besseren Auslastung der einzelnen Fahrzeuge führen, fällt die Zunahme der Fahrleistung geringer aus als diejenige der Verkehrsleistung. Sie beträgt „le-

diglich“ 23% gegenüber 35% bei der Verkehrsleistung (im Basisszenario). Besonders deutliche Spuren hinterlässt das neue Verkehrsregime beim Transitverkehr. Höhere LSVA und 40t-Limite führen in diesem Bereich ab 2005 vorerst sogar zu einem Rückgang der Fahrleistung. Ohne international abgestimmte Massnahmen wird die Fahrleistung ab 2010 allerdings auch in diesem Bereich wieder zunehmen und bis 2030 rund 30% über dem heutigen Wert liegen. Trotz immer mehr und immer leichteren voluminösen Gütern wird also von der Steigerung der Auslastung aufgrund der Erhöhung der LSVA und der Gewichtslimite erwartet, dass in absehbarer Zeit keine zusätzliche Lastwagenflut auf die Schweiz zurollen wird.

3.4.2. PERSPEKTIVEN DES PERSONENVERKEHRS

Die Szenarien

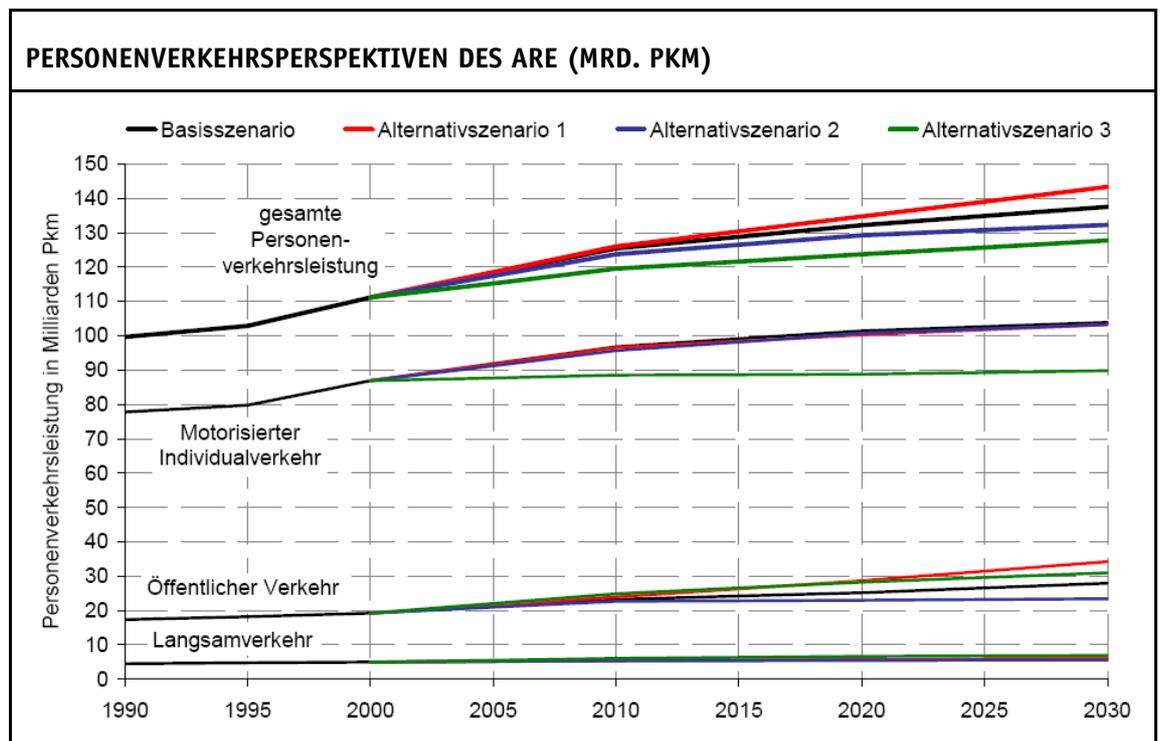
Für die Perspektiven des Personenverkehrs wurden ein Basis- und drei Alternativszenarien erarbeitet, in denen die sozioökonomischen und verkehrspolitischen Einflussgrössen variiert wurden:

- › Im **Basisszenario** werden die wichtigsten Entwicklungen der letzten Dekade fortgeschrieben.
- › **Alternativszenario 1 „Städtenetz und Wachstum“**: Es basiert auf einem deutlich über dem Trend liegenden Wirtschaftswachstum mit einer stark lenkenden Verkehrs- und Raumordnungspolitik im Sinn einer Vernetzung der städtischen Agglomerationen.
- › Konträr dazu wird im **Alternativszenario 2 „Dispersion und Stagnation“** von einer unterdurchschnittlichen wirtschaftlichen Entwicklung ausgegangen. Gleichzeitig wird ein fehlender Gestaltungsspielraum für die Verkehrs- und Raumordnungspolitik angenommen.
- › Das **Alternativszenario 3 „Regionaler Ausgleich und Ressourcenknappheit“** ist geprägt von längerfristig deutlich steigenden Energiepreisen und einer Verkehrspolitik, die dies mit Einführung neuer Lenkungsabgaben im Strassenverkehr vorwegnimmt. Die Entwicklung der Mobilität wird gemildert – es findet eine Rückbesinnung auf lokale und regionale Aktionsradien statt.

Die Ergebnisse nach Verkehrsmitteln

Die gesamten Personenverkehrsleistungen auf Strasse und Schiene werden je nach Szenario bis 2030 von heute 111 Mrd. auf 128 bis 143 Mrd. Personenkilometer zunehmen (+15% bis 29%). Dabei wird vor allem der öffentliche Verkehr (ÖV) um 22% bis 78% überdurchschnittlich ansteigen. Der motorisierte Individualverkehr (MIV) hingegen wird in der gleichen

Zeitperiode sanfter wachsen, aber auf einem rund viermal höheren Niveau der erbrachten Verkehrsleistungen.



Figur 19 Quelle: ARE Faktenblatt Personenverkehrsperspektiven (2006)

Ergebnisse nach Verkehrsarten

Bei den Verkehrsarten ändert sich an der hohen Bedeutung des Binnenverkehrs – mit einem Anteil von heute 78% am gesamten Personenverkehr – praktisch nichts. Dementsprechend liegt sein Zuwachs je nach Szenario mit 19% bis 29% etwa im Durchschnitt aller Verkehrsarten. Der grenzübergreifende Personenverkehr mit Startort oder Zielort im Ausland – der so genannte Quell-Ziel-Verkehr – wird leicht unterdurchschnittlich wachsen und seinen Verkehrsanteil von heute 15% kaum verändern. Hingegen wird der Transitverkehr durch die Schweiz – mit Startort und Zielort im Ausland – an Bedeutung gewinnen. Er könnte zwischen 2000 und 2030 bis gegen 45% zulegen und damit seinen Anteil an allen Verkehrsarten von 6,5% auf 7,3% leicht erhöhen. Ursache ist in erster Linie die Bedeutungszunahme des die Schweiz querenden Tourismusverkehrs.

Ergebnisse nach dem Zweck der Fahrten

Der **Freizeitverkehr** macht heute fast die Hälfte des Personenverkehrsgeschehens aus. Seine Bedeutung wird sich bis 2030 noch verstärken. Je nach Szenario wird der Freizeitverkehr um 26% bis 31% zunehmen. Der internationale **Tourismusverkehr** dürfte überdurchschnittlich wachsen. Im Falle eines hohen Wirtschaftswachstums könnte er sogar bis gegen 46% zulegen. Wichtigste Ursache dieser Entwicklung wird, wie bereits in den Neunzigerjahren, der Transitverkehr sein. Im **Pendlerverkehr** wird – nicht zuletzt aufgrund der sich abschwächenden Zahlen von Erwerbstätigen und Auszubildenden – ein nur noch unterdurchschnittliches Wachstum erwartet. Insgesamt dürfte er an Bedeutung verlieren und sein Verkehrsanteil von heute 24% um 2 bis 3 Prozentpunkte zurückgehen. Die Verkehrsanteile des **Einkaufs- und Nutzverkehrs** (Geschäftsverkehr) von heute 11% respektive 7% werden sich bis 2030 kaum wesentlich verändern. Und dies trotz einer überdurchschnittlich hohen Wachstumsdynamik beim Nutzverkehr.

Die Fahrleistungen, d.h. die mit Fahrzeugen gefahrenen Kilometer im motorisierten Individualverkehr (MIV), wachsen bis 2030 geringfügig stärker als die Personenverkehrsleistungen (Personenkilometer). Dies als Folge einer weiter zu erwartenden Abnahme der Anzahl Personen pro Fahrzeug. Die Fahrleistungen des motorisierten Individualverkehrs dürften zwischen 2000 und 2030 bis gegen 26% zunehmen. Selbst bei einer starken Verknappung des Erdöls und einer entsprechenden Erhöhung der Treibstoffpreise wächst der Verkehr leicht weiter an.

Modifikationen des Mengengerüsts mit Blick auf die Energieperspektiven

Die Grundlagen der ARE-Personenperspektiven basierten auf Angaben der ÖV-Statistik, die nachgängig rückwärts modifiziert, andererseits aber auch aktualisiert wurden. Insbesondere hat sich der Schienenverkehr relativ dynamisch entwickelt, im Zeitraum 1996-2005 hat gemäss diesen Grundlagen die Verkehrsleistung (Pkm) um rund 25% zugenommen. Das heisst, ein Teil des erwarteten überproportionalen Wachstums ist bereits Realität. In der Folge resultiert für den Schienenverkehr im Basis-Szenario für den Zeitraum 2005/2030 ein Wachstum von 33%.

4. MASSNAHMEN UND INSTRUMENTE

4.1. STRATEGIEN ZUR REDUKTION DES ENERGIEVERBRAUCHS IM VERKEHR

4.1.1. GRUNDSÄTZLICHE ANSATZPUNKTE IM VERKEHR

Der Energieverbrauch im Verkehr kann über verschiedene Ansatzpunkte verändert bzw. beeinflusst werden:

Transport-Aktivitäten

Veränderung der Nachfrage (ausgedrückt in Form von Verkehrsleistungen, d.h. Pkm oder Tkm), die ihrerseits ein kombiniertes Produkt sind aus Anzahl Fahrt- oder Transportwünschen (Pers-Fahrten, Tonnen) über eine bestimmte Distanz. Dadurch ergeben sich Ansatzpunkte zur Beeinflussung sowohl bei der Menge als auch bei der mittleren Transportdistanz.

Auslastung

Die letztlich relevante Fahrleistung (in PWkm oder LWkm) hängt von der Auslastung ab und kann über entsprechende Konzepte (z.B. Logistik, CarSharing) beeinflusst werden.

Modal Split

Der Energieverbrauch im Verkehr hängt stark von der Aufteilung der Gesamtverkehrsleistung auf verschiedene Verkehrsträger ab, welche ihrerseits im Energiebedarf stark variieren (z.B. zwischen dem sog. Langsamverkehr [Fussgänger, Fahrrad], dem motorisierten Individualverkehr, und dem öffentlichen Verkehr).

Spezifischer Verbrauch

Wir unterscheiden hier drei Aspekte:

- › *Fahrverhalten*: Dass über das Fahrverhalten der Treibstoffverbrauch beeinflusst werden kann, ist ein bekanntes Faktum. Entsprechende Anstrengungen werden heute unter dem Titel Eco-Drive subsumiert.
- › *Fahrzeug-Technologie*: Diese spielt eine wesentliche Rolle bzgl. Effizienz, wie eine Transportleistung realisiert werden kann (z.B. in MJ/km), welche wiederum stark zwischen Verkehrsträger (Schiene, Strasse), aber auch zwischen Verkehrsarten (Personen-/ Güterverkehr) variiert. Weil der Strassenverkehr den Hauptteil des Energieverbrauchs ausmacht, wird der Fokus vor allem darauf gerichtet.
- › *Energieträger-Mix*: Mittlerweile sind neben Verbrauchszielen auch spezifische CO₂-Ziele formuliert. Der Strassenverkehr (MIV) ist bisher fast ausschliesslich auf fossile Energieträger ausgerichtet. In jüngster Zeit sind biogene Energieträger (wie Ethanol, Biogas) in Diskussion gekommen, die sich auf die CO₂-Bilanz günstig auswirken, da das bei der Verbren-

nung freigesetzte CO₂ zuvor durch das Pflanzenwachstum aus der Atmosphäre gebunden wurde. Damit gibt sich im Prinzip die Möglichkeit, durch Veränderung des Energieträger-Mixes auch im Verkehr einen Beitrag zur CO₂-Reduktion zu leisten.

4.1.2. KONNEX ENERGIE-/VERKEHRSPOLITIK

Wie die bisherigen Ausführungen (namentlich in Kap. 3) zeigen, ist die Verkehrspolitik primär auf Bau, Betrieb und Finanzierung von Verkehrsinfrastrukturen und -betrieb ausgerichtet. Dabei spielen die Erwartungen zur Nachfrage-Entwicklung sowie die Möglichkeiten der Beeinflussung der Nachfrage insgesamt und namentlich auch der Aufteilung auf die Verkehrsträger (d.h. des Modal Splits) eine wichtige Rolle. Die Aspekte *Transport-Aktivitäten, Auslastung* und *Modal Split* sind deshalb eng an die verkehrlichen Rahmenbedingungen gekoppelt und fallen darum weitgehend in den Bereich der Aktivitäten der „Verkehrsämtler“ (BAV, ASTRA, ARE). Der Aspekt „Verkehr und Energie“ (oder genereller „Verkehr und Umwelt“) spielt auch bei deren Aktivitäten durchaus eine gewisse Rolle, diese Ziele treten allerdings oft nur in abstrakter Form in Erscheinung. Die wohl konkreteste Formulierung findet sich im CO₂-Gesetz, wonach auch der Verkehr ein sektorspezifisches Ziel zu erreichen hat – nämlich eine Reduktion um 8% per 2008 bis 2012 gegenüber 1990. Allerdings bleibt dies ein Summenziel – und bei der Konkretisierung von Infrastrukturen und Einzelprojekten ist es oft schwierig, einen direkten Link zu konstruieren. Deshalb bleiben solche Ziele letztlich doch oft im Hintergrund.

Besondere energiepolitische Massnahmen konzentrieren sich deshalb am offensichtlichsten auf den Aspekt des *spezifischen Verbrauchs*. Wie oben skizziert gibt es dazu mehrere Pfade, um hier anzusetzen (Technologie, Fahrverhalten, Energieträgermix). Zu diesen Stossrichtungen folgen nachstehend einige Ausführungen, die den Hintergrund abgeben für die bei den Szenario-Definitionen zu treffenden Annahmen. Anschliessend geht Abschnitt 4.6 auf verschiedene Instrumente ein. Einige der Instrumente, welche diesen Ansätzen zur Umsetzung verhelfen sollen – namentlich preisliche Instrumente – beeinflussen allerdings auch die Mengenkomponten, so dass sich bei der Umsetzung in den Szenarien Auswirkungen auf alle Komponenten (Mengen und spezifische Verbräuche) ergeben.

4.2. ZUR EFFIZIENZ-STRATEGIE

4.2.1. EFFIZIENZSTRATEGIE IN DER SCHWEIZ

Die „Effizienzstrategie“ war schon bisher ein wichtiger Pfeiler der Energiepolitik betreffend Verkehr. Das im CO₂-Gesetz vorgesehene Ziel war letztlich auch die Triebkraft, die zur Ver-

einbarung zwischen dem UVEK und auto-schweiz vom 19.2.2002 über die **Reduktion des spezifischen Treibstoffverbrauchs neuer Personenwagen** führte. Die Vereinbarung²⁸ sah eine Absenkung des durchschnittlichen Treibstoffverbrauchs neuer Personenwagen um 3% pro Jahr auf einen Wert von 6,4 Litern auf 100 Kilometer bis ins Jahr 2008 vor. Wie in Kap. 2.4.2 aufgezeigt, liegt die durchschnittliche Reduktion seit 1996 bei etwa 1.5% / a. Zwar hat der Durchschnittsverbrauch gegenüber dem Vorjahr jeweils abgenommen, doch wurde das für 2005 definierte Zwischenziel (von 7.15 l/100 km) deutlich verfehlt. Hauptgrund dafür ist der anhaltende Trend zu schweren Fahrzeugen: er macht die durch technische Verbesserungen erzielten Effizienzgewinne zunichte. Das vereinbarte Reduktionsziel dürfte denn auch bis 2008 kaum mehr erreicht werden. Das umso mehr, als ein namhafter Teil der bisherigen Reduktion durch zunehmende Anteile von Dieselfahrzeugen realisiert wurde, ein Potenzial, das künftig nicht mehr so einfach zur Verfügung steht. Von nun an müsste noch mehr über technologische Effizienzgewinne umgesetzt werden. Eine Trendwende ist derzeit kaum in Sicht, vielmehr scheint die gegenwärtig neu angepriesene Modellpalette nach wie vor auf noch mehr Leistung, noch höhere Geschwindigkeit, noch mehr Komfort und Gadgets gegenüber den jeweiligen Vorgängern ausgerichtet. Die Schweiz ist diesbezüglich kein Einzelfall, sie ist zudem – mangels eigener Autoproduktion – von der internationalen Entwicklung abhängig. Auffallend ist, dass die Schweiz eine wohl einkommensniveaubedingt speziell leistungsstarke Flotte besitzt, weshalb der mittlere Verbrauch in der Schweiz rund 15% höher liegt als in der EU (CO₂-Emission 2004: EU-15 163 g/km, CH 187 g/km).

Als eine der flankierenden Massnahmen wurde im März 2003 die **energieEtikette** eingeführt. Sie informiert über die Energieeffizienz von neuen Fahrzeugmodellen. Bei der Einführung der Energieetikette hat sich das BFE für ein relatives Berechnungssystem entschieden, das auch den „Gebrauchsnutzen“ – dafür steht stellvertretend das Gewicht – berücksichtigt. Dadurch kommen nicht nur Kleinwagen in die A- oder B-Klasse, wie das bei einem absoluten Bemessungssystem der Fall wäre. Mitte 2006 wurde das Bemessungssystem aber modifiziert, indem bei der Bestimmung der Effizienzkatoren das Fahrzeuggewicht weniger, der Treibstoffverbrauch hingegen stärker in die Berechnungsformel einfliesst. Dadurch werden Geländewagen und andere schwere Fahrzeuge um mindestens eine Effizienzkatoren zurückgestuft. Eine Evaluationsstudie (BFE 2005) hat ergeben, dass die energieEtikette zu einer Zunahme des Marktanteils der A- und B-klassierten Neuwagen in der Grössenordnung von 1.5% (entspricht rund 4'000 Neuwagen pro Jahr) aller verkauften Neuwagen führt. Dadurch

²⁸ gemäss Art. 8 Abs. 2 und 18 Energiegesetz sowie gemäss Anhang 3.6 der Energieverordnung (EnV)

wird eine kurzfristige energetische Wirkung von insgesamt 40 Terajoule pro Jahr erreicht, was einer jährlichen Einsparung von 3'050 Tonnen CO₂ pro Jahr entspricht. Wesentlich ist dabei, dass diese Wirkung über die gesamte Lebensdauer der Fahrzeuge kumulativ zunimmt.

Als weitere mögliche flankierende Massnahme zur Erreichung des oben erwähnten Verbrauchsziels bzw. zur Erreichung der im CO₂-Gesetz vorgesehenen Ziele ist die Einführung eines **Bonus/Malus Modells** bei der Besteuerung neu in Verkehr gesetzter Personenwagen. Dabei sollen allgemein Fahrzeuge zusätzlich (z.B. mit einer erhöhten Automobilsteuer) besteuert werden. Der zusätzliche Steuerertrag soll aber ertragsneutral zur Verbilligung energieeffizienter Fahrzeuge verwendet werden. Die Bemessungsgrundlage für einen allfälligen Bonus soll dabei an die Kriterien der energieEtikette geknüpft sein. Die Idee könnte wie folgt umgesetzt werden: Die Automobilsteuer wird beispielsweise um 2 bis 4% auf 6 bis 8% angehoben. Mit den zusätzlichen Einnahmen aus der Steuererhöhung von den 2 bis 4% wird ein Fonds gespiesen. Aus diesem Fonds erhalten förderungswürdige Fahrzeuge eine Gutschrift, der Malus manifestiert sich darin, dass kein Anrecht auf eine Gutschrift besteht. Gefördert werden nur neu in Verkehr gesetzte Personenwagen. Der Bonus wird einmalig, bei Erstimmatrikulation des Personenwagens, fällig.

Weitere mögliche Massnahmen liegen bei der **(kantonalen) Besteuerung** von Motorfahrzeugen vor, die sich noch unmittelbarer am Energieverbrauch bzw. der CO₂-Emission orientieren könnte. Allerdings basiert diese Besteuerung schon in einer Vielzahl von Kantonen auf dem Fahrzeuggewicht, was den Gedanken der Förderung effizienter Fahrzeuge wenigstens einen Schritt weit schon berücksichtigt. Zudem ist die Wirksamkeit im Vergleich zum Bonus-Malus-System, das beim Kaufentscheid ansetzt, wohl geringer einzustufen.

4.2.2. EFFIZIENZSTRATEGIE IN DER EU

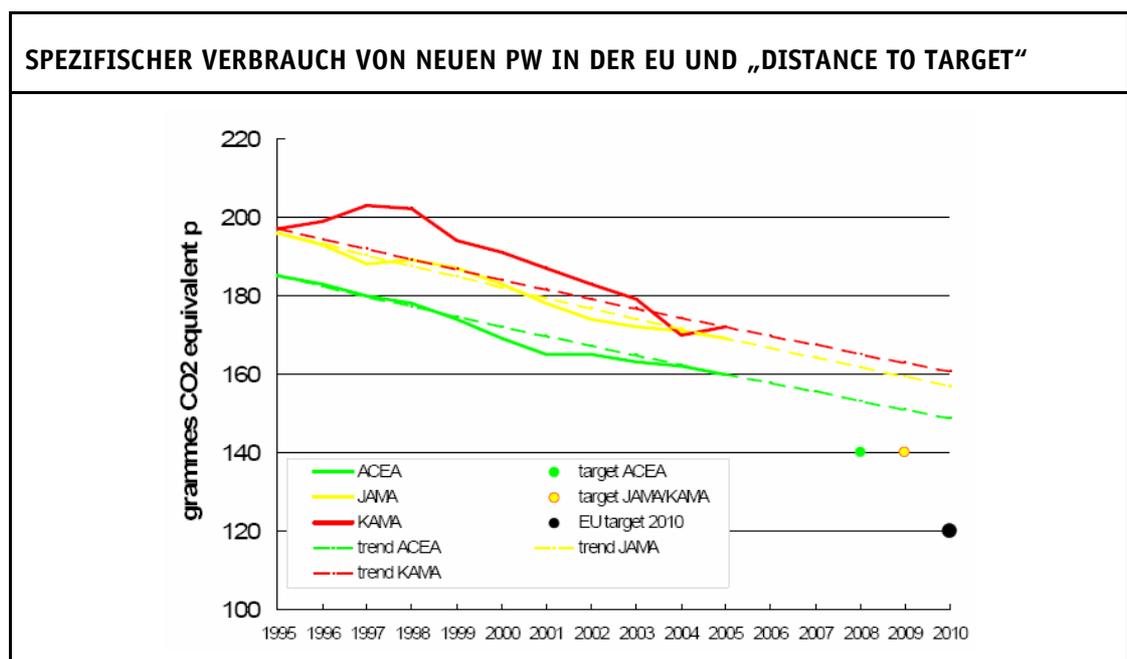
In der EU besteht eine sehr ähnlich gelagerte „Effizienzstrategie“. Diese basiert im wesentlichen auf drei Pfeilern.

- › Das wichtigste Element ist die freiwillige Vereinbarung zwischen Automobilproduzenten und der EU-Kommission, den mittleren Verbrauch per 2008 auf 140 g CO₂/km abzusenken. Die Kommission verfolgt zudem das allerdings einseitige Ziel, den Verbrauch per 2012 noch weiter auf 120 g/km abzusenken. Das 120 g/km-Ziel bedeutet 5 l/100 km für Benzin-PW und 4.5 l für Diesel-PW. Ursprünglich per 2010 vorgesehen ist es mittlerweile informell auf 2012 angesetzt.

- › Einführung einer besseren Konsumenteninformation (die sog. Labelling Directive 1999/94/EC14)²⁹
- › Im Weiteren hat die Kommission einen Vorschlag über die Besteuerung von Personenkraftwagen vorgelegt (KOM(2005) 261 final), der von den Mitgliedstaaten verlangt, ihre Fahrzeugsteuern so zu modifizieren, dass sie einen Anreiz für den Kauf effizienterer Wagen enthalten.

Weitere Massnahmen haben den Energieverbrauch von sog. N1-Fahrzeugen (Lieferwagen) im Visier. Zudem soll auch speziell auf die Emissionen infolge von Klimaanlage fokussiert werden.

Auch wenn der mittlere Verbrauch in der EU rund 15% tiefer liegt als jener der Schweiz, so zeichnet sich ab, dass das Ziel auch in der EU nur schwer erreicht werden dürfte (vgl. Figur 20).



Figur 20 Das Erreichen der vereinbarten Ziele zwischen der EU-Kommission und den Automobilproduzenten³⁰ setzte massive Reduktionen in der verbleibenden Zeitperiode voraus. Zit. nach T&E 2006.

Die vereinbarten Ziele gelten für die Branche insgesamt und nicht für einzelne Automobilunternehmen. Auch werden die Informationen in der Regel nicht unternehmensspezifisch

²⁹ Eine Evaluationsstudie stellte allerdings eine nur beschränkte Wirksamkeit fest (ADAC 2005)

³⁰ Die EU Kommission hat mit den drei Produzentengruppen ACEA, JAMA und KAMA (Europa, Japan, Korea) differenzierte Ziele vereinbart.

veröffentlicht. Eine Studie (T&E 2006) hat allerdings aufgezeigt, dass es zwischen den Herstellern durchaus nennenswerte Unterschiede gibt. Demnach haben es drei Viertel der 20 meistverkauften Automarken in Europa versäumt, die Verbrauchswerte so zu verbessern, dass die EU-Klimavorgabewerte erfüllt werden. Fiat schneidet in Europa am besten ab, gefolgt von Citroën, Renault, Ford und Peugeot. Diese fünf Hersteller erfüllen oder übertreffen ihr Soll bis 2008. Nissan schneidet am schlechtesten in Europa ab, gefolgt von Suzuki, Mazda, Audi, Volvo, BMW und Volkswagen. Diese sieben Marken haben allesamt ihre eigenen Vorgabewerte zur Verringerung der Emissionen um mehr als die Hälfte verfehlt. Die Studie stellte auch fest, dass beispielsweise Toyota, Hersteller des Prius Hybridfahrzeugs, die Emissionsverbesserungen nicht für seine gesamte Modellpalette im vorgegebenen Mass erfüllt, und folgert, dass es nicht genüge, ein oder zwei schadstoffarme Modelle, die lediglich in begrenzten Stückzahlen verkauft werden, in der Modellpalette zu haben.

Inzwischen wird – insbesondere mit Blick auf die weitere Absenkung des Ziels von 140 auf 120 g/km – von einem sog. *integrierten Ansatz* gesprochen – an Stelle eines lediglich auf PW-Technologie ausgerichteten Ansatzes. Dieser integrierte Ansatz soll nicht nur die Automobilproduzenten, sondern auch andere Akteure wie Treibstoffproduzenten und -lieferanten, die Fahrer, die öffentliche Hand u.a. involvieren (COM 2006). Die Konkretisierung des Ansatzes steht allerdings noch aus. Offenbar werden von Kommissionsseite auch „legislative measures“ nicht völlig ausgeschlossen, um die nötigen CO₂-Reduktionen zu erreichen. So drängen etwa auch (ehemalige) Umweltminister die Kommission, am Ziel von 120 g/km festzuhalten.³¹

Jedenfalls werden Grenzen der freiwilligen Vereinbarungen sichtbar. Weil keine Sanktionen definiert sind, ist unklar welchen mittel- und längerfristigen Effekt sie letztlich nach sich ziehen. In jedem Fall wird die Technologie weiterhin eine wichtige Rolle spielen. Auf die technischen Potenziale wird konkreter bei den Zielszenarien III und IV eingegangen (vgl. Kap. 7 und 8).

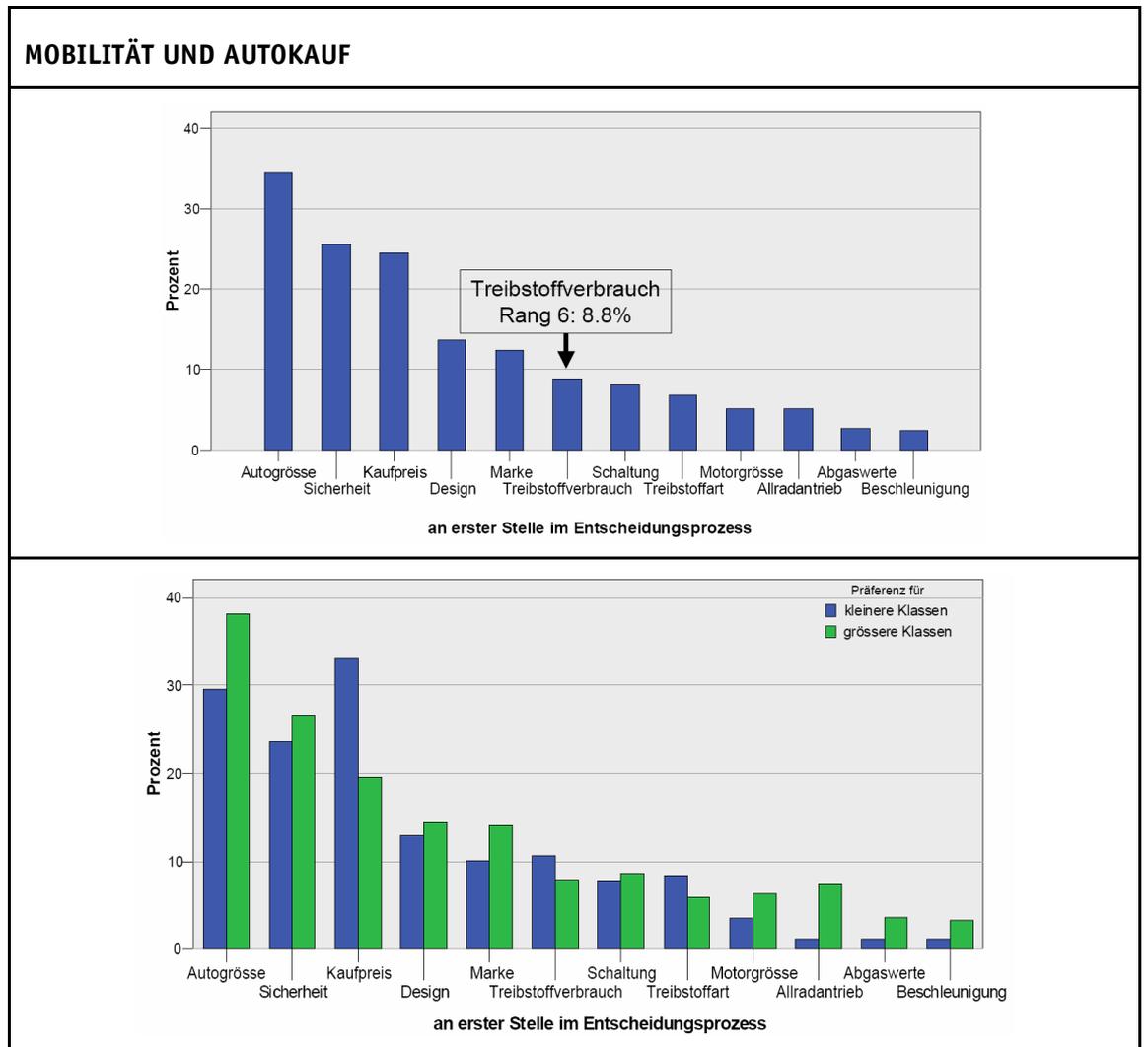
31 Brief von 10 ehem. Umweltministern aus EU-Staaten vom 8.9.2006 an EU-Kommissionspräsident Barroso: „... *Serious and legally binding fuel-efficiency standards for cars are one of the most important steps that can and should be taken at EU level. ... We urge the current EU leadership to do what is necessary to ensure that the carmakers and importers of Europe reach the 120g CO₂/km target by 2010, as well as other targets beyond that date.*“

4.3. TECHNISCHE OPTIONEN ZUR REDUKTION DES TREIBSTOFF- VERBRAUCHS

4.3.1. EINLEITUNG

Die folgenden Ausführungen fokussieren auf den PW-Verkehr, der rund drei Viertel des Treibstoff-Verbrauchs ausmacht. Ein Teil der diskutierten Massnahmen lässt sich auch auf Lieferwagen übertragen.

Bekanntlich ist das Spektrum der Energieeffizienz von Fahrzeugen gross (Figur 22 zeigt, wie gross die Spannweite des Treibstoffverbrauchs heute verkaufter neuer Personenwagen ist – die Spanne geht von etwa 4 bis über 25 l/100 km bzw. rund 100 g CO₂/km bis weit über 300 g CO₂/km). Selbst das gleiche Auto mit gleicher Funktionalität weist grosse Unterschiede aus. Beispiel: Der Opel Zafira (viertmeistverkauftes Auto in der Schweiz) wird mit Motoren angeboten, deren CO₂-Emissionen zwischen 165 und 228 g/km liegen. Das ist ein Unterschied von +38%. Allein durch das Kaufverhalten, d.h. durch den Wechsel zu effizienteren, sparsameren Fahrzeugen, könnte man den mittleren Verbrauch markant absenken. Allerdings steckt, wie Figur 21 zeigt, der Treibstoffverbrauch erst auf Platz 6 der Entscheidungskriterien, und bei den Käufern grösserer Fahrzeuge ist er sogar noch unwichtiger. Deshalb sollen im Folgenden die technischen Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung erörtert werden. Wir gehen dabei pragmatisch vor und unterscheiden verschiedene Aspekte – von der Verbesserung der Überwindung von verschiedenen Widerständen über Optimierungen beim Antrieb bis zu Verbesserungen der Klima-Anlagen.



Figur 21 Quelle: UNS 2005³²

4.3.2. OPTIMIERUNGEN BEI DER ÜBERWINDUNG VON FAHRWIDERSTÄNDEN

Die Leistung zur Fortbewegung eines Fahrzeugs wird benötigt, um verschiedene Arten von Fahrwiderständen zu überwinden: den Rollwiderstand, den Luftwiderstand sowie Beschleunigungs- und Steigungswiderstand, wobei für letztere das Fahrzeuggewicht massgebend ist. Die Zusammensetzung des Leistungsbedarfs variiert in Realität je nach Verkehrssituation, Topographie, Fahrverhalten etc. Für standardisierte Zyklen lässt sich die Zusammensetzung

³² Forschungsprojekt der ETHZ, unterstützt durch auto-schweiz und Erdölvereinigung.

des Leistungsbedarfs theoretisch berechnen. So werden beispielsweise im NEFZ (wie auch im FTP) rund 30% für die Überwindung des Rollwiderstands gebraucht, rund 30% für die Überwindung des Luftwiderstands und 40% für die Massenträgheit (TNO et.al. 2006). In Realität dürfte aufgrund verschiedenster Zusatzeinflüsse der Anteil Rollwiderstand (Reifen) allerdings geringer sein (ca. 20%, IEA 2005). Daraus geht hervor, dass zur Überwindung von Fahrwiderständen verschiedene Ansatzpunkte zur Optimierung bestehen.

Rollwiderstand

Der Rollwiderstand entsteht vorwiegend durch elastische Verformung der Reifen. Dessen Grösse ist abhängig vom Aufbau und den Materialien des Reifens sowie von der Reifengrösse, dem Reifendruck und der Fahrgeschwindigkeit. In den letzten rund 20 Jahren wurden bei den Reifen signifikante Fortschritte gemacht. So wurde – gemäss einer US-Studie (zit. nach TNO et.al. 2006) der Rollwiderstand um rund 30% abgesenkt bei gleichzeitiger Verbesserung auch anderer relevanter Charakteristiken wie Lebensdauer (+25%), Lärm (-15%), Sicherheit (Bremsfähigkeit) und Kosten. Gleichwohl besteht noch Potenzial zu weiteren Verbesserungen. So sind spezielle Reifen mit geringem Rollwiderstand (sog. LRRT, low rolling resistance tyres) seit einigen Jahren auf dem Markt verfügbar. Solchen Reifen wird ein technisches Potenzial von rund 2% bis 4% Treibstoffverbrauchsreduktion attestiert. Dabei scheint sich der Tradeoff zwischen geringem Rollwiderstand und damit Verbrauchseffizienz einerseits und Sicherheit und Lärm andererseits aufzulösen, weil neueste Materialien zunehmend allen Kriterien gerecht werden (IEA 2005). Gleichwohl bleiben derzeit einige Diskussionspunkte offen, wie die Potenziale umgesetzt werden können:

- › Definition von „geringer Rollwiderstand“: es gibt derzeit keinen Standard, und damit noch kein verlässliches Label, das eine Produktecharakterisierung ermöglicht und somit den Konnex zwischen Reifen und Treibstoffverbrauch ins öffentliche Bewusstsein bringt. So fehlt auch noch eine genaue Charakterisierung des Begriffs „LRRT“ (low rolling resistance tyres), der sich vermarkten liesse.
- › Reduktionspotenziale existieren auch bei konventionellen Reifen. Der Norm-Treibstoffverbrauch von Fahrzeugen im NEFZ-Zyklus wird unter Einbezug von OE-Reifen (Original Equipment) gemessen. Die Hersteller achten dabei auf optimale Reifen, um einen möglichst tiefen Verbrauch zu erzielen. Gemäss ACEEE (2005) haben solche OE-Reifen einen um rund 20% tieferen Rollwiderstand als übliche Reifen, die – nach einer mittleren Lebensdauer von Reifen von 2 bis 3 Jahren – als Ersatz beschafft werden. Wären diese gleich effizient wie die OE-Reifen, so könnte laut ACEEE rund 3 bis 4% des Verbrauchs ge-

spart werden. (Diese Zahlen gelten für den USA-Markt, in Europa wird eine höhere Markentreue beobachtet, entsprechend ist das Reduktionspotenzial tiefer einzuschätzen).

- › Neben der Beschaffung entsprechender Reifentypen liegt ein weiterer Ansatzpunkt beim Konsumenten- und Fahrerverhalten: Auch konventionelle Reifen werden am effizientesten eingesetzt, wenn der Reifendruck den Herstellervorgaben entspricht. Gemäss Experten-Einschätzungen (Stock 2005) werden rund 70% der Reifen in suboptimalem Zustand gefahren (15% unter dem Druck gemäss Herstellervorgaben). Um dies zu verbessern werden Fahrerinformationssysteme entwickelt, sog. TPMS (Tyre Pressure Monitoring Systems), welche dem Fahrer ein Signal geben, wenn der Reifendruck sich ausserhalb des optimalen Bereich befindet. Den Effizienzgewinn solcher Systeme schätzen TNO et.al. (2006) auf rund 2.5%, modellmässig berechnet anhand des NEFZ-Zyklus.
- › Solche Fahrerinformationssysteme sind auch bei konventionellen Reifen sinnvoll, werden aber noch effizienter im Fall von LRRT. Die Kombination beider Massnahmen ermöglicht eine Reduktion des Treibstoffverbrauchs in der Grössenordnung von 4 bis 6%.
- › Energieeffizientere Reifen und auch Fahrerinformationssysteme verursachen Zusatzkosten, die durch verminderte Treibstoffkosten innert 1.5 bis 2.5 Jahren³³ wieder eingespart werden.

Luftwiderstand

Der Luftwiderstand eines Fahrzeugs wird durch das Produkt aus dem Luftwiderstandsbeiwert (c_w) und der Frontfläche (Stirnfläche) bestimmt. Die Form bestimmt also den Luftwiderstand, wobei die Stirnfläche mit dem verfügbaren Raum und somit mit dem Komfort des Fahrzeugs in Zusammenhang steht. Der Luftwiderstandsbeiwert der Fahrzeuge wurde in den letzten Jahren kontinuierlich abgesenkt. Heute gelten Werte von 0.3 für den Luftwiderstandsbeiwert und 2 m² für die Stirnfläche als gute Werte. Deutlich höhere Werte sind v.a. bei den sog. SUV (Sports Utility Vehicles) anzutreffen. Einige Beispiele:

- › BMW X5: 0.35 – 0.38
- › VW Beetle: 0.38
- › Audi A4: 0.29
- › VW Passat: 0.27
- › Toyota Camry: 0.27

³³ Illustration: Energiekosten eines PW: 1680 CHF/a [spezif. Verbrauch 8 l/100 km, 14'000 km/a, Benzinpreis CHF 1.50/l]).
LRRT: Zusatzkosten rund 75 CHF pro Reifenset (46 €, TNO 2006), Spareffekt: 3% = CHF 50/a, Rückzahlfrist ca. 1.5 Jahre
TPMS: Zusatzkosten betragen rund 100 CHF (65 €, TNO 2006), Spareffekt: 2.5% = CHF 42/a, Rückzahlfrist ca. 2.5 Jahre

› Audi A2³⁴: 0.25

Eine weitere Absenkung dieses Wertes um 10% scheint machbar, bei grösseren Fahrzeugen liegen die Potenziale höher. Zudem kann die Stirnfläche optimiert werden. Der effektive Einfluss des Luftwiderstands ist aber stark geschwindigkeitsabhängig. Für mittlere Geschwindigkeiten von 40 km/h, 80 km/h und 120 km/h macht der Verbrauch zur Überwindung des Luftwiderstands etwa jeweils 10%, 22% und 44% aus. Eine Verringerung des Luftwiderstands um 10% führt zu einer Reduktion des Treibstoffverbrauchs im unteren Geschwindigkeitsbereich von 1%, bei Tempo 120 etwa 4%. WI (2006) schätzt bei vollständiger Umsetzung der Optimierungspotenziale die Reduktion im Stadtverkehr auf 3% bis 6% und bis zu 12% im Autobahnverkehr.

4.3.3. FAHRZEUGGEWICHT

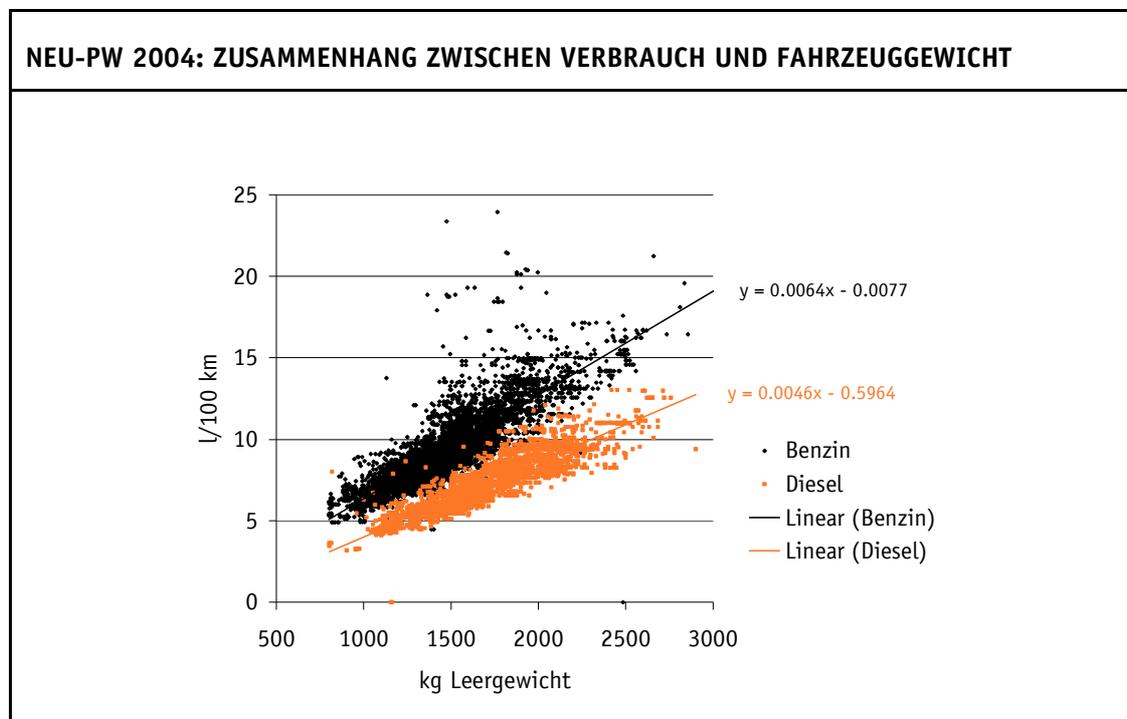
Figur 4 hat gezeigt, dass der Trend zu schwereren Fahrzeugen ungebrochen ist. Es sind vor allem Sicherheits- und Komfortelemente, welche die Fahrzeuge schwerer machen. Gleichwohl sind Bestrebungen zu Leichtbau auszumachen. Beispielsweise wird Aluminium in Serienfahrzeugen eingesetzt, Faserverbundwerkstoffe für Strukturbauteile werden demgegenüber noch zurückhaltender verwendet. Man kann verschiedene Strategien von Leichtbau unterscheiden (WI 2006):

- › Verstärkter Einsatz von Leichtbaumaterialien, die bei vergleichbaren oder sogar besseren technischen Eigenschaften eine kleinere Dichte haben als der heute übliche Stahl, d.h. Materialsubstitution durch Werkstoffe wie Magnesium, Aluminium, Titan, GFK, AFK und CFK (Glasfaser-, Aramid- oder Kohlenstoffverstärkte Kunststoffe).
- › Neue Konstruktions- und Bauweisen (Minimierung des Werkstoffeinsatzes, neue Fertigungsverfahren, Komponentenauswahl, Reduktion der Anzahl Teile).
- › Downsizing des gesamten Fahrzeugkonzepts. Gewichtsreduktionen lösen Sekundäreffekte aus. Wird an einer Stelle Gewicht gespart, so beeinflusst dies auch die Dimensionierung anderer Fahrzeugkomponenten, weil diese geringere Kräfte aushalten und deshalb selber schlanker und leichter gebaut werden können. Zudem können die Motoren kleiner ausgelegt werden, ohne dass dadurch eine signifikante Leistungseinbusse in Kauf genommen werden muss.

Eine Reduktion des Gewichts eines Fahrzeugs um 100 kg führt zu einer Reduktion des Treibstoffverbrauchs um 0.3 bis 0.5 l/100 km, wobei bei Fahrten im Innerortsbereich der Effekt

³⁴ Wird nicht mehr hergestellt.

grösser ist als bei Ausserorts- oder Autobahnfahrten. Grundsätzlich steckt hinter diesem Ansatz die Absicht, über technische Massnahmen den „Nutzwert“ und die Grösse eines Fahrzeugs gleich zu belassen, aber über technische Massnahmen das Fahrzeuggewicht zu reduzieren. Die gleiche Grössenordnung der Energieeinsparung kann selbstredend auch über die Beschaffung leichterer Fahrzeuge erzielt werden, wie Figur 22 zeigt. Dort ist am Beispiel der im Jahr 2004 verkauften Neufahrzeuge dargestellt, dass pro 100 kg Leergewicht der spezifische Verbrauch um 0.46 l/100 km (Diesel) bis 0.64 l/100 km (Benzin) zunimmt.



Figur 22 100 kg zusätzliches Gewicht bedeutet 0.46 bis 0.64 l/100 km zusätzlichen Verbrauch.

4.3.4. MOTORENTECHNISCHE OPTIONEN

Benzin- und Dieselmotoren prägen den Strassenverkehr. Obwohl motorentechnische Optimierungen laufend evaluiert und auch kontinuierlich umgesetzt werden, bestehen noch weitergehende Potenziale zur Verbesserung. Neben allgemeinen Ansatzpunkten wie der Gewichtsoptimierung der Motorenkonstruktion, der Reduzierung der Reibungsverluste im Motor durch Optimierung verschiedener Komponenten (wie Lager, Kolben, Nebenaggregate), der Optimierung beim Schmieröl (sog. low viscosity lubricants) und der Optimierung besonders sensibler Prozesse (wie Einspritz- und Zündvorgänge) lassen sich verschiedene

weitere spezifische Strategien unterscheiden (in Anlehnung an TNO et.al. 2006, UBA 2006, WI 2006):

Benzinmotor

Beim Benzinmotor fallen grosse Verluste namentlich im Teillastbereich an. Verschiedene Optionen zur Optimierung sind hier in Entwicklung, insbesondere

- › Die Abgasrückführung: diese reduziert vor allem die Verbrennungstemperatur und reduziert somit die NO_x-Emissionen.
- › Die Aufladung: Durch die Aufladung wird mehr Luft, damit auch mehr Sauerstoff in die Brennräume der Zylinder gepumpt. Damit verbunden ist eine Steigerung der Motorleistung ohne Hubraumerhöhung.
- › Direkteinspritzung (GDI, gasoline direct injection): Bei der konventionellen Einspritzung für Benzinmotoren befindet sich das Einspritzventil im Saugrohr vor dem Einlassventil. Bei der Direkteinspritzung wird dagegen direkt in den Zylinder eingespritzt. Durch die direkte Einspritzung kann eine Gemischschichtung erreicht werden, die insbesondere im Teillastbereich den Wirkungsgrad erhöht. Dabei werden verschiedene Strategien und Konzepte verfolgt, je nach Art der Gemischbildung (Schichtladung) und der Einspritzung (z.B. wand- oder strahlgeführte Einspritzung). Für diese Verfahren werden verschiedenste Kürzel verwendet (wie SIDI Spark Ignition Direct Injection [Opel/GM], TSI Twincharged Stratified Injection [VW], IDE Injection Directe Essence [Renault] etc.). Von der Direkteinspritzung werden vor allem im unteren Teillastbereich Treibstoffverbrauchsreduktionen im Umfang von 10 bis 15% erwartet.

Dieselmotor

Der Dieselmotor ist heute im Vergleich zum Benziner bereits deutlich verbrauchsgünstiger. Wie in Figur 4 dargestellt, liegt der flottengewichtete Mittelwert der 2005 verkauften neuen Benziner bei 8.09 l/100 km, jener der Diesel-PW bei 6.63 l/100 km, also 18% tiefer; bezogen auf den CO₂-Ausstoss allerdings lediglich 8% infolge unterschiedlicher Dichten (vgl. Annex 11). Allerdings spielt hier die Flottenzusammensetzung mit, weil Diesel-PW tendenziell grösserklassig sind. Vergleicht man gleiche Fahrzeugtypen, die jeweils mit einem Benzin- bzw. Diesel-Motor ausgerüstet sind, so ist der relative Vorteil des Dieselfahrzeugs etwas grösser (20% bis 25%, bezogen auf l/100 km, und 10% bis 15% bezogen auf den CO₂-Ausstoss). Nun ist ein Teil dieses Unterschieds darauf zurückzuführen, dass das Optimierungspotenzial der Direkteinspritzung beim Diesel-PW praktisch Stand der Technik ist (be-

kannt unter Kürzeln wie TDI Turbocharged Direct Injection für Dieselmotoren mit Direkteinspritzung und Turboaufladung [VW]). Das bedeutet, dass mittelfristig dem Benzin-PW auf dem „konventionellen“ Entwicklungspfad ein grösseres Reduktionspotenzial zuzuschreiben ist als dem Diesel-PW und sich deshalb der Verbrauchsnachteil des Benziners tendenziell vermindert. Dazu kommt, dass die neuen Abgasvorschriften (Euro-5, ab 2009), welche strengere Emissionsgrenzwerte für Partikel und NO_x vorsehen, den Diesel-PW stärker treffen als den Benzin-Motor, so dass die Reduktionspotenziale beim Diesel auf der Treibstoffseite zusätzlich beschränkt sind. Das bestätigt auch eine bekannte Studie der Mineralöl- und Automobilindustrie (JRC/Concawe/EUCar 2003). Demnach beträgt das kurz- bis mittelfristige (bis 2010) Potenzial beim Benzin-PW rund 10% bei Direkteinspritzern und 20% bei Motoren mit Saugrohreinspritzung, jenes von Diesel-PW wird für den gleichen Zeithorizont auf 6% geschätzt (ohne Partikelfilter) und gar nur 1 bis 2% für PW mit Partikelfilter. Damit verringert sich der Verbrauchsnachteil der Benziner von derzeit 20% auf rund 8%.

Automatische Start-Stop-Funktionen

Unter verschiedenen Namen (wie „Auto-Start-Stop“ oder „Direct Start&Stop“) werden zunehmend Funktionen in die PW eingebaut, die den Motor automatisch abstellen, sei es bei Verkehrsstillstand oder wenn das Fahrzeug an einer Lichtsignalanlage steht. Tritt der/die FahrerIn die Kupplung oder betätigt er/sie das Gaspedal, wird unmittelbar wieder gestartet. Dabei wird Treibstoff direkt in den Motor eingespritzt, wodurch dieser zündet und das Fahrzeug sanft beschleunigt wird. Hersteller bezeichnen dieses Prinzip unter Aufwand/Nutzen-Gesichtspunkten als eine sehr effiziente Massnahme, weil sie auf konventionellen Komponenten basiert und über intelligente Software realisiert werden kann. Im Stadtverkehr und vor allem bei Stop-and-Go-Bedingungen kann so Treibstoff gespart werden.

Downsizing

Ein weiterer Ansatzpunkt ist das sog. Downsizing. Der Treibstoffverbrauch variiert je nach Verkehrssituation und Fahrverhalten, d.h. je nach Betriebspunkt, weil der Leistungsbedarf unterschiedlich ist. Vor allem im Vergleich zu den Anforderungen im untern Leistungsbereich sind die Motoren meist deutlich überdimensioniert, d.h. es sind unnötige Leistungsreserven eingebaut und Höchstgeschwindigkeiten möglich, die in Realität kaum gebraucht werden. Die Idee des Downsizing liegt darin, den Hubraum zu verkleinern, aber gleichzeitig die Leistung hoch zu halten, wie sie einem grösseren Motor entspräche. Dadurch möchte man gleichzeitig den realen Bedarfsbereich möglichst mit dem verbrauchsgünstigen Bereich

zur Deckung bringen und erzielt so einen höheren Wirkungsgrad der Verbrennung. Die Verringerung der Leistungsfähigkeit kann man durch Aufladung (Abgasturboladung zur Erhöhung der Verdichtung des Luft-Treibstoff-Gemisches) zumindest teilweise kompensieren. Downsizing kann insbesondere auch kombiniert werden mit der Direkteinspritzung, weitere Entwicklungsmöglichkeiten finden sich etwa bei der variablen Verdichtung. Einsparpotenziale ergeben sich insbesondere auch dann, wenn gleichzeitig das Fahrzeuggewicht reduziert wird (Sekundäreffekte), um zu vermeiden, dass aufgrund des Downsizings die Anteile von Fahrsituationen mit höheren Drehzahlen ansteigen und so der Verbrauchsgewinn unterlaufen wird. Die oben genannten Potenziale von 10% bei Direkteinspritzung/Downsizing könnten so noch um weitere 10% durch Synergie mit Gewichtsreduktion erhöht werden.

Neue Verbrennungsverfahren

Eine weitere Option besteht in der Suche nach neuen Verbrennungsverfahren. Eine Option ist CCS (Combined Combustion System), das die Vorteile von Benzin- und Diesel-Motoren kombinieren will, ohne die Nachteile des jeweils andern übernehmen zu müssen. Schon die bisherigen Konzepte der Weiterentwicklung (Direkteinspritzung, Abgasturboaufladung) deuten gewisse Parallelitäten in der Entwicklung von Benzin- bzw. Dieselmotor an. CSS geht einen Schritt weiter und kombiniert beide konsequent. Der Benzinmotor verbrennt ein früh eingespritztes, dadurch gut durchmisches Luft-Treibstoff-Gemisch und produziert dadurch vergleichsweise geringe Rohemissionen, die durch den 3-Wege-Katalysator effizient weiter reduziert werden können. Der Diesel besitzt demgegenüber durch eine späte Einspritzung und hohe Verdichtung ein hohes Drehmoment bei niedrigem Verbrauch, allerdings zum Preis höherer NO_x- und PM-Emissionen. Mit dem CSS möchte man beide Systemeigenschaften vereinen. Einerseits soll der unter hohem Druck eingespritzte Treibstoff mit Hilfe neuer Einspritzstrategien und Abgasrückführung homogen gemacht werden, andererseits soll das Treibstoffgemisch zur Selbstzündung gebracht werden. Dabei werden allerdings neue Treibstoffe (namentlich synthetische Treibstoffe, vgl. Abschnitt 4.5) als Voraussetzung bezeichnet. Von dieser Kombination werden signifikante Reduktionen der NO_x- und PM-Emissionen erwartet. Beim Treibstoffverbrauch werden anhand erster Testfahrzeuge Reduktionen um 5% erwähnt (AR 2006a), das technische Reduktionspotential dürfte deutlich grösser sein. Allerdings ist die Umsetzung von CSS-Verfahren erst auf der mittelfristigen Zeitachse zu erwarten (> 5 Jahre).

Hybrid-Fahrzeuge

Hybrid-Fahrzeuge basieren generell auf verschiedenen Antriebsarten, die unterschiedliche Energieträger nutzen. In der Regel handelt es sich um eine Kombination von Elektro- und Verbrennungsmotor. Man unterscheidet im Allgemeinen zwischen drei verschiedenen Hybridisierungsstufen

- › Micro-Hybrid: verfügt ausschliesslich über eine Start/Stop-Funktionalität mit einem Rekuperationsanteil für das Bordnetz.
- › Mild-Hybrid: Die eine Antriebsform dient nur zur Unterstützung der Hauptantriebsform.
- › Full-Hybrid: Jede der zur Verfügung stehenden Antriebsformen agiert autonom.

Ein Kennzeichen des Hybridantriebs ist, dass der Verbrennungsmotor in einem günstigen Wirkungsgradbereich betrieben werden kann. Zudem wird überschüssige Energie über einen Generator für das Laden der Batterie verwendet. Beim Beschleunigen arbeiten Verbrennungs- und Elektromotor gemeinsam. Bei gleicher Beschleunigung kann deshalb ein kleinerer Verbrennungsmotor verwendet werden (eine Art „Downsizing“). Beim Bremsen und im Schubbetrieb wird ein Teil der Bremsenergie in die Batterie zurückgeführt (Rekuperation). Insbesondere im Stadtverkehr und beim Bergabwärts-Fahren trägt die Rekuperation zur Verbrauchsreduktion bei. Wird keine oder wenig Antriebsleistung benötigt, wird der Verbrennungsmotor ganz abgeschaltet. Dies ist im Schubbetrieb, bei Stillstand oder bei Langsamfahrten (Parkieren) mit voll geladener Batterie der Fall. Der Verbrauchsvorteil des Hybridfahrzeugs ergibt sich somit vor allem aufgrund von zwei Faktoren:

- › Im Teillastbereich, wo der Benzinmotor relativ ineffizient ist, ergänzt der Elektromotor mit seinem hohen Drehmoment den Benzinmotor ideal.
- › Durch die Rückgewinnung der Bremsenergie, welche ansonsten als Wärme an den Bremscheiben verloren wird³⁵.

Zudem erleichtern Hybrid-Konzepte den Einsatz von Start/Stop-Funktionen und können die elektrischen Verbraucher effizienter versorgen. Hybrid-Fahrzeuge haben allerdings auch Grenzen bzw. Nachteile: Sie haben ein deutlich komplexeres Antriebssystem, setzen höhere Anforderungen an Regelung und Steuerung, haben ein höheres Gewicht und sind deshalb deutlich teurer in der Anschaffung. Der Verbrauch des derzeit wohl bekanntesten Hybrid-Fahrzeugs, des Prius HSD (Hybrid Synergy Drive) mit einem Benzinmotor mit 57 kW/78 PS und einem Elektromotor mit 50 kW, beträgt im Testzyklus NEFZ 4.3 l/100 km (~104 g

³⁵ Solche Rekuperationssysteme werden auch bei Nicht-Hybriden eingesetzt. In jedem Fall wird eine intelligente Generatorregelung benötigt. Beim Bremsen wird dann die Bewegungsenergie des Fahrzeugs über den Generator in elektrische Energie gewandelt und in die Batterie eingespeist. Diese Energie steht dann dem Bordnetz zur Verfügung.

CO₂/100 km). Er liegt damit um 44% unter dem Durchschnitt der 2005 verkauften PW (7.67 l/100 km) und unterschreitet auch schon das von der EU für 2012 formulierte Ziel von 120 g CO₂/100 km deutlich. Durch „Hybridisierung“ wäre also gegenüber den oben erwähnten Potenzialen beim Benzinmotor eine zusätzliche Reduktion möglich.

Die oben erwähnten Verbrauchswerte beziehen sich auf den Normverbrauch. Der Verbrauchsvorteil des Hybrids ist stark abhängig vom Einsatzprofil. Die beiden Hauptvorteile (Rekuperation, Effizienzsteigerung im Teillastbereich) kommen vor allem im Stadtverkehr zum Tragen. Deshalb kann die Verminderung in Realität geringer ausfallen, zumal die gegenwärtigen Hybrid-Modelle von Toyota und Lexus (wie z.B. Lexus LS 600h, GS450h, RX 400h)³⁶ vor allem im oberen Preis-, Leistungs- und Luxussegment angesiedelt und nicht gerade als typische Stadtfahrzeuge zu bezeichnen sind. Rein marktmässig haben es die europäischen Hersteller bisher versäumt, die Vorteile der Hybrid-Strategie zu nutzen. Vielmehr stand der verbrauchsoptimierte Diesel-Antrieb im Vordergrund. Davon zeugt z.B. die Tendenz, den Diesel-PW auch in den USA zu lancieren, wo dessen Anteil bisher vernachlässigbar war. Gepusht wird v.a. der Diesel mit der neuen, von den Nutzfahrzeugen abgeleiteten SCR-Technologie unter dem Label „Bluetech“. Inzwischen hat der Hybrid-Entwicklungsstrang allerdings auch bei den europäischen Herstellern Einzug gehalten. Ob die Diesel- oder die Benzin-Hybrid-Technologie – oder auch eine Kombination Diesel-Hybrid – sich stärker durchsetzen wird, ist derzeit offen. Eine Hybridkombination mit Dieselmotoren wird als schwieriger eingeschätzt, v.a. wegen des grösseren Drehmoments des Diesels und der aufwendigeren Motorsteuerung. Die dadurch entstehenden zusätzlichen Kosten, die Herausforderungen infolge der neuen Abgasgesetzgebung (Euro-5) und das von Natur aus höhere Gewicht eines Dieselmotors lassen einen Serien-Diesel-Hybrid in naher Zukunft als weniger wahrscheinlich erscheinen. Es gibt aber auch Herstellerstrategien, die auf diese Mischung aus effizienter Diesels-technologie und Elektroantrieb setzen (wie z.B. PSA mit Testfahrzeugen wie C4 und Peugeot 307, auch Opel lancierte jüngst einen Astra Diesel-Hybrid).

Hybrid-Fahrzeuge mit ihrem kombinierten Elektro- und Verbrennungs-Antrieb werden zuweilen als Brückentechnologie bezeichnet, ohne dass aber klar wäre, wie genau der Pfad „jenseits der Brücke“ aussieht. Mit einem Zeithorizont von 25 bis 30 Jahren, wie er für die vorliegenden Szenarien relevant ist, betrachten wir die bisher erwähnte Palette technischer Optionen als massgebend. Inzwischen arbeiten die Entwicklungsabteilungen aber weiter an alternativen Konzepten, wie z.B. Brennstoffzellenfahrzeugen. Auch elektrische Fahrzeuge

36 LS 600h: Verbrauch von 9,5 Liter/100 km; GS450h: 8.8 Liter/100 km; RX 400h: 8.1 Liter/100 km.

sind (erneut) in Diskussion, vereinzelt als vollelektrische Fahrzeuge, mehrheitlich als „Plug-In-Hybride“. Hier würde die Batterie für die ersten 20-30 Kilometer ausreichen, der Verbrennungsmotor würde zum Überholen oder zum Vorwärtskommen bei Steigungen – oder für längere Fahrten genutzt. Würde der Strom dann über Nacht aus der Steckdose gezogen (deshalb der Name „plug-in-Hybrid“), so könnte das den Stromverbrauch markant in die Höhe schnellen lassen, und es würde sich die Grundsatzfrage stellen, wie dieser zusätzliche Strombedarf für die Mobilität gedeckt werden könnte. Weil die Batterie (sowie die Kosten) nach wie vor das Hauptproblem dieser Kombination ist, wird diese Option im vorliegenden Kontext als weniger wahrscheinlich betrachtet.

4.3.5. KLIMA-ANLAGEN

Klimaanlagen bei PW erhöhen in unseren Breitengraden den Treibstoffverbrauch um etwa 4% (gemittelt über das Jahr, vgl. Abschnitt 5.7). Im Sommer kann der Bedarf aber deutlich höher liegen. Klimaanlagen sind in der Folge unter zwei Aspekten ein Thema: Zum einen die Energieeffizienz der Geräte, was sich direkt im Energieverbrauch niederschlägt, zum andern die indirekten CO₂-Emissionen als Folge des verwendeten Kühlmittels bzw. der Lecks; bis anhin wurde als Kühlmittel R134a verwendet, das eine sehr hohe Treibhauswirkung hat – nämlich rund 1300 gegenüber CO₂. Bei den Geräten liegt ein markantes Sparpotenzial in der intelligenteren Steuerung und Regelung der Geräte, welche adaptiver auf die Bedürfnisse eingestellt werden, insbesondere durch Variabilisierung der Kompressorleistung.

Beim Kühlmittel hat die EU inzwischen den Einsatz von R134a ab 2011 verboten. Alternativen werden auf verschiedenen Pfaden evaluiert. Als Kühlmittel erfolgversprechend scheint die Verwendung von CO₂ selbst zu sein (sog. R744). Das hätte den Vorteil eines besseren Kühleffekts, auch absorbiert es Hitze effizienter als das bisherige Kühlmittel und gibt sie auch leichter wieder ab. Dadurch reduziert sich der Treibstoffverbrauch. Auch weitere Alternativen sind in Diskussion, weil bei CO₂ der Druck deutlich höher ist als mit dem bisherigen Kühlmittel, damit verlangt dies teurere, widerstandsfähigere Materialien und ein verbessertes Steuerungssystem.

4.4. ZUM FAHRVERHALTEN

„Eco-Drive“ ist ein Label, unter dem man die Bemühungen subsumieren kann, um über das Fahrverhalten den Treibstoffverbrauch zu reduzieren, aber auch weitere Ziele zu erreichen –

wie Verbesserung der Sicherheit und der Luftbelastung. Gemäss den Promotoren³⁷ ist Eco-Drive lediglich eine „andere“ Fahrtechnik, die nichts mit „Langsamfahren“ zu tun hat. Treibstoffverbrauch und Schadstoffemissionen werden dadurch gesenkt, dass

- › zügig beschleunigt,
- › spätestens bei 2500 Touren hochgeschaltet (und entsprechend spät heruntergeschaltet),
- › im höchstmöglichen Gang gefahren,
- › vorausschauend und gleichmässig gefahren wird.

Das Ergebnis ist mehr Fairness, Sicherheit und bis zu 10% weniger Treibstoffverbrauch. Eco-Drive ist in der Schweiz schon seit längerem ein etablierter Ansatz, entsprechende Erfahrungen existieren und werden im Rahmen von energieSchweiz auch schon seit Jahren unterstützt.

Auch international und bei der EU ist Eco-Drive mittlerweile eine der möglichen Massnahmen zur CO₂-Reduktion. TNO et. al. 2006 schätzt das langfristige Potenzial auf etwa 3%, macht aber die Einschränkung, dass solche Einschätzungen stark von der angewandten Methodik und den Annahmen abhängen, weil zwar der Initialeffekt von Eco-Drive vernünftig gut gemessen und dokumentiert ist, hingegen die Langzeitwirkungen unsicherer sind. Mögliche zusätzliche Massnahmen sind etwa sog. GSI (Gear shift indicators), Hinweise für die Fahrer, ob sie in einem treibstoffsparenden Bereich unterwegs sind, was das Bewusstsein über Effizienz generell und laufende Feedbacks für Optimierung des Fahrstils gibt. Den zusätzlichen Effekt veranschlagen TNO et.al. (2006) auf 1.5%. Letztlich bleibt Eco-Drive aber abhängig von den Kenntnissen der FahrerInnen und deren Wille zur Umsetzung. Mit der Einführung von GSI ergäbe sich allerdings die Möglichkeit zusätzlicher Anreize (z.B. Angebot zu Eco-Drive-Kursbesuchen beim Kauf von mit GSI ausgerüsteten Fahrzeugen, oder aber Verpflichtung für Neu- und/oder erfahreneren FahrerInnen zum Besuch von Eco-Drive-Kursen, und/oder Verpflichtung der Ausrüstung der Fahrzeuge mit GSI³⁸). Die Studie führt überdies an, dass dies im Verkehrsbereich eine sehr kostenwirksame Massnahme ist, nämlich eine mit Negativ-Kosten, d.h. die eingesparten Treibstoff-Kosten sind höher als die durch Kurse und/oder GSI verursachten Kosten.

4.5. ZU DEN ALTERNATIVEN TREIBSTOFFEN

Angesichts der Endlichkeit fossiler Energieträger, aber auch auf dem Hintergrund der Versorgungssicherheit bei fast vollständiger Abhängigkeit der Mobilität von diesen fossilen

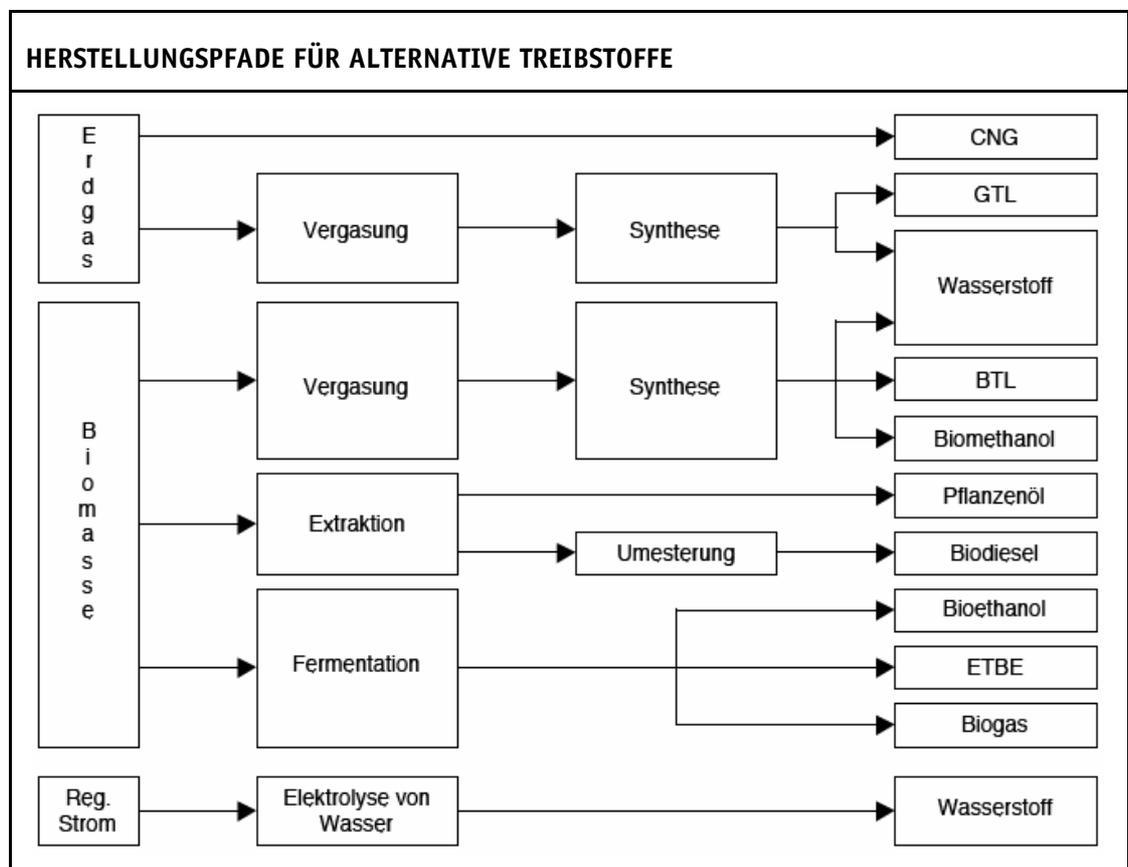
³⁷ z.B. www.eco-drive.ch

³⁸ TNO (2006) schätzt die Zusatzkosten auf 22€ pro Fahrzeug.

Energieträgern, die sich u.a. in volatilen Preisschwankungen äussern, wird neben der Effizienzsteigerung immer wieder (und zunehmend) die Frage nach alternativen Energieträgern in den Raum gestellt. Nachstehend folgen einige generelle Ausführungen zur Thematik, die den Hintergrund bilden für die Annahmen in den Szenarien.

4.5.1. ÜBERSICHT

Nachstehend werden kurz einige alternative Treibstoffe vorgestellt, die einen Beitrag zur verstärkten Nutzung im Verkehr leisten können³⁹:



Figur 23 nach UBA 2006

³⁹ In Anlehnung an UBA 2006, IEA 2004, IEA 2006, Infrac 1995

4.5.2. TREIBSTOFFE AUF BASIS VON ERDGAS

CNG (und LNG)

Erdgas kann in komprimierter (CNG) oder in flüssiger Form (LNG) direkt als Treibstoff eingesetzt werden. In der Schweiz steht CNG im Vordergrund, das aufgrund seiner hohen Oktanzahl für entsprechend ausgerichtete Ottomotoren geeignet ist. Im Vergleich zu herkömmlichen PW sind bei erdgasbetriebenen Fahrzeugen spezielle Speicher- und Einspritzsysteme erforderlich. Weltweit gibt es über 2,5 Mio. Erdgasfahrzeuge, in der Schweiz Ende 2006 rund 3'000 Fahrzeuge. Erdgasfahrzeuge können derzeit an rund 70 Erdgastankstellen betankt werden. Zwar werden bei der Verbrennung von Erdgas weniger Schadstoffemissionen frei⁴⁰, doch reduziert ein Wechsel von Erdöl zu Erdgas als Primärenergie die Treibhausgasemissionen insgesamt nur wenig. CO₂ wird hauptsächlich dadurch eingespart, dass Gas nicht weiter abgefackelt wird.

GTL (Gas-to-Liquid)⁴¹

Gas-to-Liquid (GTL)-Treibstoffe sind synthetische Treibstoffe auf Erdgasbasis, die vor allem in Dieselmotoren eingesetzt werden. Die Synthesegaserzeugung aus Erdgas mit anschließender Fischer-Tropsch-Synthese ist heute bereits Stand der Technik und wird grosstechnisch von Firmen wie Shell und Sasol angewandt. Kommerzielle GTL-Anlagen werden bisher in Südafrika und in Malaysia betrieben, weitere Grossanlagen sind vor allem in Qatar geplant. Synergien existieren zum Einsatz von anderen Rohstoffen zur Synthesegaserzeugung, wie etwa bei Biomasse (Biomass-to-Liquid, BTL). Die Vorteile von synthetischem Diesel liegen vor allem in der hohen Cetanzahl und der Aromaten- und Schwefelfreiheit. Darüber hinaus weisen GTL-Treibstoffe im Vergleich zu herkömmlichem Diesel geringere NO_x- und Partikelemissionen auf. Die Treibstoffe können in ihrer Zusammensetzung genau auf ein bestimmtes Motorkonzept abgestimmt werden und besitzen ein Potenzial zur Verbesserung der motorischen Brennverfahren und zur Weiterentwicklung der Motortechnik (Verschmelzung von Diesel- und Ottoprinzip). Die Kosten des Endproduktes GTL werden stark von den Kosten des eingesetzten Gases beeinflusst und weisen daher eine hohe Bandbreite auf.

4.5.3. TREIBSTOFFE AUF BASIS VON BIOMASSE

Biogene Treibstoffe lassen sich chemisch in drei Gruppen unterteilen, nämlich in Treibstoffe auf Pflanzenölbasis, Alkohole und synthetische Treibstoffe.

⁴⁰ Gemäss BAFU 2006b emittiert ein mit CNG betriebener PW der Emissionsstufe Euro-4 rund ein Drittel weniger Emissionen als ein Benzin-PW der gleichen Stufe. Der Wert bezieht sich auf ein mit UBP-Punkten gewichtetes Emissionsniveau.

⁴¹ VW verwendet dafür beispielsweise den Ausdruck Synfuel

Biodiesel

Aus Ölsaaten extrahierte Pflanzenöle können entweder direkt als Treibstoff genutzt werden, oder, neben Alt Speiseölen und -fetten, das Ausgangsmaterial für die Produktion von Biodiesel stellen. Biodiesel und Pflanzenöl werden vor allem in Europa und hier überwiegend aus Raps (und etwas Sonnenblumen) produziert, in Nordamerika vor allem aus Sojabohnen und in Südostasien aus Palmöl und Jatropha. Durch Veresterung werden die Pflanzenöle so verändert, dass der erzeugte Biodiesel den Eigenschaften von konventionellem Diesel ähnlich genug wird, um in nicht modifizierten Motoren eingesetzt werden zu können. Nebenprodukte des Verfahrens (wie Glycerin) verbessern die ökologische und ökonomische Bilanz der Produktion von Biodiesel. Biodiesel wird in Reinform oder als Beimischung von bis zu 5% zu herkömmlichem Diesel verwendet. Der Vorteil der Zumischung: der Diesel entspricht noch der Treibstoffnorm, die Zumischung kann zentral erfolgen, das kann von heute auf morgen umgesetzt werden, es braucht keine individuelle Verhaltensanpassung, die Wirkung ist unmittelbar, braucht also keine Anpassung der Tankstellen-Infrastruktur oder der im Markt befindlichen Fahrzeuge.

Bioethanol

Ethanol ist ein Alkohol, der aus zucker-, stärke- und cellulosehaltigen Pflanzen hergestellt werden kann. Dabei ist der Produktionsprozess aus Zucker am wenigsten komplex, da die Stärke bzw. Cellulose nicht erst in diesen umgewandelt werden muss, bevor die Vergärung zu Alkohol stattfindet. Für den Treibstoffsektor wird Ethanol weltweit vor allem in Brasilien aus Zuckerrohr und in den USA aus Mais produziert, in Europa sind Zuckerrüben, Kartoffeln und Weizen die eingesetzten Rohstoffe. Die Produktion aus Zucker- und Stärkepflanzen ist derzeit Stand der Technik, während die Umwandlung von Cellulose noch in der Demonstrationsphase ist (=Biotreibstoffe der 2. Generation). Ethanol kann in reiner Form nur in speziellen Motoren eingesetzt werden (sog. Flexi-Fuel-Vehicles können mit jeder Mischung von bis zu 85% Ethanol betrieben werden). Erste Flotten sind in Europa vor allem in Schweden im Aufbau. Eine erste Tankstelle existiert auch in der Schweiz (Winterthur). Die Treibstoffnorm Benzin lässt eine Beimischung bis zu max. 5 Volumenprozent zu. Die Vorteile der Beimischung sind analog zu jenen von Biodiesel. Die Beimischung von 5% Bio-Ethanol zu Benzin führt infolge der vorgelagerten Prozesse zu einer leicht verminderten potentiellen CO₂-Reduktion von ca. 4% (EMPA 2002).

BTL (Biomass-to-Liquid)⁴²

Durch die Vergasung von fester Biomasse (Holz, Stroh) kann ebenfalls ein Synthesegas erzeugt werden, das analog zu GTL über eine Fischer-Tropsch-Synthese zu synthetischem Diesel umgewandelt werden kann (BTL, Biomass-to-liquid). Der erzeugte Treibstoff hat die gleiche hohe Qualität wie synthetisch hergestellte Treibstoffe aus Erdgas. Mit Blick auf den Anbau von Energiepflanzen sind die erwarteten Hektarerträge für BTL weit höher als für Biodiesel und Ethanol. Vor allem ist die Palette der einsetzbaren Rohstoffe grösser, womit BTL eine effizientere Option zum Einsatz von Biotreibstoffen darstellt. Voraussetzung ist, dass das Produktspektrum der FT-Synthese möglichst umfassend genutzt werden kann. Allerdings ist die technologische Entwicklung noch deutlich weniger weit als bei GTL (Probleme bei der Gasreinigung), und Biomassevergasung steht derzeit noch nicht zur Verfügung, sondern ist in der Demonstrationsphase. Man spricht deshalb auch hier von Biotreibstoffen der 2. Generation.

Biogas

Biogas wird durch die anaerobe Fermentation von Biomasse bzw. Abfällen hergestellt. Es erhält durch eine Aufbereitung und Reinigung die Qualität von Erdgas und kann analog zu CNG in erdgastauglichen Fahrzeugen eingesetzt werden. Zur Distribution kann die bestehende Erdgasinfrastruktur genutzt werden. Als Substrate für die Fermentation kommen generell alle organischen Stoffe infrage, wie tierische Exkremente (Gülle und Mist) und andere landwirtschaftliche und organische Abfälle, aber auch kultivierte Energiepflanzen. Die Palette der möglichen Einsatzstoffe und damit das Potenzial zur Treibstoffherzeugung sind somit gross. Bei der Nutzung von Reststoffen fallen keine Rohstoffkosten an. Ausserdem kann durch die vermiedene Entsorgung vor allem beim Gülleeinsatz eine ökologische und ökonomische Gutschrift erreicht werden. Die anaerobe Vergärung verschiedenster Einsatzstoffe zu Biogas entspricht dem Stand der Technik. Für die Aufbereitung des erzeugten Gases kann zum Teil auf bekannte Technik zurückgegriffen werden. In der Schweiz wird Biogas heute schon vereinzelt produktiv als Treibstoff eingesetzt. Beispielsweise stellt BernMobil ihre Flotte auf Gas (bzw. Biogas) um. Auch Basel schlägt vor, ihre Autobusflotte auf Erdgas (bzw. Biogas) umzustellen. Eine wichtige Triebkraft in beiden Fällen war die Treibhausgasproblematik. Denn Biogas ist wie die andern biogenen Treibstoffe weitgehend CO₂-neutral.

⁴² VW verwendet dafür beispielsweise den Ausdruck Sunfuel

Biomethan

Damit ist die Produktion von erdgaskompatiblem Methan durch Biomassevergasung gemeint, das ins Gasnetz eingespeist und dann wie Biogas in Erdgasfahrzeugen genutzt werden kann. Analog zur BTL-Produktion stellen lignocellulosehaltige Materialien wie Holz oder Stroh auch bei der Biomethanproduktion durch thermochemische Vergasung die Rohstoffbasis dar. BTL und Biomethan stehen damit in direkter Nutzungskonkurrenz. Wie BTL wird Biomethan (oder SNG [substitute natural gas]) derzeit noch nicht kommerziell hergestellt, aber verschiedenste Vergasungsverfahren mit Ziel Methanisierung sind derzeit in Entwicklung. Möglicherweise ist die Wirtschaftlichkeit auf diesem Pfad besser als die Fischer-Tropsch-Synthese, vor allem bei kleineren Anlagen.

4.5.4. WASSERSTOFF

Wasserstoff kann prinzipiell unter Aufwendung von Energie aus allen wasserstoffhaltigen Substanzen gewonnen werden, beispielsweise aus Kohlenwasserstoffen oder (mittels Elektrolyse) aus Wasser. Die Unterscheidung der Rohstoffbasis nach endlichen (fossilen, nuklearen) und regenerierbaren Primärenergien ist letztlich von zentraler Bedeutung bei der Beurteilung der Zweckmässigkeit von Wasserstoff als Energieträger. Es sind mehrere Verfahren zur Bereitstellung von Wasserstoff in Diskussion (aus Erdgas, Kohle, Biomasse, Elektrolyse), diese sind aber noch nicht kommerziell verfügbar. Beim Einsatz von Wasserstoff als Energieträger für Strassenfahrzeuge sind zwei Varianten in Diskussion: die Nutzung von H_2 in einem angepassten Ottomotor oder die Erzeugung von Elektrizität in einer Wasserstoff-Brennstoffzelle und dann Antrieb via Elektromotor.

Auf Wasserstoff wird an dieser Stelle nicht weiter eingegangen, da dies im vorliegenden Kontext und für die hier betrachtete Zeitspanne als grundsätzlich noch nicht verfügbare Option beurteilt wurde. Ob Wasserstoff je zu einer Option wird, wird hier offen gelassen. Aus energetischer Sicht bestehen Zweifel, ob die elektrolytische Wandlung elektrischer Energie in Wasserstoff, den man dann in Brennstoffzellen wieder in Strom zurück verwandelt, wegen der hohen Energieverluste je eine grosse Chance auf eine verbreitete Realisierung erhält⁴³. Renommierete Vertreter der Automobilwirtschaft sehen dies gleichwohl als langfristige Option. Dazu sind aber noch drei Technologiebarrieren zu überwinden:

- › die nachhaltige regenerative Erzeugung von Wasserstoff,

⁴³ vgl. z.B. Positionen des European Fuel Cell Forums

- › der Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur,
- › alltagstaugliche und bezahlbare Brennstoffzellen- sowie Wasserstoff-Speicher-Technologie.

VW etwa geht davon aus⁴⁴, dass „diese Herausforderungen noch mindestens 20 Jahre benötigen. Voraussichtlich eine weitere Dekade wird vergehen, bis diese neuen Technologien einen so grossen Marktanteil erreicht haben, dass spürbare Änderungen eintreten“ und setzt deshalb auf Alternativen für die mittlere Zeitachse, wie sie oben erläutert wurden, namentlich Erdgas und Biomasse (bzw. im Fall VW auf GTL und BTL).

4.5.5. EINSCHÄTZUNGEN

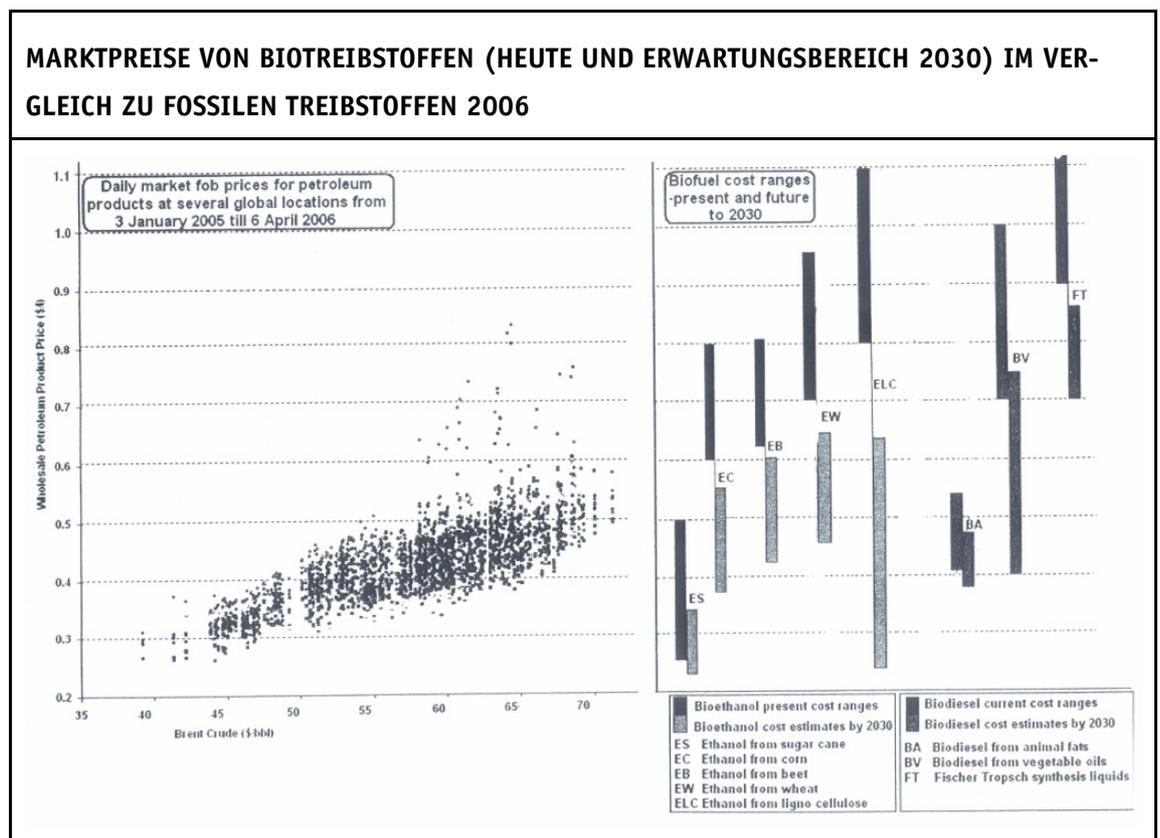
Weltweit hatten im 2005 gemäss IEA (2006) die Biotreibstoffe einen Anteil von 2% am Benzinmarkt und 0.2% am Dieselmkt. Die grössten Bioethanol-Produzenten waren Brasilien (mit 17.5 Mio. l, primär aus Zuckerrohr) und die USA (mit 14 Mio. l, primär Mais). Europas Anteil war marginal (ca. 2 Mio. l). Demgegenüber war der Anteil der EU bei Biodiesel markant höher (rund 2 Mio. l), während die übrigen Länder zusammen lediglich 0.2 bis 0.3 Mio. l produzierten. Inzwischen haben verschiedene Länder politische Zielvorgaben formuliert, um den Anteil an Biotreibstoffen zu erhöhen. Die EU beispielsweise hat für ihre Mitgliedstaaten das Ziel von 2% Anteil Biotreibstoffen per 2005 und 5.75% per 2010 festgelegt (EU Richtlinie 2003/30/EG zur Förderung der Verwendung von Biotreibstoffen). Der Treiber hinter diesen Zielsetzungen waren primär die Versorgungsfrage und der Abbau der Abhängigkeit in der Energieversorgung. Ende 2005 war klar, dass die EU weder das für jenes Jahr festgelegte Ziel von 2% erreichen kann, noch das für 2010 gesteckte Ziel erreichen wird, wenn sie keine neuen Massnahmen ergreift. In Anbetracht der steigenden Ölpreise und der Debatte über die Sicherheit der Energieversorgung hat die Kommission im Dezember 2005 den Aktionsplan für Biomasse präsentiert. Demnach könnte eine neue „Biokraftstoff-Richtlinie“ neu verpflichtende Zielvorgaben enthalten anstatt der 2003 empfohlenen Richtwerte. Zudem hat sie das Ziel formuliert, bis zum Jahr 2020 20% von Diesel und Benzin durch alternative Treibstoffe zu ersetzen. Diese Zielwerte werden zum Teil durch preisliche Förderung, zum Teil durch Quoten (Vorgaben der Beimischung eines gewissen Prozentsatzes) umgesetzt. Dadurch wird ein signifikantes EU-Marktvolumen z.B. für Bioethanol von 8 bis 10 Mio. m³ erwartet, was aus Produzentensicht als „hervorragende Perspektive“ betrachtet wird und Anlass ist, die Produktionskapazitäten massiv zu erweitern.

⁴⁴ http://www.volkswagen-umwelt.de/buster/buster.asp?i=_content/wissen_sunfuel_start.asp

Hemmnisse

Einige bedeutende Hemmnisse begleiten allerdings die Einführung von Biotreibstoffen:

- › **Produktionskosten:** Die verschiedenen Basisstoffe, gekoppelt mit den unterschiedlichen Land- und Lohnkosten, Grössen von Produktionsanlagen und staatlichen Unterstützungsprogrammen führen zu einer grossen Bandbreite an Produktionskosten. Gemäss IEA (2006) ist gegenwärtig Bioethanol aus Brasilien (0.25 USD/l) mit den konventionellen Treibstoffen konkurrenzfähig. Wesentlich teurer sind Ethanol aus Mais, Zuckerrüben und Getreide (0.6- 0.8 USD/l). Bis 2030 wird aber den Biotreibstoffen ein grosses Kostenreduktionspotenzial attestiert (vgl. Figur 24).



Figur 24 Marktpreise von Biotreibstoffen im Vergleich zu Benzin/Diesel (Quelle: IEA 2006)

- › **Ernteerträge:** Mit heutiger Technologie ist die Produktion von Ethanol aus Zuckerrohr deutlich effizienter als z.B. aus Getreide. Laut IEA (2006) enthält Zuckerrohr rund acht Mal so viel Energie verglichen zu dem was für deren Produktion und Ernte nötig ist, bei Mais und Getreide ist der Faktor zwischen 1 und 2. Entsprechend ist das CO₂-

Reduktionspotential deutlich höher (bei 90%), während es bei Getreide nur etwa 10-15% ist. Ähnliches gilt für Rapsöl-Produktion in gemässigten Zonen im Vergleich zu Palmenöl als Rohstoff für Dieselproduktion: Die Produktion von Biomasse in tropischen Gegenden scheint effizienter. Allerdings werden Energiebilanz wie auch die Klimaschutzaspekte kontrovers debattiert. Einzelne Studien machen geltend, es werde sogar mehr Energie benötigt um Ethanol herzustellen, als es selbst enthält (Delucchi 2003).

- › **Soziale Argumente:** Der Einführung von Biotreibstoffen stehen auch soziale sowie auch Umweltaspekte entgegen: Die Produktion von Biotreibstoffen tritt zwangsläufig in Konkurrenz zu den Nahrungsmitteln. Dadurch steigen die Preise der Agrarprodukte. Die Preise von Rapsöl beispielsweise liegen heute schon deutlich höher als in früheren Jahren. Dadurch würde das Nord-Süd-Gefälle weiter verzerrt durch Überlagerung von begrenzten Zahlungsmöglichkeiten (für Nahrung) im Süden und einer sektoralen (hohen) Zahlungsbereitschaft für Mobilität im Norden.
- › **Umweltaspekte:** Neben der zusätzlichen Umweltbelastung (Einsatz von Düngemitteln und Pestiziden bei Monokulturen) kann eine Ausweitung der Anbaufläche für die Herstellung von Biotreibstoffen in Entwicklungsländern zur Abholzung von Regenwald führen, was auch aus CO₂-Optik kontraproduktiv wäre. Eine nachhaltige Nutzung müsste dafür Gewähr bieten, dass die Produktion des Rohstoffs gewissen Umweltstandards entspricht, wozu es allenfalls einer speziellen Kennzeichnung oder Zertifizierung bedarf.

Aufgrund solcher Argumente zeichnet sich zunehmend die Einschätzung ab, dass die derzeitige Produktion von Biotreibstoffen auf der Basis von Zucker und Stärke kaum der nachhaltige und deshalb massiv zu fördernde Lösungsansatz sein kann. Vielmehr wird der Fokus und die Hoffnung auf die technische Entwicklung gesetzt, die der zweiten Generation von Biotreibstoffen zum Durchbruch verhelfen sollte. Diese schliesst Lignocellulose mit ein, so dass Rest- und Abfallstoffe genutzt werden können, die mit der Nahrungsmittelkette nicht in Konkurrenz treten.

Die Frage allerdings, wofür die Biomasse letztlich am zweckmässigsten genutzt wird (ob für die Mobilität, für Wärme und/oder für die Stromproduktion), ist derzeit sowohl international wie auch in der Schweiz noch offen. Hintergrund dieses Aspekts müssten auch technische Überlegungen zu Wirkungsgraden sein. Im Strassenverkehr, bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren, liegt der Wirkungsgrad typischerweise im Bereich von 20-30% während dieser bei der Wärme/Strom-Produktion im Bereich von 60-70% liegt, was gegen einen

Einsatz im Verkehr und für die Nutzung in stationären Anlagen sprechen würde (z.B. CE 2005).

Situation in der Schweiz

Auch in der Schweiz sind derzeit vor allem zwei alternative Treibstoffe in Diskussion, Biotreibstoffe (v.a. Ethanol) sowie Gas (inkl. Biogas). Beide Varianten spielen derzeit quantitativ praktisch keine Rolle, sind aber mittelfristig denkbare Alternativen zu den fossilen flüssigen Treibstoffen, namentlich falls der Treibstoffpreis markant ansteigen sollte und/oder eine finanzielle oder anderweitige Privilegierung einsetzt. Unter heutigen Rahmenbedingungen bzw. ohne finanzielle Anreize – oder Quoten – sind die Chancen einer breiten Einführung für beide Alternativen begrenzt. Bei Ethanol stellt sich neben der Preisfrage jene nach der Verfügbarkeit und Herstellung. Insbesondere stellt sich angesichts der unterschiedlichen Produktionskosten im Inland vs. Ausland kurzfristig die Frage, ob auch eine Inlandproduktion (und wie viel) gestützt werden soll. (Zum Vergleich: inländisches Ethanol 140 Rp./l, Import 65 Rp./l vor Steuern). Daneben sind aber auch bei einer längerfristigen Strategie die oben erläuterten Erwägungen mit einzubeziehen. Das BFE sieht denn auch vor, eine eigene Biomasse-Strategie zu entwickeln, deren Ergebnisse für die Szenario-Arbeiten allerdings nicht vorlagen.

Die in den Szenarien rapportierten Ergebnisse basieren auf dem Stand 2005. Mit einer Motion (02.3382) plante die UREK-Kommission, Erd-, Flüssig- und Biogas um mindestens 40 Rp. pro Liter Benzinäquivalent zu verbilligen mit dem Ziel, den CO₂-Ausstoss und die Luftschadstoffbelastung im Strassenverkehr zu senken. Weil Treibstoffe aus erneuerbaren Rohstoffen ebenfalls eine namhafte Senkung der CO₂-Emissionen bewirken können, wurden sie in die Umsetzungsarbeiten der Motion miteinbezogen. Die Szenario-Arbeiten orientieren sich bezüglich der konkreten Umsetzung an den im Vernehmlassungsbericht (vom Okt. 2004, EFD 2004) erwähnten Erwägungen. Weil diese finanzielle Förderung aber noch nicht beschlossen war, wurde sie dem Referenzszenario I nicht unterstellt, d.h. es wird nicht mit einer signifikanten Verbreitung gerechnet. Die finanzielle Förderung wird erst für die Szenarien II bis IV vorgesehen.

Zwischenzeitlich hat das Parlament Ende 2006 entsprechende Beschlüsse gefasst, mit gewissen noch zu bereinigenden Differenzen zwischen NR und SR. Demnach sollen Biotreibstoffe völlig von der Mineralölsteuer befreit werden, Erdgas wird um 40 Rp./l Benzinäquivalent verbilligt. Zusätzlich sollen zwei Elemente berücksichtigt werden: Einerseits sollen Importe nur bis zu einer bestimmten Menge privilegiert werden, um so die Chancen der

inländischen Produktion zu wahren; allerdings ist die Landverfügbarkeit für eine starke inländische Produktion ohnehin beschränkt. Andererseits soll die Steuerbefreiung nur gewährt werden, falls bestimmte Anforderungen an die ökologische Gesamtbilanz erfüllt sind. Wie die beiden Zusatzbedingungen konkret umgesetzt werden sollen, ist derzeit noch offen.

4.6. INSTRUMENTE

Im Folgenden werden spezifisch auf den Energieverbrauch im Verkehr ausgerichtete Instrumente umrissen, die für die Szenarien zur Verfügung stehen und dort konkretisiert werden sollen. Weitere speziell verkehrssystem-orientierte Massnahmen (wie z.B. Angebotsentwicklung) sind in alternativen Rahmenentwicklungen bzw. den verschiedenen Szenarien der Verkehrsperspektiven enthalten, werden deshalb nicht gesondert aufgeführt. Dazu zählen wir auch Massnahmen wie Verkehrssystem-Management, verkehrslenkende und -leitende Massnahmen unter Nutzung der Informationstechnologien.

4.6.1. FREIWILLIGE MASSNAHMEN

Diese haben eine gewisse Tradition und können unter dem Label von **energieSchweiz** subsumiert werden. Im Bereich der Mobilität fokussiert EnergieSchweiz auf drei Zielsetzungen:

- › Reduktion des CO₂-Ausstosses der Neuwagenflotte: Heute orientiert sich EnergieSchweiz in Analogie zur EU am Ziel von 140 g/km bis 2010 – bei gleichzeitiger Reduktion der Luftschadstoffe (z.B. Feinpartikel bei Diesel)⁴⁵.
- › Erhöhung des Gasfahrzeugbestands auf 30'000 und der Hybrid- und Elektrofahrzeuge auf 20'000 Fahrzeuge sowie der Elektro-Zweiräder auf 30'000 bis ins Jahr 2010.
- › Eco-Drive: Ab 2008 kennen alle Neulenkler die wichtigsten Elemente von Eco-Drive.

Zur Erreichung dieser Ziele stehen zwei Bereiche im Vordergrund:

- › Zum einen die *Technologieförderung* (durch Unterstützung innovativer Forschungs- und Entwicklungsprojekte, mit Schwerpunkt auf der Entwicklung von leichteren Fahrzeugen und von neuartigen Antriebssystemen, beispielsweise für Erdgas- oder Biogasantriebe).
- › Zum andern die *Förderung der Verbreitung energieeffizienter Fahrzeuge*. Wichtigstes Instrument dazu ist die *energieEtikette* für Personenwagen (siehe unten). Weiter unterstützt

⁴⁵ Diese Zielsetzung schliesst an die bereits erwähnte Vereinbarung zwischen dem UVEK und auto-schweiz von 2002 über die Reduktion des spezifischen Treibstoffverbrauchs neuer Personenwagen an. Wie in Kap. 2.4.2 aufgezeigt, liegt das Niveau des Treibstoffverbrauchs neuer Personenwagen in der Schweiz markant höher als in der EU, die Orientierung am EU-Ziel ist entsprechend ambitiös.

EnergieSchweiz die energieeffiziente Fahrweise, einzelne Massnahmen für eine energieeffiziente Mobilität sowie begleitende Informationskampagnen.

4.6.2. PREISLICHE INSTRUMENTE

Hierzu zählen verschiedene Möglichkeiten:

Bonus-Malus-System

vgl. dazu die Ausführungen unter 4.2.

CO₂-Abgabe

Als eine weitere mögliche Massnahme wurde die CO₂-Abgabe auf Brenn- und Treibstoffen erwogen. Gemäss den Arbeiten BUWAL (2003a, 2003b) hätte eine substanzielle CO₂-Abgabe auf Brenn- und Treibstoffen wahrscheinlich zur Erfüllung der Ziele des CO₂-Gesetzes führen sollen. Inzwischen (gemäss Beschlüssen des Parlamentes Ende 2006⁴⁶) soll auf fossilen Brennstoffen eine CO₂-Abgabe in Abhängigkeit der Ziellücke erhoben werden. Bei den Treibstoffen wurde vorerst der Klimarappen eingeführt.

Klimarappen

Mit einem freiwilligen Klimarappen erhält die Wirtschaft die Chance, einen substantiellen Beitrag zur Senkung des CO₂-Ausstosses zu leisten. Seit 1. Oktober 2005 wird die Stiftung Klimarappen durch einen Zuschlag auf Benzin und Dieselöl in Höhe von 1.5 Rp. pro Liter alimentiert. Das CO₂-Reduktionsziel beträgt 9 Mio. Tonnen über den Zeitraum 2008-2012. Die Stiftung (www.stiftungsklimarappen.ch) will dies mit einer Doppelstrategie erreichen: Gut zwei Drittel der Stiftungsmittel von insgesamt 740 Mio. CHF investiert sie im Inland (180 Mio. CHF für ein Investitionsprogramm für die energetische Sanierung von Gebäuden, 190 Mio. CHF für Projekte in den Bereichen Energieeffizienz und erneuerbare Energien). Im Ausland werden CHF 200 Mio. zum Kauf von CO₂-Zertifikaten aus Projekten hoher Qualität eingesetzt. Sollte sich der Klimarappen als nicht genügend wirksam erweisen, wird die Einführung einer CO₂-Abgabe auch auf Treibstoffen erneut thematisiert werden. Eine Überprüfung steht Ende 2007 an.

⁴⁶ Beschluss des NR (22.6.2006) und SR (14.12.06)

Förderung alternativer Treibstoffe

Wie vorgängig ausgeführt, ist diese Massnahme kurz vor der Einführung (Parlamentsbeschlüsse Ende 2006). Demnach sollen (mutmasslich ab 2007/08) Biotreibstoffe völlig von der Mineralölsteuer befreit werden, Erdgas wird um 40 Rp./l Benzinäquivalent. Zusätzlich werden Zusatzbedingungen definiert: Importe sollen nur bis zu einer bestimmten Menge befreit werden, zudem werden Anforderungen an die ökologische Gesamtbilanz gestellt.

Weitere preisliche Massnahmen

Weitere Massnahmen wie namentlich das Road oder Mobility Pricing sind ebenfalls ein denkbare Instrument zur Beeinflussung des Energieverbrauchs. Wir zählen diese Massnahme (oder besser dieses Massnahmen-Set) gleichwohl zu den verkehrlich ausgerichteten Massnahmen, da es einerseits eine ganze Palette der Ausgestaltungsmöglichkeiten von Mobility Pricing gibt (von Flächen-, Zonen-, Strecken-Tarifierung bis zur Variation der Preishöhe bzw. des Bemessungsprinzips – nach Distanzen und/oder Zeitpunkt der Fahrten), andererseits eher verkehrliche Ziele der Lenkung und/oder Finanzierung im Vordergrund stehen. Zudem würde eine Wirkungsabschätzung solcher Ansätze präzisere Modellinstrumente erfordern als sie im vorliegenden Kontext verfügbar waren.

Exkurs Emissionshandel und Verkehr

Das Emissionshandelssystem schafft eine wirtschaftliche Basis, den Ausstoss des klimaschädlichen Gases CO₂ dort zu reduzieren, wo es am kostengünstigsten ist. Dies bedeutet, dass ökologisch wirksames Handeln ökonomisch umgesetzt wird. Die EU hat zur Umsetzung des Kyoto-Protokolls am 1. Januar 2005 den Emissionshandel gestartet. Vorgängig wurden die EU-Mitgliedsstaaten verpflichtet, Nationale Allokationspläne (NAP) zu erstellen. Darin werden den Wirtschaftssektoren und den verschiedenen Verursachern konkrete Minderungsziele zugeordnet. Im konkreten Fall waren es EU-weit rund 12'000 stationäre Anlagen – grosse Feuerungsanlagen (grösser 20 MW) sowie die grösseren Anlagen der energieintensiven Sektoren, welche knapp 50% der gesamten CO₂-Emissionen in der EU ausmachen. Im gleichen Umfang wurden Emissionszertifikate zugeteilt. In diesem Fall wurden die Emissionszertifikate kostenlos zur Verfügung gestellt (nach dem sog. grandfathering-Prinzip⁴⁷). Die Zertifikate sind handelbar und sind somit eine Art Währung. Erreicht ein Unternehmen die Ziele durch eigene kostengünstige CO₂-Minderungsmassnahmen, kann es nicht benötigte

⁴⁷ Diese hätten auch nach alternativen Mustern (z.B. über Auktionen) verteilt werden können.

Zertifikate am Markt verkaufen. Alternativ muss es Zertifikate am Markt zukaufen, wenn eigene Minderungsmaßnahmen teurer würden.

Inzwischen wurde wiederholt Kritik laut, dass ähnlich wirksame Massnahmen in anderen Sektoren – namentlich im Verkehr mit hohen Zuwachsraten – nicht auch zum Einsatz kommen würden. Ende 2006 hat die Europäische Kommission einen Plan vorgelegt, nach dem auch der **Flugverkehr** in das EU-Emissionshandelssystem eingebunden werden soll. Bei diesem System wird analog zum System bei stationären Anlagen eine Gesamtmenge von Treibhausgasemissionen festgelegt, innerhalb derer die Beteiligten, d.h. die Betreiber von Flugzeugen, nach Bedarf Emissionszertifikate kaufen und verkaufen können. Somit wird für Airlines ein stetiger Anreiz geschaffen, ihre Emissionen zu minimieren. Gemäss Richtlinienentwurf sollen ab 2011 alle Flüge innerhalb der EU durch den Emissionshandel erfasst werden. Wenn Fluglinien mehr Emissionen verursachen, als ihnen Zertifikate zugestanden werden, müssten sie Emissionszertifikate zuzukaufen. Ab 2012 sollen dann die Flüge zwischen EU-Staaten und Nicht-EU-Staaten erfasst werden.

Thematisiert wird mittlerweile auch zunehmend die Möglichkeit, den ganzen Verkehrssektor in das Emissionshandelssystem einzubinden, inklusive **Strassenverkehr**. Dabei sind allerdings eine Reihe von Punkten und Ausgestaltungsparameter zu klären:

› Geschlossenes oder offenes System:

Emissionsminderungen können im jeweils reglementierten Sektor selbst (also im Verkehr) erbracht, oder – falls das System gegenüber anderen Sektoren geöffnet wird – es können Zertifikate aus anderen Sektoren zugekauft werden. Gemäss verschiedenen Untersuchungen (z.B. TNO et.al. 2006) werden die Kosten der CO₂-Reduktion im Verkehrsbereich als höher eingestuft als in andern Sektoren. Bei einem offenen System hätte dies zur Folge, dass der Verkehr als Zertifikate-Käufer auftreten würde, die Emissionen würden somit in andern Sektoren abgesenkt und jene des Verkehrs würden unvermindert bleiben. Dies entspricht der strikten ökonomischen Theorie der Optimierung entlang des Kostenwirksamkeits-Pfads. Genau das kann aber zu Kritik Anlass geben, weil diese Sichtweise ignoriert, dass die Potenziale zu Emissionsreduktion im Verkehr durchaus substanziell sind. Die Kosten können sogar negativ sein, d.h. man spart nicht nur CO₂-Emissionen sondern auch Geld, indem z.B. ein etwas kleineres, weniger leistungsstarkes Fahrzeug gekauft würde, oder das Gaspedal etwas vorsichtiger bedient würde etc. Allerdings sind diese Potenziale nur schwer erhältlich und umsetzbar. Diese namhaften Potenziale könnten aber Motivation sein für ein geschlossenes System, der Verkehr (namentlich der Strassenverkehr) müsste dann die Emissionen auch innerhalb seines Sektor realisieren.

› Upstream, midstream oder downstream:

Ein Emissionshandelssystem im Verkehrsbereich kann an verschiedenen Punkten der Energieflusskette ansetzen: „upstream“, d.h. beim Anbieter (Hersteller, Importeur) der Treibstoffe, „midstream“, d.h. beim Fahrzeughersteller (resp. Importeur) oder – im Güterverkehr – bei den Anbietern (Transporteuren), oder „downstream“, d.h. beim einzelnen Verkehrsteilnehmer. Verschiedene Untersuchungen kamen zum Schluss, dass ein „upstream“-Ansatz viele Vorteile hat, namentlich eine geringe Zahl von Akteuren, einfache Umsetzbarkeit und damit geringe Transaktionskosten. (Der Klimarappen ist faktisch ein vergleichbarer upstream-Ansatz).

› Festlegen von Zielen (caps):

Das System verlangt sektorspezifische Ziele. Solche wurden zwar für die Treibstoffe vorgegeben, man müsste hier aber noch klare Abgrenzungen definieren (z.B. Umgang mit Personenverkehr vs. Güterverkehr, Umgang mit dem Offroad-Bereich, mit dem Tanktourismus etc.).

Diese Ausführungen zeigen, dass hier ein preisliches Instrument mit vielfältigen Ausgestaltungsmöglichkeiten existiert. Der schweizerische Klimarappen ist eine Spezialform davon.

4.6.3. VORSCHRIFTEN ZUR ENERGIEEFFIZIENZ

Bisher überwogen, was den spezifischen Treibstoffverbrauch und die CO₂-Emission pro Fzkm betrifft, in Europa und in der Schweiz freiwillige Vereinbarungen. Ein Dilemma besteht darin, dass freiwillige Vereinbarungen an Effektivität einbüßen, falls keine glaubwürdigen Sanktionen existieren. Solche Sanktionen fehlen derzeit. Die Einführung von Vorschriften zur Treibstoffeffizienz kommt zunehmend auf die politische Agenda. Bei den Schadstoffemissionen, also NO_x, HC, CO oder PM, sind Vorschriften schon seit Ende der 70er Jahre etabliert und werden heute klaglos akzeptiert. Bei CO₂-Emissionen ist das bislang nicht der Fall. Gleichwohl: Die Regulierung im Bereich der CO₂-Emission ist eine mögliche künftige Option. Solche Standards zur „fuel economy“ existieren heute beispielsweise in den USA, in Japan, China, Taiwan, Südkorea, die auch mit Sanktionen durchgesetzt werden können (z.B. Bussen in den USA).

Auch die Frage der Ausgestaltung wird sich stellen: Die USA kennen das System einer vereinbarten fuel economy je Hersteller, die EU (und Australien) kennen einen Mittelwert über die ganze Flotte, China orientiert sich am individuellen Verbrauch je Fahrzeug. Überdies wäre die Frage erneut aufzurollen, die sich bereits bei der energieEtikette gestellt hat, nämlich wie ein Standard definiert werden soll, welches Bezugsmaß er besitzen soll, ob

absolut (g CO₂ /km), oder relativ (wie heute bei der energieEtikette mit Bezug auf das Gewicht), oder ob Alternativen allenfalls zweckmässiger sind (z.B. g CO₂/Bezugsfläche des Fahrzeugs, wie es das holländische System kennt). Jedenfalls wird die Wirksamkeit solcher Standards dann erhöht (mit Effekten vor allem auf der Produzenten-Seite), wenn die EU die Einführung von solchen Vorschriften erwägt. Allenfalls wären Schrittmacherdienste möglich.

4.7. UMSETZUNG

Die Konkretisierung und Umsetzung dieser verschiedenen Ansatzpunkte erfolgt je Szenario, aber vom Ansatz her differenziert zwischen den zwei massnahmenorientierten (Szenario I und II) bzw. den zwei zielorientierten (III und IV) Szenarien:

- › Szenario I widerspiegelt die Referenz-Entwicklung. Darin werden die wichtigsten Entwicklungen der letzten Dekade fortgeschrieben im Sinne von „Weiter wie bisher“. An Massnahmen wird unterstellt, was bisher beschlossen wurde.
- › Szenario II setzt auf verstärkte Kooperation zwischen Wirtschaft und Staat, und somit auf freiwillige Massnahmen. Konkret stehen im Verkehrssektor inzwischen eingeführte oder beschlossene Massnahmen im Vordergrund wie der Klimarappen oder die Förderung alternativer Treibstoffe bzw. Massnahmen, die sich derzeit in Diskussion befinden wie Bonus-Malus-System für Neuwagen.

Die Umsetzung der zielorientierten Szenarien erfolgt schrittweise:

- › In Szenario III wird primär auf Effizienz gesetzt, d.h. es wird eruiert, ob bzw. wie weit die Zielvorgaben über einen noch realistischen Effizienzpfad erreicht werden können, ohne dass bereits die Transportleistungen angepasst werden müssen, welche aus der Referenz-Entwicklung (Szenario I) übernommen werden, wo noch mit einer spürbaren Zunahme der Nachfrage gerechnet wird.
- › Erst in Szenario IV, wo die Ziele noch ambitiöser formuliert sind, wird auch bei den übrigen Ansatzpunkten, namentlich dem Umfang der Transportleistungen und dem Modal Split angesetzt.

Diese „Konstruktion“ namentlich der Szenarien III und IV mag artifiziell erscheinen, wenn man in Rechnung stellt, welche Rahmenbedingungen und Instrumente letztlich zur Verfügung stehen, um solche Szenarien in sich konsistent erscheinen zu lassen. Als wichtige Rahmenbedingung wird (in Absprache mit den andern Nachfrage-Sektoren) unterstellt, dass

das Energie-Preisniveau rund doppelt so hoch ist gegenüber dem heute bekannten. In Szenario III wird gleichwohl nicht eine preis-, als vielmehr technikgetriebene Entwicklung abgeleitet, die aber – so die Hypothese – unter heutigen Preisbedingungen nicht erwartbar ist. „Artifizuell“ ist dieses Szenario deshalb, weil – wenn schon preislich erhöhte Bedingungen unterstellt werden – auch die Nachfrage nach Transportaktivitäten sich anders entwickeln würde als unter „business as usual“-Bedingungen. Um die Einflussfaktoren auseinanderzuhalten wird diese zusätzliche Nachfragebeeinflussung für Szenario IV aufgespart (bei gleichem Effizienz-Niveau wie in Szenario III). So betrachtet ist Szenario III lediglich ein Schritt hin zum an sich konsistenteren Szenario IV.

5. SZENARIO I - REFERENZ-ENTWICKLUNG

Im Folgenden wird vorerst die Referenzentwicklung erläutert, welche Annahmen und Überlegungen dazu angestellt wurden sowie die Auswirkungen (Abschnitte 5.1 bis 5.3). Anschliessend werden mehrere Sensitivitätsbetrachtungen angefügt (im Einklang und abgestimmt mit den Sektoren Haushalte, Industrie und Dienstleistungen). Zuerst wird in Abschnitt 5.4 als Exkurs unter dem Titel „Szenario Ib“ ein Referenz-Szenario mit einer CO₂-Abgabe erörtert, so wie es bei der Definition der Szenarien im Jahr 2005 in Diskussion war. Anschliessend werden (Abschnitte 5.5 bis 5.7) drei Sensitivitätsbetrachtungen erläutert, nämlich die Effekte auf den Energiebedarf im Verkehr, falls

- › das Wirtschaftswachstum höher ausfällt als in der Referenzentwicklung unterstellt,
- › die Erdölpreise sich auf einem höheren Niveau bewegen,
- › und das Klima sich spürbar erwärmt.

Aus Konsistenzgründen werden im Verkehr die gleichen Annahmen unterstellt wie in den andern Sektoren – entsprechend den Vorgaben des BFE.

5.1. IDEE DES REFERENZ-SZENARIOS

Szenario I entspricht einer Referenzentwicklung, wie sie in den Verkehrsperspektiven des ARE erarbeitet wurden. In energiepolitischer Hinsicht basiert es im Wesentlichen auf dem Vollzug beschlossener und in Kraft gesetzter Massnahmen gemäss Energiegesetz. Es unterstellt keine weitergehenden Ziel- und Standardanpassungen, namentlich keine CO₂-Abgabe, sondern setzt auf die weitere Verfolgung freiwilliger Massnahmen. Im Weiteren berücksichtigt es einen technischen Fortschritt ohne wesentliche Beschleunigungen oder technische Durchbrüche.

5.2. UMSETZUNG

5.2.1. MENGENENTWICKLUNGEN

Wie einleitend bereits erwähnt, stammen die Eckwerte der Verkehrsprognosen aus den Verkehrsperspektiven des ARE (mit aufgrund jüngster Entwicklungen teilweise angepassten zeitlichen Verläufen) und sind in Figur 25 dargestellt. Die zugrundeliegenden Begründungen sind in den entsprechenden Berichten (ARE 2004a, ARE 2006) im Detail ausgeführt und können wie folgt zusammengefasst werden:

Personenverkehr

Für den **Gesamtpersonenverkehr**, über alle Fahrtzwecke und über alle Verkehrsarten, wird eine Zunahme der Verkehrsleistung um knapp 20% zwischen 2000 und 2035 erwartet. Das Wachstum entspricht einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 0.5% bis 0.6% p.a. Damit wird das Wachstum deutlich langsamer als bisher, da diese Rate bisher bei rund 2% lag. Darin spiegeln sich die gegenüber der Vergangenheit gedämpften Erwartungen an die zukünftige Entwicklung im Personenverkehr wider, vor allem gestützt auf die etwas verhaltener eingeschätzten volkswirtschaftlichen Rahmenbedingungen sowie die nur noch sehr flache und nach 2025 sogar rückläufige Bevölkerungsentwicklung.

Im **Pendlerverkehr** wird – nicht zuletzt aufgrund der sich abschwächenden Erwerbstätigen- und Auszubildendenzahlen – ein nur noch unterdurchschnittliches Wachstum erwartet. Hier können die flexibler werdenden Arbeitswegentwicklungen die Aufkommensrückgänge nicht vollumfänglich kompensieren. Aufgrund der überdurchschnittlichen Bedeutungszunahme anderer Fahrtzwecke verringert sich auch der Anteil des **Einkaufsverkehrs**, er wird mit 0.3% p.a. ebenfalls nur unterdurchschnittlich zunehmen. Die hohe Dominanz des MIV im Einkaufsverkehr wird sich bis 2030 praktisch nicht verändern. Mit 1.0% p.a. wird der **Nutzverkehr** am stärksten von allen Fahrtzwecken wachsen, wobei jedoch zur Interpretation dieser Zahl seine geringe Bedeutung von 6% bis 7% am Gesamtverkehr beachtet werden muss. Hinter dieser Entwicklung steht insbesondere die Bedeutungszunahme des Dienstleistungssektors, wobei von dieser Zunahme der ÖV am besten profitieren kann. Ebenfalls überdurchschnittlich zunehmen wird der **Freizeit- und Tourismusverkehr**, der seinen Anteil an allen Fahrtzwecken weiter steigern kann. An der Zunahme der Freizeitverkehre kann in erster Linie der ÖV partizipieren, vor allem weil die Distanzen der mit dem ÖV zurückgelegten Wege im Freizeitverkehr zunehmen und massgeblich zu dessen überdurchschnittlichem Verkehrsleistungswachstum führen.

Die **modale Betrachtung** der zu erwartenden Personenverkehrsleistungen zeigt insgesamt eine Bedeutungszunahme des ÖV. Er wird im Zeitraum 2005 bis 2035 um rund 35% zunehmen, das entspricht einer jährlichen Wachstumsrate von rund 1%. Mit diesem überdurchschnittlichen Wachstum steigert der ÖV seinen Anteil am Modal Split um 3 Prozentpunkte, von heute 18% auf rund 21% im Zeitraum 2030/35, u.a. aufgrund weiterer Angebotsverbesserungen, stärkerer Engpässe im Strassennetz und einer zunehmend älter werdenden – dennoch mobil bleibenden und gegenüber den vergleichbaren Altersgruppen von heute noch mobiler werdenden – Bevölkerung. Ein Haupttreiber des starken Wachstums im Strassenverkehr der letzten rund 30 Jahre – nämlich die Attraktivitätssteigerung durch den

Bau des Autobahnnetzes – fällt weg, hier geht es zunehmend darum, die Erreichbarkeiten zu wahren und nicht verschlechtern zu lassen. Die Bedeutungszunahme des ÖV ändert jedoch nicht viel an der Dominanz des MIV, wenn man es auf die Durchschnittswerte für die gesamte Schweiz bezieht. Auch künftig werden immer noch mehr als drei Viertel aller Personenverkehrsleistungen auf der Strasse erbracht.

Für die Energieberechnungen relevant sind letztlich die Fahrzeug-km bzw. Zugkm. Die Personenverkehrsperspektiven des ARE äussern sich zum Auslastungsgrad der PW, bei dem ein weiterer leichter Rückgang erwartet wird. In der Folge nehmen die PWkm leicht stärker zu als die Pkm (27% statt 22% im Zeitraum 2035 gegenüber 2000, vgl. Zahlen in Annex 7). Beim Schienenverkehr gehen wir bei einer rund 35%-igen Zunahme der Verkehrsleistung (in Pkm) von einer unterproportionalen Zunahme der Betriebsleistung (von 25%) aus. Das basiert einerseits auf angebotsseitigen Planungen (wie ZEB), welche die noch vorhandene Systemkapazität des Schienennetzes ausnutzen. Andererseits wird mit grösseren Gefässen je Zugseinheit (Doppelstockzügen) gerechnet ebenso wie mit einer flacheren Nachfrageganglinie, welche zu einer besseren Sitzplatzauslastung führt.

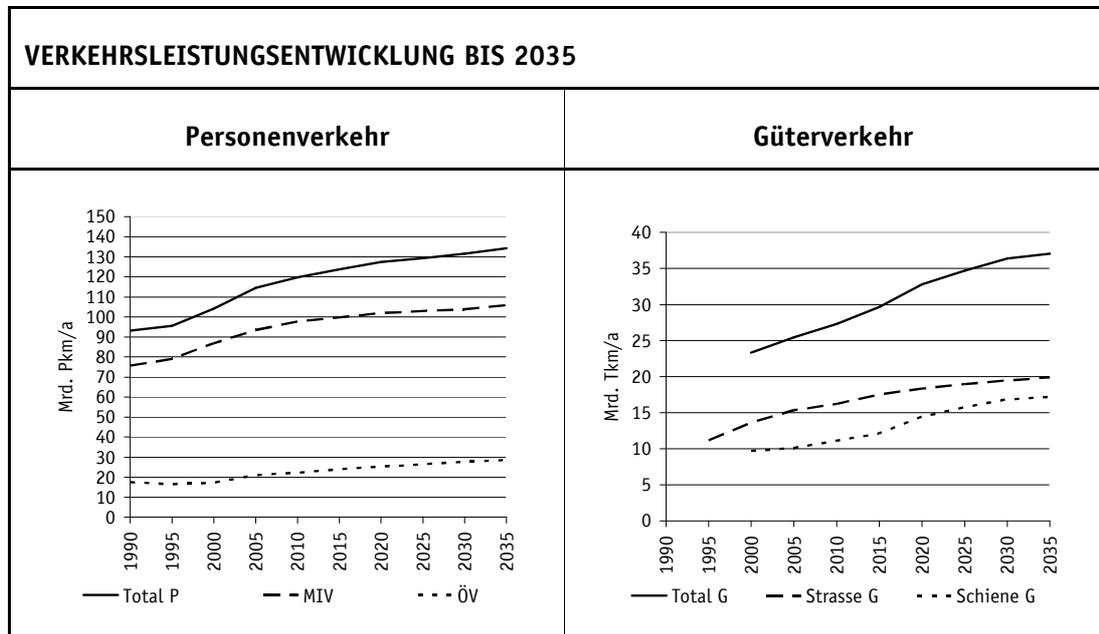
Güterverkehr

Die **gesamtmodale Güterverkehr** wächst deutlich stärker als der Personenverkehr, nämlich rund 45% im Zeitraum 2005/2035. Dieses Wachstum fällt im Binnenverkehr deutlich niedriger aus als in den grenzüberschreitenden Transportrelationen, so dass der Anteil des Binnenverkehrs an allen Verkehrsarten insgesamt von 50% (2002) auf 42% zurückgeht, während die grenzüberschreitenden Verkehre dementsprechend zulegen. Das liegt u.a. daran, dass in den 25 Ländern der EU starke Integrationseffekte ein längerfristiges Wachstum erwarten lassen. Das grösste Wachstum wird im Import/Exportverkehr erwartet, etwas geringer ist jenes im Transitverkehr, dies u.a. weil die bisherigen Handelsströme zwischen dem Norden und Süden der Schweizer Nachbarländer zukünftig in einem gewissen Ausmass durch Ost-West-Handelsströme ersetzt werden. Allerdings sollte die NEAT-Gotthard, mit der ab ca. 2015/17 ein „Flachbahnkorridor“ eingeführt wird, hier einen weiteren Wachstumsschub auslösen.

Der **Modal Split** zwischen Schiene und Strasse wird sich aufgrund der bei den Prognosen getroffenen Annahmen vor allem bei den grenzüberschreitenden Verkehren deutlich zugunsten der Bahn verschieben. Die Schiene hatte 2002 einen Verkehrsleistungsanteil von 22% im Binnenverkehr, von 41% im Importverkehr, von 37% im Exportverkehr und von 66% im Transitverkehr. In 2030/35 wird vor allem der Bahnanteil im grenzüberschreitenden

Verkehr um 5 bis 10 Prozentpunkte zulegen, während der Anteil im Binnenverkehr praktisch konstant bleibt. Insgesamt wird eine Zunahme der Nachfrage auf der Schiene von gegen 70% erwartet, während die Tkm auf der Strasse um 30% zulegen. Diese Modal Split-Entwicklung ist ein Resultat der unterstellten Annahmen zur Infrastruktur- und Verkehrspolitik, die sich vor allem in Zukunft auswirken wird (LSVA, NEAT, aber auch die Verlagerungsbestrebungen auf europäischer Ebene). Sie bedeutet allerdings gegenüber der Vergangenheitsentwicklung in allen Verkehrsarten eine Trendwende.

Wie im Personenverkehr sind auch im Güterverkehr für die Energieberechnungen letztlich die Fahrzeug-km bzw. Zugkm relevant. Im Strassengüterverkehr ist die Situation in dem Sinne speziell, als mit der stufenweisen Ablösung der 28t- durch die 40t-Limite seit 2000 die Fahrleistung (Fzkm) sich spürbar anders entwickelt hat als die Verkehrsleistung (Tkm). Dieser Produktivitätsgewinn dürfte sich nicht im gleichen Umfang wiederholen, so dass die Fzkm-Entwicklung sich wieder der Tkm-Entwicklung angleicht (d.h. Zunahme der Fzkm um 27% im Zeitraum 2035/2005, vgl. Annex 7). Im Schienengüterverkehr soll die markante Zunahme der Nachfrage zu einem Teil über eine Ausweitung des Angebots aufgefangen werden, zu einem andern Teil über Produktivitätssteigerungen (längere und schwerere Züge, höhere Auslastung). Konkret wird eine Zunahme der Zugkm um 26% unterstellt, weil aber gleichzeitig die Züge schwerer werden, nimmt die energie-relevante Kenngrösse (die Btkm) um gut 55% zu.



Figur 25 Erwartete Entwicklung der Verkehrsleistungen bis 2035 auf Schiene und Strasse, im Personen- und Güterverkehr. Diese Zahlen sind weitgehend identisch mit den Verkehrsperspektiven des ARE, berücksichtigen aber den zeitlichen Verlauf der jüngeren Entwicklung. (Zahlen sh. Annex 7).

Offroad Bereich

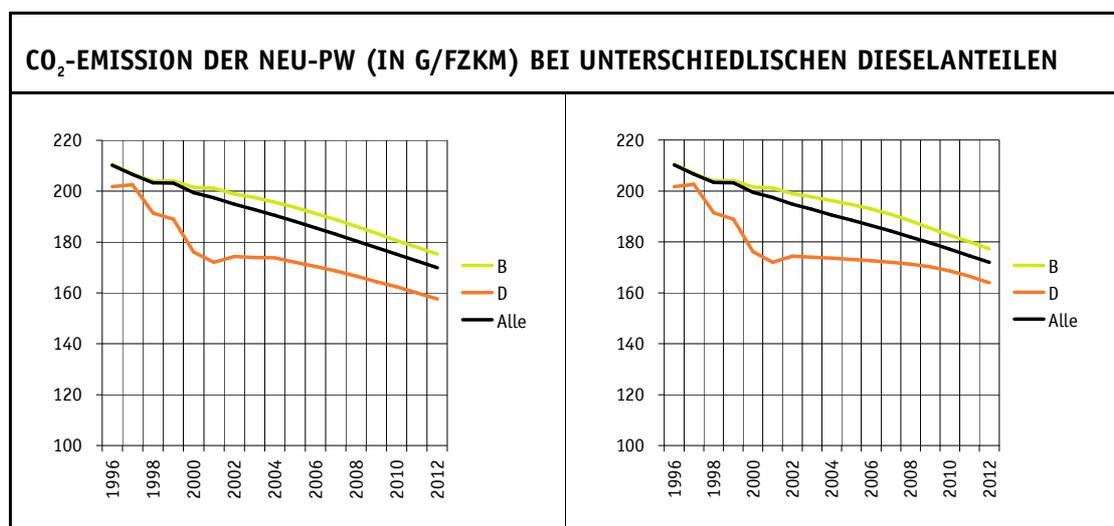
Im Vergleich zum Verkehrsbereich wird der Offroad-Sektor, der allerdings mit weniger als 10% Anteil zu Buche schlägt, als wesentlich weniger dynamisch eingeschätzt. Im Mengengerüst wird sogar ein Rückgang der Gerätebestände wie auch der Betriebsstunden von 8% bzw. 10% erwartet. Allerdings ist auch hier ein Trend zu grösseren und leistungsstärkeren Maschinen zu verzeichnen, so dass insgesamt doch ein Wachstum des Energieverbrauchs von 5% resultiert.

5.2.2. SPEZIFISCHER ENERGIEVERBRAUCH

Strassenverkehr - Personenwagen

Wie in Kap. 2.4.2 ausgeführt, nahm in den letzten knapp 10 Jahren der mittlere spezifische Verbrauch der neuen Personenwagen um rund 1.5%/a ab. In der Referenzentwicklung wird unterstellt, dass dieser gleiche Absenkpfad bis 2012 anhält, dann wird der Pfad bis 2020 – weil dies technologisch tendenziell schwieriger wird – auf 0.75%/a reduziert und anschliessend noch einmal auf 0.375% p.a. halbiert. Diese Annahme in Kombination mit der Erwartung eines bestimmten Dieselanteils determiniert implizit die „technologische Absenkung“. Die nachstehende Darstellung zeigt, dass die Absenkung bei den Dieselfahrzeugen bis 2000 stark technologisch geprägt war (v.a. Einführung der Direkteinspritzung in der zweiten

Hälfte der 90er Jahre), seither aber wurde die technische Innovation durch Komfortelemente (Gewicht, SUV-Anteile) kompensiert (vgl. auch Figur 4). Auch bei den Benzinern ist die technologische Absenkung geringer als der Mittelwert von 1.5%. Die Figur links zeigt, dass bei einer Sättigung von 30% Dieselanteil per 2010 schon jetzt die Absenkung stark technisch erfolgen müsste (bei Benzin- wie bei Diesel-Fahrzeugen). Erhöht man die Sättigung auf 40% (rechts), gibt dies mehr Spielraum. Erst ab ca. 2010 müsste die Absenkung voll „technologisch“ erfolgen. Gleichzeitig wird so die Differenz zwischen Benzin- und Dieselfahrzeugen geringer, da die Effizienz-Potenziale beim Benzin-Fahrzeug höher eingestuft werden als jene bei Diesel-PW. In der Referenz-Entwicklung wird deshalb ein weiterer Anstieg des Dieselanteils bis 40% unterstellt.



Figur 26 Die Figuren zeigen den CO₂-Ausstoss von Neu-PW seit 1996, je für das Diesel- bzw. Benzin-Segment sowie gewichtet (Zahlen 1996 bis 2003 = gemäss auto-schweiz, anschliessend Annahme: Absenkung im Mittel 1.5%/a). Die künftige mittlere Absenkungsrate von 1.5%/a kann unterschiedlich erreicht werden: Je höher der Dieselanteil, desto geringer die nötige „technologischer“ Absenkung. Die Figur links zeigt die Entwicklung bei einer Sättigung des Dieselanteils bei 30%, rechts bei 40%. Letzteres wird für die Referenzentwicklung unterstellt.

Strassenverkehr – Schwere Nutzfahrzeuge

Der spezifische Verbrauch der Lastwagenflotte hängt einerseits von seiner Zusammensetzung, andererseits von der Motoren- und Fahrzeugtechnologie ab. In Folge der Änderung im Fahrzeugpark (Ablösung der 28t- durch die 40t-Limite) hat der mittlere spezifische Verbrauch in den letzten Jahren tendenziell zugenommen (Flottenmittel +3% 2005 gegenüber 2000), das heisst, nur ein Teil der Produktivitätssteigerung (Tkm/Fzkm) schlägt sich auch auf der Energieseite nieder. Für den weiteren Verlauf wird angenommen, dass wie bei

den PW auch bei den LW die Tendenz zu schwereren Fahrzeugen anhält, allein dadurch wird mit einem weiteren Anstieg zu rechnen sein.

Technologisch war die bisherige und ist die unmittelbar bevorstehende Entwicklung der Motoren- und Fahrzeugtechnologie stark geprägt von der Emissionsgesetzgebung. Die bisherigen bzw. beschlossenen Euro-Stufen (bis Euro-5, vgl. Annex 6) verlangen zusätzliche Absenkungen namentlich der Stickoxide und Partikel, weitere Grenzwertverschärfungen (Euro-6 etc.) sind absehbar. Eine Grosszahl von Motorenentwicklern hat sich mittlerweile für die sog. SCR-Technologie entschieden, d.h. eine DeNO_x-Technologie mittels selektiver katalytischer Reduktion (SCR: selective catalytic reduction). Das hat insbesondere bezüglich des Treibstoffverbrauchs Vorteile⁴⁸. Gleichwohl dürften mittelfristig alle technischen Mittel (SCR, Abgasrückführung, Partikelfilter) für die Einhaltung der Grenzwerte nötig werden, was der Reduktion des Treibstoffverbrauchs wiederum Grenzen setzt. Auf diesem Hintergrund wird – trotz erhöhten Anforderungen von Seiten Abgasgesetzgebung – von konstantem Verbrauch ausgegangen. Das heisst, dass technologisch keine Absenkung erwartet wird, die den flottenzusammensetzungsbedingten Mehrverbrauch kompensieren würde. Deshalb wird der mittlere Verbrauch künftig weiter ansteigen, und zwar um + 4.6% für den Zeitraum 2030/35 gegenüber 2005⁴⁹.

Strassenverkehr – übrige Segmente (Busse, Motorräder)

Hier wird praktisch keine technologische Veränderung unterstellt, Veränderungen im mittleren spezifischen Verbrauch sind auf Änderungen im Fahrzeugpark zurückzuführen.

Schieneverkehr

Beim spezifischen Verbrauch im Schienenverkehr kann der bisherige (statistische) Verlauf nicht geradlinig fortgeschrieben werden, einerseits weil das technologische Potenzial immer geringer wird (z.B. weil der Anteil an Rekuperationsmöglichkeiten zunehmend ausgeschöpft ist), andererseits weil angebotsbedingte Mehrverbräuche absehbar sind (höhere Geschwindigkeiten, mehr Tunnelanteile, weniger Fahrzeitreserven). Gleichwohl wird längerfristig eine Reduktion des spezifischen Verbrauchs (in Wh/Btkm) von 10% im Personen- bzw. 6% im Güter-Verkehr (gegenüber 2005) unterstellt.

⁴⁸ Die SCR-Technologie produziert hohe NO_x-Rohemissionen, die dann durch Nachbehandlung um 65-90% reduziert werden, während die Partikelemissionen innermotorisch abgesenkt werden bei gleichzeitiger Optimierung auf tiefen Treibstoffverbrauch.

⁴⁹ Spezifischer Verbrauch (Flottenmittel): 2000: 735 g CO₂/km; 2005: 756 g CO₂/km, 2035: 791 g CO₂/km

Offroad (Baumaschinen, Land-/Forstwirtschaft u.a.)

Die Situation bei den Offroad-Motoren ist ähnlich wie bei den Dieselfahrzeugen, mit dem Unterschied, dass die Emissionsgesetzgebung wesentlich später eingesetzt hat als im Strassenbereich. Technologisch wird deshalb auch hier davon ausgegangen, dass der spezifische Verbrauch „je Schicht“ unverändert ist, d.h. der technologische Effekt besteht darin, trotz erhöhter Abgasanforderungen den Verbrauch nicht ansteigen zu lassen. Dass der mittlere Verbrauch über den ganzen Gerätepark gleichwohl ansteigt, hängt mit dem Trend zu grösseren und leistungsstärkeren Maschinen zusammen.

5.2.3. TANKTOURISMUS

Für die Referenzentwicklung wird unterstellt, dass die Preisrelationen CH/angrenzendes Ausland unverändert bleiben. Zudem wird erwartet, dass die Nachfrage nach Benzin – und damit auch der benzin-seitige Tanktourismus – zurückgeht, da der Vormarsch der Dieselfahrzeuge im In- wie im Ausland ausgeprägt ist. Dadurch geht der benzin-seitige Tanktourismus kontinuierlich zurück – von 11 PJ (2000) auf 6 PJ (ab 2020). Beim Dieseltanktourismus wird keine strukturelle Verschiebung (gegenüber 2000) unterstellt, da die Preisdifferenzen (zumindest zu Deutschland und Italien) nicht mehr ausgeprägt sind, so dass dieser bei rund 7 PJ (in der umgekehrten Richtung) verharrt. Damit halten sich die beiden Effekte mittelfristig (ab ca. 2020) die Waage. Der „Nettoeffekt“ des Tanktourismus, der im Jahr 2000 den Absatz um rund 10 PJ gegenüber dem Verbrauch (nach Territorialprinzip) überhöht, geht somit bis 2020 auf praktisch Null zurück.

5.2.4. ALTERNATIVE TREIBSTOFFE/ANTRIEBE

Wie in Abschnitt 4.5 erläutert, stehen zwei Alternativen im Vordergrund: Biotreibstoffe (v.a. Ethanol) sowie Gas (inkl. Biogas). Beide Varianten spielen derzeit praktisch keine Rolle, sind aber mittelfristig denkbare Alternativen zu den fossilen flüssigen Treibstoffen, namentlich falls der Treibstoffpreis markant ansteigen sollte oder eine finanzielle Förderung erfolgt. Weil diese finanzielle Förderung aber noch nicht beschlossen ist, wird sie dem Referenzszenario I nicht unterstellt, d.h. es wird nicht mit einer signifikanten Verbreitung gerechnet. Konkret werden folgende Annahmen getroffen:

- › Ethanol: Kürzlich wurde eine Pilotanlage bewilligt, welche rund 4 Mio. l Ethanol produzieren soll, welche die Bereitstellung von rund 80 Mio. l „Benzin5“ (Benzin mit 5% Ethanol-Beimischung) ermöglicht. Quantitativ fällt dieser Betrag aber nicht ins Gewicht (<1 Pro-

mille). Solange die Herstellkosten deutlich höher sind als für Benzin oder Diesel, dürfte ohne Subventionierung kaum mit einer namhaften Verbreitung gerechnet werden.

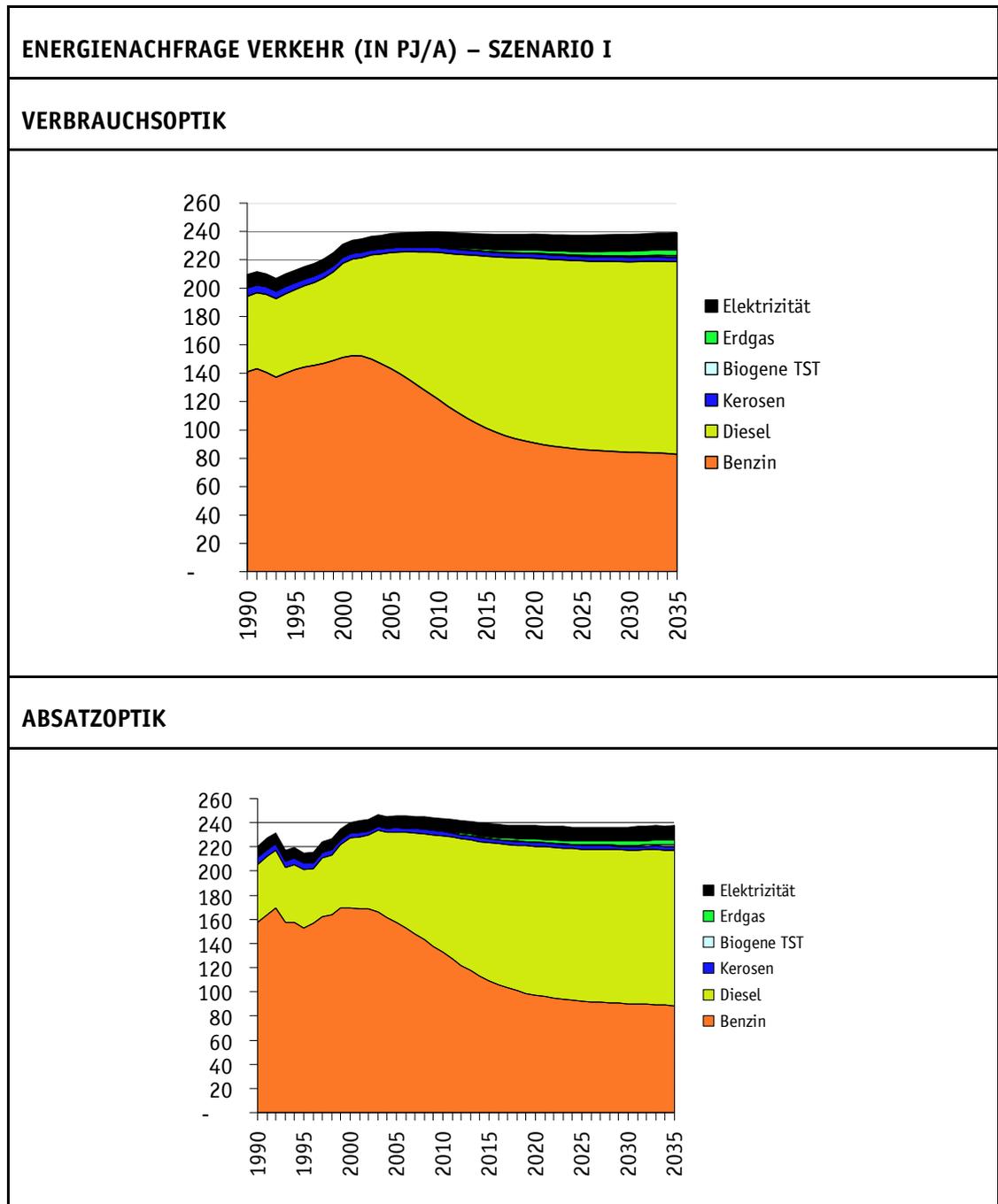
- › Gas: Erdgas kann in unterschiedlicher Form im Verkehr eingesetzt werden: direkt im CNG-Fahrzeug oder auch für die Herstellung von synthetischem Diesel (was dann aber unter Diesel figurieren würde, da wohl als Diesel importiert). Für eine signifikante Verbreitung von Gas sind neben einem konkurrenzfähigen Preis weitere Voraussetzungen zu erfüllen: ein genügendes Angebot an Fahrzeugtypen sowie eine ausreichende Betankungsinfrastruktur. Im Rahmen des Referenzszenarios I unterstellen wir eine zurückhaltende Durchsetzung von Gas, welches direkt durch CNG-Fahrzeuge genutzt würde (3% 2020, 5% 2030). Eine solche Durchdringung hängt nicht von den schweizerischen Gegebenheiten allein ab, sondern auch davon, welche Technologien den Durchbruch auf internationaler Ebene schaffen.

5.3. AUSWIRKUNGEN

5.3.1. ENERGIEVERBRAUCH UND CO₂-EMISSIONEN

Energieverbrauch

Die nachstehenden Figuren zeigen die Entwicklung des Energieverbrauchs des gesamten Sektors Verkehr, unter Einschluss der andern Verkehrsträger, von Offroad sowie des Tanktourismus, einmal unter der Verbrauchs-, dann unter der Absatzoptik. Im Wesentlichen kann man - trotz mengenmässiger Zunahme des Verkehrs - von einer praktisch konstanten Gesamtenergienachfrage ausgehen. Das heisst, die Reduktion des spezifischen Verbrauchs mag in etwa das Nachfragewachstum aufzufangen. Die markanteste Substitution ist jene von Benzin zu Diesel. Dadurch nimmt der Tanktourismus ab. Dieser Nebeneffekt (im Umfang von rund 10 PJ) lässt die Absatzkurve etwas unter der Verbrauchskurve verlaufen. Der Stromverbrauch nimmt um etwa 20% zu, der Anteil bleibt aber mit 12 PJ (von knapp 240 PJ) im einstelligen Prozentpunktbereich (5%). Biotreibstoffe könnten allenfalls schon kurzfristig, Gas mittel/langfristig ein Thema werden. Allerdings liegen die Rahmenbedingungen in diesem Szenario so, dass deren theoretische Potenziale nicht ausgeschöpft werden.

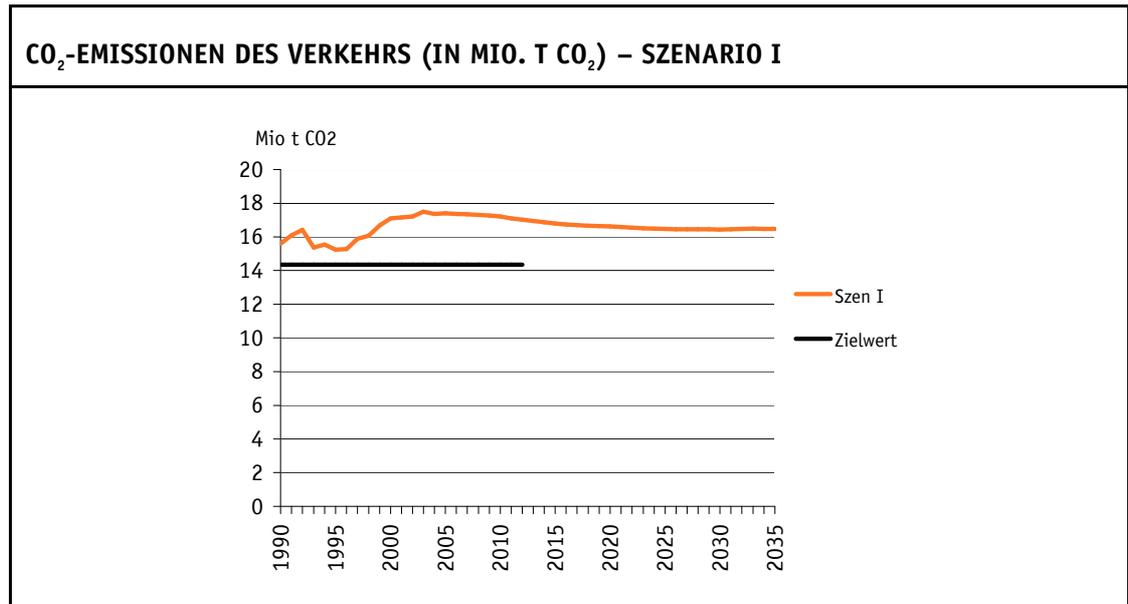


Figur 27 Entwicklung der Energienachfrage des gesamten Sektors Verkehr (einschliesslich Offroad) nach Energiearten (Absatzoptik), Zahlen s. Annex 7.

CO₂-Emissionen

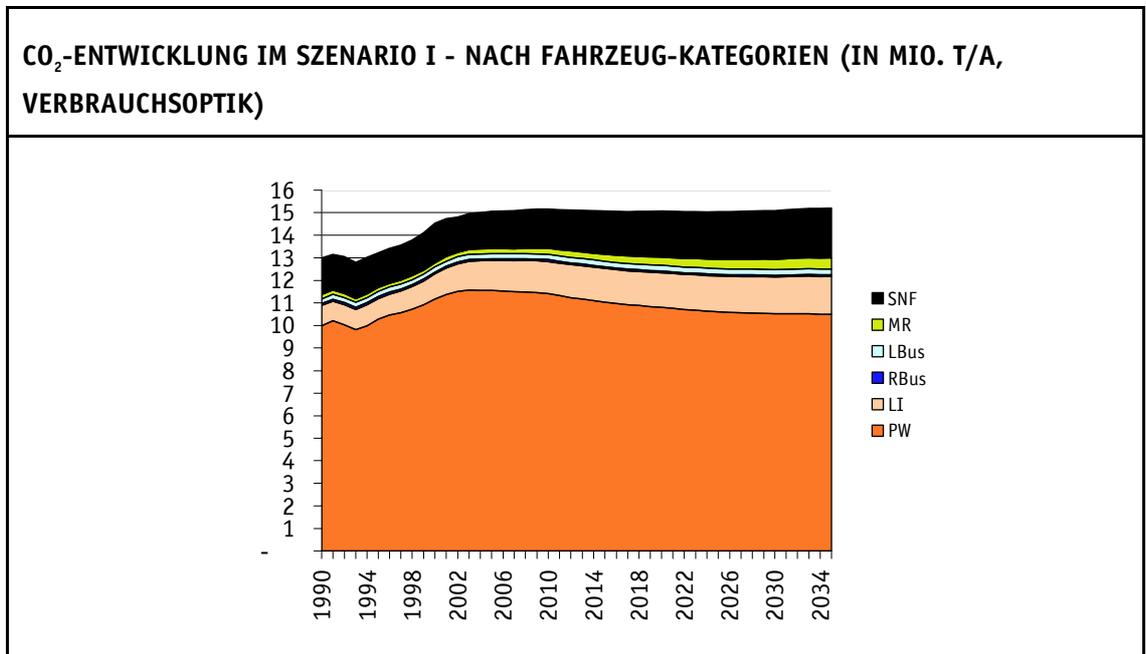
Figur 28 zeigt neben der Entwicklung der CO₂-Emissionen ergänzend auch den Zielwert gemäss Kyoto-Protokoll bzw. CO₂-Gesetz, d.h. eine Reduktion um 8% im Zeitpunkt 2008-2012

gegenüber 1990. Demnach wird dieses Ziel auch längerfristig nicht erreicht, auch wenn durchaus von einer Trendwende gesprochen und die Wachstumskurve gebrochen werden kann.



Figur 28 Entwicklung der CO₂-Emissionen des gesamten Sektors Verkehr (einschliesslich Offroad) und Vergleich mit dem Zielwert bis 2010 (d.h. einer Reduktion um 8% im Zeitpunkt 2008-2012 gegenüber 1990), Zahlen s. Annex 7.

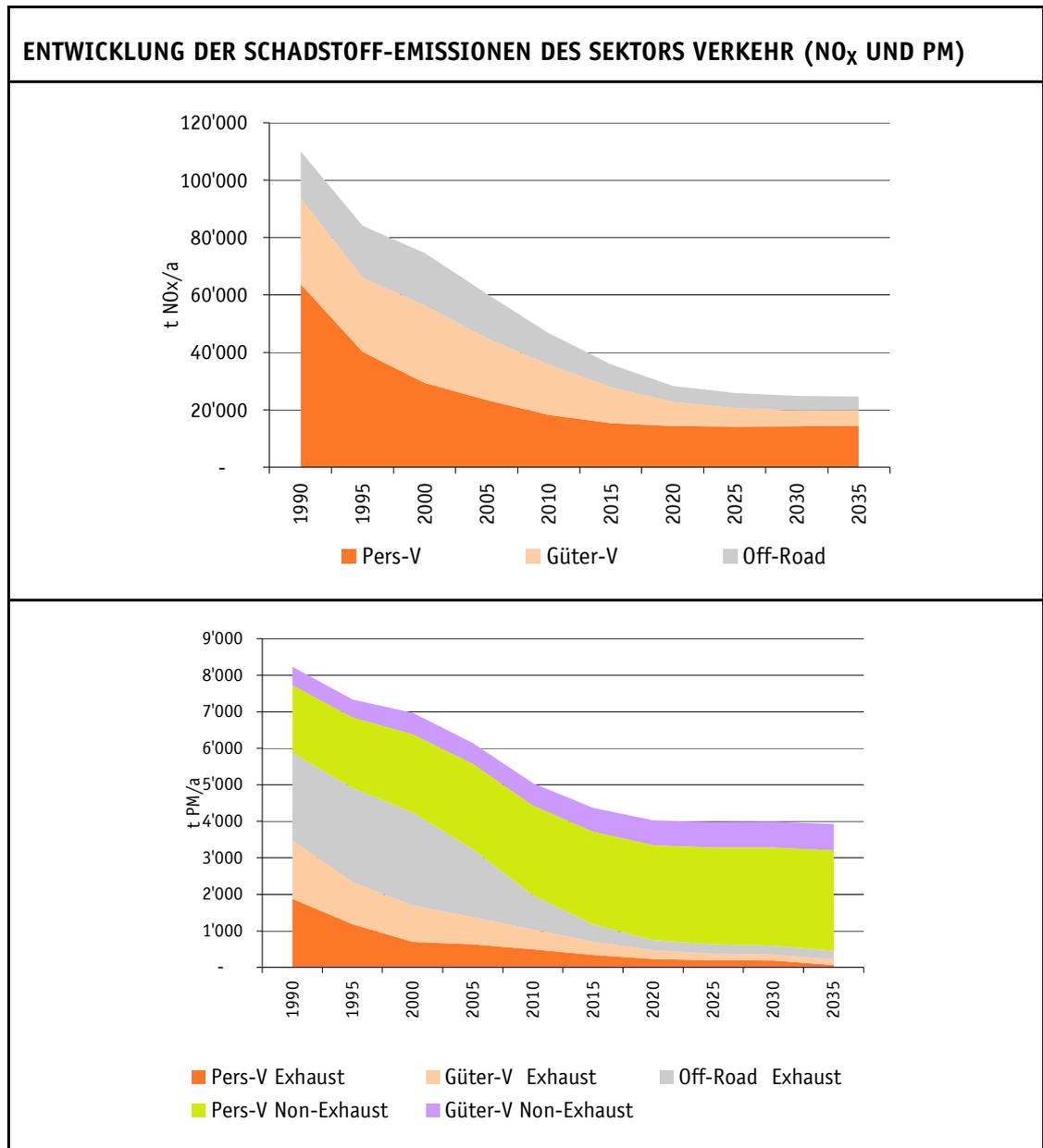
Ergänzend zeigt die nachstehende Figur, wie sich die CO₂-Emissionen des Hauptmittelen, des Strassenverkehrs, auf die verschiedenen Fahrzeugkategorien aufteilen. Darin wird sichtbar, dass der Anteil des Güterverkehrs künftig grösser sein wird, wegen dem Mengenwachstum einerseits, andererseits weil keine namhafte Reduktion des spezifischen Verbrauchs (pro Fzkm) erwartet wird.



Figur 29 Entwicklung der strassenverkehrsbedingten CO₂-Emissionen nach Fahrzeugkategorien (Verbrauchsoptik).

5.3.2. SCHADSTOFF-EMISSIONEN

Die Schadstoff-Emissionen nehmen bis 2020 markant ab, anschliessend bleiben sie auf tiefem Niveau konstant, weil keine weiteren Absenkungsstufen unterstellt wurden. Bei den Partikeln machen heute die Abgas-Emissionen noch mehr als die Hälfte der emittierten PM-Masse aus. Dieser Anteil wird bis 2020 auf unter 20% zurückgehen, weil bei den Non-Exhaust-Emissionen (Abrieb etc.) keine Absenkung unterstellt wurde.



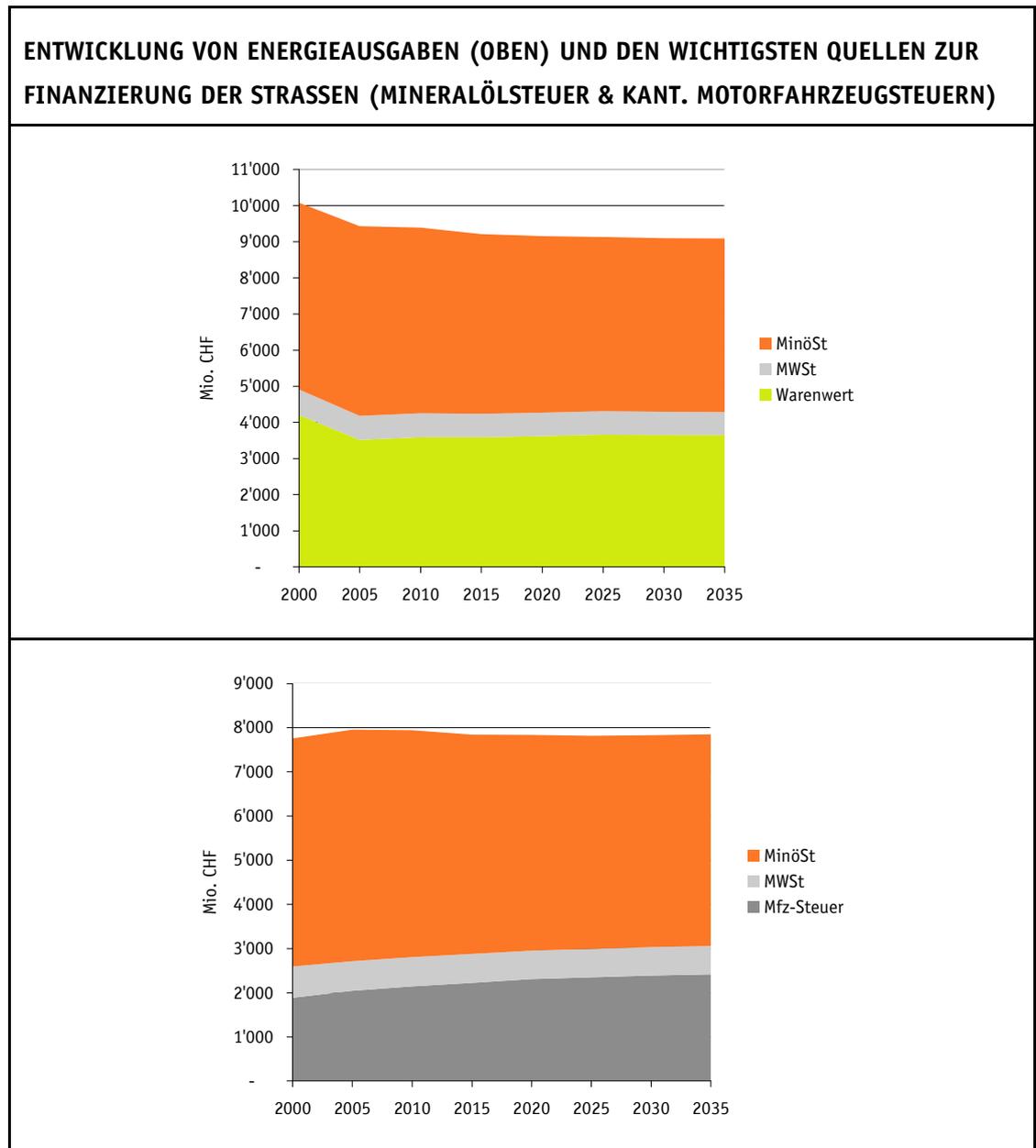
Figur 30

5.3.3. FINANZIELLE AUSWIRKUNGEN

Strassenverkehr

Figur 31 zeigt die Energieausgaben aus Nutzersicht. In der Referenzentwicklung geht der Absatz marginal zurück, weil der Effizienzgewinn gegenüber dem Mengenwachstum leicht überwiegt. Weil die Treibstoffpreise – Rohöl wie Mineralölsteuern und MWSt – als konstant unterstellt sind, gehen auch die Ausgaben für die Energie leicht zurück. Damit sinken auch

die Mineralölsteuern, allerdings nur geringfügig. Demgegenüber gehen die kantonalen Steuern und Gebühren leicht nach oben, weil sich der Fahrzeugpark weiter vergrössert. Insgesamt bleiben die Erträge somit etwa konstant – immer unter der Annahme gleicher spezifischer Abgabesätze wie heute. Weil von einer weiter vergrösserten Infrastruktur ausgegangen wird, verbleibt wohl eine Finanzierungslücke, weil der Aufwand mutmasslich wächst,



Figur 31

die verfügbaren Mittel aber etwa auf dem heutigen Niveau verbleiben. Diese Finanzierungslücke wird auf die eine oder andere Art geschlossen werden müssen. Die Ausgaben für die Fahrzeuge dürften sich etwa im Umfang der Bestandeszunahme entwickeln, interessieren aber per se an dieser Stelle weniger. Diese sind vor allem im Kontext von technologiebedingten Mehrkosten als Folge von erhöhter Effizienz von Belang, d.h. vor allem in Szenario III und IV in Relation zur Referenzentwicklung.

Schienenverkehr

Zur Entwicklung der finanziellen Situation im ÖV können an dieser Stelle keine grundlegenden Zahlen angegeben werden, da sie thematisch anders gelagert sind. Analog zu den Ausgaben für die Fahrzeuge kann für die Referenzentwicklung lediglich eine pauschale Aussage gemacht werden im Sinne, dass die heutigen Finanzierungsstrukturen davon ausgehen, dass die durch die zusätzlichen Infrastrukturen möglichen Angebote wie ZEB, NEAT u.a. wohl zusätzliche Betriebskosten generieren, diese aber über die Verkehrserträge sollten gedeckt werden können. Hingegen verbleiben ungedeckte Kapitalkosten dieser erweiterten Infrastrukturen. Überschlagsmässig am Beispiel von ZEB dürfte es sich bei einer Gesamtinvestition von 5 Mrd. CHF um Beträge in der Grössenordnung von 100 bis 150 Mio. CHF pro Jahr (Annuitäten) handeln⁵⁰.

5.4. EXKURS SZENARIO Ib (REFERENZ MIT CO₂-ABGABE)

5.4.1. IDEE

Szenario Ib versteht sich – wie Szenario I – ebenfalls als „Referenz-Szenario“, enthält aber eine CO₂-Abgabe, um bis 2010 möglichst die Ziellücke zu schliessen. Nach 2010 ist kein weiterer Absenkpfad vorgesehen. Auch wenn die CO₂-Abgabe ein Haupt-Charakteristikum dieses Szenarios ist, kommen vor deren Einführung noch andere („weichere“) Massnahmen zum Zug, die folglich ebenfalls Teil dieses Szenarios sind. Dieses Szenario hat hier illustrativen Charakter, weil es eine gestufte Einführung einer CO₂-Abgabe im Umfang von total 30 Rp./l Treibstoff vorsieht, und zwar eine erste Stufe im Jahr 2006 mit 15 Rp./l, und eine zweite Stufe im Jahr 2008. In dieser Form zeigt dieser Exkurs theoretisch das Potenzial auf, was eine derart ausgestaltete Einführung hätte bewirken können.

⁵⁰ Grobschätzung mit folgenden Annahmen: Gesamtkosten ca. 5.0 Mrd. CHF; 40 Jahre Nutzungsdauer; Diskontsatz von 2%;

5.4.2. UMSETZUNG

Annahmen

Szenario Ib ist geprägt durch die CO₂-Abgabe. Ergänzend bzw. parallel zur Abgabe werden zusätzlich ein Bonus-Malus-System für neue Personenwagen sowie eine Steuerbefreiung bzw. -reduktion für alternative Treibstoffe unterstellt. Konkret werden folgende Annahmen unterstellt:

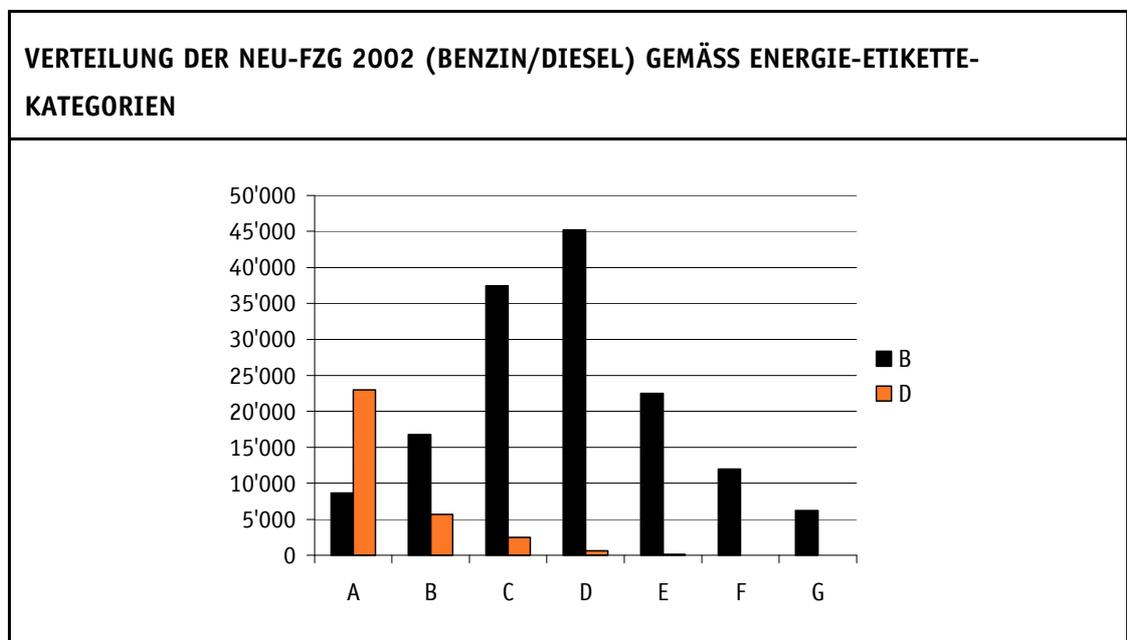
- › **CO₂-Abgabe:** Die Abgabehöhe wie auch die Wirkungsabschätzungen orientieren sich an den Untersuchungen aus dem Jahr 2003 (BUWAL 2003a und 2003b). D.h. es wird mit einer Abgabe von 30 Rp./l gerechnet, die in zwei Stufen von je 15 Rp./l Treibstoff eingeführt wird (2006, 2008) und die nach 2010 nominal gleich bleibt.
- › **Bonus-Malus-System** für neue Personenwagen: Das hier unterstellte System orientiert sich an einem Vorschlag, wie er in Abschnitt 4.2 skizziert ist. Dieser sieht vor, dass energieeffiziente Fahrzeuge (Klassen A/B der energieEtikette) einen Bonus erhalten (gemäss derzeitigen Vorstellungen für eine A-Kategorie ca. 2000 bis 2500 CHF), die übrigen Fahrzeuge werden faktisch mit einem Malus belastet, weil eine erhöhte Automobilsteuer auf Bundesebene erhoben wird. Das System gilt für Neuwagen. Es soll aufkommensneutral sein.
- › **Fiskalische Förderung alternativer Treibstoffe**, d.h. von Erd- und Flüssiggas sowie Biogas und anderen Treibstoffen aus erneuerbaren Rohstoffen: Die im Vernehmlassungsbericht der Bundesverwaltung (EFD 2004) unterstellten Annahmen und Erwartungen werden für Szenario Ib im Grundsatz übernommen (Angaben bis 2010) und für die Zukunft fortgeschrieben.

Konkretisierung

- › **CO₂-Abgabe:** Bei der Ermittlung der Auswirkungen wird unterschieden zwischen einem Lenkungseffekt, der über Elastizitäten abgeschätzt wird, und den Auswirkungen auf den Tanktourismus. Für die Quantifizierung des Lenkungseffekts wird differenziert zwischen Personen- und Güterverkehr. Zur Anwendung kommen die gleichen Elastizitätswerte, welche bereits in den BUWAL-Berichten zur CO₂-Abgabe und zum Klimarappen (BUWAL 2003a, 2003b) verwendet wurden. Im Vergleich zur internationalen Literatur über Elastizitäten handelt es sich um eher moderate Werte (Personenverkehr: längerfristig -0.3, Güterverkehr und Offroad-Bereich -0.16). Das bedeutet beispielsweise im Personenverkehr, dass bei einer 10%-igen Preiserhöhung die Treibstoffnachfrage um 3% zurückgeht. Der Tanktourismus wirkt sich kaum auf den Verbrauch, hingegen auf den Absatz aus, was

gemäss CO₂-Gesetz sowie internationalen Konventionen die massgebende Messgrösse ist. Für die Wirkungsabschätzung wird wiederum der gleiche gedankliche Ansatz verwendet wie in BUWAL 2003: Der heutige Tanktourismus wird unter Beachtung der Grenzüberschritte sowie der länderspezifischen Preisdifferenzen in Teilmengen aufgeteilt. Anschliessend werden Verhaltenshypothesen formuliert (getrennt nach CH bzw. ausländischen KonsumentInnen) und dann je Segment die Effekte der Preisveränderung abgeschätzt.

- › **Bonus-Malus-System** für neue Personenwagen: Von diesem System erwartet man sich einen grösseren Anteil effizienterer Fahrzeuge, dadurch eine schnellere Absenkung des spezifischen Verbrauchs der Neuwagen und somit einen Beitrag zur Zielvereinbarung auto-schweiz/UVEK. Konkret wird eine Reduktion des spezifischen Verbrauchs um total 2.5%/a (statt der trendmässigen 1.5%/a) unterstellt. Dies erfolgt zum einen über eine verstärkte Verlagerung zu Dieselfahrzeugen (Annahme: Sättigung bei 50% statt 40%), weil der Grossteil der Diesel-PW heute zu den effizienten Klassen (A/B) gehören (vgl. nachstehende Figur). Eine Zusatzbedingung (Ausstattung mit Partikel-Filter) wäre bislang allenfalls noch ein hemmender Faktor gewesen, mittlerweile bedeutet dies keine gravierende Einschränkung mehr, da Partikelfilter mittlerweile bald zur Standardausrüstung gehören.



Figur 32 Die Diesel-Fahrzeuge fallen vor allem in die A/B-Klasse (Auswertung INFRAS).

Zusätzlich wird auch eine Verlagerung zu effizienteren Fahrzeugen innerhalb der Benzin- bzw. Diesel-Segmente erwartet, so dass im Mittel eine Absenkung um 2.5%/a erreicht

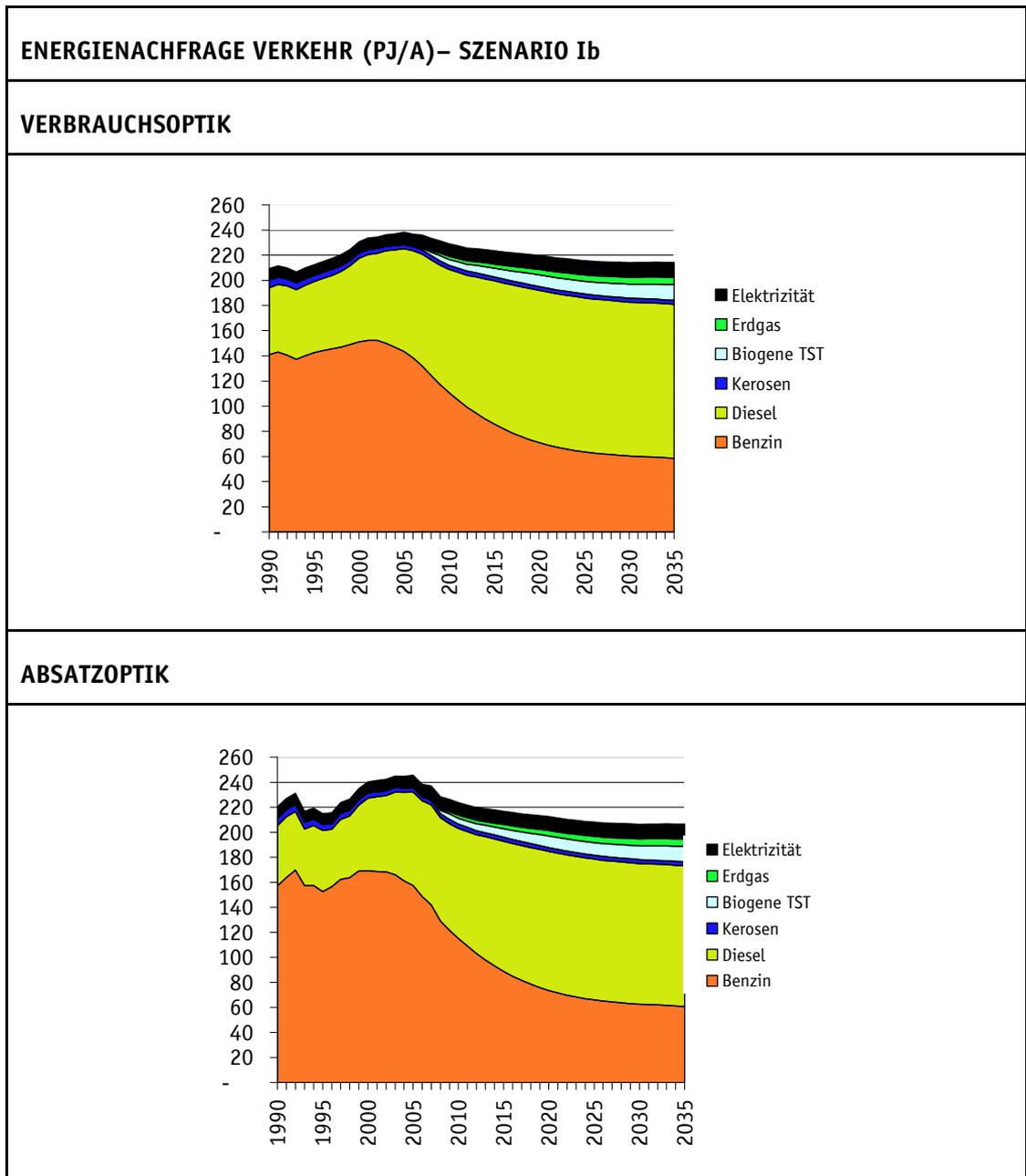
wird. Allerdings wird der Effekt mit der Zeit abnehmen. Man wird sich somit auf einen tieferen Verbrauchspfad hinzubewegen, der sich längerfristig parallel zur Referenz, aber auf tieferem Niveau entwickelt.

- › Die **Fiskalische Förderung alternativer Treibstoffe** wird konkret wie folgt berücksichtigt:
 - › *Ethanol*: Annahme eines Anteils von 3% Ethanol bis 2010 und 5.75% bis 2020 im Benzin; zwei Drittel des Ethanols werden über Importe gedeckt.
 - › *Erdgas/Biogas*: Annahmen gemäss Vernehmlassungsvorlage (EFD 2004), d.h. Anteil von rund 30'000 Erdgasfahrzeugen im Jahr 2010 (gemäss Vernehmlassungsvorlage, Kap. 3.4); anschliessend zunehmend über die ganze Zeitreihe bis 2035, d.h. Verdreifachung bis 2020 gegenüber 2010 und dann abflachendes Wachstum bis 2035 (Faktor 4.5 gegenüber 2010). Annahme eines Anteils von 10% Biogas am Gesamtgaseinsatz.

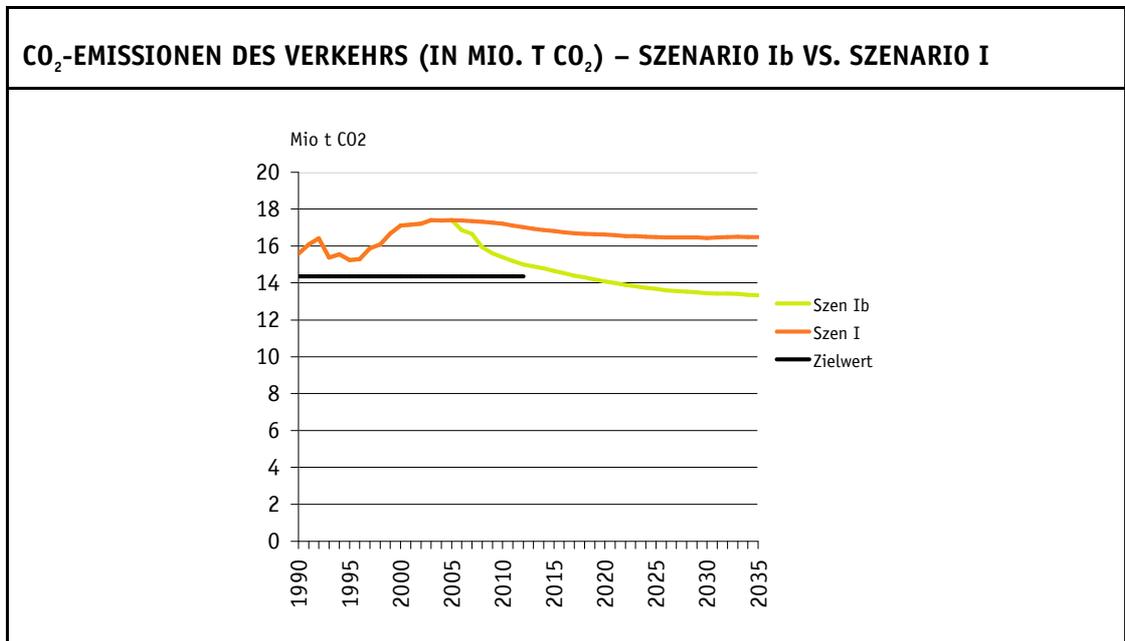
5.4.3. AUSWIRKUNGEN

Übersicht

Die nachstehenden Figuren zeigen – analog zum Referenz-Szenario – die Auswirkungen nach Verbrauchs- bzw. Absatzoptik. Die entsprechenden Zahlen finden sich in Annex 7A. Weil Biogas und –ethanol ganz oder teilweise CO₂-frei sind, differiert die Darstellung der CO₂-Emissionsentwicklung leicht von der PJ-Darstellung. Figur 34 zeigt die CO₂-Entwicklung von Szenario Ib gegenüber dem Referenz-Szenario I. Demnach wird das CO₂-Ziel 2010 noch nicht erreicht, das wird erst nach 2015 der Fall sein. Der Stromverbrauch nimmt etwas stärker zu als in Szenario I (12.4 PJ statt 11.8 PJ), der Anteil der alternativen Energieträger steigt von 5.3 PJ auf 18.4 PJ.



Figur 33 Entwicklung der Energienachfrage Verkehr nach Energiearten (Absatzoptik) in Szenario Ib. (Zahlen in Annex 7A).



Figur 34 Entwicklung der CO₂-Emissionen Verkehr in Szenario Ib im Vergleich zur Referenz-Entwicklung sowie Vergleich mit dem Zielwert 2010 gemäss CO₂-Gesetz (-8% gegenüber 1990), Zahlen in Annex 7 und 7A.

Die Wirkungen im Einzelnen

Die nachstehende Tabelle zeigt auf, welche Beiträge die verschiedenen Massnahmen zur Reduktion der CO₂-Emissionen beisteuern. Dies ist eine theoretische Darstellung und resultiert aus dem Vergleich von Szenario I und Ib. Demnach nimmt der Lenkungseffekt durch die CO₂-Abgabe wie auch der Tanktourismus tendenziell ab, während Bonus-Malus und alternative Treibstoffe mittelfristig an Bedeutung zunehmen.

BEITRÄGE DER MASSNAHMEN ZUR CO₂-REDUKTION			
Massnahme	2010	2015	2020
Lenkungseffekt / CO ₂ -Abgabe	41%	40%	33%
Bonus Malus	1%	10%	20%
Ethanol / Gas	20%	24%	27%
Tanktourismus	38%	26%	20%
Total in %	100%	100%	100%
Total in Mio. t CO₂ (gegenüber Szenario I)	-1.82	-2.16	-2.54

Tabelle 8 Zusammenstellung der Massnahmenwirkungen.

5.5. SENSITIVITÄT „BIP HOCH“

5.5.1. IDEE

In dieser Betrachtung wird ein höheres Wirtschaftswachstum unterstellt als im vorstehend diskutierten Szenario I. Konkret wird von einem um 0.5% höheren jährlichen Wachstum ausgegangen (im Vergleich zu durchschnittlich 1%/a in Szenario I).

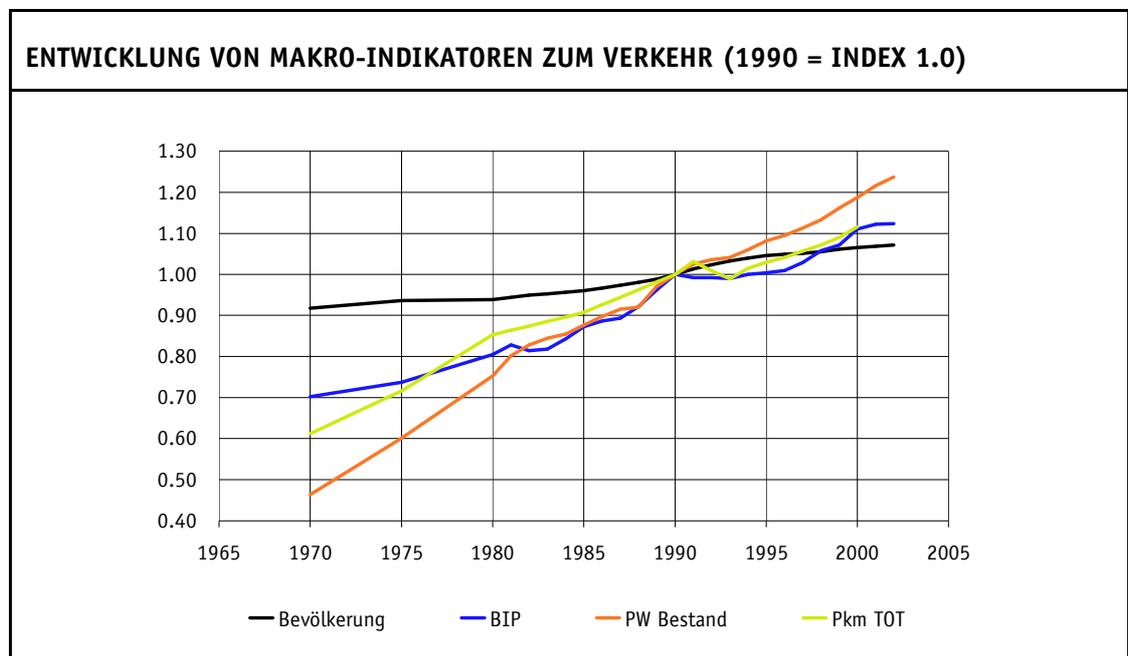
5.5.2. UMSETZUNG

Um die Effekte auf die Verkehrsnachfrage abzuschätzen, wird auf die Verkehrsperspektiven des ARE Bezug genommen (vgl. Kap. 3.4). In beiden Untersuchungen wurden auch Szenarien durchgerechnet, welche vergleichbar höhere Wachstumsraten unterstellen. Dort wurden allerdings noch zusätzliche szenario-spezifische Annahmen getroffen, so dass jene Mengengerüste – zumindest im Personenverkehr – nicht eins zu eins übernommen werden können, auch wenn das höhere Wirtschaftswachstum in beiden Fällen ein essenzieller Treiber ist.

Im Fall des **Güterverkehrs** hingegen wird auf das sog. Szenario 1 („Bahndynamik und Alpenschutz“) der Güterverkehrsperspektiven Bezug genommen. Dieses Szenario rechnet damit, dass ein grösseres Güterverkehrswachstum den Druck auf Strasse *und* Bahn erhöht und somit auch in Europa die Verlagerungspolitik intensiviert wird. Konkret wird in diesem Szenario ein Wachstum auf der Strasse (in Tkm) von +56% gegenüber +35% im Basisszenario (2030 gegenüber 2002) erwartet, das dem hier diskutierten Szenario I äquivalent ist. Die übrigen energie-bezogenen Annahmen (namentlich gewichtsmässige Zusammensetzung der Fahrzeugflotte, Auslastungsgrade, spezifische Energieverbrauchsfaktoren) werden unverändert belassen, so dass sich der Haupteffekt aus dem erwähnten erhöhten Mengenwachstum ergibt. Auch im Schienenverkehr erwartet dieses Szenario ein entsprechend höheres Wachstum, nämlich um 90% statt um 70% (2030 gegenüber 2002).

In den **Personenverkehrsperspektiven** wurde ebenfalls ein Szenario mit entsprechend erhöhtem Wirtschaftswachstum erarbeitet. Allerdings sind die dort zusätzlich getroffenen Annahmen namentlich bezüglich Raumstruktur von grösserem Einfluss, so dass die daraus abgeleiteten Verkehrsnachfrage-Differenzen nicht direkt übernommen werden können. Ein Blick auf den Verlauf von Makroindikatoren in der Vergangenheit zeigt, dass ein enger Zusammenhang zwischen Verkehrsnachfrage und BIP-Entwicklung besteht (vgl. nachstehende Figur). Das gilt namentlich für die Verkehrsleistung (Pkm), die sich weitgehend parallel zum BIP entwickelt hat, während der PW-Bestand noch höhere Wachstumsraten aufwies. Das kann allerdings nicht unbesehen in die Zukunft extrapoliert werden, da eine Reihe von Faktoren es nahe legen, mit Sättigungserscheinungen zu rechnen (z.B. mittlerweile bereits

hoher Ausstattungsgrad mit Fahrzeugen [„Vollmotorisierung“], Kapazitätsengpässe auf den Strassen, Verhaltensadaptation). Deshalb interpretieren wir den Effekt eines erhöhten BIP-Wachstums und damit eines erhöhten persönlich verfügbaren Einkommens über Einkommenselastizitäten. Wir gehen dazu von einem Wert von 0.4 aus. Daraus leitet sich wie im Güterverkehr eine entsprechend höhere Nachfrage ab, für das Jahr 2030 resultiert ein um rund 10% höheres Verkehrswachstum. Dahinter verbirgt sich eine modal anders gelagerte Struktur: einerseits erwarten wir bei einem noch höheren Wachstum auf der Strasse markantere Engpässe als in der Referenzvariante, was nachfragedämpfend wirkt. Andererseits sehen wir einkommensbedingt höhere Wachstumsraten vor allem im Freizeit/Tourismus-Verkehr, wo längere Distanzen dominieren und die Bahn komparative Vorteile hat. Entsprechend sind im ÖV höhere Wachstumsraten als auf der Strasse zu erwarten (konkrete Annahmen: rund 8% zusätzliches Wachstum auf der Strasse, rund 20% höheres Wachstum bei der Schiene – allerdings von einem tieferen Niveau aus). Analog zum Güterverkehr verändern wir die übrigen energie-relevanten Annahmen (wie Fahrzeugmix, spezifische Energieverbrauchs-faktoren) nicht.



Figur 35 Indexierte Entwicklung von BIP, Bevölkerung, PW-Bestand und Personenverkehrsleistung Makro

5.5.3. AUSWIRKUNGEN

Figur 36 zeigt das entsprechende Ergebnis anhand der CO₂-Emissionen im Vergleich zu Szenario I – zusammen der nachstehend diskutierten Sensitivität „Erdölpreis hoch“. Die ent-

sprechenden Zahlen finden sich in Annex 7B. Die Darstellung zeigt, dass das CO₂-Emissionsniveau dieser Variante spürbar über das Niveau von Szenario I zu liegen kommt. Entsprechend grösser wird die CO₂-Ziellücke. Der Stromverbrauch nimmt noch etwas stärker zu als in Szenario Ib (13.3 PJ statt 12.4 PJ in Szenario Ib bzw. 11.8 in Szenario I), der Anteil der alternativen Energieträger bleibt im Bereich von 5 bis 6 PJ wie in der Referenzentwicklung, weil keine besonderen Anreize zu deren Nutzung bestehen.

5.6. SENSITIVITÄT „ERDÖLPREIS HOCH“

5.6.1. IDEE

Die zweite Sensitivitätsbetrachtung unterstellt einen höheren Erdölpreis. Entsprechend den Vorgaben wird an Stelle der 30\$/barrel gemäss Trend von einem Preisniveau von 50\$/bbl ausgegangen.

5.6.2. UMSETZUNG

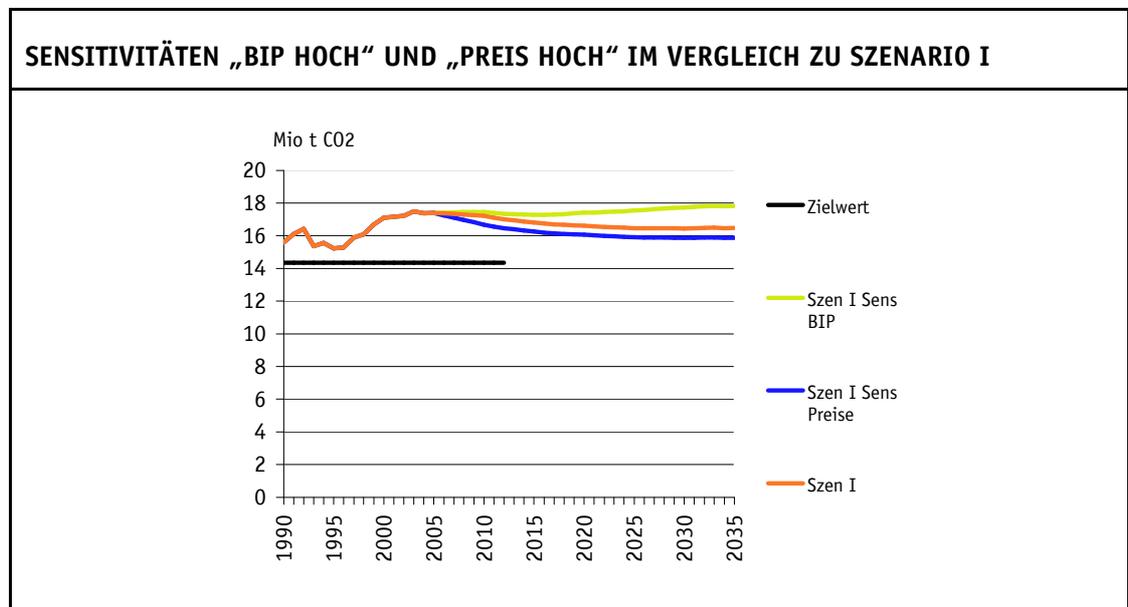
Eine solche Preisentwicklung bedeutet für den Verkehrssektor nicht eine vergleichbare (prozentuale) Preiserhöhung der Energie, da ein namhafter Teil – rund 55% bis 60% – des Tankstellenpreises auf fiskalische Abgaben entfällt, wie Tabelle 6 in Abschnitt 2.6.2 zeigt. Entsprechend wirkt sich eine Preiserhöhung des Rohölpreises unterproportional auf den Treibstoffpreis aus. Auf den Literpreis umgerechnet bedeutet die 50\$/bbl- Annahme eine Erhöhung um rund 17 -19 Rp./l beim Benzin bzw. 18-20 Rp./l beim Diesel (vgl. Tabelle 7 in Abschnitt 3.1). Im Vergleich zur CO₂-Abgabe, welche in Szenario Ib mit 30 Rp./l veranschlagt wird (vgl. Abschnitt 5.4), handelt es sich demnach um eine geringere Erhöhung (rund 60% der CO₂-Abgabe).

Die Abschätzung des Nachfrageeffektes erfolgt analog zur CO₂-Abgabe, d.h. mit Preiselastizitäten. Wir unterstellen hier die gleichen Werte wie bei der CO₂-Abgabe, obwohl man bei marktbedingten, „schleichenden“ Preisänderungen tendenziell von etwas tieferen Elastizitätswerten ausgehen könnte im Vergleich zu gezielten, klar terminierten und entsprechend kommunizierten Preisaufschlägen (z.B. fiskalischen Erhöhungen). Für den Personenverkehr wird ein Wert von -0.3 und für den Güterverkehr ein Wert von -0.16 eingesetzt. Der Haupteffekt davon wird sich einerseits in einem Effizienzgewinn (sparsamere Fahrzeuge und Fahrverhalten), andererseits in einer leichten Reduktion der Verkehrsnachfrage niederschlagen. Im Unterschied zur CO₂-Abgabe sind hier aber keine Zusatzeffekte wie etwa Änderungen im Tanktourismus zu erwarten, da diese Preiserhöhung international unterstellt

wird, also ohne Auswirkungen auf die Preisverhältnisse zwischen der Schweiz und den angrenzenden Ländern bleiben wird. Auch sind keine weiteren Massnahmen wie etwa die Einführung eines Bonus-Malus-System bei Neufahrzeugen oder die fiskalische Förderung alternativer Treibstoffe vorgesehen. Entsprechend fällt die Wirkung vergleichsweise gering aus.

5.6.3. AUSWIRKUNGEN

Die nachstehende Figur zeigt gleichzeitig den Effekt der beiden Sensitivitätsbetrachtungen „BIP hoch“ und „Erdölpreis hoch“ im Vergleich zur Referenzentwicklung (Szenario I). Die entsprechenden Zahlen finden sich in Annex 7B bzw. 7C. Die „Distanz“ zum Zielwert gemäss Kyoto-Protokoll bzw. CO₂-Gesetz bleibt auch unter „Hochpreis-Bedingungen“ markant. Andererseits wird die Ziellücke bei einem höheren BIP spürbar grösser. Der Stromverbrauch liegt bei höherem Erdölpreis nur marginal über der Referenzentwicklung (12.1 PJ vs. 11.8 PJ), demgegenüber ist er bei höherem BIP doch spürbar höher (13.3 PJ). Der Anteil der alternativen Energieträger bleibt auch bei der Preis-Sensitivität im Bereich von 5 bis 6 PJ wie in der Referenzentwicklung, weil davon ausgegangen wird, dass diese Differenz die höheren Produktionskosten noch nicht wettmachen.



Figur 36 Vergleich der Nachfragewirkung der beiden Sensitivitäten „BIP hoch“ und „Preis hoch“ im Vergleich zu Szenario I (Zahlen in Annex 7, 7B und 7C).

5.7. SENSITIVITÄT „KLIMA“

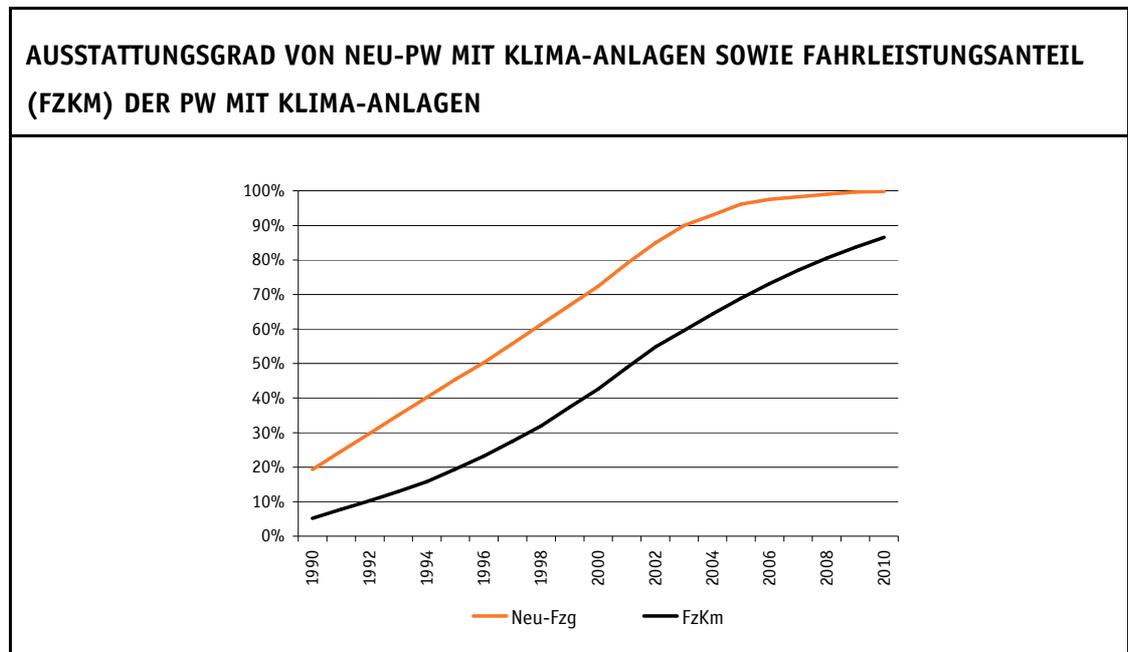
5.7.1. IDEE

Wie stark verändert sich die Energienachfrage im Verkehrssektor, wenn das Temperaturniveau als Folge des Klimawandels ansteigt? Den Haupteffekt orten wir hauptsächlich beim Einsatz von Klimaanlage im PW-Bereich.

5.7.2. UMSETZUNG

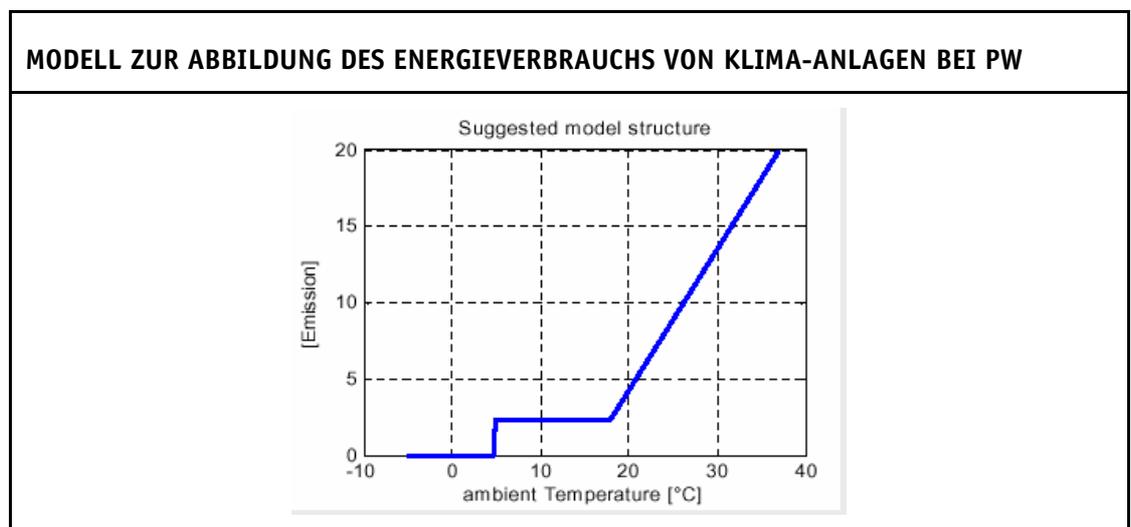
Methodischer Ausgangspunkt für die Abschätzung ist eine „Basisrechnung“. Diese berechnet den Einfluss einer Klimaanlage pro PW bei heutigen Temperaturen, macht Annahmen zum Ausstattungsgrad der PW-Flotte mit Klima-Geräten und rechnet den Gesamteffekt auf den Energieverbrauch im Verkehr hoch. Diese Basisrechnung hat bereits Eingang gefunden in die Ermittlung der Energienachfrage der Szenarien I. Für die Sensitivität „Klima“ wird nun abgeschätzt, wie gross der Einfluss bei erhöhten Temperaturen ist, und entsprechend lässt sich der Effekt auf die Schweiz insgesamt hochrechnen.

In der Basisrechnung wurde bereits mit einem breiten Ausstattungsgrad der Neu-PW gerechnet. Rund 70% der Fzkm werden demnach heute schon von Fahrzeugen mit Klimaanlage zurückgelegt.

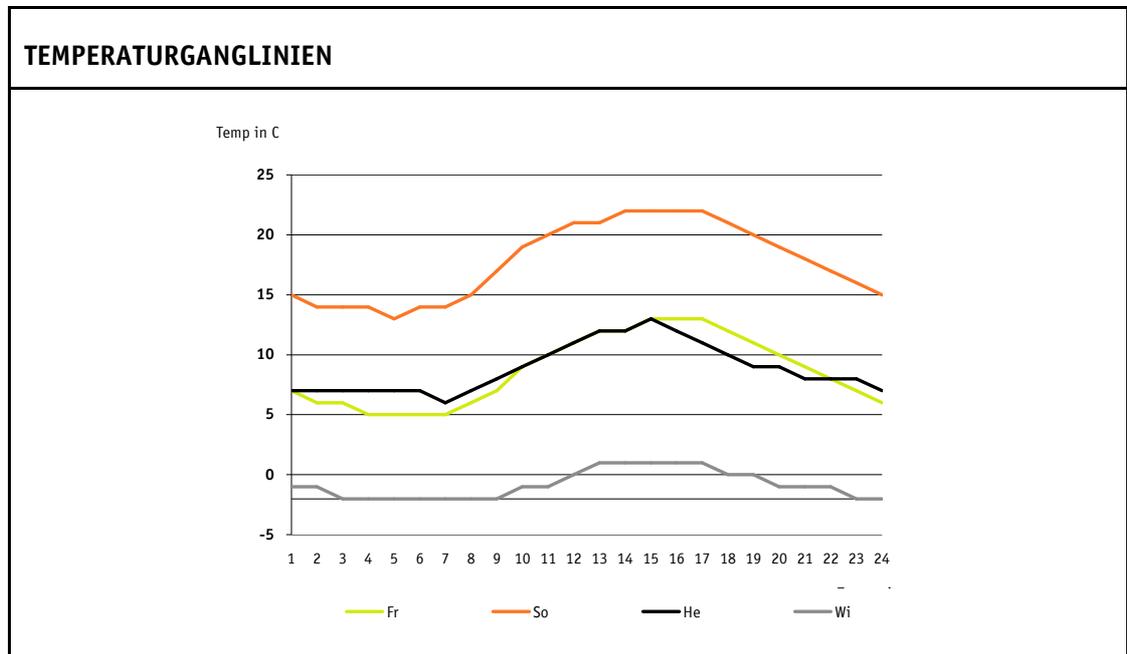


Figur 37 Mittlerweile sind der überwiegende Teil der Neu-Fahrzeuge mit Klima-Anlagen ausgerüstet.

Der Effekt auf den Energieverbrauch lässt sich mittels eines Modells (nach EMPA 2005) nachbilden, das den Treibstoffverbrauch (und die Emissionen) in Funktion der Aussentemperatur angibt. Auffallend ist dabei, dass die Anlagen auch im Temperaturbereich von rund 5 bis 18 Grad aktiv sind, allerdings auf einem relativ tiefen Leistungsniveau. Für die Abschätzung eines PW im Jahresmittel wurden dabei vier typische Temperaturverteilungen für das CH-Mittelland unterstellt (vgl. Figur 39).



Figur 38 gemäss EMPA 2005



Figur 39 Vier mittlere saisonale Temperaturlinien für das Schweizer Mittelland

5.7.3. AUSWIRKUNGEN

Aus diesem einfachen Modell ergibt sich, dass eine Klimaanlage den Energieverbrauch im Jahresmittel um rund 8 g/km (oder 0.38 l/100 km) erhöht. Im Sommer sind diese Werte um etwa einen Faktor 4 höher (1.5 l/100 km). Auf die Schweiz hochgerechnet, beträgt der durch Klimaanlagen verursachte Mehrenergieverbrauch (bei Annahme einer Vollausrüstung der Flotte) rund 4% des PW-bedingten Treibstoffverbrauchs, oder in CO₂-Emissionen ausgedrückt rund 0.45 Mio. t CO₂.

Werden nun die Aussentemperaturlinien erhöht, so erhöht sich auch der für die Klima-Anlagen benötigte Energieverbrauch. Allerdings hält sich dieser Zusatzverbrauch in Grenzen, eine Erhöhung um +2 Grad entspricht etwa 10% des „Basiseffekts“, der seinerseits etwa 4% ausmacht. Eine solche Erhöhung liegt demnach **bei etwa +0.4% des PW-bedingten Treibstoffverbrauchs**.

Zu den Zahlen im Einzelnen

- › Treibstoffverbrauch PW heute ohne Klimaanlage:
 - › Spezifisch: 190 g CO₂/PWkm (PW mit Jahrgang 2004, vgl. Annex 2)
- › Einfluss Klimaanlage bei heutigen Temperatur-Verteilungen:

- › Spezifisch: +8.18 g CO₂/PWkm ~ 4%
- › Hochrechnung Schweiz: +0.45 Mio. t CO₂ Emission / a⁵¹
- › Einfluss Klimaanlage bei Temperatur-Verteilung „heute + 1 Grad“:
 - › Spezifisch: +8.60 g CO₂/PWkm
 - › Hochrechnung Schweiz: +0.47 Mio. t CO₂ Emission/ a
- › Einfluss Klimaanlage bei Temperatur-Verteilung „heute + 2 Grad“:
 - › Spezifisch: +8.91 g CO₂/PWkm
 - › Hochrechnung Schweiz: +0.49 Mio. t CO₂ Emission / a

51 Zum Vergleich: Die gesamten CO₂-Emissionen aller PW (einschliesslich Klimaanlagen) betragen 11.6 Mio. t CO₂ (2005).

6. SZENARIO II - „VERSTÄRKTE ZUSAMMENARBEIT“

6.1. IDEE

Die Grundidee von Szenario II ist eine „verstärkte Zusammenarbeit“. Es setzt auf aktuellen Beschlüssen auf, konkret einer CO₂-Abgabe auf Brennstoffen und der Einführung eines „Kli-marappens“. Szenario II geht davon aus,

- › dass Investitions- und Verhaltensprioritäten leicht in Richtung Energieeffizienz verschoben werden (allerdings ohne Paradigmenwechsel),
- › dass wirtschaftliche Potenziale verstärkt ausgeschöpft werden,
- › und dass staatliche Massnahmen (Förder- und Anreizinstrumentarien) diese Prioritätenwechsel flankieren.

Ausgangspunkt ist Szenario I mit den zwei Ausprägungen ohne CO₂-Abgabe bzw. mit CO₂-Abgabe (Ib). Haupt-Charakteristikum von Szenario Ib ist die CO₂-Abgabe, es kommen aber – im Verkehrsbereich – vor deren Einführung noch andere („weichere“) Massnahmen zum Zug, namentlich ein Bonus-Malus-System zur Förderung effizienterer Fahrzeuge sowie die fiskalische Förderung alternativer Treibstoffe. Szenario II soll deshalb primär von diesen zwei flankierenden Massnahmen geprägt werden.

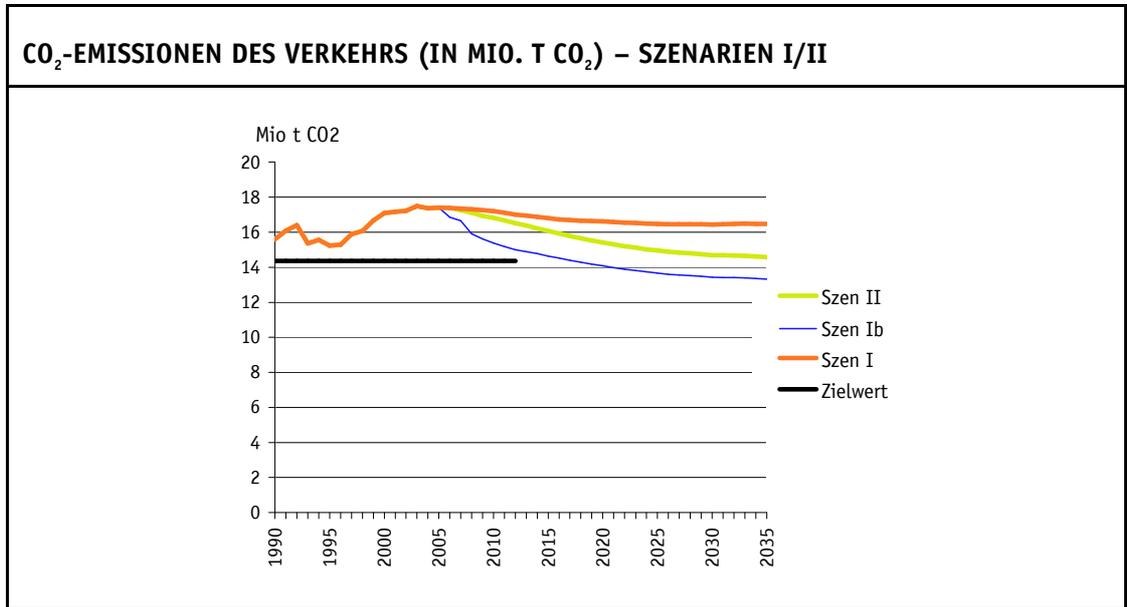
6.2. UMSETZUNG

Die Umsetzung dieser beiden Massnahmen (Bonus-Malus-System für neue Personenwagen, fiskalische Förderung alternativer Treibstoffe) wird in gleicher Form unterstellt wie in Szenario Ib (vgl. Abschnitt 5.4.2).

6.3. AUSWIRKUNGEN

6.3.1. ENERGIEVERBRAUCH UND CO₂-EMISSIONEN

Die nachstehende Figur zeigt die Gesamtwirkung auf die CO₂-Emissionen in Relation zu den Szenarien I bzw. Ib. Die entsprechenden Zahlen finden sich in Annex 8. Szenario II liegt demnach zwischen Szenario I und Ib. Anfänglich liegt Szenario II näher bei Ia, längerfristig näher bei Ib, weil die strukturellen Massnahmen erst längerfristig zum Zug kommen. Der Stromverbrauch ist gleich hoch wie in der Referenzentwicklung (11.8 PJ), demgegenüber nimmt der Anteil der alternativen Energieträger ähnlich stark zu wie in Szen. Ib (ca. 19 PJ), weil die gleichen Förderungsmassnahmen unterstellt sind.



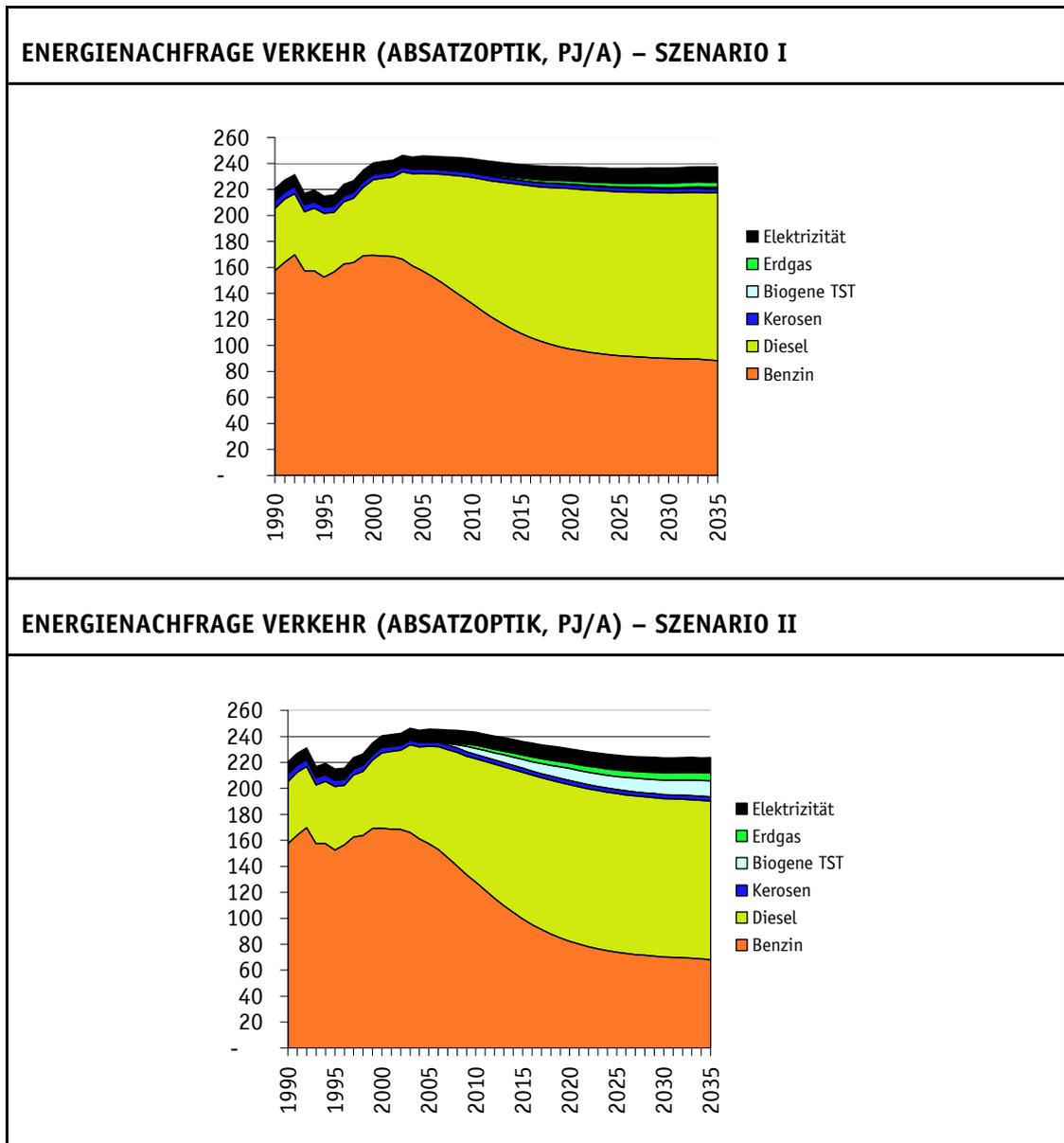
Figur 40 Entwicklung der CO₂-Emissionen Verkehr in Szenario II im Vergleich zu den Szenarien I bzw. Ib sowie Vergleich mit dem Zielwert 2010 gemäss CO₂-Gesetz (-8% gegenüber 1990), vgl. Zahlen in Annex 8.

Die nachstehende Tabelle zeigt die Aufteilung der Wirkung der beiden Massnahmen in Szenario II. Demnach greift der Effizienz-Effekt erst mittelfristig stärker.

BEITRÄGE DER MASSNAHMEN ZUR CO₂-REDUKTION			
Massnahme	2010	2015	2020
Bonus Malus	6%	29%	42%
Ethanol / Gas	94%	71%	58%
Total in %	100%	100%	100%
Total in Mio. t CO₂ (gegenüber Szenario I)	-0.38	-0.73	-1.2

Tabelle 9 Zusammenstellung der Massnahmenwirkungen.

Die nachstehenden Figuren zeigen die Auswirkungen in Szenario II im Vergleich zu Szenario I nach Energieträger (Absatzoptik, in PJ). Weil Gas und Ethanol ganz oder teilweise CO₂-frei sind, differiert die Darstellung der PJ-Entwicklung leicht von der CO₂-Darstellung.



Figur 41 Entwicklung der Energienachfrage Verkehr nach Energiearten (Absatzoptik) in den Szenarien I und II.

Ergänzende Kommentare

- › Szenario II sieht zwar einen **Klimarappen** vor, die vorliegende Ausgestaltung setzt aber deren Gelder nicht explizit für den Sektor Verkehr ein. Zum einen werden Projekte im Verkehrsbereich (wie Eco-Drive etc.) bereits im Referenzszenario unterstellt, zum andern ist die CO₂-Reduktionseffizienz in andern Sektoren (z.B. Gebäude) mutmasslich grösser, und schliesslich ist der Druck auf inländische Massnahmen gemäss jüngsten Beschlüssen des

Bundesrates vergleichsweise beschränkt (demnach sind 0.2 der 1.8 Mio. t CO₂-Emissionsreduktion im Inland zu realisieren).

- › Der Effekt eines **Bonus-Malus**-Systems (in Verbindung mit einer energieEtikette) wurde im gleichen Umfang unterstellt wie in Szenario Ib. Man könnte argumentieren, dass aufgrund tieferer Energiepreise gegenüber Szenario Ib (weil keine CO₂-Abgabe unterstellt ist) die Wirkung geringer ausfällt. Hier wird jedoch davon ausgegangen, dass Verhaltensprioritäten in Richtung Energieeffizienz tendieren und deshalb eine gleiche Wirkung erwartet wird.
- › Die **alternativen Treibstoffe** machen in Szenario II im Jahr 2010 knapp 4% und im Jahr 2020 knapp 10% aus (bezogen auf die flüssigen Treibstoffe, ohne Elektrizität). Man kann argumentieren, diese Anteile seien bescheiden. So hat etwa die EU das Ziel festgelegt, bis ins Jahr 2020 20% von Diesel und Benzin durch alternative Treibstoffe zu ersetzen. Die Frage wird sich allerdings stellen, ob entsprechende Mengen verfügbar sind bzw. welche preislichen Implikationen eine entsprechende Ausweitung der Nachfrage hätte. Eine inländische Produktion jedenfalls steht kaum im Vordergrund (zum Vergleich: inländisches Ethanol 140 Rp./l, Import 65 Rp./l vor Steuern). Daneben stellt sich die Frage, wie weit das Prinzip der Haushaltsneutralität, welches die Massnahme flankiert, über das Jahr 2010 hinaus unverändert übernommen werden kann. Jedenfalls sehen die absehbaren Beschlüsse vor, dass die finanzielle Förderung der alternativen Treibstoffe durch eine Erhöhung der Steuer auf Benzin (nicht aber auf Diesel) kompensiert werden soll. Treffen die Prognosen ein, so rechnet der Vernehmlassungsbericht (EFD 2004) bereits im Jahr 2010 mit gut 6 Rp./l Benzinerhöhung; diese haben Steuerausfälle von rund 240 Mio. CHF zu kompensieren. Berücksichtigt man, dass die Benzinnachfrage in den Folgejahren deutlich zurückgehen wird (gemäss Szenario II von 3.0 Mio. t im Jahr 2010 auf 1.9 Mio. t im Jahr 2020) und unterstellt man gleichzeitig steigende Anteile an alternativen Treibstoffen, so würde der Aufschlag auf Benzin so markant, dass die Kompensation längerfristig nicht einseitig auf Benzin erfolgen kann.

6.3.2. SCHADSTOFF-EMISSIONEN

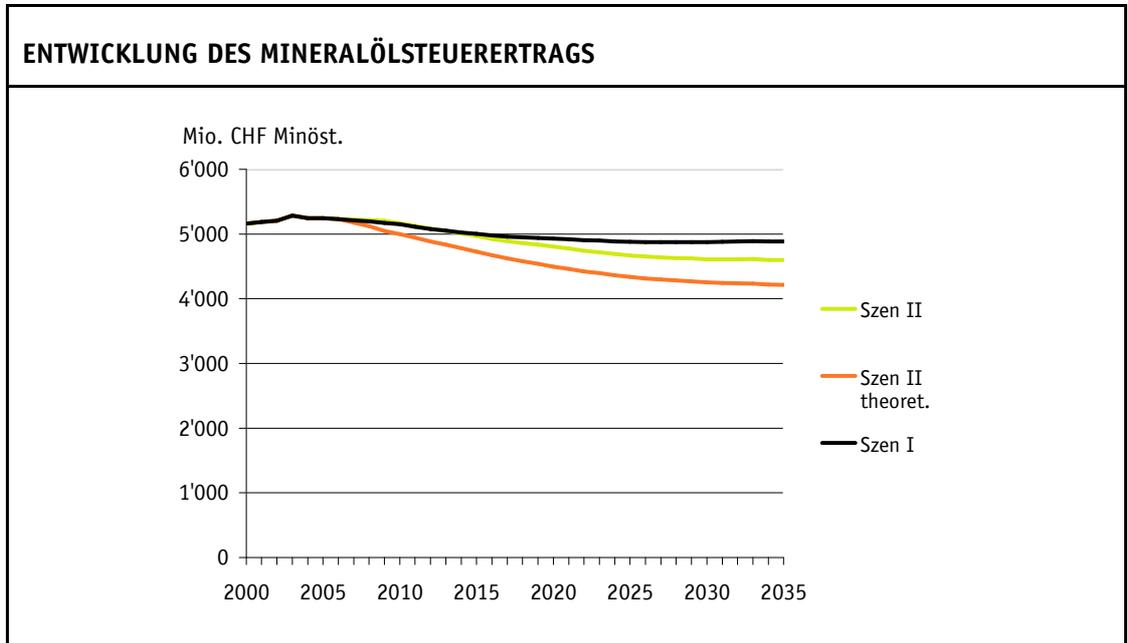
Die Schadstoff-Emissionsentwicklung in Szenario II dürfte sich nicht sehr stark von jener in Szenario I unterscheiden. Zum einen ändert sich das Emissionsniveau in Folge leicht tieferer mittlerer spezifischer Verbräuche bei den PW praktisch nicht, weil ja die gleichen Grenzwerte gelten. Zum andern ist der Anteil alternativer Treibstoffe mit ein paar Prozentpunkten relativ gering, und weil das Emissionsniveau pro Fzkm dieser „Alternativen“ nur geringfügig

tiefer liegen dürfte, wird auch das Emissionsniveau der PW- bzw. LW-Flotte insgesamt nicht so stark absinken. Überdies machen diese Fahrzeugkategorien mit Alternativ-Treibstoffen nur einen Teil der gesamtverkehrlichen Emissionen aus.

6.3.3. FINANZIELLE AUSWIRKUNGEN

Weil die Mengen (Fahrleistungen, Fahrzeugbestände) in diesem Szenario praktisch nicht ändern, bleiben im Strassenverkehr die kantonalen Steuererträge auf gleichem Niveau wie in Szenario I. Anders die Entwicklung der Energieausgaben und insbesondere des Mineralölsteuerertrags: Figur 42 zeigt modellhaft, wie die Erträge einerseits durch den reduzierten Verbrauch zurückgehen (Kurve „Szen II“), andererseits kommt ein zusätzlicher Ausfall (theoretisch) durch die Förderung der alternativen Energieträger zustande, der aber gemäss absehbaren Beschlüssen durch Aufschläge beim Benzin kompensiert wird. So betrachtet handelt es sich bei dieser tieferen Kurve um eine theoretische Darstellung, die lediglich den allerdings nicht ganz vernachlässigbaren Umlagerungseffekt von rund 400 Mio. CHF. Würde der Ausfall auf Benzin und Diesel überwälzt, so bedeutet das einen Aufschlag von rund 7 Rp./l; falls der Aufschlag nur auf Benzin erfolgte, hiesse das längerfristig immerhin ca. + 18 Rp./l Benzin.

Was bei der Referenzentwicklung schon erwähnt wurde, gilt hier verstärkt, dass angesichts zunehmender strassenseitiger Infrastrukturkosten einerseits und rückläufiger Erträge andererseits sich früher oder später die Frage der Anpassung der Finanzierung grundsätzlich stellen wird. Beim Schienenverkehr verändert sich die Situation gegenüber der Referenzvariante praktisch nicht.



Figur 42 Steuerausfälle bei der Mineralölsteuer (Szenario II im Vergleich zu Szenario I). Die Figur zeigt zusätzlich die durch die Förderung der biogenen Treibstoffe (Szenario II, theoret.) auf den Benzinpreis umzulegenden Finanzmittel.

7. SZENARIO III - „NEUE PRIORITÄTEN“

7.1. IDEE

Im Gegensatz zu den Szenarien I und II, bei denen ein massnahmen- bzw. instrumentenorientiertes Vorgehen analysiert und modelliert wird, werden bei den Szenarien III und IV Ziele vorgegeben, die mit einem Bündel an Massnahmen und Instrumenten erreicht werden sollen. Die Ziele sind dabei nicht sektorspezifisch, sondern sektorübergreifend. Durch eine möglichst effiziente Kombination von Instrumenten und Massnahmen sind nach Möglichkeit folgende Ziele zu erreichen:

- › Reduktion der CO₂-Emissionen um 10% bis 2020 und um 20% bis 2035 gegenüber Ausgangsjahr 2000,
- › Erhöhung der Energieeffizienz: Reduktion des Pro-Kopf-Energie-Verbrauchs um 20% bis 2035 (gleichfalls gegenüber Ausgangsjahr 2000).

Im Übrigen lässt sich das Szenario anhand folgender Stichworte umreissen:

- › Globales Umfeld: weltweit werden die Prioritäten verstärkt auf Klimaschutz und Energieeffizienz gesetzt. Globale Instrumente wie Emissionshandel mit CO₂-Zertifikaten mit und / oder völkerrechtlich verbindliche Ziele sind akzeptiert.
- › Als Hintergrund dieses Szenarios werden erhöhte Energiepreise unterlegt. Preisinstrumente wie eine Energieabgabe bewirken eine Verdoppelung der Endenergiepreise gegenüber der Referenzentwicklung. Konkret bedeutet das eine Erhöhung auf ein Preisniveau (real) von CHF 2.80/l (Benzin) bzw. CHF 3.00/l (Diesel) [vgl. Annex 9].
- › Kennzeichen ist „Best practice“: Ausgangspunkt ist heutige Technologie, die sich in realistischer Form im Markt umsetzt, d.h. es wird keine 100%-ige Ausnützung des technisch Möglichen unterstellt. Allerdings wird davon ausgegangen, dass der heutige „Best practice“-Standard sich weiter verbessert, d.h. die Energieeffizienz nimmt weiter zu. Auf grosse Technologishifts wird aber verzichtet.

Mit diesem Szenario wird somit ausgelotet, wie weit der Pfad der konsequenten Energieeffizienz führen kann. Die Rahmendaten (Bevölkerung, Flächen, Ausstattung mit Geräten und Fahrzeugen, aber auch Transportaktivitäten wie Fahrleistungen, Modal Split etc.) werden dabei unverändert belassen, d.h. sie entsprechen dem Referenz-Szenario (I).

7.2. UMSETZUNG

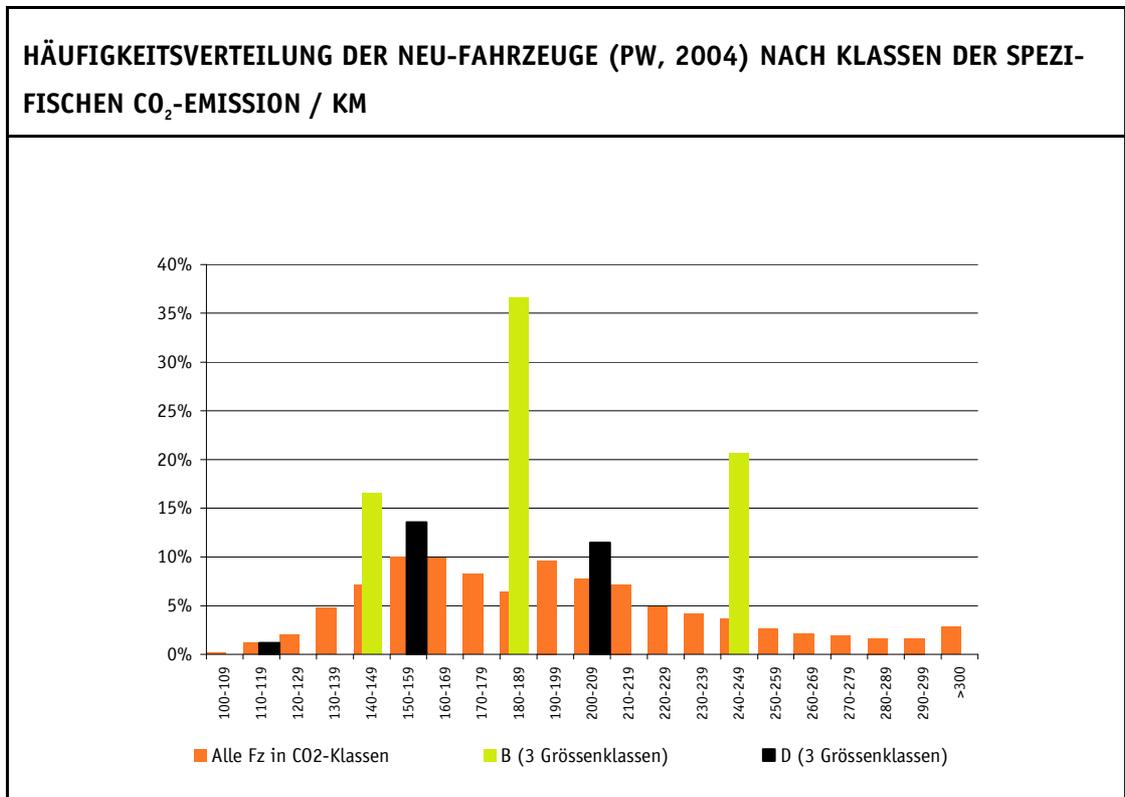
7.2.1. ANSATZPUNKT EFFIZIENZ

Personenwagen

Wie einleitend ausgeführt fokussiert Szenario III auf Energieeffizienz. Und weil ein Grossteil (gut 2/3) der Energie im Verkehr durch Personenwagen verbraucht wird, steht dieses Segment im Zentrum des Interesses. Die Ausgangslage wurde in Abschnitt 2.4.2 erläutert: Die Effizienzzunahme der letzten 10 Jahre lag bei rund 1.5%/a (statt der in der Vereinbarung UVEK und auto-schweiz erwarteten 3%/a). Fast die Hälfte der Absenkung war auf die Erhöhung des Dieselanteils zurückzuführen⁵². Die Differenz Benzin-/Diesel-Fahrzeuge wird zudem kleiner, das Potenzial läuft somit tendenziell aus, und allein „Halten“ der Absenkung von 1.5%/a gilt als Herausforderung.

Der Mittelwert der PW-Neufahrzeuge in der Schweiz lag im Jahr 2004 bei 187 g CO₂/km. Die nachstehende Darstellung zeigt, dass die Spannweite von 100 bis über 300 g/km reicht (orange). Dem überlagert ist die Gruppierung in je 3 Grössenklassen von Benzin- bzw. Dieselfahrzeugen (jeweils nach drei Hubraumklassen <1.4 l, 1.4-2 l und >2 l).

⁵² Genaugenommen 47%. Dieser Wert ergibt sich, wenn die effektive Absenkung zum Vorjahr verglichen wird mit der Absenkung, die sich unter Annahme gleicher Dieselanteile wie im Vorjahr ergibt. Mittelwert über diesen Indikator über die Jahre 1999 bis 2005.

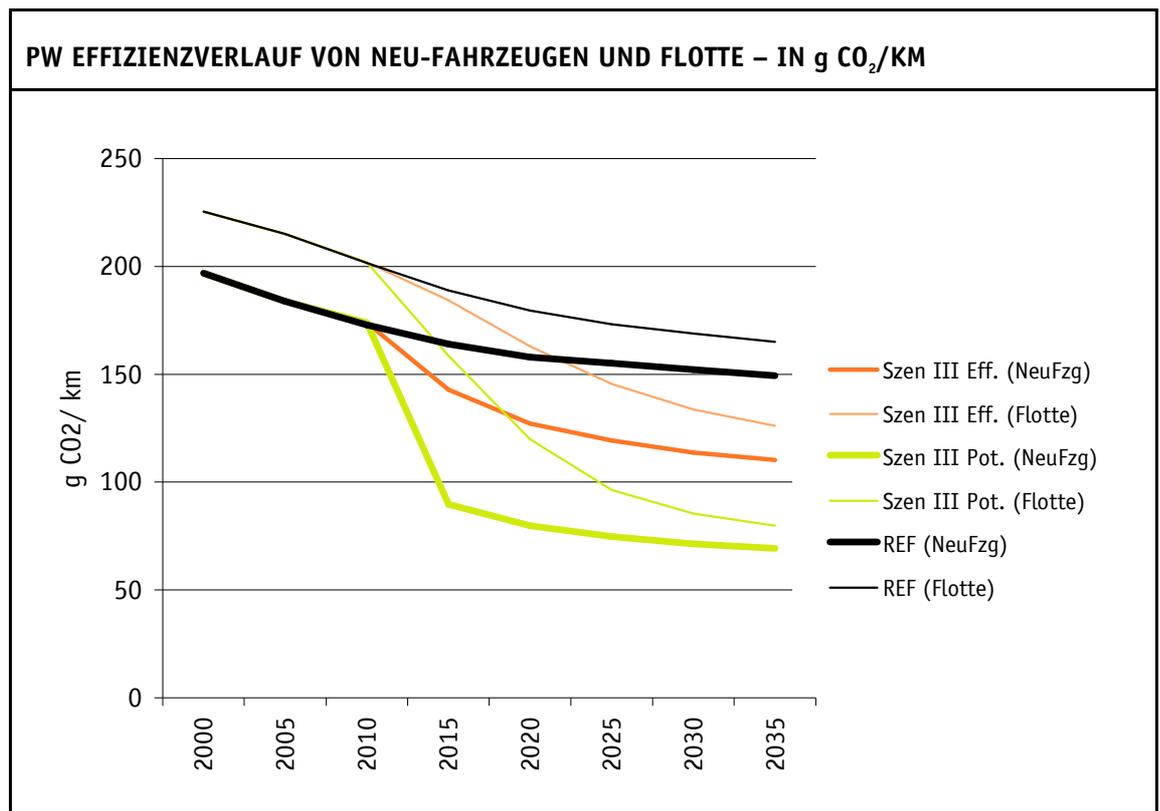


Figur 43 Anzahl neuer PW je CO₂-Emissionsklasse

Für die Umsetzung liegt eine Reihe von technologischen Optionen vor, welche zu einer solchen Reduktion des spezifischen Energieverbrauchs beitragen können. Diese wurden in Abschnitt 4.3 genauer erläutert. Sie reichen von Massnahmen zur Reduktion der Widerstände (Roll-, Luftwiderstand) über die Reduktion des Fahrzeuggewichts bis hin zu spezifischen Massnahmen am Antrieb, von „konventionellen“ Massnahmen über Brückentechnologien wie die Hybridisierung bis zu alternativen Brennverfahren.

Für die Umsetzung orientieren wir uns am „Best practice“-Ansatz. Als heutige „Best practice“ orientieren wir uns am Beispiel des Toyota Prius, einem Hybrid-Fahrzeug mit rund 100 g CO₂/km (4.3 l/100 km). Bis sich eine Technologie in der Flotte durchsetzt und so den letztlich relevanten flottenbezogenen CO₂-Ausstoss zu vermindern vermag, dauert es einige Jahre. Gleichzeitig ist aber mit dem heute sehr effizienten Fahrzeug das Potenzial noch nicht ausgereizt. Ohne dass bereits grundlegende Technologie-Shifts unterstellt werden müssen, wird in Szenario III erwartet, dass der vergleichbare „Best practice“-Standard um weitere 30% auf rund 70 g/km (3 l/100 km) abgesenkt werden kann für Fahrzeuge mit gleichem „Nutzwert“, d.h. vergleichbaren Leistungsparametern (2030 gegenüber 2010).

Figur 44 zeigt, wie sich die spezifische CO₂-Emission (g/km) bei verschiedenen Annahmen entwickelt: In der Referenz-Entwicklung (schwarz) wird der heutige Trend fortgeschrieben mit langsam auslaufendem Effizienzgewinn der Neufahrzeuge und langsam nachziehender Absenkung des Flottenverbrauchswertes. Als Potenzial-Variante (grün) wird ab 2010 hypothetisch unterstellt, dass alle Neuwagen das Emissionsniveau von 100 g/km erreichen und in der Folge dieses Niveau noch kontinuierlich abgesenkt wird; auch hier dauert es rund 12 Jahre, bis der Mittelwert der in Betrieb stehenden Flotte auf das Niveau von rund 100 g CO₂/km absinkt. Für das effektive Szenario III (orange) wird unterstellt, dass der Effizienzgewinn vor allem im Zeitraum 2010-2020 markant beschleunigt wird im Vergleich zur derzeit beobachtbaren Entwicklung (rund Faktor 3), mit langsam auslaufender Tendenz⁵³.

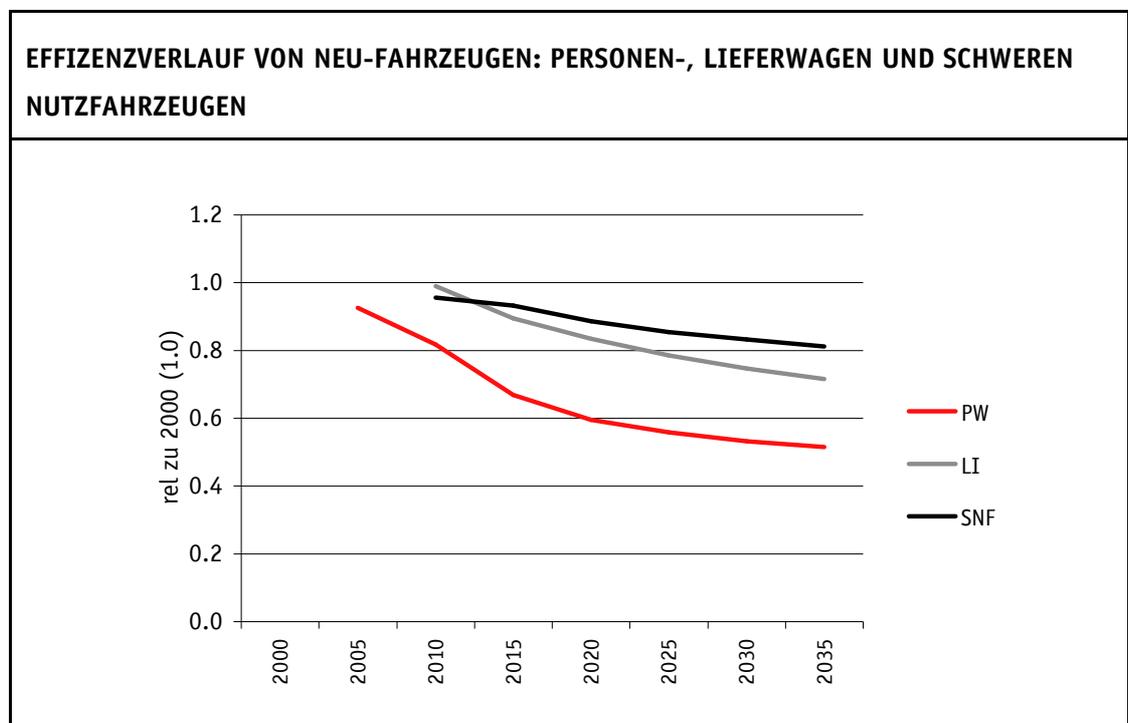


Figur 44

53 Bei den Neuwagen ist der Testverbrauch (im sog. NEFZ-Zyklus) dargestellt, während der Flottenverbrauch sich auf den „Real World“-Verbrauch bezieht, der höher liegt, weil er u.a. auch Klimaanlage-Verbräuche einschliesst (vgl. dazu Erläuterungen in Abschnitt 2.4.2).

Uebrige Fahrzeugkategorien

Neben den PW fällt ein namhafter Anteil der Verkehrsenergie auf die schweren Nutzfahrzeuge sowie die Lieferwagen. Vor allem bei den Lastwagen war der Energieverbrauch bereits bisher ein wesentliches Wettbewerbselement, deshalb ist das Reduktionspotenzial in diesem Bereich wesentlich geringer als bei den PW. Die Lieferwagen liegen diesbezüglich dazwischen. Die nachstehende Figur zeigt die entsprechenden Annahmen. Dass die zeitliche Absenkung bei Liefer- und Lastwagen später beginnt als bei den PW, hängt mit den strukturellen Verschiebungen in der Parkzusammensetzung (Trend zu schwereren Liefer- und Lastwagen) bzw. mit antriebsspezifischen Eigenheiten (bei Lastwagen) zusammen: Die bisherige Einführung von Abgasnormen (bis Euro-3 im Jahr 2001/02) hat tendenziell eher zu Mehrverbrauch geführt. Mit Euro-4/-5 (ab 2005/06 bzw. 2008/09) und neuen Technologien (v.a. SCR [selective catalytic reaction]) wird eine Reduktion des spezifischen Energieverbrauchs per 2010 erwartet. Trotz erhöhter Anforderungen von Seiten Abgasgesetzgebung wird längerfristig – bis 2030 – eine weitere Absenkung um 12% unterstellt, die in der Summe deutlich weniger ausgeprägt ist als jene bei den PW.



Figur 45

Schienenverkehr

Eine Effizienz-Strategie sollte sich auch im Schienenverkehr niederschlagen, auch wenn dessen Effizienz heute schon vergleichsweise markant ist. In der Referenzvariante wird bereits mit einem erhöhten Anteil an effizienteren Antriebssystemen (Drehstromtechnik mit effizienterer Rekuperation) gerechnet, so dass der spezifische Energiebedarf gegenüber 2000 absinkt. Im Szenario III wird der Anteil an effizienteren Rekuperationssystemen weiter erhöht, so dass ein zusätzlicher Effizienzgewinn von 8% resultiert.

7.2.2. ANSATZPUNKT ALTERNATIVER ENERGIEMIX

Die Option eines alternativen Energiemixes wurde bereits in den früheren Szenarien (namentlich Ib und II) eingeführt, weil eine fiskalische Förderung bereits eingeleitet und vor der Beschlussfassung steht. Die konkrete Umsetzung in jenen Szenarien orientierte sich an den Annahmen der Vernehmlassungsvorlage (EFD 2004), welche ihrerseits vor dem Hintergrund von Zielsetzungen entstanden, wie sie etwa die EU formulierte. Wie die Erörterungen in Abschnitt 4.5 gezeigt haben, ist die Debatte über den Stellenwert von Biotreibstoffen für den Strassenverkehr noch nicht abgeschlossen. Aus Schweizer Sicht wird für eine namhafte Verbreitung von Biotreibstoffen die Importfrage relevant, aus Kosten- wie aus Verfügbarkeitsgründen. Auf der andern Seite besteht im Strassenverkehr mit dem Erlass der Mineralölsteuer ein starkes Förderinstrumentarium, welches das Potenzial hat, die Verbreitung der Biotreibstoffe deutlich anzukurbeln. Auf diesem Hintergrund wird im Szenario III auch den Biotreibstoffen eine Bedeutung eingeräumt, welche über Szenario Ib und II hinausgeht. Konkret wird ein Anteil von 7% per 2020 (ansteigend auf 10% bis 2035) unterstellt⁵⁴. Gleichzeitig wird – um der CO₂-Zielsetzung besser gerecht zu werden – vor allem im Gasbereich der Anteil von Biogas deutlich auf 40% erhöht.

Konkretisierung

Namentlich beim Effizienzansatz stellt sich die Frage, wie dies erreicht werden soll. Allein die breite Streuung des Energieverbrauchs macht deutlich, dass – durch Umstieg auf kleinere, effizientere Fahrzeuge – schon heute der Energieverbrauch deutlich gesenkt werden könnte. Dabei könnten Einsparungen realisiert werden („Negativ-Kosten“ infolge geringerer Kosten beim Kauf der Fahrzeuge und geringerer Betriebskosten durch tiefere Energiekosten). Dadurch könnte sich allerdings gleichzeitig ein sog. Rebound-Effekt einstellen: Dieser

⁵⁴ Bezogen auf die Referenzentwicklung (Szenario I). Weil gleichzeitig eine höhere Effizienz unterstellt wird, sind die prozentualen Anteile innerhalb des Szenarios höher (nämlich 7 resp. 12)

besagt, dass Einsparungen, die z.B. durch effizientere Technologien entstehen, durch vermehrte Nutzung und Konsum überkompensiert werden. Allerdings entstehen Kosten anderer Art, nämlich Verzicht auf allfälligen Komfort (und Prestige etc.). Bei der Effizienz müsste deshalb differenziert werden zwischen zwei Arten der Zielerreichung, nämlich

- › Technische Anpassungen (wie die in Abschnitt 7.2.1 erwähnten Massnahmen), welche dazu führen, dass der Energieverbrauch bei gleichen „Nutzwert“ abgesenkt wird. Diese Massnahmen dürften dazu führen, dass reale Kosten entstehen, die Fahrzeuge mithin teurer würden, ein Teil der Mehrkosten aber über tiefere Betriebskosten wieder eingespielt werden.
- › Verhaltensanpassungen, die zu einer andern Marktaufteilung führen (kleinere Fahrzeuge, Shift zu Diesel). Diese führen tendenziell zu Kosteneinsparungen. Diese Potenziale bestehen heute schon, werden aber offenbar nicht genutzt, weil „Verzichtskosten“ zu hoch sind.

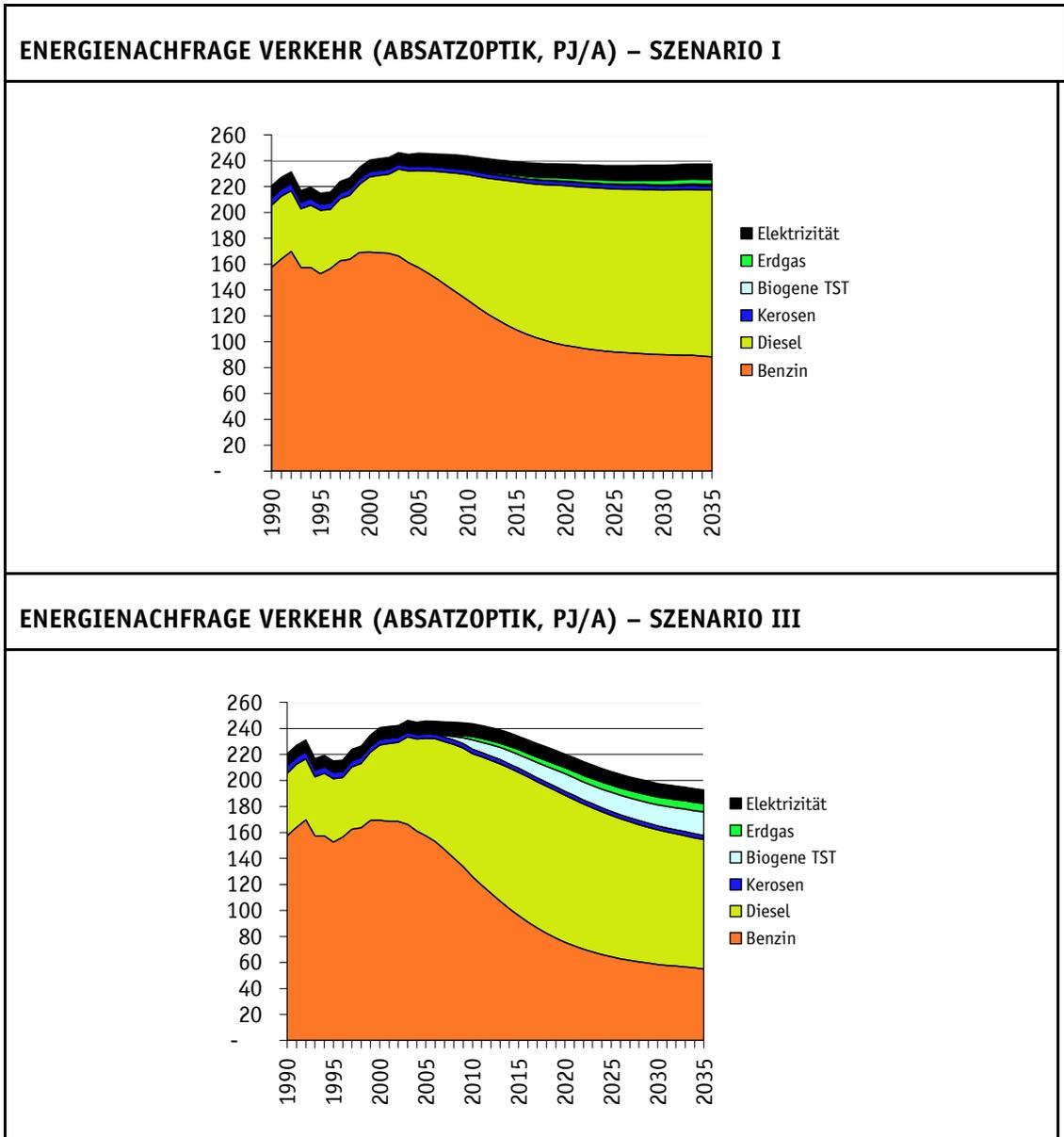
Im vorliegenden Kontext (Szenario III, IV) wird unterstellt, dass deutlich erhöhte Energiepreise vorherrschen. Diese dürften dazu führen, dass beide Arten von Massnahmen zum Zug kommen. Für den ersten Typ der Massnahme sind langfristige Preissignale die nötige Voraussetzung, um die Innovationen in Richtung erhöhter Effizienz zu lancieren. Neben den erhöhten Energiepreisen wird deshalb auch in Szenario III ergänzend ein Bonus-Malus-System vorgesehen, um den Anteil der effizienten Fahrzeuge zu erhöhen.

Eine alternative Policy-Option bestünde darin, statt der Preissignale Standards vorzugeben. Solche Systeme bestehen bereits heute an vereinzelt Orten (vgl. Ausführungen in Abschnitt 4.6.3).

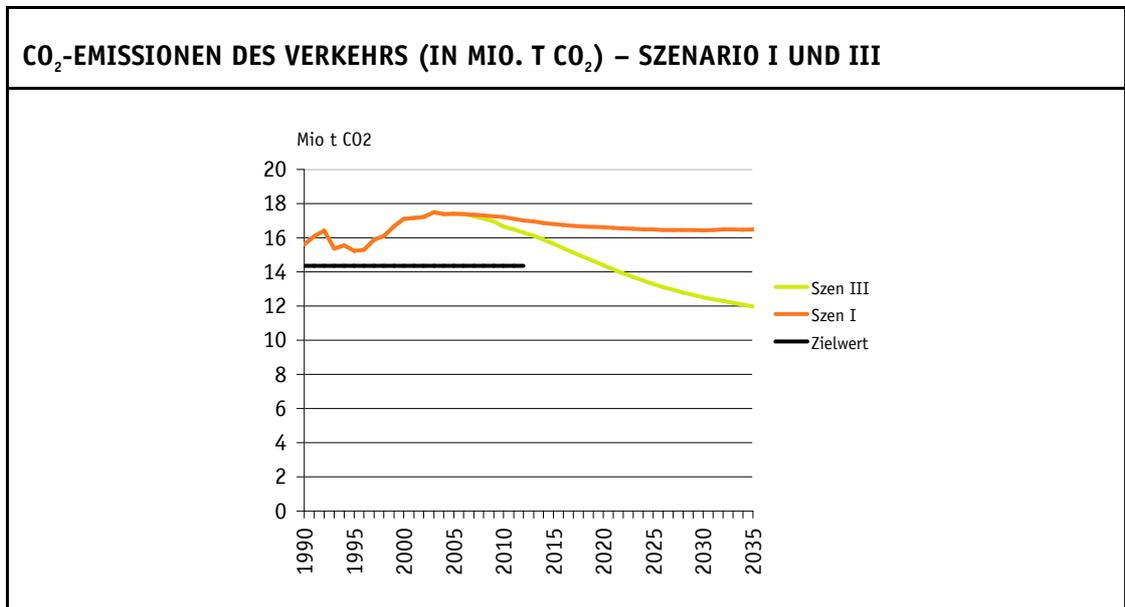
7.3. AUSWIRKUNGEN

7.3.1. ENERGIEVERBRAUCH UND CO₂-EMISSIONEN

Die nachstehenden Grafiken illustrieren die Ergebnisse für Szenario III, in PJ und in CO₂-Emissionen (in beiden Fällen wird die Absatz-Optik gezeigt), die entsprechenden Zahlen finden sich in Annex 9.



Figur 46



Figur 47

Ein Vergleich mit den Zielvorgaben für Szenario III zeigt, dass die Vorgaben mit diesem Absenkpfad eingehalten werden können. Während die CO₂-Emissionsziele längerfristig relativ „grosszügig“ eingehalten werden können (auch wenn der Zielwert für 2010 noch klar verpasst wird), gilt dies für den spezifischen Energieverbrauch nur knapp. Insgesamt heisst das aber gleichwohl, dass bei der Energieeffizienz ein namhaftes Reduktions-Potenzial liegt.

VERGLEICH MIT ZIELVORGABEN		
	2020	2035
Zielvorgabe CO ₂ -Emissionen	-10%	-20%
Zielvorgabe spezif. Energieverbrauch pro Kopf		-20%
CO ₂ -Emissionen (Szenario III)	-16%	-30%
spezif. Energieverbrauch pro Kopf (Szenario III)		-20%

Tabelle 10

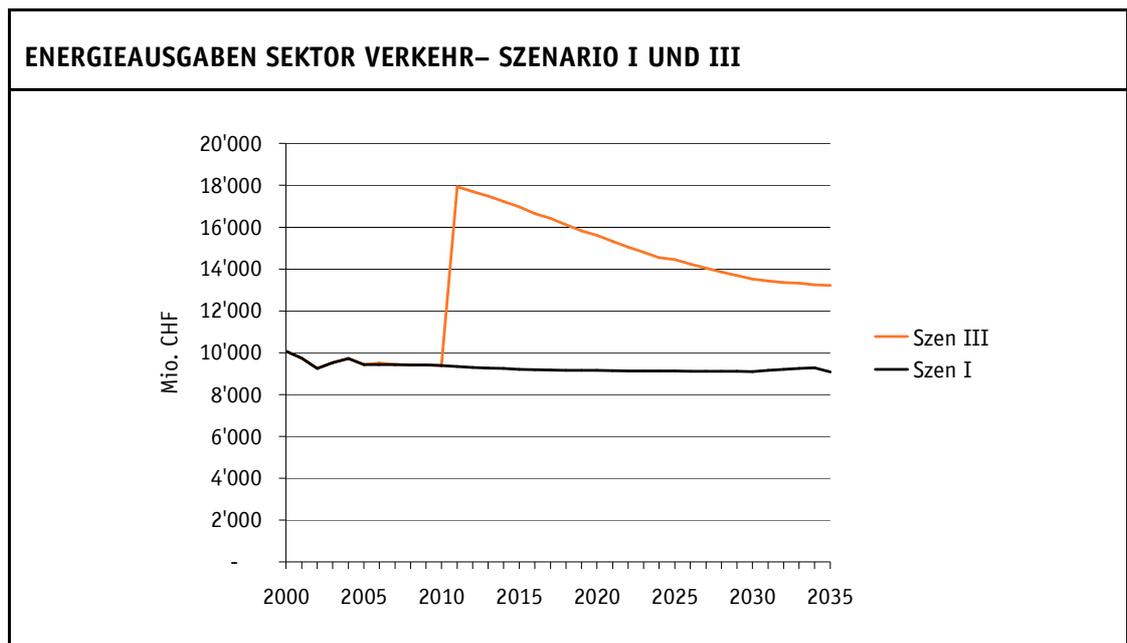
Der Stromverbrauch sinkt unter das Niveau der Referenzentwicklung (10.6 PJ gegenüber 11.8 PJ in Szenario I) und ist damit leicht über dem heutigen Verbrauch (9.9 PJ im Jahr 2005), bei rund 33% bzw. 66% Wachstum im Güterverkehr. Der Anteil der alternativen Energieträger nimmt noch weiter zu (auf 24 PJ gegenüber 19 PJ in Szenario Ib und gut 5 PJ in Szenario I).

7.3.2. SCHADSTOFF-EMISSIONEN

Der Effekt auf die Schadstoff-Emissionsentwicklung wird hier anders als in Szenario II eingeschätzt, weil eine „Effizienz-Strategie“ sich nicht nur auf den Energieverbrauch, sondern auch auf die Lufthygiene beziehen sollte. Faktisch muss das über das etablierte Instrument der Grenzwert-Abenkungen erfolgen. Die quantitative Umsetzung erfolgte hier vereinfacht, indem unterstellt wurde, dass die Reduktionsrate mindestens so hoch sein soll wie jene des Energieverbrauchs. Beim NO_x beispielsweise liegt deshalb das Emissionsniveau im Szenario III bei rund 20'000 t – im Vergleich dazu liegt es heute bei rund 60'000 t, im Jahre 2035 im Szenario I bei 25'000 t (vgl. Zahlen in Annex 9).

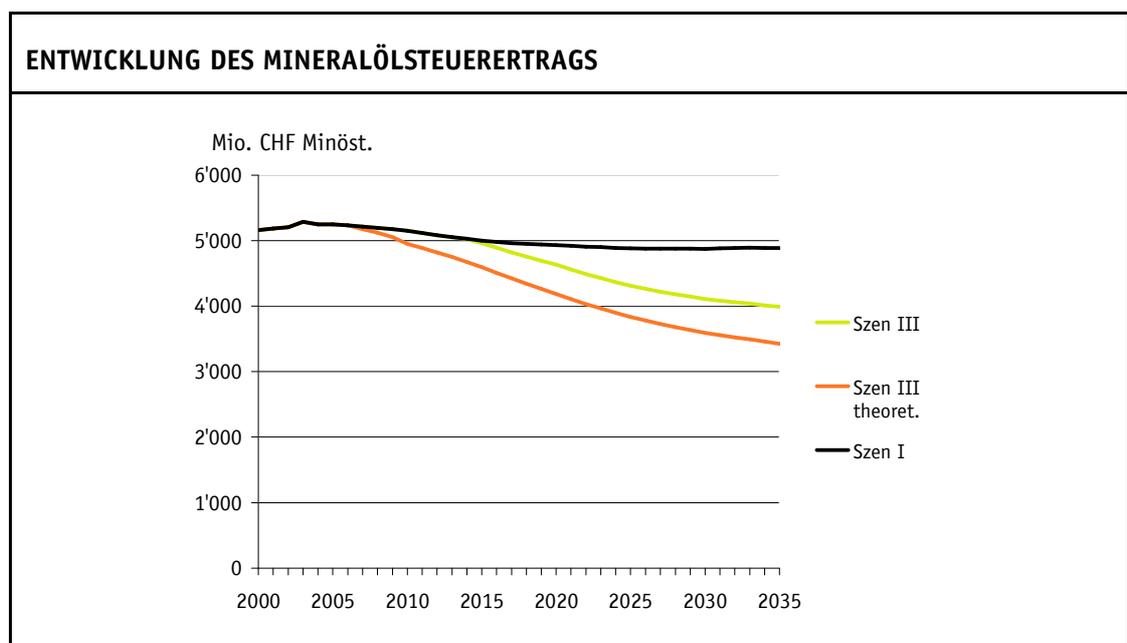
7.3.3. FINANZIELLE AUSWIRKUNGEN

Die Ausführungen zu den finanziellen Auswirkungen konzentrieren sich auf den Strassenverkehr. Die nachstehende Figur zeigt die Ausgaben für die Energie insgesamt im Vergleich zur Referenzentwicklung. Demnach steigen diese Ausgaben aufgrund der hier unterstellten, international abgestimmten Abgabe auf den fossilen Treibstoffen bei deren Einführung markant an. Sie ist aber gleichzeitig auch Auslöser der stark zunehmenden Effizienz, die sich jedoch erst im Verlauf der Zeit durch entsprechende Rückgänge in den Ausgaben bemerkbar macht. Das Niveau der Ausgaben bleibt aber um rund 40 Prozent über dem Referenz-Szenario.



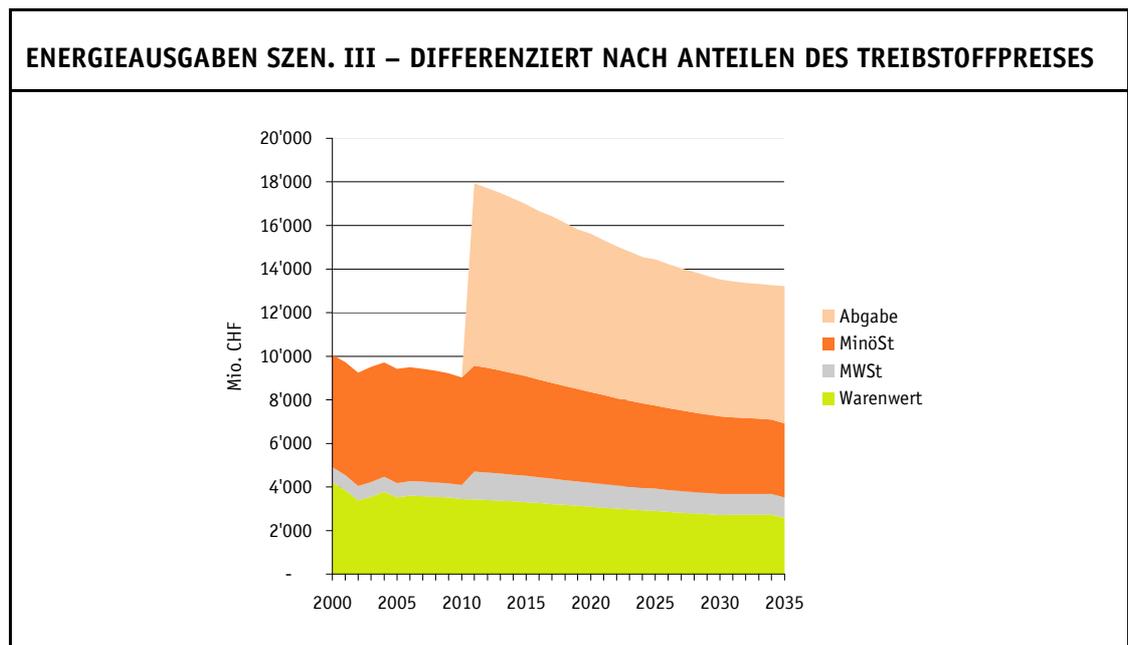
Figur 48

Weil die Finanzierung des Verkehrssystems zu einem guten Teil an die Mineralölsteuer gebunden ist, interessiert, welche Implikationen eine solche Strategie auf den Mineralölsteuerertrag hat. Bereits in der Referenzvariante wird dieser Ertrag leicht zurückgehen. Eine deutliche Reduktion ergäbe sich, falls die Mineralölsteuersätze sich auf dem heutigen Niveau bewegten, da sich die Effizienzgewinne 1:1 auf die Erträge übertragen würden. Dabei zeigt sich, dass die Förderung der biogenen Treibstoffe bei den hier unterstellten Anteilen namhafte Beträge ausmachen kann (gemäss heutigen Vorstellungen ist die Förderung zwar aufkommensneutral angedacht; d.h. die Steuerausfälle sind über das Benzin wieder aufzufangen). Gleichzeitig wird sich der verkehrliche Finanzierungsbedarf eher vergrössern (grösserer Umfang der Strassen-Infrastruktur, höhere Betriebsaufwendungen, höhere Investitionskosten). Dadurch ergäbe sich eine markante Finanzierungslücke. Das heisst, die Verkehrsfinanzierung über Treibstoffpreisanteile muss aus einer solchen Optik grundsätzlich überdacht werden. Finanzierungsmuster, die sich stärker am Verursacherprinzip orientieren und gleichzeitig nachfragebeeinflussende Elemente enthalten (wie z.B. Mobility Pricing), mögen eine Option sein. Aufgrund technischer Fortschritte v.a. in der Informationstechnologie dürften komplexere Erhebungssysteme auf den Markt kommen und solche Finanzierungsschemas ermöglichen. Dadurch wird der Druck zu einem einfachen Erhebungssystem (wie es bei der Mineralölsteuer der Fall ist) abnehmen.



Figur 49 Steuerausfälle bei der Mineralölsteuer infolge der Effizienzgewinne (Szenario III im Vergleich zu Szenario I). Die Figur zeigt zusätzlich die durch die Förderung der biogenen Treibstoffe (Szenario III, theoret.) auf den Benzinpreis umzulegenden Finanzmittel.

Würde das heutige System beibehalten, müsste jedenfalls der Mineralölsteueranteil markant erhöht werden, um die Ausfälle zu kompensieren. Allerdings schafft die unterstellte CO₂- oder Energie-Abgabe Raum für entsprechende Anpassungen, wie eine differenzierte Darstellung der Energieausgaben zeigt (vgl. nachstehende Figur).



Figur 50

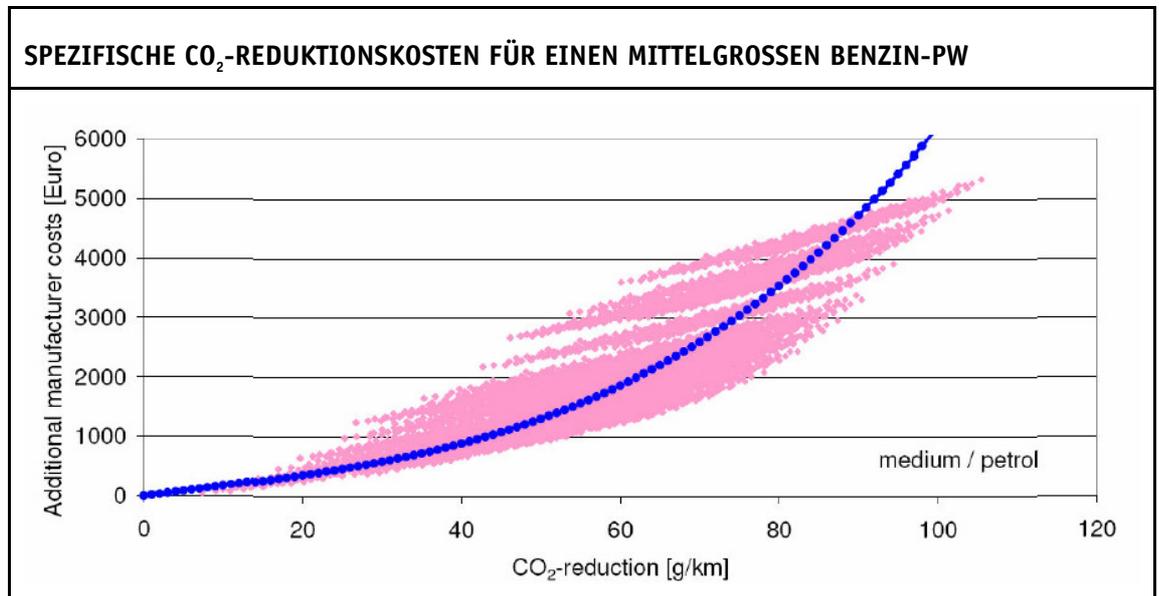
Weil der Effizienzgewinn längerfristig bei rund einem Faktor 2 liegt (vgl. Figur 44), wäre etwa eine Verdoppelung der Verkehrsabgabe (MinöSt) nötig. Bei einer Verdoppelung des Tankstellenpreises bliebe somit noch Spielraum für die in Szenario III unterlegte Energie- oder CO₂-Abgabe, die etwa dem Umfang der Ressourcenkosten entsprechen könnte. Aufgrund des Effizienzgewinns würden die Energiekosten (pro km) gleichwohl etwa auf dem heutigen Niveau bleiben.

TREIBSTOFFPREISE BEI EINER VERDOPPELUNG VON ENERGIE- UND MINERALÖLSTEUER		
	Heute	2035
	Rp./l	Rp./l
Energie	52	52
Abgabe		52
MinöSt	85	170
MWSt	12	24
Klimarappen	2	2
<u>Tanksäulenpreis</u>	<u>151</u>	<u>300</u>

Tabelle 11

Neben den Ausgaben für die Energie fallen auch Mehrkosten für den Effizienzgewinn bei den Fahrzeugen an. Wie bereits in Abschnitt 2.6.2 ausgeführt, sind diese Mehrkosten nur mit grossen Unsicherheiten abschätzbar, weil die Technologien zwar der Stossrichtung nach bekannt, deren Kosten bzw. Zusatzkosten aber nur näherungsweise abgeschätzt werden können – insbesondere deren künftiger Verlauf. Am Beispiel der PW schätzen wir deshalb diese Mehrkosten anhand von zwei Methoden.

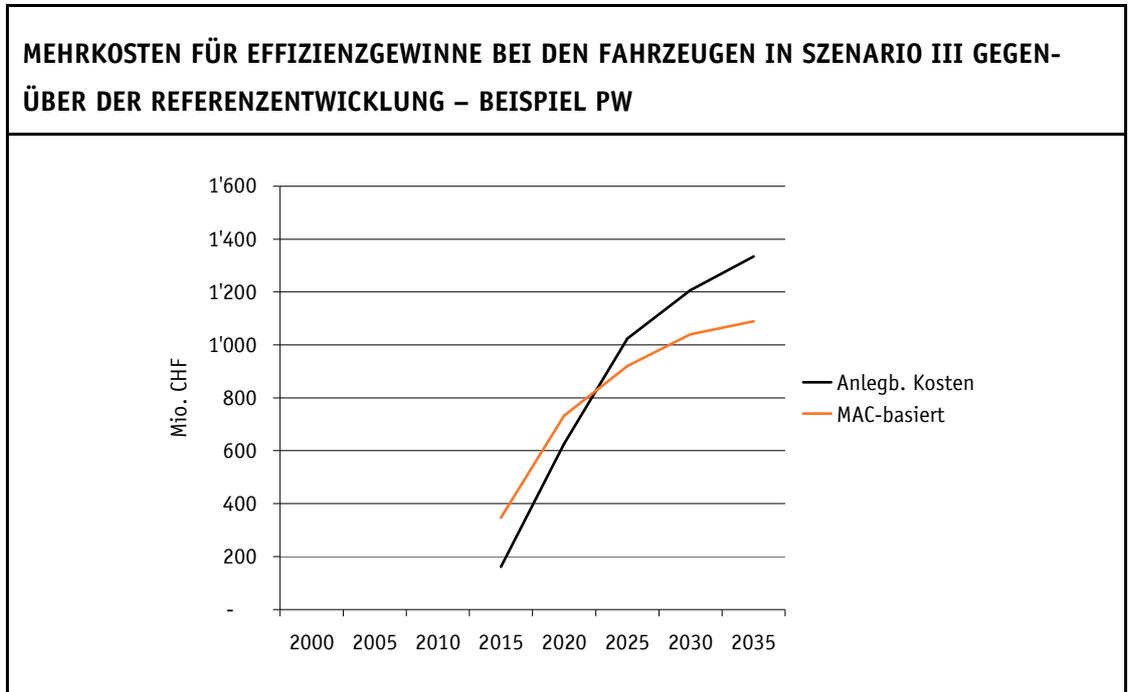
Die erste Methode orientiert sich an den marginal abatement costs (MAC). In TNO et.al. (2006) wurde eine Vielzahl verschiedener Massnahmenkombinationen simuliert, die den spezifischen Verbrauch eines heutigen PW absenken können. Dabei wurde auch die Absenktiefe variiert, so dass als Ergebnis eine Kurve der spezifischen Reduktionskosten in CHF pro g CO₂/km resultierte. Figur 51 zeigt diese MAC-Kurve beispielhaft für einen Benzin-PW der mittleren Hubraumklasse (1.4-2 l).



Figur 51 Quelle: TNO et.al. (2006)

Ausgehend von solchen Kurven können die Kosten ermittelt werden, die nötig sind zur Erreichung der gegenüber dem Trend notwendigen zusätzlichen Absenkung. Weil die Referenzentwicklung selber auch einen Absenkpfad besitzt mit rund 150 g CO₂/km am Ende der Betrachtungsperiode, wurden für die Hochrechnung entsprechend höhere Kosten unterlegt (konkret: für die Absenkung auf 110 g CO₂/km gegenüber 150 g CO₂/km wurden Differenzkosten von 30 auf 70 g CO₂/km eingesetzt, weil diese Kurve sich auf einen heutigen PW mit rund 180 g CO₂/km bezieht, und nicht etwa Differenzkosten von 0 auf 40 g CO₂/km.) Das Ergebnis findet sich in Figur 52.

Die zweite Methode orientiert sich an den „anlegbaren Kosten“ (vgl. Abschnitt 2.6.2). Gemäss dieser Methode ergeben sich die in einem Jahr anfallenden Mehrkosten für Neufahrzeuge aus den jährlich zusätzlich eingesparten Energiekosten, multipliziert mit der approximativ halben Lebensdauer. Die beiden Kurven in Figur 52 deuten zumindest auf eine ähnliche Grössenordnung hin. Zählt man bei den Kosten gemäss Methode zwei noch die andern Fahrzeugkategorien dazu, so erhöhen sich die Werte um rund 100 bis 200 Mio. CHF.



Figur 52 Grössenordnung der Mehrkosten für effizientere Fahrzeuge.

8. SZENARIO IV - „WEG ZUR 2000-WATT-GESELLSCHAFT“

8.1. IDEE

In Szenario IV sind die Ziele noch ambitionärer formuliert als im vorausgehenden Szenario:

- › Reduktion der CO₂-Emissionen um 20% bis 2020 und um 35% bis 2035 gegenüber Ausgangsjahr 2000,
- › Erhöhung der Energieeffizienz: Reduktion des Pro-Kopf-Energieverbrauchs um 35% bis 2035 (gleichfalls gegenüber Ausgangsjahr 2000).

Szenario IV geht im Ansatz einen Schritt weiter. Während der Schwerpunkt in Szenario III (ausschliesslich) auf Energieeffizienz gelegt wird, werden in diesem Szenario zusätzlich auch Anpassungen in den Aktivitäten (Fahrleistungen) unterstellt bzw. erforderlich sein.

Stichworte sind hier:

- › Klimaschutz, Energieeffizienz, Abkehr von Öl- und Gasressourcen rücken global weit nach oben auf die Prioritätenliste.
- › Dadurch ist die Bereitschaft zu global wirksamen Instrumenten gegeben.
- › Eine stärkere „Virtualisierung“ der Gesellschaft findet statt, was Änderungen insbesondere bei den Transport-Aktivitäten ermöglicht.

8.2. UMSETZUNG

8.2.1. ANSATZPUNKT MENGEN-ANPASSUNGEN

Wie einleitend erläutert, übernimmt dieses Szenario IV („Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft“) die Effizienz-Elemente aus Szenario III. Es setzt ergänzend dazu den Fokus auf die Anpassung der Nachfrage nach Verkehrsleistungen. Szenario IV wirkt damit kohärenter als Szenario III, denn die Massnahmen (insbesondere Preissignale) wirken nicht allein auf Technologie, sondern ebenso und gleichzeitig auf die andern Verhaltensdimensionen, namentlich

- › Kurzfristig auf Anzahl Fahrten, Auslastung, Fahrverhalten,
- › Mittelfristig auf Technologie / Fahrzeugeffizienz,
- › Längerfristig auf Distanzen (Verkehr/Raumordnung).

Die Umsetzung erfolgt in Anlehnung an die Güterverkehrs- bzw. Personenverkehrsperspektiven des ARE.

Konkretisierung im Personenverkehr

Im Personenverkehr orientiert sich die Entwicklung der Verkehrsnachfrage am sog. Alternativszenario „Regionaler Ausgleich und Ressourcenknappheit“ der ARE-Personenverkehrs-

perspektiven (ARE 2006). Es ist geprägt von längerfristig deutlich steigenden Energiepreisen und einer Verkehrspolitik, die dies mit der Einführung neuer Lenkungsabgaben im Strassenverkehr vorwegnimmt. Dadurch findet eine gedämpfte Entwicklung der Mobilität statt, vor allem durch eine Rückbesinnung auf lokale und regionale Aktionsradien.

Selbst in diesem Szenario nimmt der Strassenverkehr noch immer zu, allerdings nur mehr geringfügig (5%) und deutlich weniger als im Referenzszenario. Gleichzeitig wird mit einer Modal Split-Verschiebung vom MIV zum ÖV und auch zum Langsamverkehr gerechnet; auch Auslastungsverbesserungen sind Teil des Bildes. Für die Bahnen wird mit entsprechendem Mehrverkehr (Pkm) gerechnet, betrieblich (in Zugkm) wird ein unterproportionales Wachstum unterstellt (d.h. höhere Auslastungen), da das Schienensystem nur in beschränktem Mass die dafür nötigen Kapazitäten bereithalten kann. Effizienzgewinne wie auch die Entwicklung bei den alternativen bzw. erneuerbaren Treibstoffen folgen dem Szenario III.

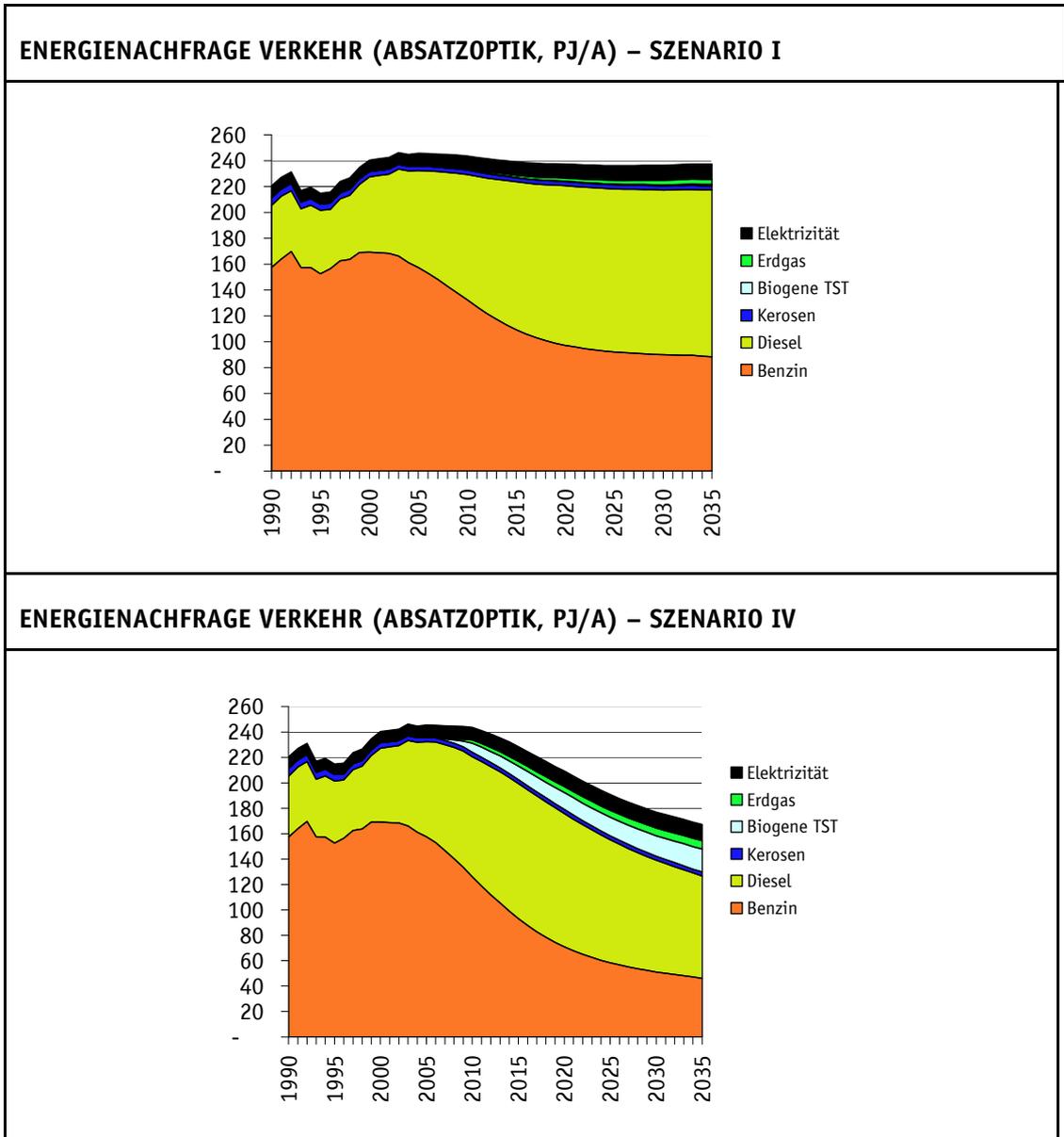
Konkretisierung im Güterverkehr

Das Mengengerüst im Güterverkehr orientiert sich am sog. Alternativ-Szenario 2 der Güterverkehrsperspektiven (ARE 2004a). In diesem Szenario wird ein Gesamtverkehrswachstum von +32% erwartet (statt +54% im Basis-Szenario), mit einer Differenzierung zwischen Strasse und Schiene (Strasse: +22% statt +35%, Schiene: +47% statt +85%). Die Begründung hebt sich allerdings ab: hier wird davon ausgegangen, dass die Arbeitsteilung nicht mehr im gleichen Ausmass fortschreitet, entsprechend wächst der Bedarf nach Gütertransporten deutlich weniger dynamisch. Weil die Prioritätenänderungen bei Klimaschutz, Energieeffizienz und Rohstoffeinsparung auch international unterstellt werden, hat dies Folgen für die Aussenverkehre, wo die Schiene eine starke Position hat (entsprechend tiefere Wachstumsraten trotz Shifts zur Schiene).

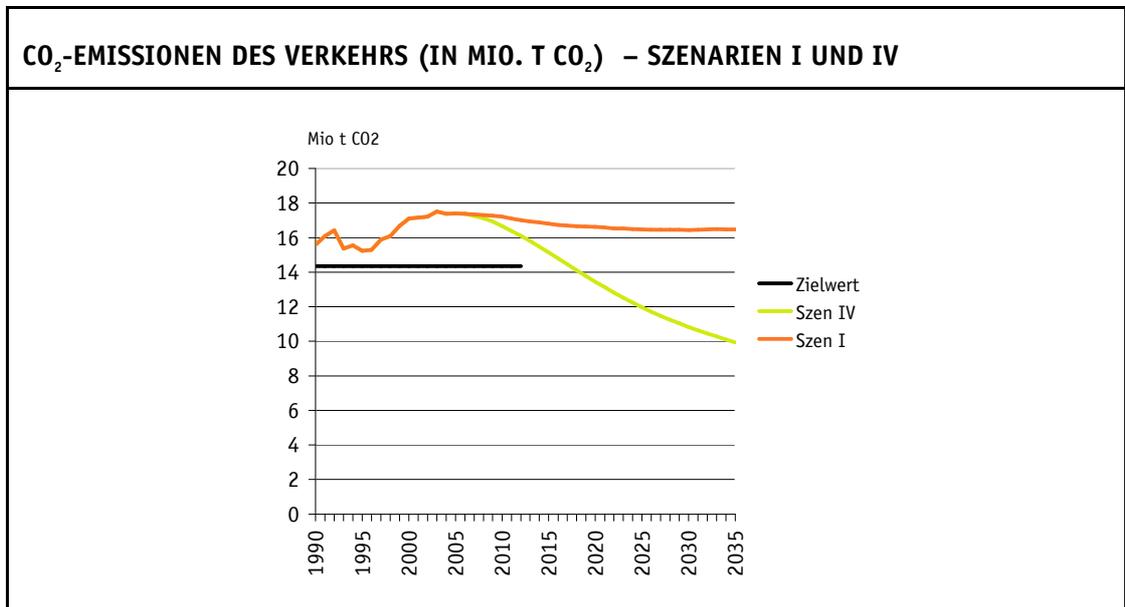
8.3. AUSWIRKUNGEN

8.3.1. ENERGIEVERBRAUCH UND CO₂-EMISSIONEN

Diese werden in analoger Weise wie in Szenario III dargestellt (in PJ und in CO₂-Emissionen; Absatz-Optik), die entsprechenden Zahlen finden sich in Annex 10:



Figur 53



Figur 54

Ein Vergleich mit den Zielvorgaben für Szenario IV zeigt, dass diese nicht mehr ganz eingehalten werden können. Wie bereits in Szenario III wird das CO₂-Emissionsziel längerfristig relativ „grosszügig“ übertroffen (auch wenn der Zielwert für 2010 noch klar verpasst wird), hingegen gilt dies für den spezifischen Energieverbrauch nicht mehr ganz (30% statt 35% Reduktion des spezifischen Energieverbrauchs pro Kopf). Das illustriert, dass

- › Entweder der Verbrauch im Verkehr weiter abgesenkt werden muss, sei es durch weitere Minderung des spezifischen Verbrauchs oder aber durch Reduktion der Nachfrage im Strassenverkehr (oder ggf. noch weitere Verschiebung zur Schiene, was aber Kapazitätsgründen an Grenzen stossen dürfte),
- › sei es durch weitere Absenkungen in anderen Sektoren zur Kompensation dieser Ziellücke. Das Instrumentarium für solche Kompensationen wäre beispielsweise über den Emissionshandel möglich, indem der Verkehrsbereich als Zertifikatekäufer auftritt.

VERGLEICH MIT ZIELVORGABEN		
	2020	2035
Zielvorgabe CO ₂ -Emissionen	-20%	-35%
Zielvorgabe spezif. Energieverbrauch pro Kopf		-35%
CO ₂ -Emissionen (Szenario IV)	-21%	-42%
spezif. Energieverbrauch pro Kopf (Szenario IV)		-30%

Tabelle 12

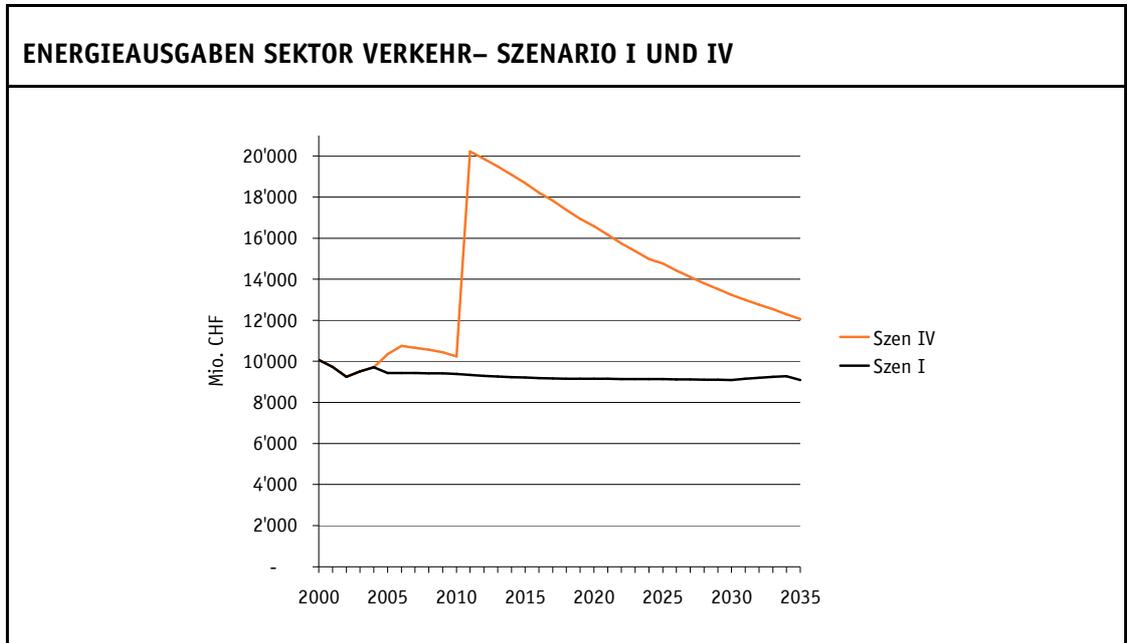
Der Stromverbrauch steigt aufgrund der Verkehrsverlagerung erneut über das Niveau der Referenzentwicklung (12.9 PJ gegenüber 11.8 PJ in Szenario I) und ist damit rund 30% über dem heutigen Verbrauch (9.9 PJ im Jahr 2005). Der Anteil der alternativen Energieträger hat etwa das gleiche Niveau wie in Szenario III (25 PJ gegenüber 19 PJ in Szenario Ib und gut 5 PJ in Szenario I). Prozentual machen die Alternativen knapp 15% aus. Dieser scheinbar hohe Prozentsatz ist vor dem Hintergrund zu sehen, dass der Gesamtverbrauch deutlich reduziert wird (von heute rund 245 PJ auf 167 PJ in Szenario IV).

8.3.2. SCHADSTOFF-EMISSIONEN

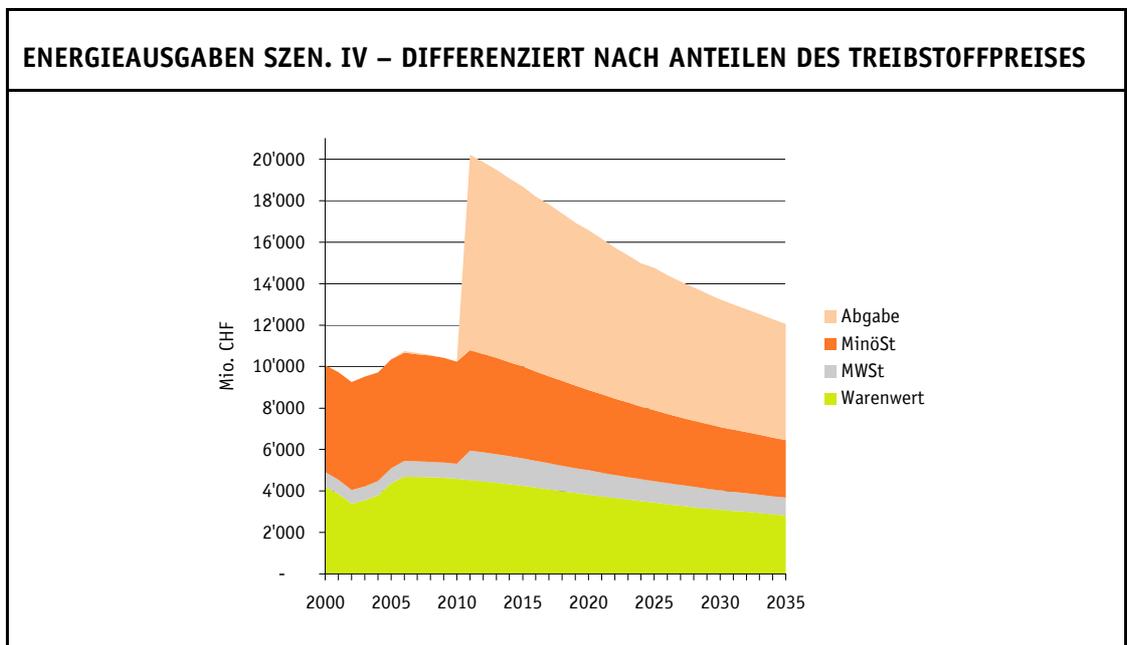
Die längerfristige Schadstoff-Emissionsentwicklung in Szenario IV (vgl. Zahlen in Annex 10) ist um weitere rund 15% tiefer als im vorangegangenen Szenario III, da hier zusätzlich auch die Verkehrsnachfrage sich ändert, sprich: um rund 15% absinkt gegenüber der Referenzentwicklung. Bei der Entwicklung der spezifischen Emissionen (in g/Fzkm) wird das Niveau von Szenario III übernommen, mit dem Effekt, dass beispielsweise die NO_x-Emissionen im Jahr 2035 auf rund 17'500 t absinken (heute: rund 60'000 t NO_x, Referenz 2035 rund 25'000 t NO_x).

8.3.3. FINANZIELLE AUSWIRKUNGEN

Die finanziellen Auswirkungen in Szenario IV sind strukturell ähnlich gelagert wie jene in Szenario III. Die Effekte sind aber noch ausgeprägter. Das heisst, die Ausgaben für Energie steigen bei der Einführung der unterstellten Abgabe noch stärker an als bei Szenario III, weil die Abgabehöhe noch intensiviert ist. Andererseits ist der Absenkpfad aufgrund der Mengeneffekte steiler, das Niveau bleibt aber auch längerfristig noch deutlich über jenem der Referenz-Entwicklung. Die nachstehenden zwei Figuren zeigen die entsprechenden Angaben.



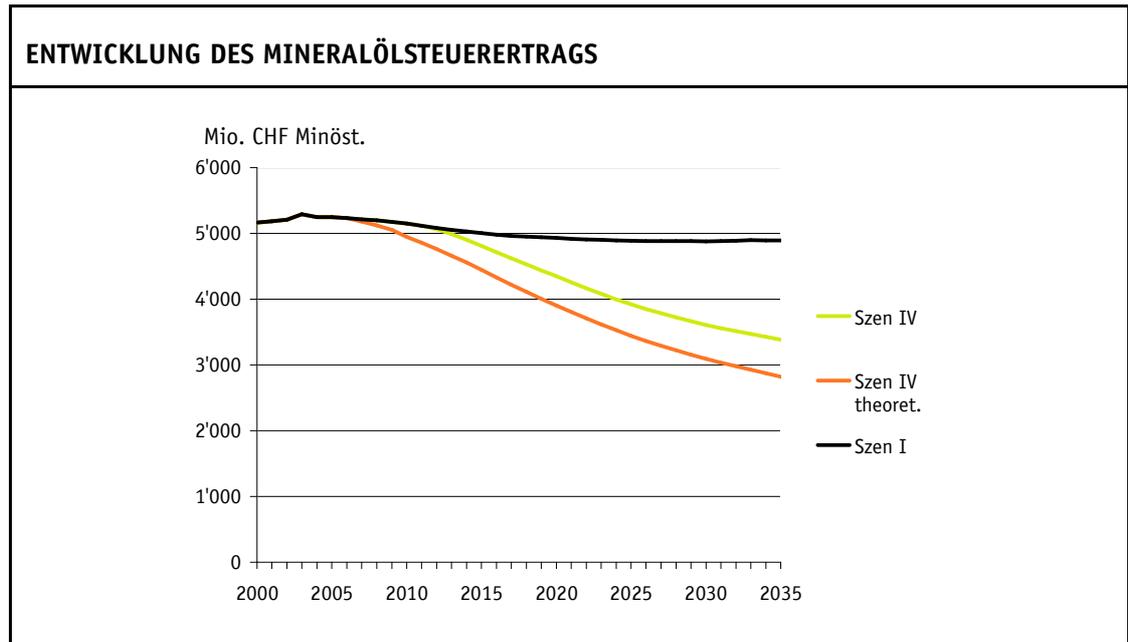
Figur 55



Figur 56

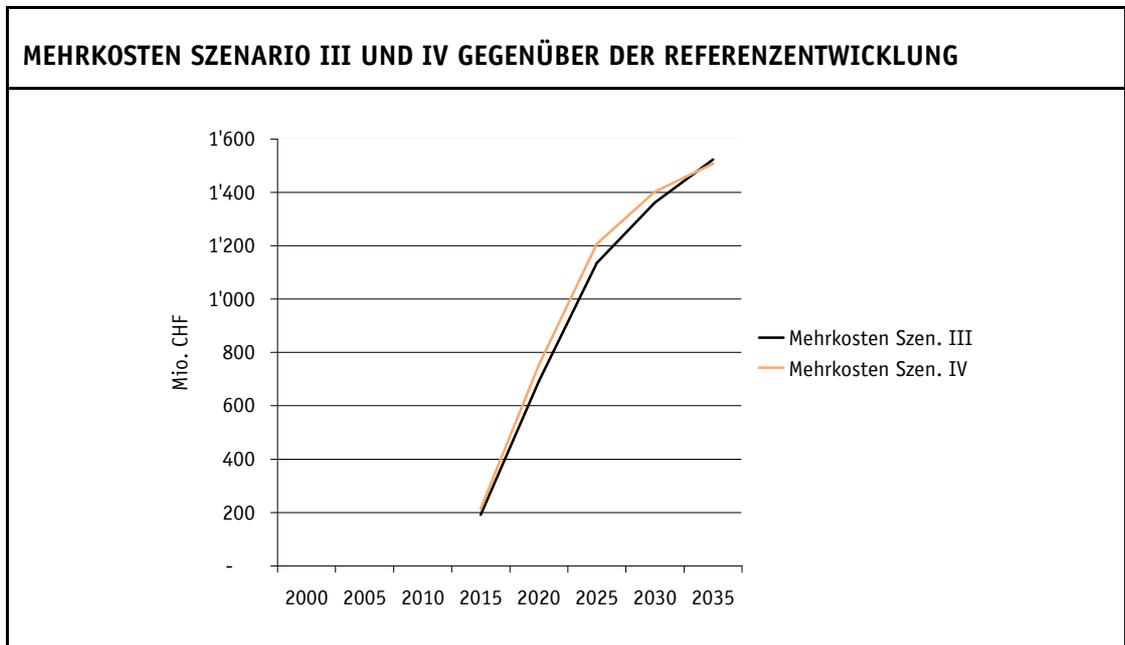
Figur 57 zeigt wiederum separat die Entwicklung bei der Mineralölsteuer. Eine deutliche Reduktion um etwa ein Drittel ergäbe sich, falls die Mineralölsteuersätze sich auf dem heutigen Niveau bewegten, da sich die Effizienzgewinne 1:1 auf die Erträge übertragen. Dabei zeigt sich noch verstärkt, dass die Förderung der biogenen Treibstoffe bei den hier

unterstellten Anteilen zu signifikanten Reduktionen führt, d.h. die Benzin- und ggf. Dieselpreise müssten noch stärker erhöht werden als in Szenario III, um die durch die Förderung verursachten Steuerausfälle zu kompensieren.



Figur 57 Steuerausfälle bei der Mineralölsteuer (Szenario IV im Vergleich zu Szenario I). Die Figur zeigt zusätzlich die durch die Förderung der biogenen Treibstoffe (Szenario IV, theoret.) auf den Benzinpreis umzulegenden Finanzmittel.

Wie auch in Szenario III fallen zusätzlich zu den Energiekosten auf Mehraufwendungen für die Fahrzeuge an. Für Szenario IV zeigen wir lediglich die Ergebnisse aufgrund der Methode der anlegbaren Kosten, die aber – wie in Szenario III gezeigt – ähnliche Ergebnisse wie die MAC-basierte Methode produziert. Dass Szenario III und IV ähnlich hohe Kosten verursachen, ist auf kompensierende Effekte zurückzuführen: einerseits ein höherer Energiepreis, andererseits aufgrund der Mengenentwicklung, d.h. eine kleinere Zahl von zu beschaffenden Fahrzeugen mit gleichem spezifischem Effizienzgewinn wie in Szenario III.



Figur 58 Abschätzung der Mehrkosten für effizientere Fahrzeuge

Als zusätzlicher Effekt kommt in Szenario IV eine strukturelle Wirkung dazu: die markante Modal Split-Verschiebung impliziert ein Nachfragewachstum auf der **Schiene**, das mit den jetzigen und auch den geplanten Infrastrukturen kaum verkraftbar sein wird. Bereits die Referenzentwicklung rechnet im Personenverkehr mit einer Zunahme um einen Drittel gegenüber heute. Darauf sind auch die derzeitigen Infrastrukturplanungen auf Bundesebene ausgerichtet. Szenario IV mit fast einer Verdopplung der Nachfrage wird zusätzliche Ausbauten bedingen. Derzeit werden verschiedene grössere Bauwerke aus finanziellen Gründen auf eine nächste Generation verschoben wie etwa ein weiterer Jura-Durchstich, ein zweiter Heitersberg-Tunnel für eine durchgehende 4-Spur-Achse im Mittelland, eine 4-Spur-Strecke für den stark belasteten Abschnitt Zürich – Winterthur für die konsequente Trennung von Fern- und Regionalverkehr, ein zweiter Zimmerbergtunnel für die Komplettierung der nördlichen Zufahrt zum Gotthard, die Fortsetzung der NEAT Richtung Süden etc. Ein wie hier skizziertes Szenario IV setzte voraus, dass zumindest ein Teil dieser Projekte umgesetzt würde, um die nötigen Kapazitäten zu schaffen und gleichzeitig das Schienensystem attraktiv genug für einen modalen Shift zu machen. In finanzieller Hinsicht stünden jedenfalls zusätzliche Investitionssummen in Milliardenhöhe zur Realisierung an.

Gleichzeitig nimmt das Transportvolumen auf der Strasse in Szenario IV zwar nicht weiter zu, aber der Ausbau der Infrastruktur ist ähnlich angelegt wie in der Referenzentwicklung, d.h. es wird sich ein Mehrbedarf an finanziellen Mitteln gegenüber heute für die Auf-

rechterhaltung und den Betrieb dieser Infrastruktur einstellen. Dem stünde – unter unveränderten Treibstoffpreisen – ein Rückgang an Mineralölsteuererträgen um etwa ein Drittel gegenüber. Wie bereits unter Szenario III erwähnt, wird auch in Szenario IV die Verkehrsfinanzierung über Treibstoffpreisanteile grundsätzlich überdacht werden müssen. Verursacherorientierte, fahrleistungs- oder zeitpunktbezogene Finanzierungsmuster bieten sich als Option an, um dem simultanen Anliegen von Verkehrslenkung und -finanzierung zu entsprechen.

8.4. SENSITIVITÄT „BIP HOCH“

8.4.1. IDEE

Analog zum Szenario I wird auch beim Szenario IV eine Sensitivitätsbetrachtung für erhöhtes Wirtschaftswachstum angefügt. Wiederum wird von einem um 0.5% höheren jährlichen Wachstum ausgegangen (im Vergleich zu durchschnittlich 1%/a im Vergleichsszenario). Mit welchen Effekten ist – unter Szenario-IV-Rahmenbedingungen – zu rechnen ?

8.4.2. UMSETZUNG

Die Argumentation folgt qualitativ den Ansatzpunkten, die bereits für die Konstruktion von Szenario III und IV herangezogen wurden (vgl. Abschnitt 4.1). Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass die Effizienzentwicklung gemäss Szenario III in dieser Sensitivität nicht verändert wird, weil mit kompensierenden Faktoren zu rechnen ist:

- › Auf der einen Seite vermögen erhöhte Einkommen einen Trend zu grösseren, leistungsfähigeren und komfortableren Fahrzeugen zu begründen und so den Effizienzpfad zu unterlaufen.
- › Auf der andern Seite können aber die als Folge des höheren BIP erhöhten Einkommen auch dazu führen, dass noch ausgeprägtere Innovationen zum Zuge kommen, die Fahrzeug-Palette somit vermehrt „A+“-Charakter aufweist und dem erstgenannten Trend diametral entgegenwirkt.

Die Hauptwirkung wird deshalb bei den Transportleistungen erwartet:

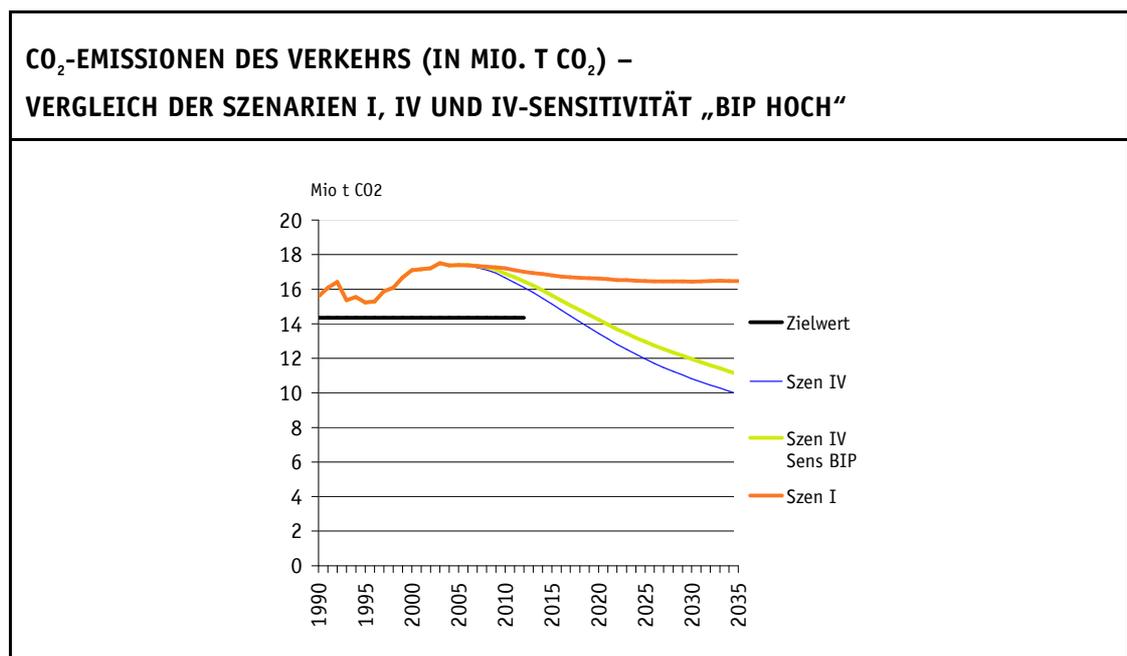
Im **Güterverkehr** erlaubt die erhöhte Verfügbarkeit finanzieller Mittel mehr Bahndynamik und Klimaschutz, entsprechend dem „Alternativ-Szenario 1“ gemäss Güterverkehrsperspektiven. In der Folge wird dort vor allem ein höheres Wachstum auf der Schiene erwartet (doppelt so hohes Wachstum im Vergleich zur Strasse), allerdings wird auch bei der Strasse mit höherem Wachstum gerechnet gegenüber dem Bezugsszenario.

Im **Personenverkehr** wird demgegenüber sowohl auf der Strasse als auch auf der Schiene ein höheres Nachfragewachstum unterstellt, da auch unter Szenario IV-Bedingungen davon auszugehen ist, dass ein Zusammenhang zwischen BIP- und Verkehrsnachfrage-Entwicklung besteht. Entsprechend wird keine signifikante Modal Split-Verschiebung unterstellt. Da zudem das „Grundwachstum“ geringer ist als unter Trend-Bedingungen, kommen dort limitierende Faktoren (namentlich Kapazitätsengpässe auf der Strasse) weniger stark zum Tragen. Bei der Schiene hingegen setzt ein zusätzliches Wachstum entsprechende Kapazitätsausbauten voraus, um dieses erhöhte Wachstum bewältigen zu können – was bei erhöhtem Wirtschaftswachstum wiederum eher möglich ist als unter schleppender ökonomischer Entwicklung.

Energieträger-Mix: Wie bei der Effizienz-Entwicklung wird auch beim Einsatz von alternativen Antrieben keine signifikante Veränderung gegenüber Szenario IV unterstellt, da Preis und Angebot der alternativen Energieträger determinierender sein werden als die BIP-Entwicklung.

8.4.3. AUSWIRKUNGEN

Die getroffenen Annahmen führen dazu, dass ein guter Teil des Mengeneffekts von Szenario IV durch das erhöhte Wirtschaftswachstum wieder aufgehoben wird. Die entsprechenden Zahlen finden sich in Annex 10A.



Figur 59

Dadurch werden die Zielvorgaben für das Szenario IV in dieser Ausprägung nur noch teilweise erfüllt: Die CO₂-Ziele sind so gerade noch erreichbar (zwar noch nicht im Jahr 2020, hingegen knapp in der längeren Frist (2035), das Effizienzziel 2035 betreffend Energieverbrauch pro Kopf (-35%) hingegen wird deutlich verfehlt (-23%).

VERGLEICH MIT ZIELVORGABEN		
	2020	2035
Zielvorgabe CO ₂ -Emissionen	-20%	-35%
Zielvorgabe spezif. Energieverbrauch pro Kopf		-35%
CO ₂ -Emissionen (Szenario IV, Sens. BIP)	-17%	-35%
spezif. Energieverbrauch pro Kopf (Szenario IV, Sens. BIP)		-23%

Tabelle 13

8.5. SENSITIVITÄT „KLIMA“

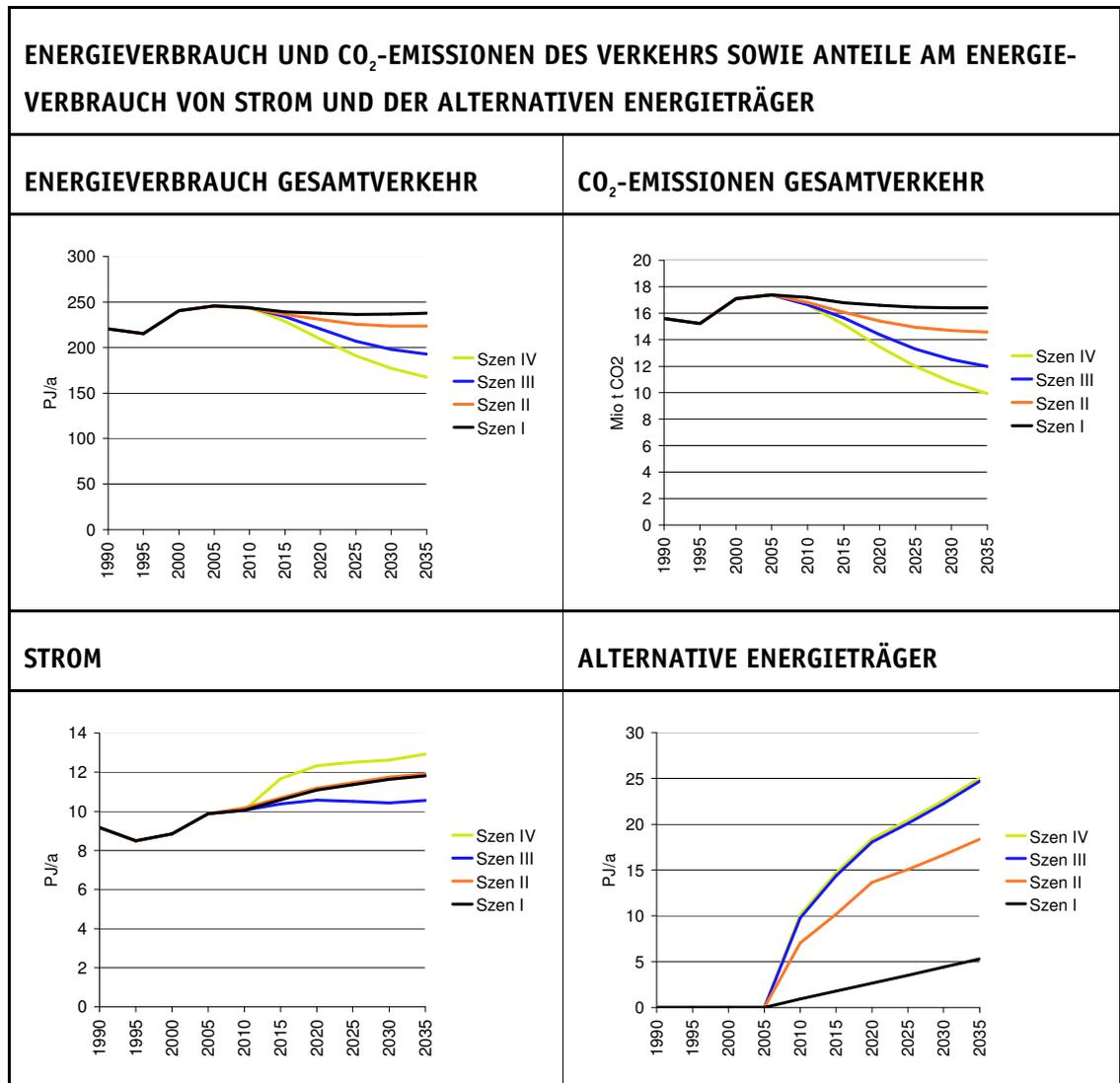
Die Ergebnisse der Sensitivität „Klima“ bei Szenario I haben ergeben, dass der Effekt vergleichsweise begrenzt ist: weil die Fahrzeugflotte ohnehin zunehmend mit Klimageräten ausgerüstet sein wird und diese oft in Dauerbetrieb sind, steigert eine Aussentemperaturerhöhung um 1-2 Grad C den Gesamttreibstoffverbrauch der PW um weniger als 1%. Da sich die Effizienz-Strategie im Rahmen von Szenario IV (und III) auch auf die Klimaanlage beziehen muss, ist zu erwarten, dass die relative Erhöhung des Verbrauchs infolge höherer Aussentemperaturen nicht wesentlich höher sein wird als im Kontext von Szenario I. Deshalb wurde auf eine quantitative Detailberechnung verzichtet.

9. ZUSAMMENFASSENDE ÜBERSICHT

9.1. ENTWICKLUNG VON ENERGIEVERBRAUCH UND CO₂-EMISSIONEN

Die nachstehenden Figuren zeigen zusammenfassend die Entwicklung des Energieverbrauchs im Verkehr, der entsprechenden CO₂-Emissionen sowie gesondert den Stromverbrauch bzw. den Anteil der alternativen Energieträger (biogene und Erdgas) in den vier Szenarien. Daraus geht hervor, dass mit Szenario IV das Energieverbrauchsniveau auf rund zwei Drittel des heutigen Niveaus abgesenkt werden kann - bei hoher Mobilität und ohne auf unbekannte Technologien setzen zu müssen. Vielmehr dominiert ein Ansatz von heutiger „Best practice“ mit einem sehr moderaten Verbesserungspfad. Der CO₂-Pfad in Szenario IV sieht sogar eine 10% höhere Absenkung (um 43%) vor, weil darin ein zusätzlicher, aber vergleichsweise bescheidener Anteil erneuerbarer Alternativtreibstoffe mit berücksichtigt ist. Dies auf dem Hintergrund der Unsicherheiten und Vorbehalte, die derzeit mit der Einführung von Bio-treibstoffen verbunden sind (etwa die Fragwürdigkeit, ob diese am kostenwirksamsten im Verkehr eingesetzt werden; Vorbehalte bezüglich ökologischer und sozialer Gesamtbilanz v.a. bei Importen).

Die Darstellung zeigt auch, dass der Stromverbrauch zunehmen wird – um rund 20% gegenüber 2005 in den Szenarien I und II, eine Abnahme sieht das Effizienz-Szenario III vor, während Szenario IV aufgrund des zusätzlichen Mengenwachstums eine Zunahme um 30% erwartet.



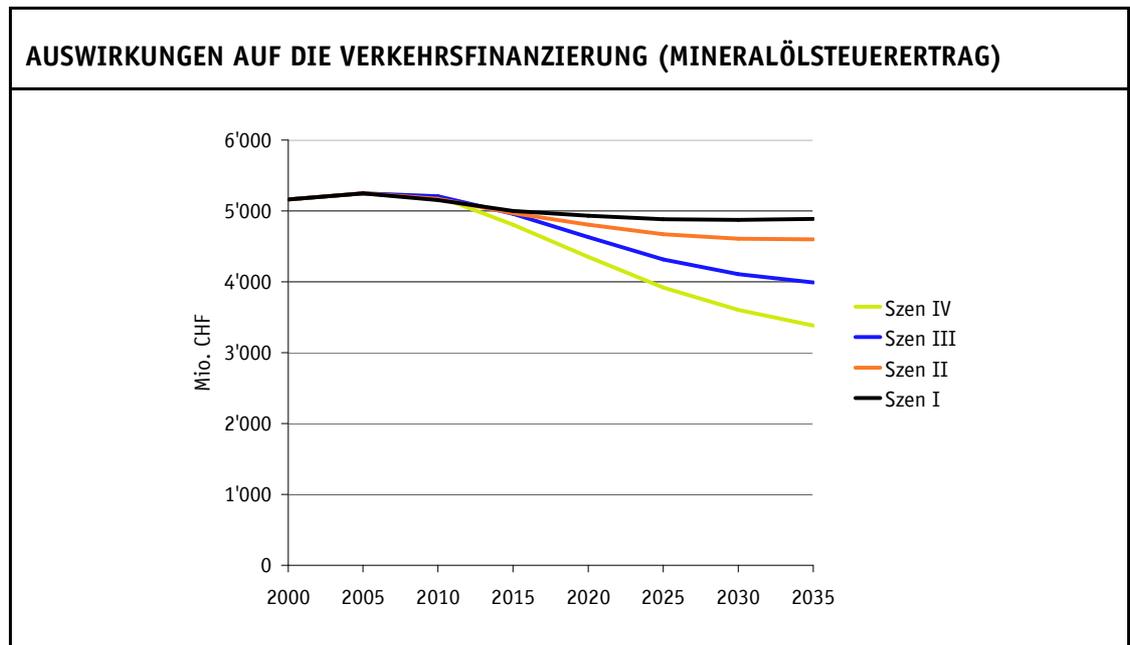
Figur 60

9.2. FINANZIELLE AUSWIRKUNGEN

Strassenverkehr

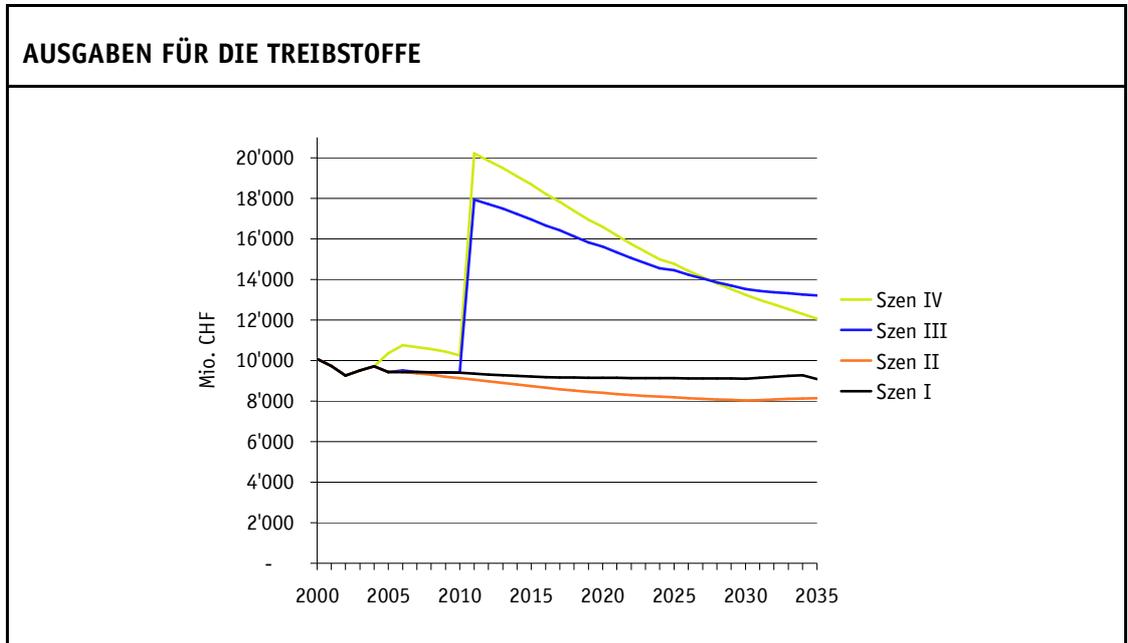
Weil die Finanzierung des Strassenverkehrssystems heute zu einem guten Teil an die Mineralölsteuer gebunden ist, bedeutet Rückgang des Energieverbrauchs auch Rückgang des Mineralölsteuerertrags. Figur 61 zeigt die Grössenordnungen. Das ist vor allem deshalb bedeutsam, weil das Strassennetz aufgrund des absehbaren Wachstums weiter ausgebaut wird, somit die Kosten für Unterhalt und Substanzerhaltung des Systems eher zunehmen. Es ergäbe sich deshalb unter Status quo-Bedingungen der Finanzierung eine markante Lücke. Daran ändert auch die Erwartung nicht viel, dass die kantonalen Motorfahrzeugsteuern

mengenbedingt leicht zunehmen werden. Deshalb wird die Verkehrsfinanzierung über Treibstoffpreisanteile grundsätzlich überdacht werden müssen.



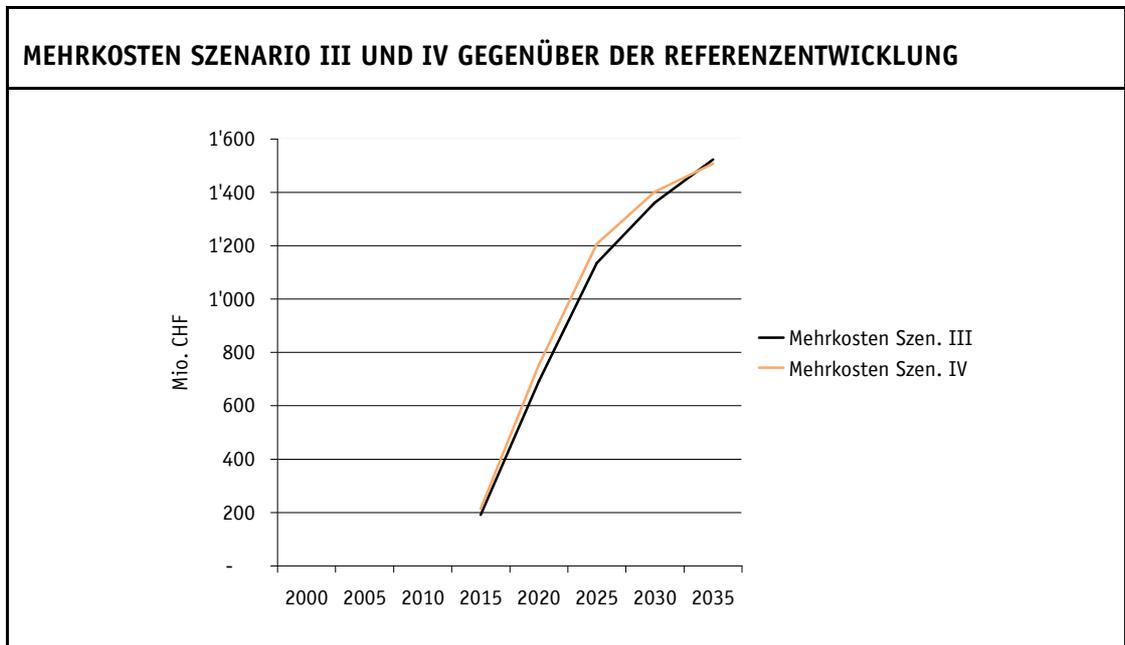
Figur 61

Die Ausgaben für die Energie fallen in den Szenarien II und IV ins Gewicht. Trotz Effizienzsteigerung bei den Fahrzeugen verbleiben energiepreisbedingte Kostenzunahmen, die vor allem zu Beginn der Betrachtungsperiode markant sind. Daraus leiten sich denn auch die Veränderungen bei der Effizienzentwicklung, aber auch im Mengengerüst ab, die aber lediglich bei Szenario IV eine Rolle spielen.



Figur 62

Zusätzlich zu den Energiekosten fallen auch Mehrkosten für effizientere Fahrzeuge an. Dass Szenario III und IV ähnlich hohe Kosten verursachen, ist auf kompensierende Effekte zurückzuführen: einerseits ein höherer Energiepreis in Szenario IV gegenüber III, andererseits aufgrund einer kleineren Zahl von zu beschaffenden Fahrzeugen mit gleichem Effizienzgewinn wie in Szenario III.



Figur 63

Schienerverkehr

Schon in der Referenzentwicklung wird mit einem Wachstum von 33% im Personen- bis zu 66% im Güterverkehr gerechnet. Die gegenwärtige Infrastrukturplanung ist darauf ausgerichtet. Im Szenario IV steigt aufgrund von zusätzlichen Verkehrsverlagerungen die Nachfrage noch weiter an, was zwangsläufig das System an Kapazitätsgrenzen bringen wird. Daraus folgt, dass ein Szenario IV Zusatzinvestitionen im Schienenverkehr nach sich zieht, die aus finanziellen Gründen zurückgestellt wurden und unter diesen Rahmenbedingungen erneut in Erwägung gezogen werden müssten.

9.3. FOLGERUNGEN

Eine wichtige Basis für Einschätzungen des künftigen Energieverbrauchs im Verkehr sind die Erwartungen zum **Verkehrswachstum**. Bekanntlich hat der Verkehr in den letzten 30-40 Jahren markant zugenommen. Ein vergleichbares Wachstum wird für die nächsten 30 Jahre nicht mehr erwartet, vor allem im Personenverkehr auf der Strasse wird mit einem moderateren Wachstum gerechnet (+18% bis 2035), weil die Motorisierung langsam einer Sättigung entgegenstrebt, der grosse Attraktivitätsschub durch den Bau des Autobahnnetzes praktisch abgeschlossen ist und der Strassenraum für weiteres Wachstum zunehmend knapper wird. Das Wachstum wird sich mehr zur Schiene verschieben (+35% bis 2035), ohne dass sich aber dadurch der Modal Split massgeblich verändern würde. Dynamischer bleibt demgegenüber

die Entwicklung im Güterverkehr (+45% bis 2035), wo markante Zunahmen auf beiden Verkehrsträgern erwartet werden (Schiene +70%, und Strasse +30% bis 2035).

Verkehr ist letztlich ein abgeleitetes Bedürfnis, das zu einem guten Teil über die Verteilung von Quell- und Zielpunkten im Raum, mithin also durch Siedlungs- und Produktionsstrukturen determiniert wird. Diese Strukturen verändern sich nicht von heute auf morgen. Deshalb zeigt der Verkehrsbereich insgesamt ein relativ grosses Beharrungsvermögen, auch wenn einzelne Segmente, wie etwa der Freizeitverkehr, durchaus kurzfristiges Anpassungspotenzial aufweisen. Auch wenn der Verkehr künftig nicht mehr im bisherigen Ausmass wachsen soll, so unterläuft dieses Wachstum zumindest teilweise die Anstrengungen zur Energieeinsparung und verhindert, dass sich die Potenziale voll als effektive Reduktionen niederschlagen.

Diese Anstrengungen sorgen aber immerhin dafür, dass der Energieverbrauch im Verkehr nicht parallel zur Nachfrage zunimmt. Bereits trendmässige Verbesserungen der **Energieeffizienz** sollten dafür ausreichen, um den Energieverbrauch im Verkehr etwa auf dem heutigen Niveau zu halten. So betrachtet wird eine Entkoppelung von Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch im Verkehr absehbar. Allerdings ist dies angesichts von Zielsetzungen zu Klimaschutz und zu kurz- wie langfristiger Versorgungssicherheit nicht ausreichend. Gleichzeitig zeigen die Szenarien auf, dass die Potenziale zur Energiereduktion erheblich sind. Vor allem beim spezifischen Verbrauch und hier insbesondere bei den PW ist die Palette von Massnahmen gross, sie reicht von motorenspezifischen Optimierungen über Reifentechnologien und Verkehrsmanagement bis hin zum individuellen Fahrverhalten. Die Vergangenheit hat allerdings gezeigt, dass diese Potenziale nur zu kleinen Teilen ausgeschöpft werden. Überdies werden diese Bestrebungen nur zum Teil für effektive Effizienzgewinne genutzt, zu einem ansehnlichen Teil werden sie für Leistungs- und Komfortsteigerungen eingesetzt. Szenario III zeigt, dass ein konsequentes Weiterverfolgen des Effizienzpfades trotz Verkehrswachstum die Energienachfrage im Verkehr spürbar zu reduzieren vermag. Auch wenn das Potenzial durch den Umstieg auf sparsamere Fahrzeuge bei gleicher Funktionalität gross wäre, setzt dieses Szenario (und auch Szenario IV) vor allem auf technologische Weiterentwicklungen heutiger „Best practice“ wie auch auf die Umsetzung von sich heute bereits in Entwicklung befindlichen technischen Ansätzen.

Die Szenarien zeigen gleichzeitig, dass solche Absenkpfade ohne entsprechende **Anreize und Rahmenbedingungen** kaum erreichbar sind. Dabei wirken diese Anreizsysteme sowohl auf Konsumentenseite, indem sich Energieverbrauch und CO₂-Emission auf der Kaufkriterienliste bei den PW deutlich nach oben verschiebt, wie auch auf Produzentenseite; diese

werden dadurch angeregt, ihre Produktpalette entsprechend anzupassen und die nötigen Entwicklungsanstrengungen daraufhin auszurichten. Solche Anreizsysteme müssen allerdings eine gewisse Intensität haben, um eine entsprechende Wirkung auszulösen. Szenario II etwa, das auf freiwillige Massnahmen und „weiche“ Massnahmen wie etwa ein Bonus-Malus-System für PW setzt, reicht nicht aus, wenn Ziele erreicht werden sollen, die sich ernsthaft am klimapolitisch Notwendigen orientieren. Erst Szenario III und IV werden die Impulse für den nötigen Effizienzpfad auslösen. Solche Anreizsysteme sind allerdings in internationalem Verbund abzustimmen. Das gilt vor allem für die Schweiz mit ihrem kleinen Marktvolumen, die überdies über keine eigene Automobilproduktion verfügt. Die Schweiz ist also darauf angewiesen, dass die nötigen Produkte auf dem Weltmarkt angeboten werden. Solche Anreizsysteme müssen deshalb zwangsläufig international wirksam werden, um die nötige technologische Entwicklung anzustossen. Im weitern zeigen die Szenarien aber auch die Bedeutung des Faktors Zeit: um keine wirtschaftlichen Brüche zu generieren, sind solche Abgaben stufenweise, aber langfristig und verbindlich einzuführen, um die nötige Verlässlichkeit für die technologischen Innovationspfade zu bieten.

Als neue Option bieten sich im Verkehr die **biogenen Treibstoffe** an. Diese erleben derzeit einen weltweit starken Auftrieb. Fördermassnahmen fiskalischer Art oder auch Quoten sollen zu Mindestanteilen von erneuerbaren Treibstoffen am Gesamtverbrauch führen – vor allem aus Gründen der Versorgungssicherheit, aber auch wegen ihres CO₂-Reduktionspotenzials⁵⁵. Allerdings werden sie hier, d.h. in den Szenarien II bis IV, als Ergänzungsoptionen betrachtet. Zu gross sind die Vorbehalte, die derzeit mit der Einführung von Biotreibstoffen bezüglich ökologischer und sozialer Gesamtbilanz verbunden sind. Die Szenarien setzen denn auch mehr auf die Verfügbarkeit von 2.-Generation-Biotreibstoffen (Fischer-Tropsch-Diesel oder Zellulose-Ethanol), welche nicht nur die Biomasse besser verwerten, sondern auch zu effektiveren CO₂-Reduktionen führen.

Finanzierung und Energieverbrauch sind heute namentlich im Strassenverkehr eng aneinander gekoppelt. Ein Rückgang des Energieverbrauchs heisst auch Abnahme des Mineralölsteuerertrags, was letztlich die Finanzierung des weiterhin wachsenden Verkehrssystems in Frage stellt. Je grösser der (wünschbare) Effizienzgewinn, desto grösser die Finanzierungslücke. Deshalb müsste die Verkehrsfinanzierung über Treibstoffpreisanteile grundsätz-

⁵⁵ In den Szenarien wurde den biogenen Treibstoffen volle CO₂-Neutralität attestiert, da sie überwiegend als Import unterstellt wurden, allfällige Produktionsbedingte CO₂-Emission deshalb nicht anzurechnen wären. Faktisch aber, wenn die gesamte Produktionskette einbezogen wird, kann deren CO₂-Reduktionspotenzial je nach Produktionsart schnell auf 30 bis 50% sinken.

lich überdacht werden. Finanzierungsschemas, die Nachfragelenkung und verursachergerechte Finanzierung verbinden (wie z.B. Mobility Pricing), dürften eine Option werden, zumal mit der Informationstechnologie künftig intelligente Erhebungssysteme verfügbar sein werden.

Im **Schieneverkehr** wird bereits im Trend-Szenario ein gegenüber dem Strassenverkehr überproportionales Verkehrswachstum erwartet, mit entsprechender Auswirkung auf die Stromnachfrage. Noch stärker fällt ein gleichzeitig steigender Leistungsbedarf ins Gewicht, was aber in diesem Bericht nicht weiter thematisiert wird. Werden die Ziele ambitionierter gesetzt wie etwa in Szenario IV, ist absehbar, dass die zur Zielerreichung nötigen Mengen- und Modal-Split-Veränderungen zu einem Nachfragewachstum auf der Schiene führen, das mit den geplanten Infrastrukturen kaum bewältigt werden kann. Entsprechend sind Kapazitätserweiterungen ins Auge zu fassen, die über das derzeit Geplante hinausgehen.

ANNEX**ANNEX 1: ABSATZ- UND VERBRAUCHSENTWICKLUNG VERKEHR 1990-2005****ENERGIEABSATZ TREIBSTOFFE**

	Benzin in 1000t	Diesel in 1000t	Kerosen in 1000t	Elektr. GWh
1990	3'702	1'117	1'118	2'572
1991	3'856	1'133	1'083	2'525
1992	3'994	1'098	1'142	2'533
1993	3'705	1'057	1'181	2'458
1994	3'703	1'123	1'212	2'439
1995	3'590	1'141	1'278	2'433
1996	3'682	1'071	1'320	2'398
1997	3'824	1'119	1'367	2'410
1998	3'851	1'157	1'425	2'477
1999	3'979	1'227	1'517	2'548
2000	3'983	1'307	1'582	2'640
2001	3'873	1'330	1'492	2'698
2002	3'795	1'377	1'380	2'798
2003	3'776	1'460	1'241	2'984
2004	3'708	1'568	1'171	2'940
2005	3'595	1'714	1'164	2'983

	Benzin in PJ	Diesel in PJ	Kerosen in PJ	Elektr. in PJ	Summe in PJ
1990	157.3	47.8	48.1	9.3	262.5
1991	163.9	48.5	46.6	9.1	268.0
1992	169.7	47.0	49.1	9.1	275.0
1993	157.5	45.2	50.8	8.9	262.3
1994	157.4	48.1	52.1	8.8	266.3
1995	152.6	48.8	55.0	8.8	265.1
1996	156.5	45.8	56.8	8.6	267.7
1997	162.5	47.9	58.8	8.7	277.9
1998	163.7	49.5	61.3	8.9	283.4
1999	169.1	52.5	65.2	9.2	296.0
2000	169.3	55.9	68.0	9.5	302.7
2001	164.6	56.9	64.2	9.7	295.4
2002	161.3	58.9	59.3	10.1	289.6
2003	160.5	62.5	53.4	10.7	287.1
2004	157.6	67.1	50.4	10.6	285.6
2005	152.8	73.4	50.1	10.7	287.0

Quelle: Energiestatistik BFE

ANNEX 2: MENGENGERÜST STRASSENVERKEHR - AUSGANGSLAGE

A. Fahrzeugbestand und Fahrleistungen

Strasse: Fahrzeugbestand nach Fahrzeugkategorien

	Einheit	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005
PW	*1000	2'985	3'229	3'545	3'630	3'701	3'754	3'811	3'864
LI	*1000	220.9	238.4	260.1	267.6	273.6	277.5	283.6	291.2
RBus	*1000	2.3	2.4	2.2	2.2	2.2	2.1	2.3	2.3
LBus	*1000	4.1	4.3	4.2	4.4	4.4	4.5	4.5	4.7
MR	*1000	763.9	704.1	731.4	739.8	741.4	749.5	770.7	770.5
SNF	*1000	55.9	53.8	52.2	52.6	52.2	51.8	52.4	54.5

Strasse: Fahrleistungen nach Fahrzeugkategorien

	Einheit	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005
PW	Mio FzKm	42'648	44'638	49'552	50'713	51'697	52'423	53'082	53'689
LI	Mio FzKm	2'758	3'025	3'792	3'971	4'128	4'260	4'326	4'391
RBus	Mio FzKm	108	110	99	100	101	100	99	98
LBus	Mio FzKm	175	193	197	205	208	212	213	213
MR	Mio FzKm	2'025	1'744	1'998	2'061	2'122	2'179	2'233	2'282
SNF	Mio FzKm	2'044	1'996	2'385	2'266	2'093	2'122	2'166	2'192

B. Treibstoffverbrauch

Strasse: Kenngrössen der PW-Neuwagen (Quelle: auto-schweiz 2006)

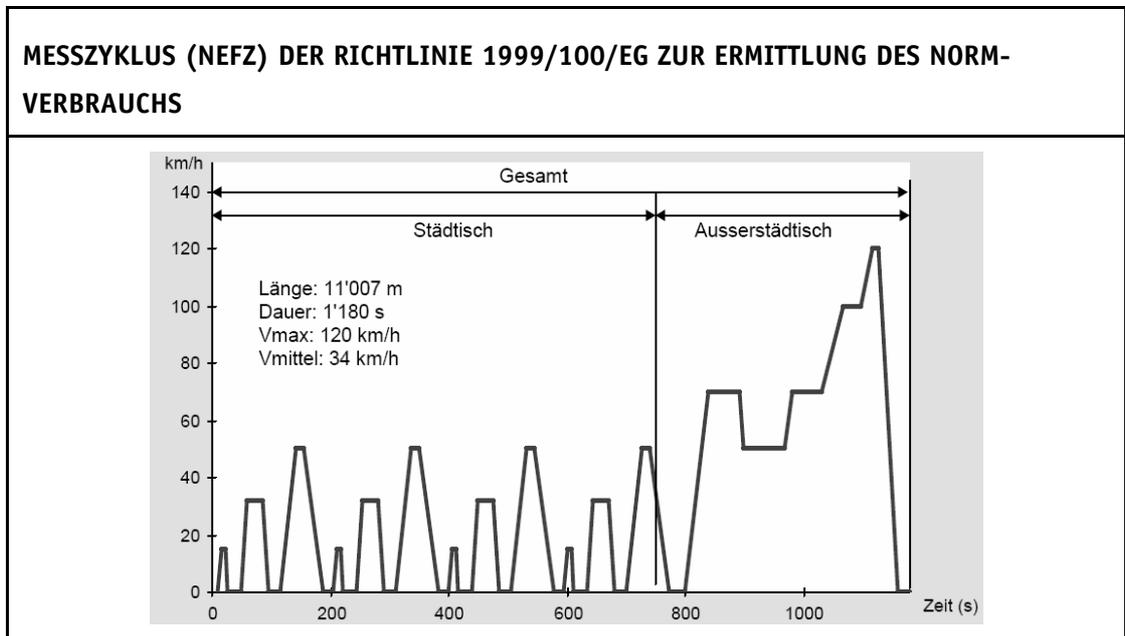
› Treibstoffverbrauch gemäss NEFZ, Leergewicht und Hubraum der Neuwagen

Schweiz			1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Dieselanteil		%	5.2	5.2	5.8	6.9	10	13.5	17.6	21.4	26.2	28.8
Verbrauch	Benzin	L/100 km	9.02	8.86	8.79	8.71	8.58	8.53	8.4	8.34	8.23	8.09
	Diesel	L/100 km	7.69	7.72	7.41	7.3	6.72	6.67	6.72	6.74	6.67	6.63
	Total	L/100 km	8.95	8.8	8.71	8.62	8.4	8.29	8.1	7.99	7.82	7.67
CO2-Emission	Benzin	g CO2/km	210	206	204	203	200	199	196	194	192	188
	Diesel	g CO2/km	202	202	191	191	176	175	176	177	175	174
	Total	g CO2/km	210	206	203	202	198	196	192	190	187	184
Leergewicht	Benzin	kg	1'297	1'313	1'328	1'341	1'340	1'361	1'363	1'383	1'394	1'402
	Diesel	kg	1'531	1'586	1'605	1'634	1'567	1'578	1'621	1'647	1'656	1'665
	Total	kg	1'309	1'327	1'344	1'361	1'363	1'390	1'408	1'440	1'462	1'478
Hubraum	Benzin	cm3	1'929	1'933	1'932	1'941	1'926	1'947	1'933	1'951	1'952	1'937
	Diesel	cm3	2'212	2'257	2'213	2'208	2'119	2'116	2'124	2'131	2'116	2'079
	Total	cm3	1'944	1'950	1'948	1'959	1'945	1'970	1'967	1'989	1'995	1'978

Quelle: auto-schweiz 2006

EU-15			1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
CO2-Emission	Benzin	g CO2/km	186	184	182	180	178	173	172	171	170	
	Diesel	g CO2/km	178	175	171	165	163	156	157	157	155	
	Total	g CO2/km	184	182	180	176	172	167	166	164	163	

Quelle: EU Commission: Implementing the Community Strategy to Reduce CO2 Emissions from Cars: Sixth annual Communication on the effectiveness of the strategy, COM(2006) 463 final, '24.08.2006



Figur 64 Messzyklus der Richtlinie 1999/100/EG zur Ermittlung des Treibstoff-Normverbrauchs von Neuwagen, ermittelt anlässlich der Typengenehmigung

Modellierung des Treibstoffverbrauchs

Im hier verwendeten Modell wird der Treibstoffverbrauch ähnlich wie die Emissionen modelliert (vgl. BUWAL 2004, INFRAS 2004a). Ausgangspunkt sind „Real World“-Messungen für verschiedene sog. Fahrzeugschichten, d.h. Fahrzeuggruppen gleicher Grösse (Hubraum bzw. Gewichtsklasse) und Treibstoffart, zudem wird unterschieden nach Euro-Klassen (gemäss Abgasgesetzgebung). Im Fall des Treibstoffverbrauchs der PW wird die „Schicht“ Euro-2 als Bezugsbasis genommen, das sind Fahrzeuge, die im Zeitraum 1995-2000 auf den Markt gekommen sind. Deren „Real World-Verhalten“ (unter Einbezug von realistischem Fahrverhalten, von Elementen wie unterschiedliche Fahrleistungsanteile auf Autobahnen, Ausserorts- und Innerortsstrecken, Zuatzeinflüssen wie Kaltstartzuschlägen etc.) wird als „Ausgangsniveau von Fahrzeugen mit Jahrgang 1995“ festgelegt. Es hat sich gezeigt, dass dieses Niveau rund 10% über dem theoretischen Normverbrauchswert liegt (neuere europäische Studien wie TNO et.al. 2006 rechnen sogar mit einer Überhöhung von 19.5%). Die Entwicklung des spezifischen Verbrauchs der Neuwagen gemäss Auswertungen von auto-schweiz wird dann (relativ) auf dieses Ausgangsniveau 1995 appliziert. So ergibt sich für jeden Jahrgang der Fahrzeuge ein entsprechend tieferes Verbrauchsniveau, das aber absolut gesehen höher liegt als es die Normverbrauchszahlen erwarten lassen. Separat betrachtet wird der Einfluss von Klimaanlage, welche einen zusätzlichen Verbrauch vom im Mittel 4% verursachen.

C. Ergebnisse

Strasse: Modellierter Energieverbrauch nach Fahrzeugkategorien (in PJ/a)

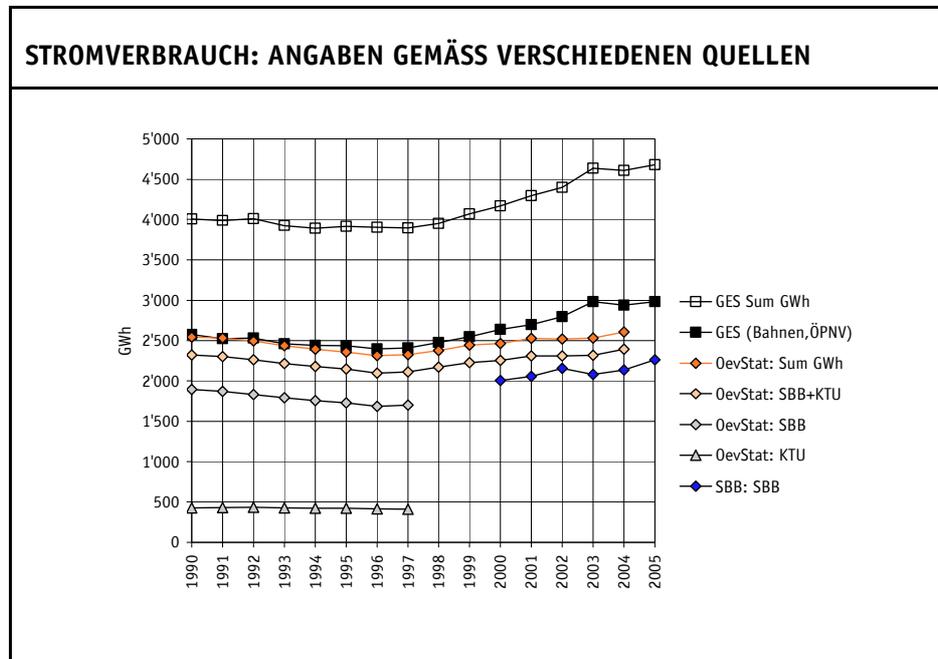
	Einheit	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005
PW	PJ	135.2	139.1	151.2	153.9	155.8	156.6	156.5	156.4
LI	PJ	12.0	12.3	15.1	15.9	16.6	17.3	17.6	18.0
RBus	PJ	1.3	1.3	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
LBus	PJ	2.8	3.1	3.0	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2
MR	PJ	2.5	2.2	2.6	2.6	2.7	2.8	2.8	2.9
SNF	PJ	22.2	21.2	23.8	23.1	21.3	21.6	21.9	22.5
Summe	PJ	176.0	179.2	196.9	199.7	200.6	202.6	203.2	204.0

Strasse: Energieverbrauch nach Treibstoff- und Verkehrsart (in PJ/a)

PJ		1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Strasse / Pers	B	129.6	132.0	141.0	142.5	142.7	140.8	138.0	135.2
Strasse / Pers	D	12.2	13.7	16.9	18.2	20.1	22.9	25.6	28.3
Strasse / Güter	B	8.2	7.5	7.2	6.8	6.5	6.1	5.7	5.2
Strasse / Güter	D	26.0	26.0	31.8	32.2	31.4	32.7	33.8	35.2
Summe	B+D	176.0	179.2	196.9	199.7	200.6	202.6	203.2	204.0

ANNEX 3: MENGENGERÜST SCHIENENVERKEHR - AUSGANGSLAGE

Stromverbrauch Verkehr



Figur 65 Die Modellierung im Rahmen der Energieperspektiven orientiert sich an den Angaben gemäss ÖV-Statistik.

Konkret werden folgende Angaben verwendet:

- 2000: 2'461 GWh (8.86 PJ) – gemäss ÖV-Statistik
- 2004: 2'607 GWh (9.39 PJ) – gemäss ÖV-Statistik
- 2005: 2'743 GWh (9.88 PJ) – geschätzt (Infras)

Verkehrsnachfrage Personenverkehr ÖV (Quelle: ÖV-Statistik)⁵⁶

		1990	1995	2000
Pkm Schiene (Total)	Mio Pkm	12'789	13'515	14'750
Pkm Strasse (RV+ÖPNV)	Mio Pkm	4'697	4'702	4'572
Pkm ÖV Total	Mio Pkm	17'486	18'217	19'322

⁵⁶ Die hier angegebenen Zahlen beziehen sich auf die Datengrundlagen des BFS, welche auch den Verkehrsperspektiven des ARE zugrunde gelegt waren. Inzwischen hat das BFS die Zahlen 1995 und 2000 nach unten korrigiert.

Für die Energieperspektiven konstruiertes Mengengerüst 2005 als Basis für die Szenarien

	Pkm bzw tkm	Aus- lastung	Zkm (Wgkm)	Gewicht	Btkm	Spezif. Energie- verbrauch	Energie- verbrauch	Energie- verbrauch
2005	Mrd	P resp t	Mio	t	Mrd	Wh/ Btkm bzw Wh/Wkm	Mio kWh	PJ
ÖPNV	2.3	32	72.5	1'000	72.5	3.0	215	0.78
Bahnen-P FV	12.5	207	60.5	545	33	34.1	1'125	4.05
Bahnen-P RV	6.2	57	109.5	183	20	40.2	804	2.89
Bahnen-P	18.7		170		53		1'929	6.95
Bahnen-G FV	9	492	18.3	1'169	21.4	22.2	475	1.71
Bahnen-G NV	1.1	82	13.4	336	4.5	27.5	124	0.45
Bahnen-G	10.1		31.7		25.9		599	2.16
Sum Bahnen			201.7				2'528	9.10
Sum Bahnen+ÖPNV			274.2				2'743	9.88

ANNEX 4: MENGENGERÜST OFFROAD SEKTOR - AUSGANGSLAGE

Methodik der Energie- und Emissionsberechnung im Offroad-Bereich

Die Emissionsberechnungen zum Offroad-Bereich basieren auf zwei Grundlagen:

- › Mengengerüste, d.h. Bestände und Betriebsstunden der verschiedenen Geräte- und Maschinentypen des ganzen Offroad-Sektors, differenziert nach Einsatzart, Leistungsklasse und Motorentyp.
- › Verbrauch- und Emissionsfaktoren. Diese geben – je Motortyp – den Energieverbrauch bzw. die Schadstoffemissionen in g/kWh an, entsprechend der gleichen Differenzierung nach Einsatzart, Leistungsklasse und Motorentyp, aber erweitert um sog. Emissionskonzepte, um den Einfluss der Gesetzgebung im zeitlichen Verlauf zu berücksichtigen.

Aufgrund dieser zwei Datensätze (Mengengerüste, Emissionsfaktoren) lassen sich schliesslich Verbrauch und Emissionen gemäss folgender Rechenanweisung ermitteln:

$$Em_{\text{Emissionsstufe}}^{\text{Schadstoff}} = N \cdot H \cdot P \cdot \lambda \cdot \varepsilon_{\text{Emissionsstufe}}^{\text{Schadstoff}} \quad \text{wobei}$$

Em = Verbrauch bzw. Emission pro Maschinentyp, je Schadstoff bzw. Emissionsstufe (in g resp. t/a)

N = Bestand Geräte (Anzahl) Maschinentyp

H = Anzahl Betriebsstunden pro Maschinentyp und Jahr (h/a)

P = Nennleistung des Maschinentyps (kW)

λ = Lastfaktor (dimensionslos)

ε = Verbrauchs- resp. Emissionsfaktor je Maschinentyp, Schadstoff und Emissionsstufe (g/kWh)

Durch Summierung über alle Maschinenschichten je Bezugsjahr lassen sich dann die Gesamtemissionen bzw. der Verbrauch des Offroad-Sektors je Jahr ermitteln.

Ergebnisse 1990 – 2005 (prov. Ergebnisse, laufende Aktualisierung von BUWAL 1996)

		1990	1995	2000	2005
Offroad Verkehr-B	PJ/a	0.5	0.5	0.5	0.6
Offroad Verkehr-D	PJ/a	2.3	2.4	2.4	2.4
Offroad Nicht-Verkehr-B	PJ/a	2.6	2.6	2.5	2.4
Offroad Nicht-Verkehr-D	PJ/a	12.7	14.3	15.4	15.7
Offroad Verkehr-B+D	PJ/a	2.8	2.9	2.9	3.0
Offroad Nicht-Verkehr-B+D	PJ/a	15.4	16.9	17.8	18.1
Sum	PJ/a	18.2	19.8	20.7	21.1

ANNEX 5: VERGLEICH ENERGIE-VERBRAUCH UND -ABSATZ 1990-2005

Verbrauch	PJ	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Strasse / Pers	B	129.6	132.0	141.0	142.5	142.7	140.8	138.0	135.2
Strasse / Pers	D	12.2	13.7	16.9	18.2	20.1	22.9	25.6	28.3
Strasse / Güter	B	8.2	7.5	7.2	6.8	6.5	6.1	5.7	5.2
Strasse / Güter	D	26.0	26.0	31.8	32.2	31.4	32.7	33.8	35.2
Offroad Verkehr	B+D	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9	3.0	3.0	3.0
Offroad Nicht-Verkehr	B+D	15.4	16.9	17.8	17.9	17.9	18.0	18.0	18.1
Verbrauch (B)	B	141.0	142.5	151.2	152.3	152.2	149.9	146.7	143.5
Verbrauch (D)	D	53.2	56.4	66.4	68.2	69.3	73.6	77.5	81.6
Verbrauch (B+D)	B+D	194.2	199.0	217.6	220.5	221.5	223.5	224.2	225.1
Schiene	EL	9.2	8.5	8.9	9.1	9.1	9.2	9.4	9.9
Flugverkehr (nat.)	K	6.2	5.0	4.3	4.1	3.9	3.6	3.5	3.4
Verbrauch (national)		200.3	204.0	221.9	224.5	225.4	227.1	227.6	228.5

Absatz modelliert		1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Absatz B	B	157.3	152.6	169.3	168.6	168.5	166.2	161.2	157.5
Absatz D	D	47.8	48.8	58.0	59.8	60.9	67.3	70.8	74.9
Absatz B+D	B+D	205.1	201.4	227.3	228.4	229.4	233.5	231.9	232.3
Schiene	EL	9.2	8.5	8.9	9.1	9.1	9.2	9.4	9.9
Flugverkehr (nat.)	K	6.2	5.0	4.3	4.1	3.9	3.6	3.5	3.4
Total	0	220.5	214.9	240.5	241.6	242.4	246.3	244.8	245.7

Absatz Statistik		1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Absatz total		262.5	265.1	302.7	295.4	289.6	287.1	285.6	287.0
Absatz B	B	157.3	152.6	169.3	164.6	161.3	160.5	157.6	152.8
Absatz D	D	47.8	48.8	55.9	56.9	58.9	62.5	67.1	73.4
Absatz B+D	B+D	205.1	201.4	225.2	221.5	220.2	223.0	224.7	226.1
Absatz GES	EL	9.3	8.8	9.5	9.7	10.1	10.7	10.6	10.7
Absatz OeV-Statistik	EL	9.2	8.5	8.9	9.1	9.1	9.1	9.4	
Flugverk.(Absatz)	K	48.1	55.0	68.0	64.2	59.3	53.4	50.4	50.1

Quelle: INFRAS (Ex Post Analyse 2004, aktualisiert)

ANNEX 6: GRUNDLAGEN FÜR DIE EMISSIONSBERECHNUNGEN

Entwicklung der Grenzwerte für Abgas-Emissionen im Strassenverkehr

Die den Emissionsberechnungen zugrundeliegenden Emissionsfaktoren basieren weitestgehend auf effektiven Emissionsmessungen von Fahrzeugen und nicht direkt auf Grenzwerten (vgl. BUWAL 2004). Die Messungen wurden zwar auf Laborprüfständen durchgeführt, aber es wurden möglichst Messungen von realitätsnahen Fahrmustern (und nicht von Typenprüfzyklen) verwendet. Die Emissionsgrenzwerte geben aber gleichwohl einen Hinweis auf die Entwicklung des Emissionsniveaus. Als Hintergrundinformation zeigen die nachstehenden Tabellen die Entwicklung der Emissionsgrenzwerte bis heute bei den zwei wichtigsten Fahrzeugkategorien (PW und SNF).

Emissionsgrenzwerte Personenwagen mit Benzinmotor

Norm	Etappe	Inkraft-treten	Mess-zyklus	Grenzwerte [g/km]				
				CO	HC	NO _x	HC+NO _x	Part.
ECE 15	ECE 15.00	1.01.1974	ECE 15	30 - 65	5.1 - 8.2	-	-	-
	ECE 15.01	1.09.1975	ECE 15	24 - 52	4.3 - 7.0	-	-	-
	ECE 15.02	1.10.1977	ECE 15	24 - 52	4.3 - 7.0	3.0 - 4.7	-	-
	ECE 15.03	1.10.1980	ECE 15	19 - 42	3.8 - 6.2	2.5 - 4.0	-	-
AGV	AGV 82	1.10.1982	FTP 72	24.20	2.10	1.90	-	-
	AGV 86	1.10.1986	FTP 72	9.30	0.90	1.20	-	-
FAV 1	FAV 1-1	1.10.1987	FTP 75	2.10	0.25	0.62	-	-
91/441/EWG*	Euro-1 *)		NEFZ	3.16			1.13	
TAFV 1 94/12/EG	Euro-2	1.10.1996	NEFZ **)	2.20	-	-	0.50	-
	Euro-3	1.01.2001	NEFZm ***)	2.30	0.20	0.15	-	-
	Euro-4	1.01.2006	NEFZm	1.00	0.10	0.08	-	-

*) nicht relevant für CH.

**) NEFZ: Fahrzyklus für leichte Motorwagen (Neuer Europäischer Fahrzyklus, entspricht dem Zyklus ECE 15, jedoch erweitert um einen Extra-Stadtfahrzyklus, genannt "EUDC").

***) NEFZm: Auch Zyklus "Euro-3" genannt. Er entspricht dem Zyklus NEFZ, ausser dass auf die Aufwärmphase von 40 Sekunden (Motor im Leerlauf, ohne Emissionsmessung) vor Beginn des Zyklus verzichtet wurde.

Emissionsgrenzwerte Personenwagen mit Dieselmotor

Norm	Etappe	Inkraft-treten	Mess-zyklus	Grenzwerte [g/km]				
				CO	HC	NO _x	HC+NO _x	Part.
FAV 1	FAV 1-1	1.10.1987	FTP 75	2.10	0.25	0.62	-	0.370
	FAV 1-2	1.10.1988	FTP 75	2.10	0.25	0.62	-	0.124
91/441/EWG	Euro-1 *)		NEFZ	3.16	-	-	1.13	0.18
TAFV 1 94/12/EG	Euro-2	1.10.1996	NEFZ	1.00	-	-	0.70/0.9	0.08/0.1
	Euro-3	1.01.2001	NEFZm	0.64	-	0.50	0.56	0.050
	Euro-4	1.01.2006	NEFZm	0.50	-	0.25	0.30	0.025

Emissionsgrenzwerte Schwere Motorwagen (mit Dieselmotor)

Norm	Etappe	Inkraft-treten	Mess-zyklus	Grenzwerte [g/kWh]				
				CO	HC	NO _x	HC+NO _x	Part.
FAV 2	FAV 2-1	1.10.1987	ECE 49	8.40	2.10	14.4	-	-
	FAV 2-2	1.10.1991	ECE 49	4.90	1.23	9.0	-	0.70
	FAV 2-3	1.10.1993	ECE 49	4.90	1.23	9.0	-	0.40
TAFV 1	Euro-2	1.10.1996	ECE 49	4.00	1.10	7.0	-	0.15
Gemäss Beschluss des EU-Parlaments vom 16. Nov. 1999*):								
	Euro-3	ab 2000/1	ESC	2.10	0.66	5.0	-	0.10
	Euro-3	ab 2000/1	ETC	5.45	0.78	5.0	-	0.16
	Euro-4	ab 2005/6	ESC	1.50	0.46	3.5	-	0.02
	Euro-4	ab 2005/6	ETC	4.00	0.55	3.5	-	0.03
	Euro-5	ab 2008/9	ESC	1.50	0.46	2.0	-	0.02
	Euro-5	ab 2008/9	ETC	4.00	0.55	2.0	-	0.03
<i>Europäische Stufen (für CH nicht relevant)</i>								
88/77/EWG	„Euro-0“	vor 1992	ECE 49	12.3	2.6	15.8		-
91/542/EG	Euro-1	ab 1992/3	ECE 49	4.9	1.23	9.0		0.4

*) für die Typengenehmigung gilt jeweils das erstgenannte Jahr (Stichtag 1.10.), für die Zulassung, den Verkauf und die Inbetriebnahme jeweils das Folgejahr (Stichtag 1.10.)

Emissionsgrenzwerte Motorräder

Norm	Etappe	Inkraft-Treten	Mess-zyklus	Motor	Grenzwerte [g/km]				
					CO	HC	NO _x	HC+NO _x	Part.
ECE 40	ECE 40	1.10.1983	ECE 40	2 T	20 - 50	13 - 21	-	-	-
	ECE 40	1.10.1983	ECE 40	4 T	30 - 60	10 - 14	-	-	-
FAV 3	FAV 3-1	1.10.1987	ECE 40	2 T	8.0	7.5	0.10	-	-
	FAV 3-1	1.10.1987	ECE 40	4 T	13.0	3.0	0.30	-	-
	FAV 3-2	1.10.1990	ECE 40	2 T	8.0	3.0	0.10	-	-
	FAV 3-2	1.10.1990	ECE 40	4 T	13.0	3.0	0.30	-	-
TAFV 3 Motorräder	Euro-1	1.10.1999	ECE 40	2 T	8.0	4.0	0.10	-	-
	Euro-1	1.10.1999	ECE 40	4 T	13.0	3.0	0.30	-	-
	Euro-2	1.04.2003	ECE 40m**)	2 T / 4 T	5.5	1.0	0.30	-	-
	Euro-3	1.01.2006	NEFZ+	2 T / 4 T	2.0	0.3	0.15	-	-
Kleinmotor-Räder *)	„Euro-1“	1.10.1999	ECE 40	2 T / 4 T	6.0	-	-	3.0	-
	„Euro-2“	1.10.2002	ECE 40	2 T / 4 T	1.0	-	-	1.2	-
In Diskussion	„Euro-3“	ab 2006 ?	NEFZ	2 T / 4 T	3.0	1.0	0.3		

*) Kleinmotorräder sind Zweiradfahrzeuge mit ≤ 50ccm (die frühere bauartbedingte max. Höchstgeschwindigkeit von 45 km/h wurde mittlerweile mit der Richtlinie 2002/51/EG aufgehoben)

**) ECE 40m: Der Zyklus wird ohne 40 sec Leerlauf vor dem Zyklus gefahren.

Weitere Verschärfungen sind absehbar, aber noch nicht beschlossen. Für die hier durchgeführten Berechnungen werden folgende Annahmen getroffen.

- › SNF: Einführung Euro-6 ab 2015 mit einer Absenkung der NO_x -Werte um weitere 60% (der effektiven Emissionen, während der Grenzwert eine Reduktion um 75% vorsieht) sowie der PM-Werte um 75% gegenüber Euro-5.

› Bei den PW und Lieferwagen sind inzwischen weitere Absenkungen „praktisch“ beschlossen (Euro-5 ab 2009 bzw. 2010, Vorschläge für Euro-6 ab 2014 bzw. 2015). Hingegen wurden hier dazu keine expliziten Absenkraten festgelegt. Die gezeigten Entwicklungskurven sind also als obere Schätzwertentwicklungen zu verstehen, die mit sehr grosser Wahrscheinlichkeit unterschritten werden.

Non-Exhaust-Partikel-Emissionen im Strassenverkehr

Beim Strassenverkehr werden auch sog. Non-Exhaust-Partikel-Emissionen (Abrieb, Aufwirbelung) berechnet. Die Emissionsfaktoren dazu werden aus BUWAL 2004 (Annex A4) übernommen (keine Veränderungen, d.h. keine zeitliche Entwicklung).

Partikel-Emissionen: Masse versus Anzahl Partikel

Die oben erwähnten PM-Emissionen beziehen sich auf die **PM-Masse**, während sich abzeichnet, dass aus gesundheitlicher Sicht die **Partikelanzahl** und hier vor allem die Feinpartikel die relevante Angabe wäre. Die künftige Abgas-Gesetzgebung wird deshalb mutmasslich (auch) diese Masszahl begrenzen. Allerdings gibt es dazu noch keine verlässliche Datenbasis. Deshalb musste in dieser Untersuchung der Fokus auf die PM-Masse gelegt werden.

Mayer / Kasper beispielsweise bemerken zu diesem Thema Folgendes (Zusammenfassung des Referates „Feinstaubemissionen und Nanopartikel aus Verbrennungsmotoren“, Haus der Technik in Essen, 22.6.2005): *„Versucht man, die Russpartikel aus der motorischen Verbrennung in die Gesamtheit der Umwelt-Feinstäube (PM10 oder PM2.5) nach Wirkungskriterien einzuordnen, so führt der Weg zwangsläufig über eine Klassierung nach Grösse und Substanz. Eine Gewichtung der Grössenklassen nach Lungengängigkeit kommt rasch zu dem Ergebnis, dass die ultrafeinen Partikel durch ihre Masse ungenügend repräsentiert sind. Geht man daher konsequenterweise auf eine Darstellung nach der Anzahl der Partikel über, wie dies auch sonst bei partikulären Schadstoffen (Asbest) üblich ist und nach dem GRPE-PMP-Verfahren nun auch in die Emissionsmessung Eingang findet, so zeigt sich ein überaus klares Bild: Verbrennungsgenerierte Partikel dominieren, wobei neben den Partikeln aus der motorischen Verbrennung auch andere Verbrennungsvorgänge als wichtige Quellen zu berücksichtigen sind.“* Demnach verlieren die übrigen verkehrsbedingten Partikelemissionen aus Abriebvorgängen von Reifen, Kupplung und Bremse, Aufwirbelung von Strassenstaub, Schienenabrieb und dergleichen an Bedeutung und der Fokus ist vor allem auf die motorischen Abgas-Partikelemissionen auszurichten.

Emissionen des Offroad-Bereichs

Für die künftige Entwicklung in diesem Bereich ist wie im Strassenverkehr der Verlauf der Grenzwerte niveau-bestimmend. Es werden keine weiteren Verschärfungen über die derzeit absehbare Entwicklung hinaus unterstellt. Folgende Grenzwerte sind derzeit massgebend (nach BAFU 2006a):

Motoren von Arbeitsmotorwagen, Arbeitsanhängern sowie mobile Maschinen und Geräte: Entwicklung der Emissionsgrenzwerte (in g/kWh)

Norm	Etappe	Kategorie	Inkraft-treten*	Motorleistung g (kW)	Grenzwerte in [g/kWh]			
					CO	HC	NO _x	Part.
VTS (97/68/EG)	Stufe I	A	-----/ 1.10.2001	130 ≤ P ≤ 560	5.0	1.3	9.2	0.54
		B	1.01.2001/ 1.10.2001	75 ≤ P < 130	5.0	1.3	9.2	0.70
		C	1.01.2001/ 1.10.2001	37 ≤ P < 75	6.5	1.3	9.2	0.85
	Stufe II	E	01.2001/02	130 ≤ P ≤ 560	3.5	1.0	6.0	0.2
		F	01.2002/03	75 ≤ P < 130	5.0	1.0	6.0	0.3
		G	01.2003/04	37 ≤ P < 75	5.0	1.3	7.0	0.4
		D	1.01.2001/ 1.10.2001	18 ≤ P < 37	5.5	1.5	8.0	0.8
2004/26/EG	Stufe III A	H	01.2005/06	130 ≤ P ≤ 560	3.5	4.0 (HC+NO _x)		0.2
		I	01.2006/07	75 ≤ P < 130	5.0	4.0 (HC+NO _x)		0.3
		J	01.2007/08	37 ≤ P < 75	5.0	4.7 (HC+NO _x)		0.4
		K	01.2006/07	19 ≤ P < 37	5.5	7.5 (HC+NO _x)		0.6
	Stufe III B	L	01.2010/11	130 ≤ P ≤ 560	3.5	0.19	2.0	0.025
		M	01.2011/12	75 ≤ P < 130	5.0	0.19	3.3	0.025
		N	01.2011/12	56 ≤ P < 75	5.0	0.19	3.3	0.025
		P	01.2012/13	37 ≤ P < 56	5.0	4.7 (HC+NO _x)		0.025
	Stufe IV	Q	01.2013/14	130 ≤ P ≤ 560	3.5	0.19	0.4	0.025
		R	01.2013/14	56 ≤ P < 130	5.0	0.19	0.4	0.025

*) Erster Termin: Gültig für neue Motorentypen. Zweiter Termin: Gültig für die 1. Inverkehrsetzung bzw. 1. Inbetriebnahme von neuen Motoren.

Traktoren und Motorkarren: Entwicklung der Emissionsgrenzwerte (in g/kWh)

Norm	Etappe	Kategorie	Inkraft-treten*	Motor-Leistung (kW)	Grenzwerte in [g/kWh]				
					CO	HC	NO _x	Part.	
TAFV 2 / VTS (2000/25/EG)	Stufe I	B	1.07.2002/ 1.10.2002	$75 \leq P < 130$	5.0	1.3	9.2	0.70	
		C	-----/ 1.10.2002	$37 \leq P < 75$	5.0	1.3	9.2	0.70	
	Stufe II	E	1.07.2002/ 1.10.2002	$130 \leq P \leq 560$	3.5	1.0	6.0	0.2	
		F	07.2002/03	$75 \leq P < 130$	5.0	1.0	6.0	0.3	
		G	01.2003/04	$37 \leq P < 75$	5.0	1.3	7.0	0.4	
		D	1.07.2002/ 1.10.2002	$18 \leq P < 37$	5.5	1.5	8.0	0.8	
2005/13/EG analog zu 2004/26/EG	Stufe III A	H	01.2005/06	$130 \leq P \leq 560$	3.5	4.0 (HC+NO _x)		0.2	
		I	01.2006/07	$75 \leq P < 130$	5.0	4.0 (HC+NO _x)		0.3	
		J	01.2007/08	$37 \leq P < 75$	5.0	4.7 (HC+NO _x)		0.4	
		K	01.2006/07	$19 \leq P < 37$	5.5	7.5 (HC+NO _x)		0.6	
	Stufe III B	L	01.2010/11	$130 \leq P \leq 560$	3.5	0.19	2.0	0.025	
		M	01.2011/12	$75 \leq P < 130$	5.0	0.19	3.3	0.025	
		N	01.2011/12	$56 \leq P < 75$	5.0	0.19	3.3	0.025	
		P	01.2012/13	$37 \leq P < 56$	5.0	4.7 (HC+NO _x)		0.025	
		Stufe IV	Q	01.2013/14	$130 \leq P \leq 560$	3.5	0.19	0.4	0.025
			R	01.2013/14	$56 \leq P < 130$	5.0	0.19	0.4	0.025

*) Erster Termin: Gültig für neue Motorentypen. Zweiter Termin: Gültig für die 1. Inverkehrsetzung bzw. 1. Inbetriebnahme von neuen Motoren.

ANNEX 7: SZEN. I (REFERENZ): MENGENGERÜST, ENERGIEVERBRAUCH UND CO₂-EMISSIONEN

Mengengerüst

Preisentwicklung Fossile Treibstoffe

		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Preise Benzin "Trend"	CHF/L	1.20	1.18	1.43	1.31	1.33	1.34	1.36	1.37	1.37	1.40
Preise Diesel "Trend"	CHF/L	1.35	1.23	1.47	1.38	1.40	1.42	1.44	1.45	1.45	1.49
Preise Benzin "hoch"	CHF/L	1.20	1.18	1.43	1.43	1.50	1.52	1.54	1.55	1.56	1.56
Preise Diesel "hoch"	CHF/L	1.35	1.23	1.47	1.52	1.60	1.62	1.64	1.66	1.66	1.66

Verkehrsnachfrage

Szen I	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
MIV	Mrd Pkm	77.8	79.8	86.9	93.5	97.7	99.8	102.0	102.9	103.9	105.9
ÖV	Mrd Pkm	17.5	18.2	19.3	21.0	22.2	23.9	25.3	26.5	27.7	28.4
Total P	Mrd Pkm	95.3	98.1	106.2	114.5	119.8	123.7	127.3	129.4	131.6	134.3
Strasse G	Mrd tkm	11.5	12.1	13.6	15.4	16.2	17.5	18.4	19.0	19.5	19.9
Schiene G	Mrd tkm			9.7	10.1	11.1	12.1	14.4	15.8	16.9	17.2
Total G	Mrd tkm			23.3	25.5	27.3	29.6	32.8	34.7	36.3	37.0

Strasse: Fahrzeugbestand nach Fahrzeugkategorien

Szen I	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
PW	*1000	2'985	3'229	3'545	3'864	4'080	4'249	4'429	4'503	4'573	4'614
LI	*1000	220.9	238.4	260.1	291.2	298.9	303.0	305.8	311.3	319.8	328.8
RBus	*1000	2.3	2.4	2.2	2.3	2.2	2.1	2.0	2.0	2.0	1.9
LBus	*1000	4.1	4.3	4.2	4.7	4.7	4.7	4.6	4.5	4.4	4.4
MR	*1000	763.9	704.1	731.4	770.5	790.6	813.9	832.1	850.6	872.1	887.7
SNF	*1000	55.9	53.8	52.2	54.5	56.5	57.4	57.7	57.7	57.7	57.7

Strasse: Fahrleistungen nach Fahrzeugkategorien

Szen I	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
PW	Mio FzKm	42'648	44'638	49'552	53'689	56'537	58'174	59'927	60'876	61'829	63'091
LI	Mio FzKm	2'758	3'025	3'792	4'391	4'675	4'847	4'975	5'119	5'288	5'452
RBus	Mio FzKm	108	110	99	98	95	93	92	91	91	91
LBus	Mio FzKm	175	193	197	213	216	217	215	213	213	212
MR	Mio FzKm	2'025	1'744	1'998	2'282	2'485	2'649	2'793	2'928	3'055	3'177
SNF	Mio FzKm	2'044	1'996	2'385	2'192	2'325	2'507	2'615	2'687	2'742	2'798

Schiene: Betriebsleistungen

Szen I	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
ÖPNV	WgKm			74.8	72.5	74.9	77.3	79.8	82.2	84.6	87.0
Bahnen-P	ZugKm			142.4	170.0	176.7	186.4	193.1	198.2	203.4	207.0
Bahnen-G	ZugKm			31.3	31.7	33.3	34.9	37.4	38.5	39.3	39.7

Ergebnisse

Energieverbrauch

Szen I	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Benzin	PJ	157.3	152.6	169.3	157.5	132.4	109.3	97.3	92.2	89.9	88.4
Diesel	PJ	47.8	48.8	58.0	74.9	96.9	114.2	123.3	126.0	127.3	128.8
B+D	PJ	205.1	201.4	227.3	232.3	229.3	223.6	220.6	218.1	217.2	217.2
Kerosen	PJ	6.2	5.0	4.3	3.4	3.4	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1
Biogene TST	PJ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.6	1.0	1.5	2.2
Erdgas	PJ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	1.5	2.1	2.5	2.9	3.1
Elektrizität	PJ	9.2	8.5	8.9	9.9	10.1	10.6	11.1	11.4	11.6	11.8
Sum	PJ	220.5	214.9	240.5	245.7	243.7	239.1	237.5	236.1	236.4	237.5

CO₂-Emissionen

Szen I	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Benzin	Mio t CO ₂	11.63	11.28	12.51	11.64	9.78	8.08	7.19	6.81	6.64	6.53
Diesel	Mio t CO ₂	3.52	3.59	4.27	5.51	7.13	8.41	9.07	9.27	9.37	9.48
B+D	Mio t CO ₂	15.15	14.87	16.78	17.15	16.91	16.49	16.27	16.08	16.01	16.01
Kerosen	Mio t CO ₂	0.45	0.37	0.32	0.25	0.25	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
Biogene TST	Mio t CO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Erdgas	Mio t CO ₂	-	-	-	0.00	0.04	0.08	0.11	0.14	0.16	0.17
Elektrizität	Mio t CO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sum	mio t CO ₂	15.60	15.24	17.10	17.40	17.21	16.80	16.61	16.45	16.40	16.42

Schadstoff-Emissionen

Szen I	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
NO _x	kt/a	110.0	84.1	74.6	60.4	46.7	35.8	28.4	25.8	24.8	24.6
PM exhaust	kt/a	5.9	4.9	4.2	3.2	2.0	1.2	0.7	0.6	0.6	0.5
PM non-exhaust	kt/a	2.4	2.4	2.7	2.9	3.1	3.2	3.3	3.3	3.4	3.5
PM Total	kt/a	8.2	7.3	7.0	6.1	5.0	4.4	4.0	4.0	4.0	3.9

Mineralölsteuer-Ertrag

Szen I	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
unbegünstigt	Mio CHF	4'667	4'578	5'162	5'246	5'151	5'002	4'931	4'884	4'875	4'888
begünstigt	Mio CHF	4'667	4'578	5'162	5'246	5'137	4'976	4'894	4'833	4'810	4'809
Kant. Mfz-Steuern	Mio CHF	1'653	1'735	1'884	2'045	2'145	2'226	2'309	2'349	2'390	2'416
Energieausgaben	Mio CHF	7'787	7'400	10'077	9'429	9'391	9'210	9'155	9'132	9'096	9'086

ANNEX 7A: SZENARIO Ib: „REFERENZ MIT CO₂-ABGABE“: MENGENGERÜST, ENERGIEVERBRAUCH UND CO₂-EMISSIONEN

Verkehrsnachfrage

Szen Ib	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
MIV	Mrd Pkm	77.8	79.8	86.9	93.5	95.7	97.5	99.4	99.9	100.6	102.5
ÖV	Mrd Pkm	17.5	18.2	19.3	21.0	23.1	25.1	26.6	28.0	29.3	30.1
Total P	Mrd Pkm	95.3	98.1	106.2	114.5	118.9	122.6	126.0	127.9	129.9	132.6
Strasse G	Mrd tkm	11.5	12.1	13.6	15.4	15.9	17.1	17.9	18.4	18.9	19.2
Schiene G	Mrd tkm			9.7	10.1	11.4	12.4	14.8	16.2	17.3	17.6
Total G	Mrd tkm			23.3	25.5	27.2	29.5	32.7	34.6	36.2	36.9

Energieverbrauch

Szen Ib	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Benzin	PJ	157.3	152.6	169.3	157.5	115.2	88.9	73.5	66.0	62.6	60.7
Diesel	PJ	47.8	48.8	58.0	74.9	88.0	104.0	111.2	112.6	112.4	112.7
B+D	PJ	205.1	201.4	227.3	232.3	203.2	193.0	184.7	178.6	175.0	173.3
Kerosen	PJ	6.2	5.0	4.3	3.4	3.4	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1
Biogene TST	PJ	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	6.8	9.3	10.1	11.1	12.4
Erdgas	PJ	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	3.3	4.3	5.0	5.5	5.9
Elektrizität	PJ	9.2	8.5	8.9	9.9	10.6	11.1	11.7	12.0	12.2	12.4
Sum	PJ	220.5	214.9	240.5	245.7	224.3	217.4	213.1	208.7	207.1	207.2

CO₂-Emissionen

Szen Ib	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Benzin	Mio t CO2	11.63	11.28	12.51	11.64	8.51	6.57	5.44	4.87	4.63	4.48
Diesel	Mio t CO2	3.52	3.59	4.27	5.51	6.48	7.66	8.18	8.29	8.27	8.29
B+D	Mio t CO2	15.15	14.87	16.78	17.15	14.99	14.23	13.62	13.16	12.90	12.77
Kerosen	Mio t CO2	0.45	0.37	0.32	0.25	0.25	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
Biogene TST	Mio t CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Erdgas	Mio t CO2	-	-	-	0.00	0.14	0.18	0.24	0.28	0.31	0.33
Elektrizität	Mio t CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sum	Mio t CO2	15.60	15.24	17.10	17.40	15.38	14.64	14.08	13.67	13.44	13.33

ANNEX 7B: SZEN. I SENSITIVITÄT „BIP HOCH“: MENGENGERÜST, ENERGIEVERBRAUCH UND CO₂-EMISSIONEN

Rahmendaten

		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Bevölkerung	Mio	6.796	7.081	7.209	7.470	7.540	7.580	7.603	7.620	7.613	7.572
BIP "Trend"	Mrd CHF	374	376	423	441	474	503	526	542	554	572
BIP "hoch"	Mrd CHF	374	376	423	450	497	546	591	630	663	692

Verkehrsnachfrage

Szen I Sens BIP	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
MIV	Mrd Pkm	77.8	79.8	86.9	93.5	98.8	102.4	106.1	108.6	111.0	113.8
ÖV	Mrd Pkm	17.5	18.2	19.3	21.0	22.6	25.5	28.0	30.6	33.3	34.4
Total P	Mrd Pkm	95.3	98.1	106.2	114.5	121.4	127.9	134.1	139.2	144.2	148.1
Strasse G	Mrd tkm	11.5	12.1	13.6	15.4	16.8	18.4	20.1	21.4	22.5	23.0
Schiene G	Mrd tkm			9.7	10.1	11.4	13.1	16.3	17.8	19.1	19.5
Total G	Mrd tkm			23.3	25.5	28.2	31.5	36.4	39.3	41.7	42.5

Energieverbrauch

Szen I Sens BIP	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Benzin	PJ	157.3	152.6	169.3	157.5	133.8	112.0	101.1	97.1	95.8	94.7
Diesel	PJ	47.8	48.8	58.0	74.9	98.7	118.0	130.3	135.7	139.3	141.5
B+D	PJ	205.1	201.4	227.3	232.3	232.6	230.0	231.4	232.8	235.2	236.1
Kerosen	PJ	6.2	5.0	4.3	3.4	3.4	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1
Biogene TST	PJ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.6	1.1	1.7	2.4
Erdgas	PJ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	1.5	2.2	2.7	3.1	3.4
Elektrizität	PJ	9.2	8.5	8.9	9.9	10.2	11.1	12.0	12.5	13.1	13.3
Sum	PJ	220.5	214.9	240.5	245.7	247.2	246.1	249.3	252.2	256.2	258.4

CO₂-Emissionen

Szen I Sens BIP	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Benzin	Mio t CO2	11.63	11.28	12.51	11.64	9.89	8.28	7.47	7.18	7.08	7.00
Diesel	Mio t CO2	3.52	3.59	4.27	5.51	7.26	8.68	9.59	9.99	10.26	10.41
B+D	Mio t CO2	15.15	14.87	16.78	17.15	17.16	16.96	17.06	17.16	17.34	17.41
Kerosen	Mio t CO2	0.45	0.37	0.32	0.25	0.25	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
Biogene TST	Mio t CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Erdgas	Mio t CO2	-	-	-	0.00	0.04	0.08	0.12	0.15	0.17	0.19
Elektrizität	Mio t CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sum	mio t CO2	15.60	15.24	17.10	17.40	17.45	17.27	17.41	17.54	17.74	17.83

ANNEX 7C: SZEN. I: SENSITIVITÄT „ERDÖLPREIS HOCH“: MENGENGE- RÜST, ENERGIEVERBRAUCH UND CO₂-EMISSIONEN

Rahmendaten

		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Preise Benzin "Trend"	CHF/L	1.20	1.18	1.43	1.31	1.33	1.34	1.36	1.37	1.37	1.40
Preise Diesel "Trend"	CHF/L	1.35	1.23	1.47	1.38	1.40	1.42	1.44	1.45	1.45	1.49
Preise Benzin "hoch"	CHF/L	1.20	1.18	1.43	1.43	1.50	1.52	1.54	1.55	1.56	1.56
Preise Diesel "hoch"	CHF/L	1.35	1.23	1.47	1.52	1.60	1.62	1.64	1.66	1.66	1.66

Verkehrsnachfrage

Szen I Sens Preis hoch	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
MIV	Mrd Pkm	77.8	79.8	86.9	93.5	96.3	98.3	100.5	101.4	102.3	104.3
ÖV	Mrd Pkm	17.5	18.2	19.3	21.0	22.9	24.7	26.1	27.2	28.5	29.2
Total P	Mrd Pkm	95.3	98.1	106.2	114.5	119.1	123.0	126.6	128.6	130.8	133.5
Strasse G	Mrd tkm	11.5	12.1	13.6	15.4	16.0	17.3	18.1	18.7	19.2	19.6
Schiene G	Mrd tkm			9.7	10.1	11.3	12.3	14.7	16.0	17.1	17.4
Total G	Mrd tkm			23.3	25.5	27.3	29.6	32.7	34.7	36.3	37.0

Energieverbrauch

Szen I Sens Preis hoch	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Benzin	PJ	157.3	152.6	169.3	157.5	128.2	105.6	94.0	89.0	86.8	85.3
Diesel	PJ	47.8	48.8	58.0	74.9	93.9	110.5	119.3	121.9	123.1	124.6
B+D	PJ	205.1	201.4	227.3	232.3	222.1	216.2	213.3	210.9	209.9	209.9
Kerosen	PJ	6.2	5.0	4.3	3.4	3.4	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1
Biogene TST	PJ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.6	1.0	1.5	2.2
Erdgas	PJ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	1.5	2.1	2.5	2.9	3.1
Elektrizität	PJ	9.2	8.5	8.9	9.9	10.3	10.8	11.4	11.6	11.9	12.1
Sum	PJ	220.5	214.9	240.5	245.7	236.8	232.0	230.4	229.1	229.4	230.5

CO₂-Emissionen

Szen I Sens Preis hoch	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Benzin	Mio t CO2	11.63	11.28	12.51	11.64	9.47	7.81	6.95	6.58	6.41	6.31
Diesel	Mio t CO2	3.52	3.59	4.27	5.51	6.91	8.14	8.78	8.97	9.06	9.17
B+D	Mio t CO2	15.15	14.87	16.78	17.15	16.38	15.94	15.73	15.55	15.48	15.48
Kerosen	Mio t CO2	0.45	0.37	0.32	0.25	0.25	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
Biogene TST	Mio t CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Erdgas	Mio t CO2	-	-	-	0.00	0.04	0.08	0.11	0.14	0.16	0.17
Elektrizität	Mio t CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sum	mio t CO2	15.60	15.24	17.10	17.40	16.68	16.25	16.07	15.91	15.86	15.88

ANNEX 8: SZEN. II: MENGENGERÜST, ENERGIEVERBRAUCH UND CO₂-EMISSIONEN

Verkehrsnachfrage

Szen II	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
MIV	Mrd Pkm	77.8	79.8	86.9	93.5	97.7	99.8	102.0	102.9	103.9	105.9
ÖV	Mrd Pkm	17.5	18.2	19.3	21.0	22.2	23.9	25.3	26.5	27.7	28.4
Total P	Mrd Pkm	95.3	98.1	106.2	114.5	119.8	123.7	127.3	129.4	131.6	134.3
Strasse G	Mrd tkm	11.5	12.1	13.6	15.4	16.2	17.5	18.4	19.0	19.5	19.9
Schiene G	Mrd tkm			9.7	10.1	11.1	12.1	14.4	15.8	16.9	17.2
Total G	Mrd tkm			23.3	25.5	27.3	29.6	32.8	34.7	36.3	37.0

Energieverbrauch

Szen II	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Benzin	PJ	157.3	152.6	169.3	157.5	127.9	99.6	82.3	73.9	70.2	68.1
Diesel	PJ	47.8	48.8	58.0	74.9	94.9	112.8	120.5	122.1	122.0	122.2
B+D	PJ	205.1	201.4	227.3	232.3	222.8	212.4	202.9	196.0	192.2	190.3
Kerosen	PJ	6.2	5.0	4.3	3.4	3.4	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1
Biogene TST	PJ	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	6.8	9.3	10.1	11.1	12.4
Erdgas	PJ	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	3.3	4.3	5.0	5.5	5.9
Elektrizität	PJ	9.2	8.5	8.9	9.9	10.1	10.6	11.1	11.4	11.6	11.8
Sum	PJ	220.5	214.9	240.5	245.7	243.3	236.3	230.7	225.6	223.6	223.7

CO₂-Emissionen

Szen II	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Benzin	Mio t CO ₂	11.63	11.28	12.51	11.64	9.45	7.36	6.08	5.46	5.19	5.03
Diesel	Mio t CO ₂	3.52	3.59	4.27	5.51	6.99	8.30	8.87	8.99	8.98	9.00
B+D	Mio t CO ₂	15.15	14.87	16.78	17.15	16.44	15.66	14.95	14.45	14.16	14.03
Kerosen	Mio t CO ₂	0.45	0.37	0.32	0.25	0.25	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
Biogene TST	Mio t CO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Erdgas	Mio t CO ₂	-	-	-	0.00	0.14	0.18	0.24	0.28	0.31	0.33
Elektrizität	Mio t CO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sum	mio t CO ₂	15.60	15.24	17.10	17.40	16.83	16.07	15.42	14.95	14.70	14.59

Schadstoff-Emissionen

Szen II	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
NO _x	kt/a	110.0	84.1	74.6	60.4	46.9	36.5	29.5	27.1	26.2	26.1
PM exhaust	kt/a	5.9	4.9	4.2	3.2	2.0	1.2	0.7	0.6	0.6	0.5
PM non-exhaust	kt/a	2.4	2.4	2.7	2.9	3.1	3.2	3.3	3.3	3.4	3.5
PM Total	kt/a	8.2	7.3	7.0	6.1	5.1	4.4	4.0	4.0	4.0	3.9

Mineralölsteuer-Ertrag

Szen II		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
unbegünstigt	Mio CHF	4'667	4'578	5'162	5'246	5'169	4'967	4'809	4'670	4'610	4'600
begünstigt	Mio CHF	4'667	4'578	5'162	5'246	4'999	4'728	4'497	4'339	4'253	4'212
Kant. Mfz-Steuern	Mio CHF	1'653	1'735	1'884	2'045	2'145	2'226	2'309	2'349	2'390	2'416
Energieausgaben	Mio CHF	7'787	7'400	10'077	9'429	9'125	8'738	8'398	8'181	8'022	8'139

ANNEX 9: SZEN. III: MENGENGERÜST, ENERGIEVERBRAUCH UND CO₂-EMISSIONEN

Preisentwicklung Fossile Treibstoffe (CHF/l)

Szen. III		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Preise Benzin	CHF/L	1.20	1.18	1.43	1.31	1.33	2.68	2.71	2.74	2.74	2.81
Preise Diesel	CHF/L	1.35	1.23	1.47	1.38	1.40	2.84	2.87	2.90	2.90	2.98

Verkehrsnachfrage

Szen III	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
MIV	Mrd Pkm	77.8	79.8	86.9	93.5	97.7	99.8	102.0	102.9	103.9	105.9
ÖV	Mrd Pkm	17.5	18.2	19.3	21.0	22.2	23.9	25.3	26.5	27.7	28.4
Total P	Mrd Pkm	95.3	98.1	106.2	114.5	119.8	123.7	127.3	129.4	131.6	134.3
Strasse G	Mrd tkm	11.5	12.1	13.6	15.4	16.2	17.5	18.4	19.0	19.5	19.9
Schiene G	Mrd tkm			9.7	10.1	11.1	12.1	14.4	15.8	16.9	17.2
Total G	Mrd tkm			23.3	25.5	27.3	29.6	32.8	34.7	36.3	37.0

Energieverbrauch

Szen III	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Benzin	PJ	157.3	152.6	169.3	157.5	126.0	96.0	75.6	64.4	58.5	54.9
Diesel	PJ	47.8	48.8	58.0	74.9	94.5	110.2	113.0	108.7	103.5	99.6
B+D	PJ	205.1	201.4	227.3	232.3	220.5	206.2	188.6	173.1	162.0	154.5
Kerosen	PJ	6.2	5.0	4.3	3.4	3.4	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1
Biogene TST	PJ	0.0	0.0	0.0	0.0	7.3	10.6	13.4	14.6	16.2	18.2
Erdgas	PJ	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	3.8	4.6	5.5	6.1	6.5
Elektrizität	PJ	9.2	8.5	8.9	9.9	10.1	10.4	10.6	10.5	10.4	10.6
Sum	PJ	220.5	214.9	240.5	245.7	243.8	234.1	220.4	206.9	197.8	192.9

CO₂-Emissionen

Szen III	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Benzin	Mio t CO2	11.63	11.28	12.51	11.64	9.31	7.10	5.59	4.76	4.32	4.05
Diesel	Mio t CO2	3.52	3.59	4.27	5.51	6.95	8.11	8.32	8.00	7.61	7.33
B+D	Mio t CO2	15.15	14.87	16.78	17.15	16.27	15.21	13.91	12.76	11.94	11.39
Kerosen	Mio t CO2	0.45	0.37	0.32	0.25	0.25	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
Biogene TST	Mio t CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Erdgas	Mio t CO2	-	-	-	0.00	0.14	0.21	0.25	0.30	0.34	0.36
Elektrizität	Mio t CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sum	mio t CO2	15.60	15.24	17.10	17.40	16.66	15.64	14.39	13.29	12.50	11.98

Schadstoff-Emissionen

Szen III	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
NOx	kt/a	110.0	84.1	74.6	60.4	46.7	35.6	27.3	23.7	21.7	20.8
PM exhaust	kt/a	5.9	4.9	4.2	3.2	2.0	1.1	0.7	0.6	0.5	0.4
PM non-exhaust	kt/a	2.4	2.4	2.7	2.9	3.1	3.1	3.0	2.9	2.8	2.7
PM Total	kt/a	8.2	7.3	7.0	6.1	5.0	4.3	3.7	3.4	3.3	3.1

Mineralölsteuer-Ertrag

Szen III		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
unbegünstigt	Mio CHF	4'667	4'578	5'162	5'246	5'209	4'958	4'630	4'313	4'106	3'990
begünstigt	Mio CHF	4'667	4'578	5'162	5'246	4'947	4'592	4'183	3'836	3'590	3'426
Kant. Mfz-Steuern	Mio CHF	1'653	1'735	1'884	2'045	2'145	2'226	2'309	2'349	2'390	2'416
Energieausgaben	Mio CHF	7'787	7'400	10'077	9'429	9'391	16'964	15'613	14'448	13'519	13'210
Mehrkosten Fzg	Mio CHF						192	692	1'136	1'362	1'523

ANNEX 10: SZEN. IV: MENGENGERÜST, ENERGIEVERBRAUCH UND CO₂-EMISSIONEN

Preisentwicklung Fossile Treibstoffe (CHF/l)

Szen. IV		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Preise Benzin	CHF/L	1.20	1.18	1.43	1.43	1.50	3.05	3.08	3.11	3.11	3.12
Preise Diesel	CHF/L	1.35	1.23	1.47	1.52	1.60	3.24	3.28	3.31	3.32	3.32

Verkehrsnachfrage

Szen IV	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
MIV	Mrd Pkm	77.8	79.8	86.9	93.5	97.7	96.8	95.9	93.6	91.4	90.0
ÖV	Mrd Pkm	17.5	18.2	19.3	21.0	22.2	28.3	31.8	34.7	37.7	39.5
Total P	Mrd Pkm	95.3	98.1	106.2	114.5	119.8	125.1	127.7	128.4	129.1	129.5
Strasse G	Mrd tkm	11.5	12.1	13.6	15.4	16.2	16.9	17.1	17.1	16.9	16.5
Schiene G	Mrd tkm			9.7	10.1	11.1	12.9	16.2	18.0	19.6	20.0
Total G	Mrd tkm			23.3	25.5	27.3	29.9	33.3	35.1	36.4	36.5

Energieverbrauch

Szen IV	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Benzin	PJ	157.3	152.6	169.3	157.5	126.0	93.2	71.0	58.4	51.1	46.0
Diesel	PJ	47.8	48.8	58.0	74.9	94.5	106.3	104.9	96.8	88.0	80.6
B+D	PJ	205.1	201.4	227.3	232.3	220.5	199.5	175.9	155.1	139.1	126.6
Kerosen	PJ	6.2	5.0	4.3	3.4	3.4	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1
Biogene TST	PJ	0.0	0.0	0.0	0.0	7.3	10.6	13.4	14.6	16.2	18.2
Erdgas	PJ	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	3.8	4.6	5.5	6.1	6.5
Elektrizität	PJ	9.2	8.5	8.9	9.9	10.1	11.7	12.3	12.5	12.6	12.9
Sum	PJ	220.5	214.9	240.5	245.7	243.8	228.6	209.4	190.9	177.1	167.4

CO₂-Emissionen

Szen IV	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Benzin	Mio t CO2	11.63	11.28	12.51	11.64	9.31	6.88	5.25	4.32	3.78	3.40
Diesel	Mio t CO2	3.52	3.59	4.27	5.51	6.95	7.82	7.72	7.12	6.47	5.93
B+D	Mio t CO2	15.15	14.87	16.78	17.15	16.27	14.71	12.97	11.44	10.25	9.33
Kerosen	Mio t CO2	0.45	0.37	0.32	0.25	0.25	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
Biogene TST	Mio t CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Erdgas	Mio t CO2	-	-	-	0.00	0.14	0.21	0.25	0.30	0.34	0.36
Elektrizität	Mio t CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sum	mio t CO2	15.60	15.24	17.10	17.40	16.66	15.15	13.45	11.97	10.82	9.92

Schadstoff-Emissionen

Szen IV	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
NOx	kt/a	110.0	84.1	74.6	60.4	46.7	34.5	25.6	21.5	19.0	17.6
PM exhaust	kt/a	5.9	4.9	4.2	3.2	2.0	1.1	0.6	0.5	0.4	0.3
PM non-exhaust	kt/a	2.4	2.4	2.7	2.9	3.1	3.0	2.8	2.6	2.4	2.3
PM Total	kt/a	8.2	7.3	7.0	6.1	5.0	4.1	3.5	3.1	2.9	2.6

Mineralölsteuer-Ertrag

Szen IV		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
unbegünstigt	Mio CHF	4'667	4'578	5'162	5'246	5'209	4'809	4'349	3'919	3'605	3'380
begünstigt	Mio CHF	4'667	4'578	5'162	5'246	4'947	4'443	3'903	3'442	3'088	2'816
Kant. Mfz-Steuern	Mio CHF	1'653	1'735	1'884	2'045	2'145	2'193	2'239	2'243	2'246	2'235
Energieausgaben	Mio CHF	7'787	7'400	10'077	10'353	10'242	18'681	16'588	14'764	13'242	12'066
Mehrkosten Fzg	Mio CHF						213	754	1'207	1'402	1'508

ANNEX 10A: SZEN. IV SENSITIVITÄT „BIP HOCH“: MENGENDERÜST, ENERGIEVERBRAUCH UND CO₂-EMISSIONEN

Rahmendaten

		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Bevölkerung	Mio	6.796	7.081	7.209	7.470	7.540	7.580	7.603	7.620	7.613	7.572
BIP "Trend"	Mrd CHF	374	376	423	441	474	503	526	542	554	572
BIP "hoch"	Mrd CHF	374	376	423	450	497	546	591	630	663	692

Verkehrsnachfrage

Szen IV Sens BIP	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
MIV	Mrd Pkm	77.8	79.8	86.9	93.5	99.0	100.0	101.0	100.8	100.2	99.3
ÖV	Mrd Pkm	17.5	18.2	19.3	21.0	22.5	29.3	33.5	37.3	41.4	43.6
Total P	Mrd Pkm	95.3	98.1	106.2	114.5	121.4	129.3	134.5	138.1	141.6	142.9
Strasse G	Mrd tkm	11.5	12.1	13.6	15.4	16.6	17.6	18.5	19.0	19.3	19.0
Schiene G	Mrd tkm			9.7	10.1	11.4	13.7	17.6	19.7	21.4	21.9
Total G	Mrd tkm			23.3	25.5	28.0	31.3	36.2	38.7	40.7	40.9

Energieverbrauch

Szen IV Sens BIP	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Benzin	PJ	157.3	152.6	169.3	157.5	127.7	96.2	74.8	62.9	56.2	51.0
Diesel	PJ	47.8	48.8	58.0	74.9	96.1	110.1	111.6	105.7	98.6	91.2
B+D	PJ	205.1	201.4	227.3	232.3	223.8	206.3	186.4	168.6	154.8	142.2
Kerosen	PJ	6.2	5.0	4.3	3.4	3.4	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1
Biogene TST	PJ	0.0	0.0	0.0	0.0	7.3	10.6	13.4	14.6	16.2	18.2
Erdgas	PJ	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	3.8	4.6	5.5	6.1	6.5
Elektrizität	PJ	9.2	8.5	8.9	9.9	10.2	12.2	13.2	13.7	14.1	14.5
Sum	PJ	220.5	214.9	240.5	245.7	247.2	236.0	220.8	205.6	194.2	184.5

CO₂-Emissionen

Szen IV Sens BIP	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Benzin	Mio t CO2	11.63	11.28	12.51	11.64	9.44	7.11	5.53	4.65	4.15	3.77
Diesel	Mio t CO2	3.52	3.59	4.27	5.51	7.08	8.10	8.22	7.78	7.26	6.71
B+D	Mio t CO2	15.15	14.87	16.78	17.15	16.51	15.21	13.74	12.43	11.41	10.48
Kerosen	Mio t CO2	0.45	0.37	0.32	0.25	0.25	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
Biogene TST	Mio t CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Erdgas	Mio t CO2	-	-	-	0.00	0.14	0.21	0.25	0.30	0.34	0.36
Elektrizität	Mio t CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sum	Mio t CO2	15.60	15.24	17.10	17.40	16.90	15.65	14.23	12.96	11.97	11.07

ANNEX 11: UMRECHNUNGSFAKTOREN

Für die diversen Berechnungen wurden folgende Umrechnungsfaktoren verwendet:

Treibstoff	Dichte kg/l	t CO2 / t Tst.	GJ/t Tst.
Benzin	0.742	3.14075	42.5
Diesel	0.832	3.15008	42.8
Erdgas		2.56	46.5
Biogas		0	46.5
Kerosen	0.8	3.15008	43
Ethanol (fossil)	0.789	1.91259	26.9
Ethanol (biogen)	0.789		26.9
RME	0.888		37.2

Fiskalbelastung (Stand 2001)⁵⁷

Fiskalbelastung	CHF/L	davon MWSt
Benzin	0.8280	0.0968
Diesel	0.8562	0.0975

⁵⁷ Stand 2005 ist marginal höher. Mineralölsteuer und -zuschlag sind unverändert, hingegen ist die MWSt um gut 2 Rp. höher und zusätzlich ist seit 1.10.2005 der Klimarappen (1.5 Rp./l) eingeführt.

GLOSSAR

AB:	Autobahn
A/C:	Air Conditioning, Klima-Anlagen
ACEA:	European Automobile Manufacturers Association
AFK:	Aramidfaserverstärkter Kunststoff
AGR:	Abgasrückführung
ao:	ausserorts
ARE:	Bundesamt für Raumentwicklung
ARTEMIS:	Assessment and reliability of transport emission models and inventory systems (EU-Projekt im Rahmen des 5. Rahmenprogramms)
B:	Benzin
BAFU:	Bundesamt für Umwelt (seit 1.1.2006)
B'ANA:	Bestandes-Analysen (des Motorfahrzeugbestandes)
BAV:	Bundesamt für Verkehr
BAZL:	Bundesamt für Zivilluftfahrt
BFS:	Bundesamt für Statistik
BIP:	Bruttoinlandprodukt
BIV:	Binnenverkehr
BRD:	Bundesrepublik Deutschland
Btkm:	Brutto-Tonnen-km
BTL:	Biomass to Liquid
BUWAL:	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern (seit 1.1.2006 BAFU: Bundesamt für Umwelt)
CFK:	Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff
CH:	Schweiz
CNG:	Compressed Natural Gas (Erdgas in komprimierter Form)
CO ₂ :	Kohlendioxid
CCS:	Combined Combustion System
c _w :	Luftwiderstandbeiwert
D:	Diesel
ECE:	Economic Commission for EUROPE
EFA, E-Faktor:	Emissionsfaktor
EFKO:	Eidgenössische Fahrzeugkontrolle

ELSTAT:	Elektrizitätsstatistik
EMPA:	Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Dübendorf
EU:	Europäische Union
Euro-1, -2, -3, -4:	Europäische Abgasvorschriften für leichte und schwere Motorwagen
FinöV:	Bundesbeschluss über Bau und Finanzierung von Infrastrukturvorhaben des öffentlichen Verkehrs (beschlossen am 29.11.1998)
FTP:	Federal Test Procedure (Test Zyklus für PW, USA)
FV:	Fernverkehr
Fzg:	Fahrzeug
Fzkm:	Fahrzeug-Kilometer
G:	Güter (-Verkehr)
GES:	Gesamtenergiestatistik
GFK:	Glasfaserverstärkter Kunststoff
GKat:	geregelter Katalysator
GSi:	Gear Shift Indicator
GTL:	Gas-to-Liquid –(synthetische) Treibstoffe
GWh:	Gigawatt-Stunden
HBEFA:	Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs
HCCI:	Homogeneous Charge Compression Ignition
HGV:	Hochgeschwindigkeitsverkehr
IEA:	International Energy Association
IE, IEV:	Import/Export-Verkehr
io:	innerorts
JAMA:	Japan Automobile Manufacturers Association
KAMA:	Korean Automobile Manufacturers Association
KMR, KKR:	Kleinmotorrad, Kleinkraftrad (<50cc)
KTU:	Konzessionierte Transportunternehmungen
LBus:	Linienbus (= ÖV-Bus)
LI:	Lieferwagen (Leichte Nutzfahrzeuge)
LMW:	Leichte Motorwagen (= Oberbegriff für Personenwagen und Leichte Nutzfahrzeuge <3.5t)
LNF:	Leichte Nutzfahrzeuge <3,5t (Kleinbusse, Lastwagen, Wohnmobile, sonstige Kraftfahrzeuge)
LNG:	Liquified Natural Gas (Erdgas in flüssiger Form)

LRRT:	Low Rolling Resistance Tyres
LRV:	Luftreinhalteverordnung
LSVA:	Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe
LW:	Lastwagen (Schweiz)
MAC:	Marginal Abatement Cost
MinöSt:	Mineralölsteuer
Mofa:	Motorfahrrad
MOFIS:	Motorfahrzeuginformationssystem (der EFKO)
MR:	Motorrad
MWSt:	Mehrwertsteuer
NAP:	Nationale Allokationspläne
NEAT:	Neue Eisenbahn-Alpentransversale
NEDC:	New European Driving Cycle
NEFZ:	Neuer europäischer Fahrzyklus (=NEDC), Normzyklus für Verbrauchs- und Abgasmessungen
NEB:	Netzbeschluss (im Kontext Sachplan Strasse)
NFA:	Neugestaltung des Finanzausgleichs und der Aufgabenteilung zwischen Bund und Kantonen
NV:	Nahverkehr
NO _x :	Stickoxide
NR:	Nationalrat
ÖPNV:	Öffentlicher Personennahverkehr
ÖV:	Öffentlicher Verkehr
ÖVSTAT:	Statistik des öffentlichen Verkehrs (von BAV resp. BFS)
OZD:	Oberzolldirektion
PEFA:	Periodische Fahrleistungserhebung (des ARE)
P:	Personen (-Verkehr)
PF:	Partikelfilter
Pkm:	Personenkilometer (als Mass für die Verkehrsleistung im Personenverkehr)
PM:	Particulate Matters (Partikel)
PW:	Personenwagen
RBus:	Reisebus, Car
RME:	Rapsmethylester (Biodiesel)

RV:	Regionalverkehr
SCR:	Selective catalytic reduction
SMW:	Schwere Motorwagen {= Fahrzeuge > 3.5 t Gesamtgewicht; = Oberbegriff für Schwere Nutzfahrzeuge (SNF), Reisebusse (RBus) und Linienbusse (LBus)}
SNF:	Schwere Nutzfahrzeuge {= Oberbegriff für Lastwagen (LW), Lastenzüge (LZ) und Sattelzüge (SZ)}
SNG:	Substitute Natural Gas
SR:	Ständerat
SUV:	Sports Utility Vehicles
TDI:	Turbocharged Direct Injection
Tkm:	Tonnenkilometer (als Mass für die Verkehrsleistung im Güterverkehr)
TPMS:	Tyre Pressure Monitoring Systems
TR, TRV:	Transitverkehr
TST:	Treibstoffe
TU:	Transportunternehmen
UVEK:	Eidg. Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
V'Zus:	Verkehrszusammensetzung (= Mix der Fahrzeugschichten)
ZEB:	Zukünftige Entwicklung der Bahninfrastruktur
ZQ, ZQV:	Ziel/Quell-Verkehr
ZR:	Zweiräder

LITERATUR

- ACEEE 2005:** Tire Standards Would Save Energy without Adversely Affecting Safety, American Council for an Energy-Efficient Economy, July 14, 2005
- ADAC 2005:** Study on the effectiveness of Directive 1999/94/EC relating to the availability of consumer information on fuel economy and CO₂ emissions in respect of the marketing of new passenger cars (DG Env, Contract No.: 07010401/2004/377013/MAR/C1), March 2005
- ARE 2002a:** Fahrleistungen der Schweizer Fahrzeuge, Ergebnisse der periodischen Erhebung Fahrleistungen (PEFA) 2000, Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), Bern, Juli 2002
- ARE 2002b:** Aggregierte Verkehrsprognosen Schweiz und EU, Zusammenstellung vorhandener Prognosen bis 2020, erhältlich bei BBL, Vertrieb Publikationen, 3003 Bern, www.bbl.admin.ch/bundespublikationen, Bestell-Nr.: 812.016 d, Bern 2002
- ARE 2004a:** Perspektiven des schweizerischen Güterverkehrs bis 2030, ProgTrans/Infras im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung (ARE), Bern, März 2004
- ARE 2004b:** Aktualisierung der verkehrlichen Auswirkungen von LSVA und 40t-Limite, Eco-plan im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung (ARE), Bern, August 2004
- ARE 2006a:** Sachplan Verkehr, Teil Programm, 26. 4. 2006, Bern, April 2006
- ARE 2006b:** Perspektiven des schweizerischen Personenverkehrs bis 2030, Infras/ProgTrans im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung (ARE), Bern, März 2006
- ASTRA 2005:** Entwicklungsindizes des schweizerischen Strassenverkehrs, Fortschreibung 1990-2004, Bundesamt für Strassen (ASTRA), Bern 2005
- ASTRA 2006:** Verkehrsentwicklung und Verfügbarkeit der Nationalstrassen, Jahresbericht 2005, Bundesamt für Strassen ASTRA, Bern 2006
- Automobil-Revue 2006a:** Muster-Diesel, AR Nr. 51, 20.12.2006
- auto-schweiz 2004:** Motorfahrzeug-Markt Schweiz 2003; Pressemitteilung vom 16.1.2004 auf www.auto-schweiz.ch
- auto-schweiz 2005:** Motorfahrzeug-Markt Schweiz 2004; Pressemitteilung vom 18.1.2005 auf www.auto-schweiz.ch
- auto-schweiz 2006:** 10. Berichterstattung im Rahmen der Energieverordnung über die Absenkung des spezifischen Treibstoff-Normverbrauchs von Personenwagen – Jahr 2005, im Auftrag UVEK, 30. Mai 2006
- BAFU 2006a:** Entwicklung der schweizerischen Gesetzgebung im Bereich der Abgasemissionen von Motorfahrzeugen und Maschinen, BAFU, Stand April 2006

- BAFU 2006b:** Luft- und Klimaprofile von Treibstoffen, Aktualisierung 2006, aufgearbeitet von Infras, (Entwurf, noch unveröffentlicht), Dez. 2006
- BFE 2005:** Massnahmen zur Absenkung des Flottenverbrauchs: Wirkungsanalyse, Studie im Rahmen der Energiewirtschaftlichen Grundlagen, ausgeführt von INFRAS und IWÖ-HSG im Auftrag des BFE, Juli 2005
- BFE 2006:** Energieperspektiven Synthesebericht (Band 1), Entwurf Dez. 2006 (einschliesslich zugehörige Exkurse)
- BFS 2001:** BFS Aktuell; Güterverkehr auf der Strasse; Fahrzeugkilometer, Tonnen, Tonnenkilometer: Zeitreihen 1985/93-2000; Daten vor Einführung der LSWA; Neuchâtel 2001
- BFS 2002:** Actualités OFS: Prestations du transport privé de personnes par la route, Séries chronologiques actualisées de 1995 à 2001,
http://www.statistik.admin.ch/stat_ch/ber11/strassenverkehr/personenverkehr_2002.pdf,
Neuchâtel 2002
- BFS 2006a:** Strassenrechnung der Schweiz, Definitive Resultate 2004, BFS-Aktuell, 19. Dez. 2006, Neuchâtel 2006
- BFS 2006b:** Schweizerische Eisenbahnrechnung 2004, BFS-Aktuell, 19. Dez. 2006, Neuchâtel 2006
- BR 2005:** Botschaft zum Infrastrukturfonds für den Agglomerationsverkehr und das Nationalstrassennetz (Infrastrukturfonds) vom 2. Dezember 2005
- BUWAL/BAZL/ARE 2001:** Luftverkehr – eine wachsende Herausforderung für die Umwelt. Materialienband M25, NFP 41, Bern: 53. S. Verfügbar unter
http://www.econcept.ch/pdf/419_sb.pdf.
- BUWAL 1986:** Schadstoffemissionen des privaten Strassenverkehrs 1950 – 2000, Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 55; Bern 1986 (mit Nachtrag vom September 1988)
- BUWAL 1995:** Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1950 – 2010, Schriftenreihe Umwelt Nr. 255; Bern 1995
- BUWAL 1996:** Schadstoffemissionen und Treibstoffverbrauch des Offroad-Sektors, Umweltmaterialien Nr. 49, Bern 1996
- BUWAL 2000:** Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1950 – 2020, *Nachtrag* zu Schriftenreihe Umwelt Nr. 255; Bern 2000
- BUWAL 2003a:** Standortbestimmung CO₂-Gesetz, CO₂-Perspektiven und Sensitivitäten, ausgeführt durch Prognos, 2003
- BUWAL 2003b:** CO₂-Abgabe/Klimarappen bei Treibstoffen, ausgeführt durch Infras, Schlussbericht 16.6.2003

- BUWAL 2004:** Luftschadstoffemissionen des Strassenverkehrs 1980-2030, Schriftenreihe Umwelt Nr. 355, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern 2004
- CE 2005:** Biofuels under development, An analysis of currently available and future biofuels, and a comparison with biomass application in other sectors, May 2005
- CE 2006:** Cost effectiveness of CO₂ mitigation in transport, An outlook and comparison with measures in other sectors, Commissioned by the European Conference of Ministers of Transport, Delft, April 2006
- COM 2006:** Implementing the Community Strategy to Reduce CO₂ Emissions from Cars: Sixth annual Communication on the effectiveness of the strategy, COM(2006) 463 final, 24.08.2006
- Delucchi 2003:** LifeCycle emissions from transportation fuels, motor vehicles, transportation modes, electricity use, heating and cooking fuels and materials, Univ. of California, ITS report UCD-ITS-RR-03-17, Dec 2003
- EFD 2004:** Fiskalische Förderung von Erd- und Flüssiggas sowie Biogas und anderen Treibstoffen aus erneuerbaren Rohstoffen (Änderung des Mineralölsteuergesetzes), Erläuternder Bericht, Eidg. Finanzdepartement EFD, 20. Okt. 2004
- EMPA 2002:** Bio-Ethanol Projekt, Potential der Bio-Ethanol Beimischung im Benzin und Diesel-Treibstoff, Untersuchungen hinsichtlich des Emissionsverhaltens an einem Nutzfahrzeug Motor und zwei Personenfahrzeugen, Bericht Nr. 202'672, im Auftrag der alcosuisse, Sept. 2002
- EMPA 2005:** Tracing of Road Traffic Emissions: Impact of Air Conditioning on Emissions of Gasoline Euro-3 Passenger Cars, (by Martin Weilenmann), Empa report No. 203 270b, ISSN 1424-2532, 2005
- FIFO et. al. 2005:** Emissionshandel im Verkehr – Entwicklung von Ansätzen für ein Emissionshandelssystem im Verkehr, erstellt im Auftrag des deutschen Umweltbundesamtes (UBA, Bericht Nr. 202 14 198) vom Finanzwissenschaftliche Forschungsinstitut der Universität Köln (FIFO-KÖLN), IFEU Heidelberg, Fraunhofer ISI (Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung) und Prof. Dr. Bergmann, Berlin, Nov. 2005
- Friedrich 2003:** Werkstoffe und Bauweisen für die Fahrzeugtechnik, Vorlesung WS 2003/2004, TU Berlin
- GVF 1999:** Dienst für Gesamtverkehrsfragen, Die verkehrlichen Auswirkungen des bilateralen Landverkehrsabkommens zwischen der Schweiz und der Europäischen Union auf den Strassen- und Schienengüterverkehr, ECOPLAN, GVF-Bericht 2/99; Bern, Juni 1999
- IEA 2004:** Biofuels for Transport, An International Perspective, Paris 2004

- IEA 2005:** Energy Efficient Tyres: Improving the On-Road Performance of Motor Vehicles, Workshop in Paris, 15 – 16 November 2005, Dokumente verfügbar unter (www.iea.org/Textbase/work/workshopdetail.asp?WS_ID=227)
- IEA 2006:** Focus on Biofuels, Meeting of the Governing Board and Management Committee, 13/14 June 2006, Paris 2006
- INFRAS 1995:** Perspektiven des technischen Umweltschutzes im Personenverkehr, Bericht 55 des NFP 25 Stadt und Verkehr, Zürich 1995
- INFRAS 2004a:** Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs, Version 2.1 (CD-ROM und Grundlagenbericht); im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft Bern, des Umweltbundesamtes Berlin, des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie und des Umweltbundesamts Österreich, Bern/Berlin/Wien, Feb. 2004
- INFRAS 2004b:** Fahrleistungen des Strassenverkehrs in der Schweiz; Verkehrsgrundlagen 1980-2030 zur Berechnung der Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs in der Schweiz, im Auftrag von ARE und BUWAL, Arbeitsunterlage Nr. 34, August 2004
- JRC/Concawe/EUCar 2003:** Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European Context. Version 1.b, 2003
- Stock 2005:** Kevin Stock, TPMS Quick Technical Review, Presentation at the International Energy Association Workshop on Low Rolling Resistance Tyres, Paris 11/2005
- T&E 2006:** How Clean is Your Car Brand ? The car industry's commitment to the EU to reduce CO₂ emissions: a brand-by-brand progress report, ausgeführt durch Institute for European Environmental Policy (IEEP) und R.L. Polk Marketing Systems GmbH, October 2006
- TNO et.al. 2006:** Review and analysis of the reduction potential and costs of technological and other measures to reduce CO₂-emissions from passenger cars, Richard Smokers et al., by TNO, IEPP and LAT on behalf of the European Commission DG-ENTR (contract SI2.408212), TNO report 06.OR.PT.040.2/RSM, October 2006
- UBA 2006:** Entwicklung einer Gesamtstrategie zur Einführung alternativer Kraftstoffe, insbesondere regenerativ erzeugten Wasserstoffs. Forschungsvorhaben im Rahmen des UFOPLAN des Umweltbundesamtes (FKZ 203 45 118), ausgeführt von Wuppertal Institut für Klima Umwelt Energie, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt und IFEU, Februar 2006

- UNS 2005:** Entscheidungsfaktoren beim Kauf treibstoff-effizienter Neuwagen, ETH-Forschungsprojekt, Institut für Mensch-Umwelt-Systeme, Medienkonferenz, 9. November 2005 (www.cleverunterwegs.ch)
- UVEK 2001:** Departementstrategie UVEK. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bern 2001.
- WI 2006:** Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie: Klimawirksame Emissionen des PKW-Verkehrs und Bewertung von Minderungsstrategien, Wuppertal Spezial 34, 2006