

Energieperspektiven 2035/2050

Energienachfrage

Energieverbrauch Sektor Verkehr

Ergebnisse der Szenarien Ia und Ib
(inkl. Sensitivitäten)

Stand 30.7.2005

Auftraggeber
Bundesamt für Energie, Bern

Bearbeiter
Mario Keller

INHALT

1.	EINLEITUNG	4
1.1.	ZWECK DER ENERGIEPERSPEKTIVEN	4
1.2.	INHALT DIESES ZWISCHENBERICHTS	4
2.	AUSGANGSLAGE UND METHODIK	5
2.1.	SEGMENTIERUNG DES SEKTORS VERKEHR	5
2.2.	MENGENGERÜSTE ALS AUSGANGSLAGE	5
2.3.	ZUR MODELLIERUNG	6
2.3.1.	Modellierung des Strassenverkehrs	7
2.3.2.	Modellierung der übrigen Segmente	10
3.	SZENARIO Ia (REFERENZ OHNE CO₂-ABGABE)	13
3.1.	ANNAHMEN	13
3.1.1.	Strassenverkehr	13
3.1.2.	Übrige Segmente	16
3.1.3.	Sonderaspekte	16
3.2.	ERGEBNISSE	18
3.2.1.	Strassenverkehr (Verbrauch)	18
3.2.2.	Entwicklung des Energieverbrauchs des Sektors Verkehr	19
4.	SZENARIO Ib (REFERENZ MIT CO₂-ABGABE)	21
4.1.	ANNAHMEN ZUM SZENARIO Ib	21
4.2.	UMSETZUNG	21
4.3.	AUSWIRKUNGEN	23
4.3.1.	Übersicht	23
4.3.2.	Die Wirkungen im Einzelnen	25
5.	SENSITIVITÄTSBETRACHTUNGEN	26
5.1.	SENSITIVITÄT „BIP HOCH“	26
5.2.	SENSITIVITÄT „ERDÖLPREIS HOCH“	28
5.3.	SENSITIVITÄT „KLIMA“	29
ANNEX		33
ANNEX 1:	ABSATZ- UND VERBRAUCHSENTWICKLUNG VERKEHR 1990-2003	33
ANNEX 2:	VERKEHRLICHES MENGENGERÜST STRASSENVERKEHR -SZENARIO Ia (REFERENZ)	34
ANNEX 3:	SZENARIO Ia (REFERENZ OHNE CO ₂ -ABGABE)	35
ANNEX 4:	SZENARIO Ib (REFERENZ MIT CO ₂ -ABGABE)	36

GLOSSAR	37
LITERATUR	39

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. Vorgesehen ist die Formulierung von je zwei massnahmenorientierten und zwei zielorientierten Szenarien. Im ersten Fall 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 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 DIESES ZWISCHENBERICHTS

Die vorliegende Arbeitsbericht beschreibt das **Referenz-Szenario I** des **Sektors Verkehrs** in zwei Ausprägungen:

- › Szenario Ia (ohne CO₂-Abgabe),
- › Szenario Ib (mit CO₂-Abgabe).

Unter Verwendung eines Bottom-up-Ansatzes wird die Entwicklung der Energienachfrage im Bereich Verkehr aufgezeigt. Es werden die wichtigsten Annahmen, Mengengerüste und Ergebnisse der beiden Subsznarien dargestellt. Ergänzend wird am Beispiel von Szenario Ia mit Sensitivitätsberechnungen grob abgeschätzt, welchen Effekt

- › ein verändertes Wirtschaftswachstum,
- › erhöhte Rohölpreise,
- › sowie eine Änderung des Klimas

auf die Energienachfrage im Verkehrsbereich hätten.

2. AUSGANGSLAGE UND METHODIK

2.1. SEGMENTIERUNG DES SEKTORS VERKEHR

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

VERBRAUCHSKLASSEN		
Onroad (Strassenverkehr)	Offroad / Verkehr	Offroad / Nicht-Verkehr
Personenverkehr: Personenwagen, Reisebusse, Linienbusse, Motorräder, Mofas Güterverkehr: Leichte u. Schwere Nutzfahrzeuge	Bahn (Güter-, Personenverkehr), Schiffe, Flugverkehr (national) Verdampfung Industrielle Fahrzeuge, Militär	Land-, Forstwirtschaft Baumaschinen Mobile Maschinen und Geräte

Tabelle 1 Aufteilung der Verbraucher im Kontext Verkehr in verschiedene Gruppen

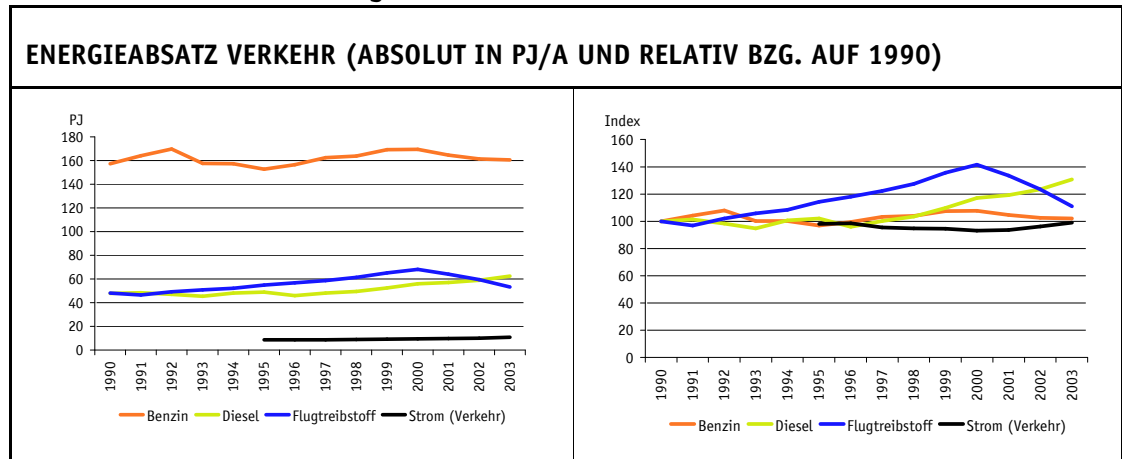
Sonderfall Flugverkehr: dieser umfasst lediglich den nationalen Verkehr (z.B. Zürich-Genf), nicht aber den grenzüberschreitenden Verkehr. Dieser Bereich wird derzeit durch das BAZL gesondert bearbeitet, er wird deshalb an dieser Stelle nicht weiter vertieft.

2.2. MENGENGERÜSTE ALS AUSGANGSLAGE

Terminologie

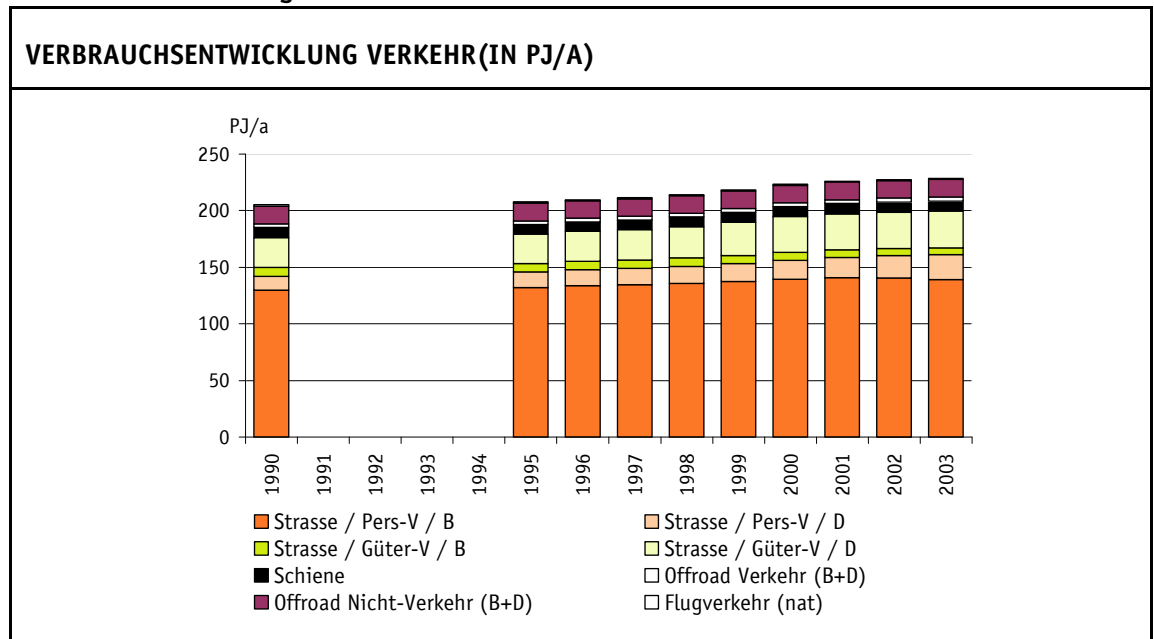
Im Folgenden wird unterschieden zwischen „Absatz“ (Verkäufe an den Tanksäulen) und „Verbrauch“ (Energie, die auf den Verkehrswegen der Schweiz „verbraucht“ wird). Aufgrund von Transfers über die Grenzen (Tanktourismus namentlich infolge von Preisdifferenzen zwischen der Schweiz und den angrenzenden Ländern) sind diese Mengen nicht identisch.

Absatz und Absatzentwicklung seit 1990



Figur 1 Energieabsatz Treibstoffe 1990 – 2003 gemäss Energiestatistik (bei Strom nur Teil Bahnen) [Zahlen sh. Annex 1].

Verbrauchsentwicklung seit 1990



Figur 2 Verbrauchsentwicklung Verkehr (Territorialprinzip) 1990 – 2003, differenziert nach Sektoren bzw. Benzin/Diesel.

2.3. ZUR MODELLIERUNG

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 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.).

Gemäss Figur 2 ist der Strassenverkehr der mit Abstand dominierende Verbraucher (87%; Schiene 4%, Wasser/Flugverkehr [national] 2% und Off-Road (v.a Baumaschinen und Land- und Forstwirtschaft 7%). Die Modellierung legt deshalb die Priorität auf den Strassenverkehr. Die andern Bereiche werden nach dem gleichen Grundmuster modelliert, aber in deutlich geringerem Detaillierungsgrad.

2.3.1. MODELLIERUNG DES STRASSENVERKEHRS

Modellierung der 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. vor allem die Fahrleistung (Fzkm).
- › 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).

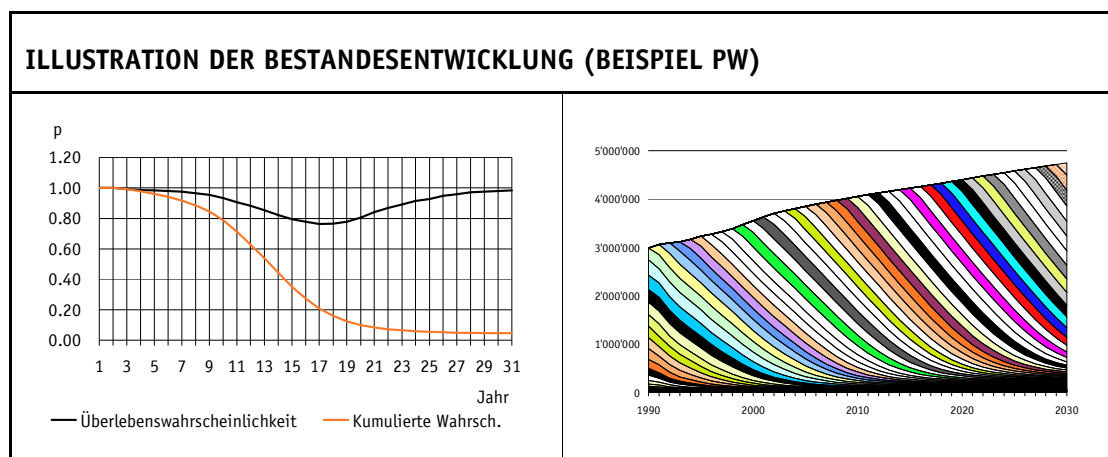
Die Fahrleistungen werden ermittelt nach der Formel

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

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. So

lässt sich auch die Diffusion von neuen Technologien im Bestand bzw. der Fahrleistung nachvollziehbar modellieren. Konkret erfolgt dies in zwei Schritten:

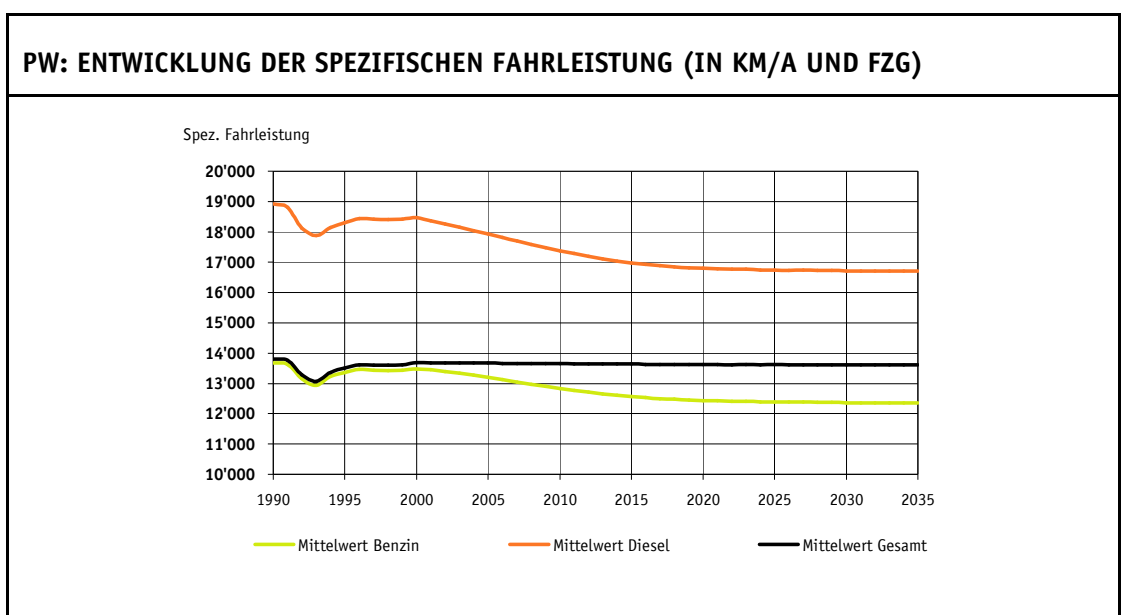
- › Der erste Schritt modelliert die **Bestandesentwicklung**. Die Vergangenheit wird über statistische Angaben der Eidg. Fahrzeugkontrolle (EFKO) zu Bestand und Altersverteilung abgebildet. Ausgehend von einem Basisjahr, d.h. dem letzten Jahr, zu dem statistische Angaben vorliegen (im vorliegenden Fall 2003) 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 PKW-Bestandes inklusive Altersverteilung.



Figur 3 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-function“) 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.

- › Der zweite Schritt bildet die **Fahrleistungen** nach: Auf der Basis diverser Erhebungen (wie LSVA-Auswertungen, PEFA [Ermittlung der Jahresfahrleistung durch Strassenverkehrsämter] 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 4), welche dazu führt dass der Mittelwert zwar etwa konstant bleibt, die Werte der Diesel- bzw. Benzin-PW jedoch in beiden Fällen sinkt. Gleichzeitig wird berücksichtigt, dass ein Teil der Fahrleistung im Ausland, gleichzeitig aber auch ein Teil der Fahrleistung auf Schweizer Strassen durch Ausländer zurückgelegt wird.



Figur 4 Entwicklung der spezifischen Fahrleistung der PW nach Treibstoff im Zeitraum 1990 – 2035.

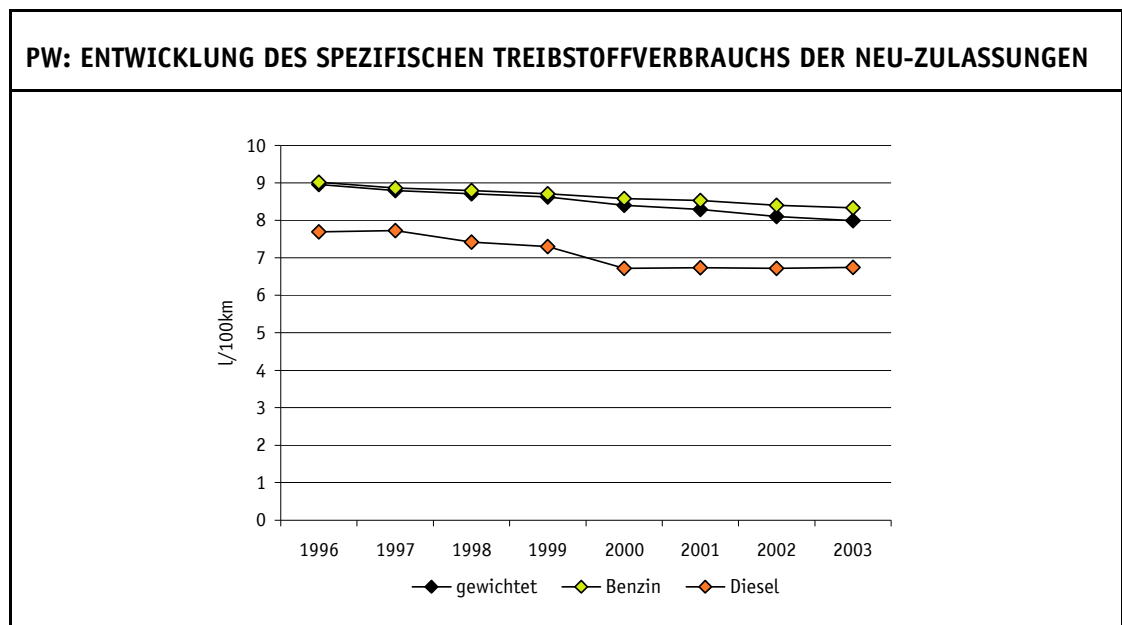
Diese Bottom-up-Modellierung wird abgeglichen mit „Makro-Vorgaben“ zur künftigen Entwicklung der Fahrleistung der zwei wichtigsten Kategorien (PW, SNF):

- › *PW-Verkehr*: Das ARE erwartet aufgrund einer Literaturlauswertung für den PW-Verkehr ein Wachstum 2020 ggü. 2000 von +23.5% (bei einer Spannbreite von 16-31%). (Personenverkehrsperspektiven sind noch in Erarbeitung).
- › *Schwerer Güterverkehr*: Die kürzlich publizierten Güterverkehrsperspektiven erwarten gegenüber den früheren Arbeiten ein geringeres Wachstum bei gleichzeitig veränderter Fahrzeugparkstruktur (LSVA-Effekt, Ersatz 28t durch 40t-Limite).

Modellierung des Energieverbrauchs

Kernpunkt hier sind die spezifischen Energieverbräuche und deren Entwicklung. Figur 5 zeigt, dass der Verbrauch der Neu-PW in den letzten 7 Jahren im Mittel jährlich um 1.5% abnahm. Allerdings ist diese Reduktion zu einem guten Teil auf die Verlagerung zu Diesel-

Fahrzeugen zurückzuführen, die 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. Die Annahmen zur künftigen Entwicklung – in Kombination mit der differenzierten Bestandesentwicklung (vgl. Figur 3) 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. Dieser ist in den Angaben in Figur 5 nicht enthalten, sondern wird zusätzlich in Rechnung gestellt.



Figur 5 Entwicklung des spezifischen Energieverbrauchs der Neu-PW 1996 – 2003 (Angaben auto-schweiz).

2.3.2. MODELLIERUNG DER ÜBRIGEN SEGMENTE

Schienenverkehr (Elektrizität)

Basis für die Modellierung im Schienenverkehr ist ein Mengengerüst aus den ExPost-Analysen, mit einer Differenzierung nach Schienen-Fern- und -Regionalverkehr (Personen- und Güterverkehr) sowie ÖPNV (öffentlicher Personennahverkehr, d.h. Tram und Trolleybusse). Dazu liegen auch spezifische Energieverbräuche (in Wh/Btkm) vor. Für die künftige Entwicklung werden sowohl die Zugskm (bzw. Btkm) als auch spezifische Energieverbräuche fortgeschrieben.

Übrige Verkehrsarten (Schifffahrt, dieselbetriebener Schienenverkehr)

Diese sind anteilmässig praktisch vernachlässigbar, so dass auf eine differenzierte Modellierung verzichtet wurde.

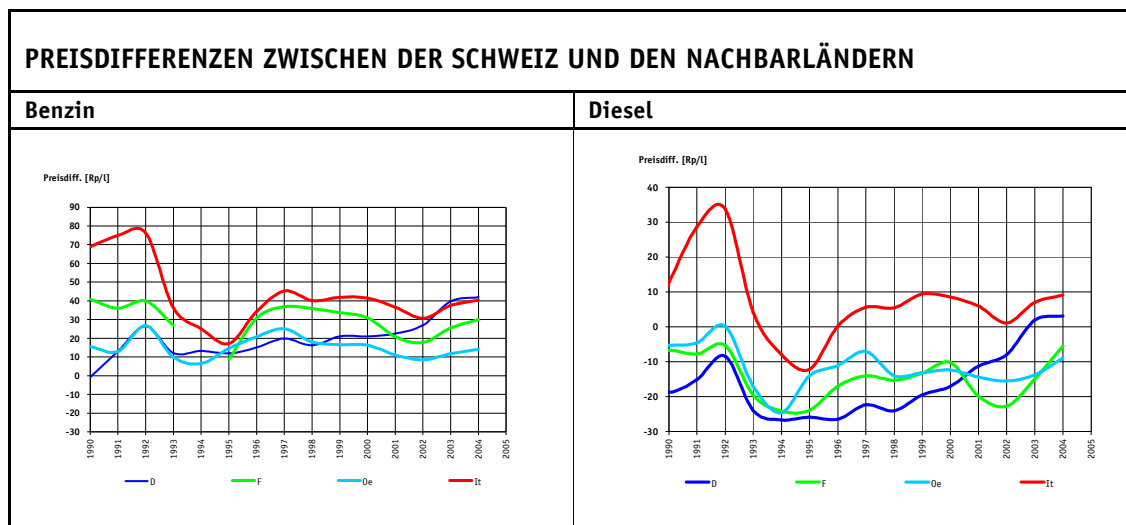
Off Road (v.a. Baumaschinen, Forst- und Landwirtschaft)

Ausgangspunkt sind die Angaben gemäss CO₂-Inventar des BUWAL. Diese Angaben basieren auf einer Studie (Elektrowatt) aus dem Jahr 1996 und werden derzeit überarbeitet. Für die künftige Entwicklung wurden Hinweise aus den laufenden Arbeiten übernommen.

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.

Das hier unterlegte Mengengerüst geht von je rund 10% beim Benzin wie beim Diesel aus (Bezugsjahr 2000), 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 Entwicklung seither deutet darauf hin, dass keine grundlegenden Veränderungen stattgefunden haben; tendenziell ist in beiden Sektoren eher mit einer wenn auch geringen Abnahme zu rechnen. Beim Benzin schlägt sich nieder, dass sich die Preisrelationen zu Deutschland deutlich vergrössert haben und somit auf eine Zunahme hinweisen, gleichzeitig wurden aber in der Lombardei spezifische Massnahmen zur Reduktion des Tanktourismus



Figur 6 Entwicklung der Preisdifferenzen zwischen der Schweiz und ihren Nachbarländer für Diesel bzw. Benzin 1985 – 2003. 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.

eingeführt so dass der Absatz im Tessin deutlich tiefer veranschlagt wird. Gegenüber Österreich und Frankreich haben sich die Preise nicht wesentlich verändert. Beim Diesel sind die Preisdifferenzen im Vergleich 2004/2000 eher zurückgegangen (v.a. ggü. Deutschland), so dass hier eher mit einer Abnahme des Imports zu rechnen ist. Die Modellrechnungen basieren für die jüngsten Jahre noch auf vorläufigen Angaben (v.a. im Bereich der Fahrleistungen). Ein Vergleich Modell/Absatz nach 2000 zeigt jedenfalls kein mit der Preisentwicklung völlig konsistentes Bild. Wir bewegen uns hier allerdings in einem 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. Für die weiteren Überlegungen zu den Szenarien orientieren wir uns deshalb am Mengengerüst 2000 und lassen die Diskrepanz zur Absatzstatistik (2001-2003) als solche stehen.

3. SZENARIO Ia (REFERENZ OHNE CO₂-ABGABE)

Szenario Ia entspricht einer Referenzentwicklung und basiert 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 weitem berücksichtigt es einen technischen Fortschritt ohne wesentliche Beschleunigungen oder technische Durchbrüche.

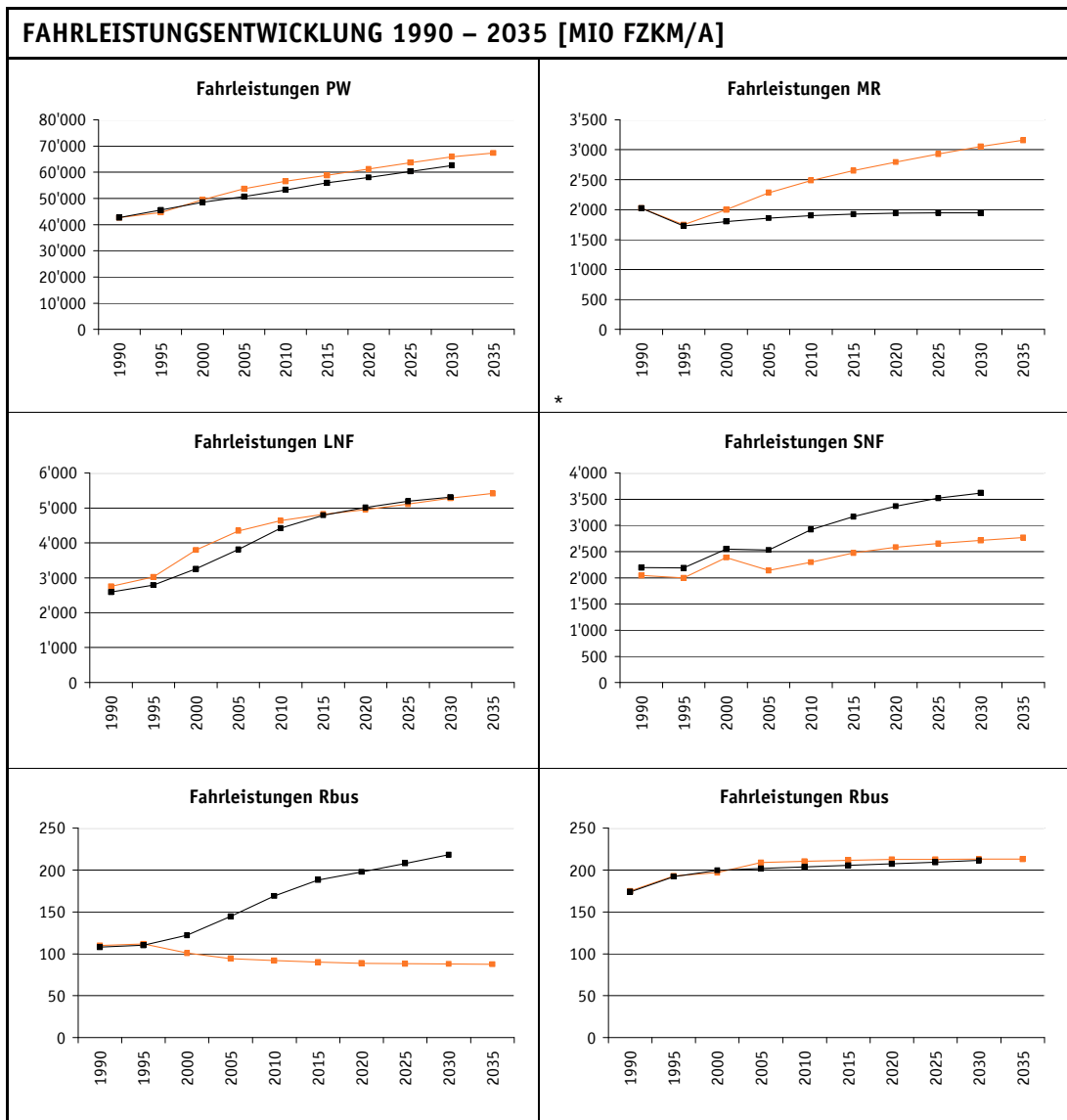
3.1. ANNAHMEN

3.1.1. STRASSENVERKEHR

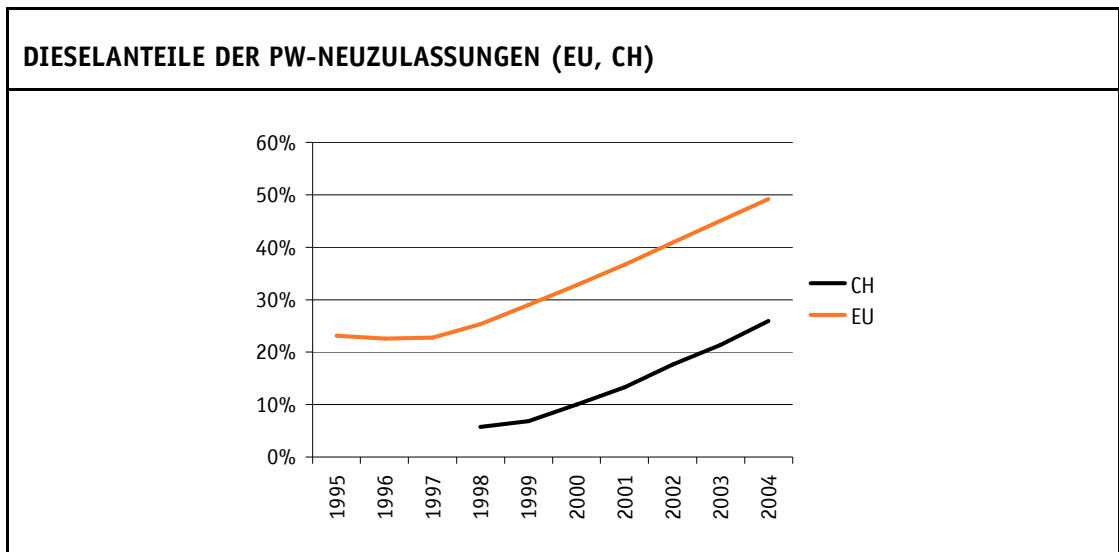
Mengenentwicklungen

Die nachstehende Figur zeigt die erwartete Fahrleistungsentwicklung bei den verschiedenen Fahrzeugkategorien (orange Kurven). Gleichzeitig sind auch die bisherigen Erwartungen (gemäss Energieperspektiven Grundszenario 1999) eingetragen (schwarze Kurven bis 2030).

Eine nicht unwesentliche Annahme betrifft den künftigen Dieselanteil bei den neuen Personenwagen. Nachdem in der Schweiz der Dieselanteil lange Zeit sich um rund 5% bewegte, nahm dieser Anteil in den letzten Jahren konstant zu und lag im Jahr 2004 bei knapp 26%. In der EU ist eine ähnliche Tendenz sichtbar, aber auf deutlich höherem Niveau (vgl. Figur 8). In den Nachbarländern lagen die Anteile durchwegs höher (40% in Deutschland, 71.5% in Oesterreich, 67.4% in Frankreich und 48.7% in Italien [Zahlen 2003]). Auf diesem Hintergrund wird für die weitere Entwicklung eine Zunahme auf 40% bis 2010 unterstellt.



Figur 7 Entwicklung der Fahrleistungen 1990-2035 (orange). Im Vergleich dazu (schwarz) die bisherigen Erwartungen (Grundszenario 1999).

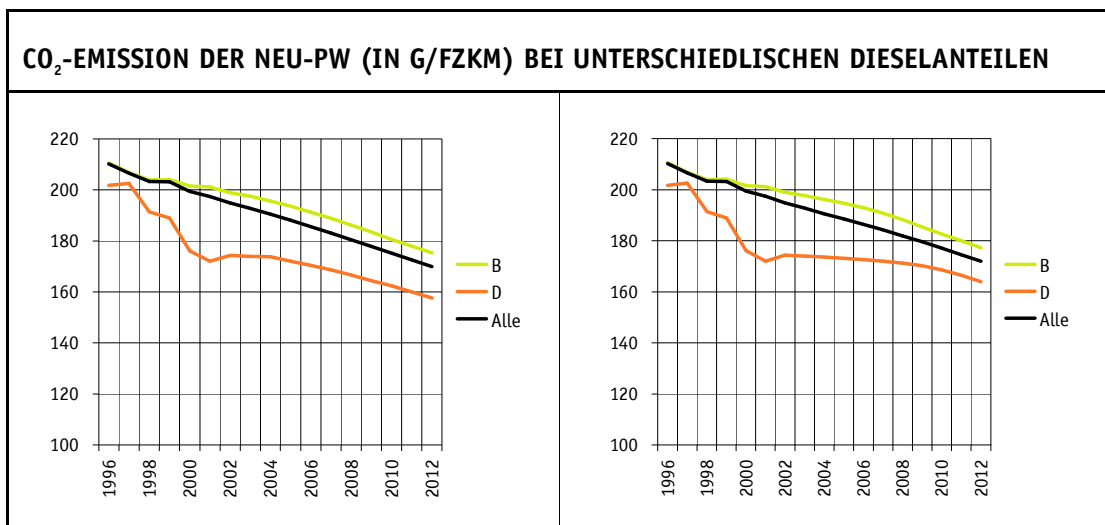


Figur 8 Entwicklung der Neuzulassungen und des Dieselanteils bei den Neuzulassungen im Zeitraum 1995 – 2030.

Spezifischer Treibstoffverbrauch

Für die Referenzvariante werden folgende Kernannahmen getroffen:

- › PW: hier wird eine Absenkung des mittleren spezifischen Verbrauchs um 1.5%/a der Neuwagen bis 2012 unterstellt, anschliessend 0.75%/a bis 2020, anschliessend 0.4%. 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. 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 Dieselfahrzeugen). 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.



Figur 9 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 AutoSchweiz, 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 „technologische“ Absenkung. Die Figur links zeigt die Entwicklung bei einer Sättigung des Dieselanteils bei 30%, rechts bei 40%.

- › LW: Bei den LW wird infolge Änderung im Fahrzeugpark (40t-Limite) eine leichte Zunahme des spezifischen Verbrauchs erwartet. Annahme 2020 ggü. 2000 +5%.

3.1.2. ÜBRIGE SEGMENTE

Schienenverkehr

- › Zunahme der Betriebsleistungen infolge Bahn 2000 (1./2. Etappe) und NEAT um 30% Fernverkehr, 20% Regionalverkehr, 35% Güterverkehr.
- › Reduktion des spezifischen Energiebedarfs um 15% (~0.5%/a).

Off Road (Baumaschinen, Land-/Forstwirtschaft)

- › Rückgang der Mengen um 10%.
- › Unveränderter spezifischer Energieverbrauch.

3.1.3. SONDERASPEKTE

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 Diesel-Fahrzeuge im In- wie im Ausland ausgeprägt ist. Konkret wird eine Reduktion des benzin-

seitigen Tanktourismus per 2010 um ein Drittel gegenüber 2000 unterstellt. Beim Diesel-Tanktourismus wird keine strukturelle Verschiebung (gegenüber 2004) unterstellt, da die Preisdifferenzen (zumindest zu Deutschland und Italien) derzeit nicht ausgeprägt sind.

Alternative Treibstoffe/Antriebe

Hier stehen zwei Alternativen im Raum: Biotreibstoffe (v.a. Ethanol) sowie Gas (inkl. Biogas) auch für die Mobilität. Beide Varianten spielen derzeit praktisch keine Rolle, sind aber mittelfristig denkbare Alternativen zu den fossilen flüssigen Treibstoffen, namentlich falls der Treibstoffpreis markant ansteigen sollte. Die EU hat ihrerseits das Ziel festgelegt, bis 2020 20% von Diesel und Benzin durch alternative Treibstoffe zu ersetzen; zudem gab die Kommission den Mitgliedsländern Richtwerte vor, bis 2005 2% und bis 2010 5.75% durch Biotreibstoffe zu ersetzen. Unter heutigen Rahmenbedingungen bzw. ohne finanzielle Anreize sind die Chancen einer breiten Einführung für beide Alternativen begrenzt. Bei Ethanol stellt sich neben der Preisfrage jene nach der Verfügbarkeit und Herstellung (inländisch/ausländisch; Alternativen wie Biotreibstoffe aus Lignozellulose statt Verdrängung von Anbauflächen für Nahrungsmittel etc.). Für eine signifikante Verbreitung von Gas sind neben einem konkurrenzfähigen Preis weitere Voraussetzungen zu erfüllen: ein genügendes Angebot an Fahrzeugtypen sowie eine ausreichende Betankungsinfrastruktur.

Mit einer Motion (02.3382) will die UREK-Kommission Erd-, Flüssig- und Biogas um mindestens 40 Rp. pro Liter Benzinäquivalent 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. Weil diese finanzielle Förderung aber noch nicht beschlossen ist, wird sie dem Referenzszenario Ia nicht unterstellt, d.h. es wird nicht mit einer signifikanten Verbreitung gerechnet. Konkret werden folgende Annahmen getroffen:

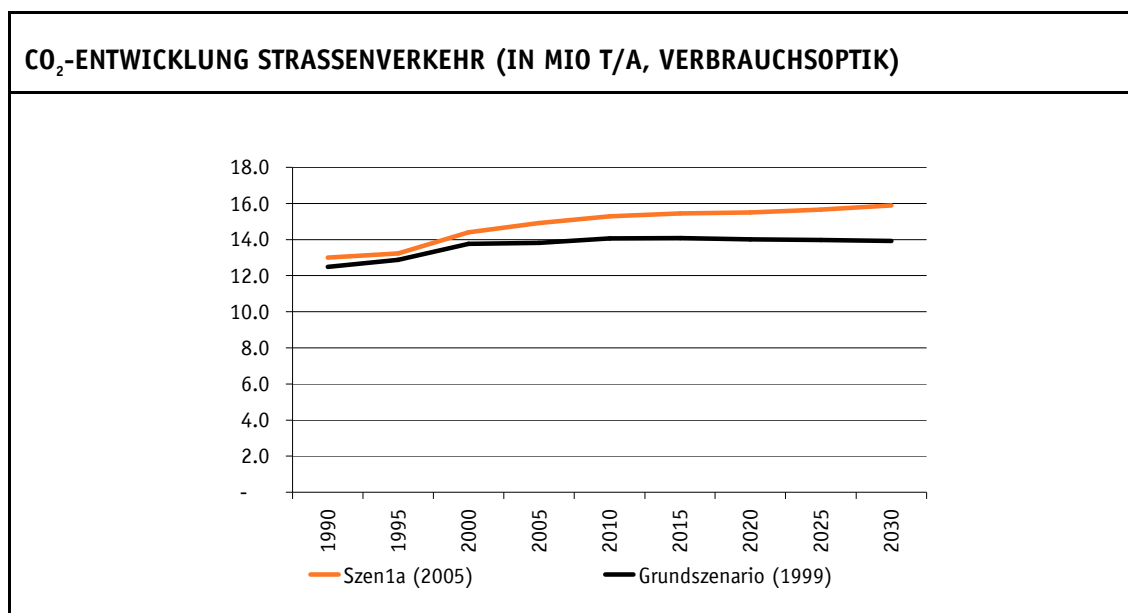
- › Ethanol: Kürzlich wurde eine Pilotanlage bewilligt, welche rund 4 Mio l Ethanol produzieren soll, welche die Bereitstellung von rund 80 Mio l „Benzin5“ (Benzin mit 5% Ethanol-Beimischung) ermöglicht. Quantitativ fällt dieser Betrag nicht ins Gewicht (<1 Promille). Solange die Herstellkosten deutlich höher sind als für Benzin oder Diesel, dürfte ohne Subventionierung kaum mit einer namhaften Verbreitung gerechnet werden. (Zum Vergleich: inländisches Ethanol 140 Rp/l, Import 65 Rp/l vor Steuern).
- › Gas: Erdgas kann in unterschiedlicher Form im Verkehr eingesetzt werden: direkt im CNG-Fahrzeug oder auch für die Herstellung von synthetischem Diesel (was dann unter Diesel

figurieren würde, da wohl als Diesel importiert). Im Rahmen des Referenzszenarios Ia 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.

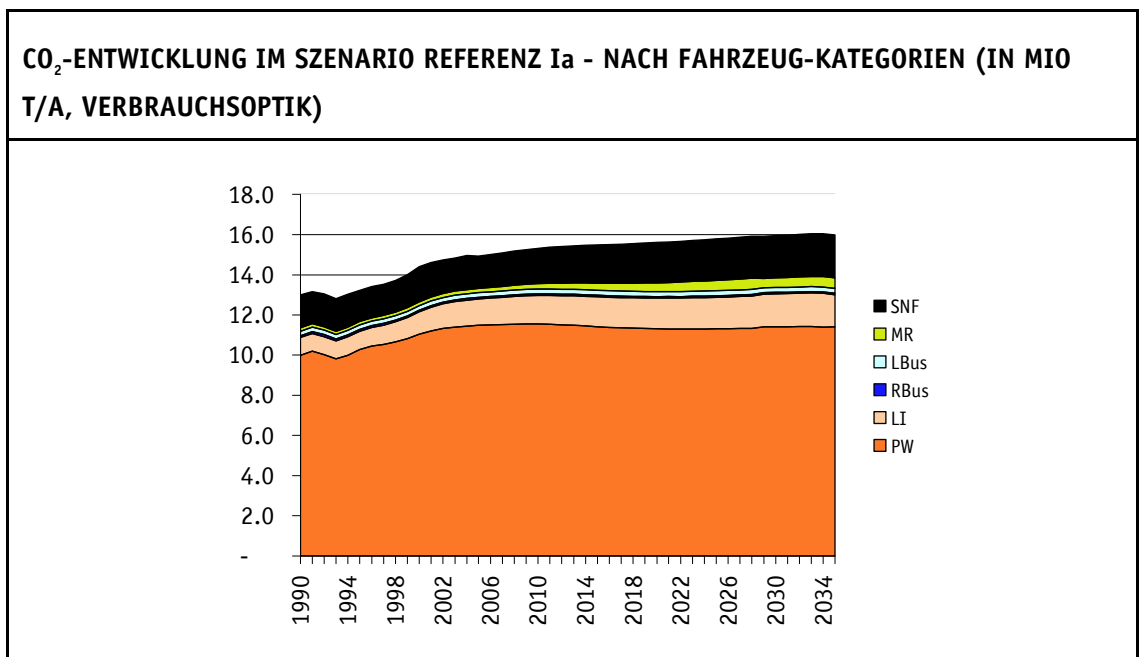
3.2. ERGEBNISSE

3.2.1. STRASSENVERKEHR (VERBRAUCH)

Die nachstehende Figur zeigt die CO₂-Entwicklung im Strassenverkehr (Verbrauchsoptik). Im Vergleich zu den bisherigen Angaben wurden verschiedene Anpassungen beim Verkehrsmengengerüst wie auch bei den spezifischen Verbrauchsfaktoren durchgeführt, was gegenüber dem früheren Mengengerüst (Grundszenario 1999) den Verbrauch generell angehoben hat (und den rechnerischen Anteil des Tanktourismus entsprechend gesenkt hat).



Figur 10 CO₂-Emissionen unter Verwendung des aktualisierten Mengengerüsts (Verbrauchsoptik) – und Vergleich zur früheren Referenzentwicklung (Grundszenario 1999).

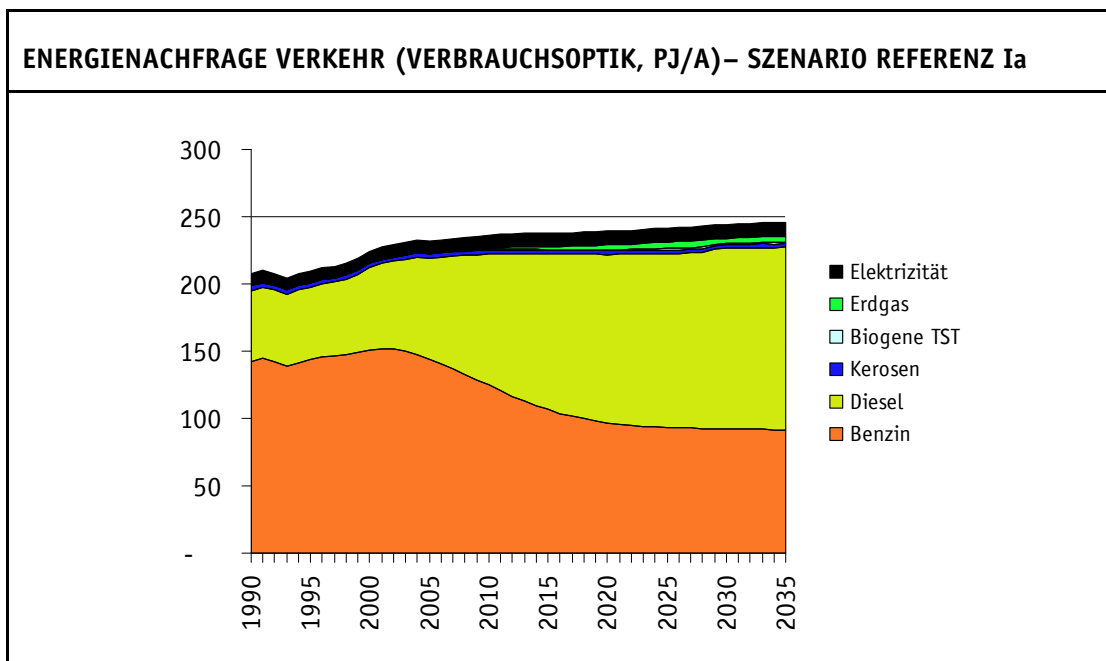


Figur 11 Entwicklung der strassenverkehrsbedingten CO₂-Emissionen nach Fahrzeugkategorien (Verbrauchsoptik).

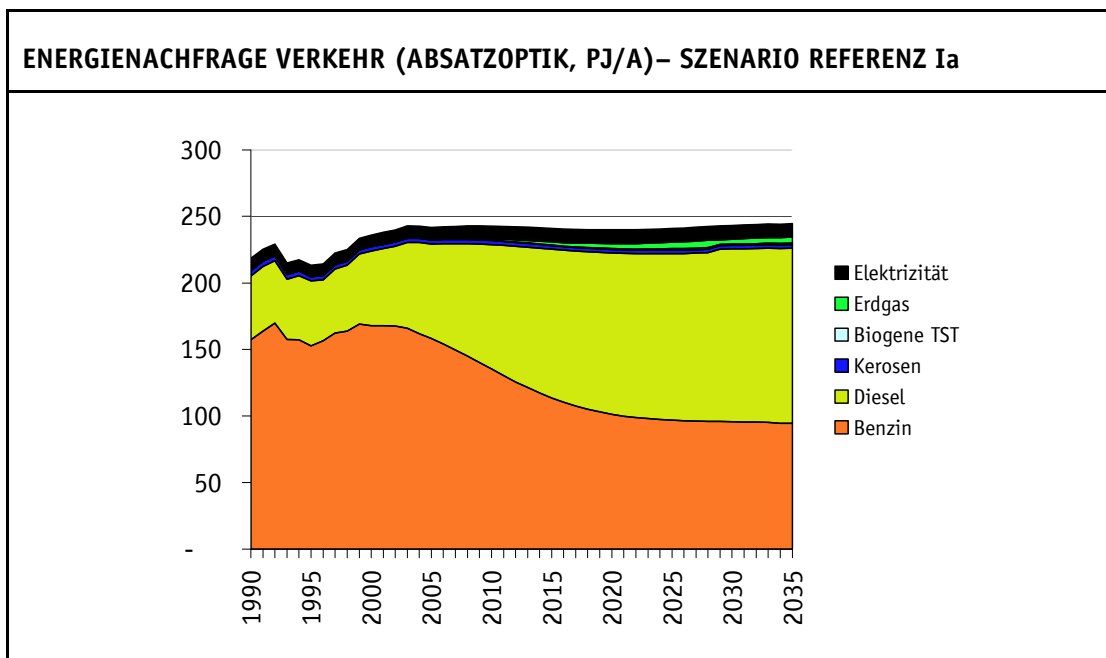
Ein Nebeneffekt namentlich der Verschiebung hin zu Diesel besteht darin, dass der Tanktourismus sich zurückbilden wird: der benzinseitige Export, der derzeit noch überwiegt, wird wegen des Nachfragerückgangs auch im Ausland zurückgehen, und gegen 2020 werden sich Benzin-Export und Diesel-Import in etwa aufheben. Per 2010 dürfte der Tanktourismus (netto) sich etwa halbieren. Das allerdings hängt stark von der Entwicklung der Preisrelationen CH/Ausland ab.

3.2.2. ENTWICKLUNG DES ENERGIEVERBRAUCHS DES SEKTORS VERKEHR

Die nachstehenden zwei 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 konstanten Gesamtenergienachfrage ausgehen. Die markanteste Substitution ist jene von Benzin zu Diesel. Biotreibstoffe könnten allenfalls schon kurzfristig, Gas mittel/langfristig ein Thema werden. Allerdings liegen die Rahmenbedingungen in diesem Szenario so, dass deren Potenziale nicht ausgeschöpft werden.



Figur 12 Entwicklung der Energienachfrage des gesamten Sektors Verkehr (einschliesslich Offroad) nach Energiearten (Verbrauchsoptik).



Figur 13 Entwicklung der Energienachfrage des gesamten Sektors Verkehr (einschliesslich Offroad) nach Energiearten (Absatzoptik)

4. SZENARIO Ib (REFERENZ MIT CO₂-ABGABE)

Szenario Ib versteht sich – wie Szenario Ia – 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 Haupt-Charakteristikum dieses Szenarios die CO₂-Abgabe ist, kommen vor deren Einführung noch andere („weichere“) Massnahmen zum Zug, die folglich ebenfalls Teil dieses Szenarios sind.

4.1. ANNAHMEN ZUM SZENARIO Ib

Szenario Ib ist geprägt durch eine 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 handelt es sich um folgende Annahmen:

- › **CO₂-Abgabe:** Die Abgabehöhe wie auch die Wirkungsabschätzungen orientieren sich an den Untersuchungen aus dem Jahr 2003 (BUWAL 2003). D.h. es wird im folgenden 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, der derzeit in Diskussion ist. Dieser sieht vor, dass energieeffiziente Fahrzeuge (Klassen A/B der Energieetikette) einen Bonus erhalten (gemäss derzeitigen Vorstellungen für eine A-Klasse ca. 2000 bis 2500 CHF), die übrigen Fahrzeuge werden mit einem Malus belastet. Das System gilt für Neuwagen und wird mit der Automobilsteuer auf Bundesebene erhoben. Es soll aufkommensneutral sein.
- › **Fiskalische Förderung alternativer Treibstoffe**, d.h. von Erd- und Flüssiggas sowie Biogas und andere Treibstoffe aus erneuerbaren Rohstoffen: Zu dieser Massnahme wurde im Winter 2004/05 eine Vernehmlassung durchgeführt (EFD 2004). Diese wird derzeit ausgewertet. Die dort unterstellten Annahmen und Erwartungen werden für Szenario Ib im Grundsatz übernommen (Angaben bis 2010) und für die Zukunft fortgeschrieben.

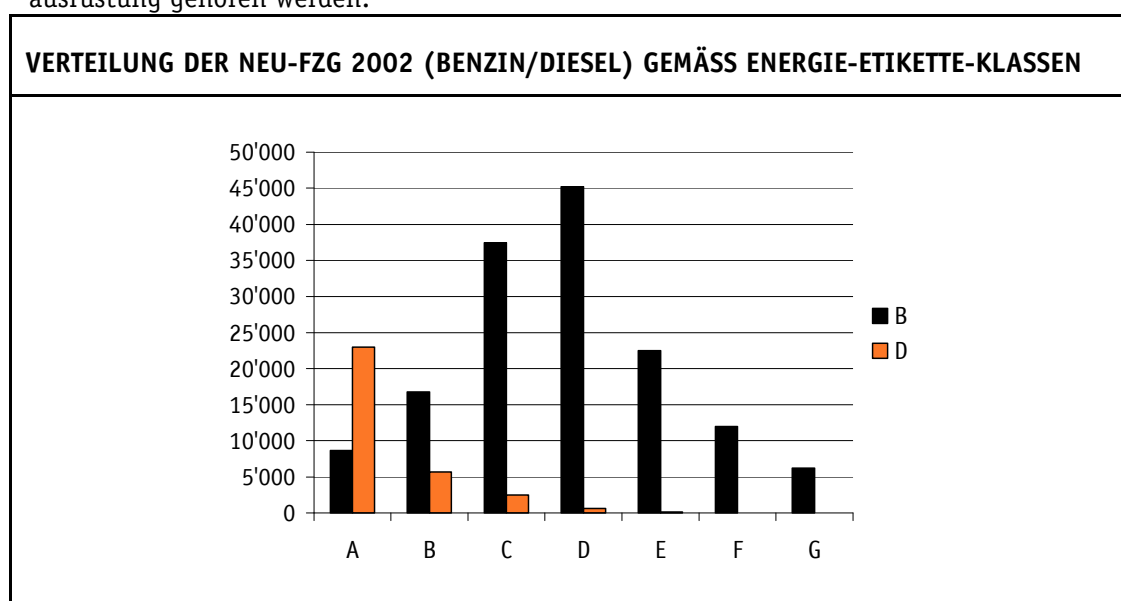
4.2. UMSETZUNG

- › **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, wel-

che bereits in BUWAL 2003 verwendet wurden. Im Vergleich zur internationalen Literatur handelt es sich um eher moderate Werte (Personenverkehr: längerfristig -0.3, Güterverkehr und Off-Road-Bereich -0.16).

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 Grenzüberschreitung 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 eine grössere Anzahl effizienterer Fahrzeuge, d.h. 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 3%/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). Die Zusatzbedingung (Ausstattung mit Partikel-Filter) könnte allenfalls anfänglich noch ein hemmender Faktor sein, mit der Zeit wird dies aber wohl keine gravierende Einschränkung mehr bedeuten – in der Erwartung, dass Partikelfilter bald zur Standard-ausrüstung gehören werden.



Figur 14 Die Diesel-Fahrzeuge fallen vor allem in die A/B-Klasse (Auswertung INFRAS)

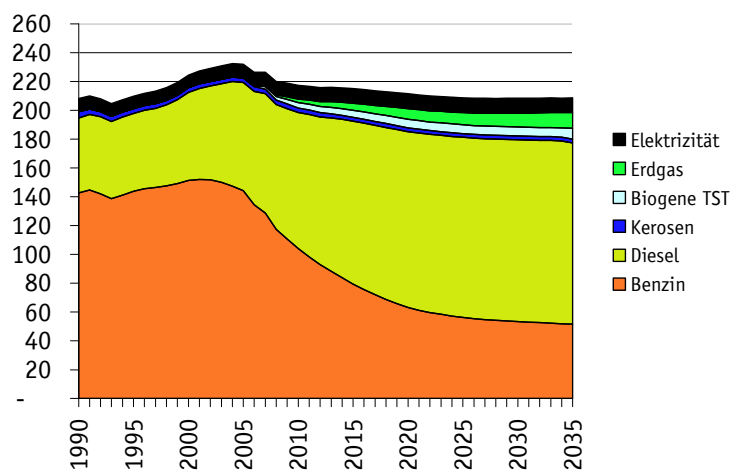
Zusätzlich wird auch eine Verlagerung zu effizienteren Fahrzeugen innerhalb der Benzin- bzw. Diesel-Segmente erwartet, so dass im Mittel eine Absenkung um 3%/a erreicht wird. Allerdings wird der Effekt mit der Zeit abnehmen. Man wird sich somit auf einen tieferen Verbrauchspfad hinzubewegen, der sich längerfristig parallel zur Referenz, aber auf tieferem Niveau entwickelt.

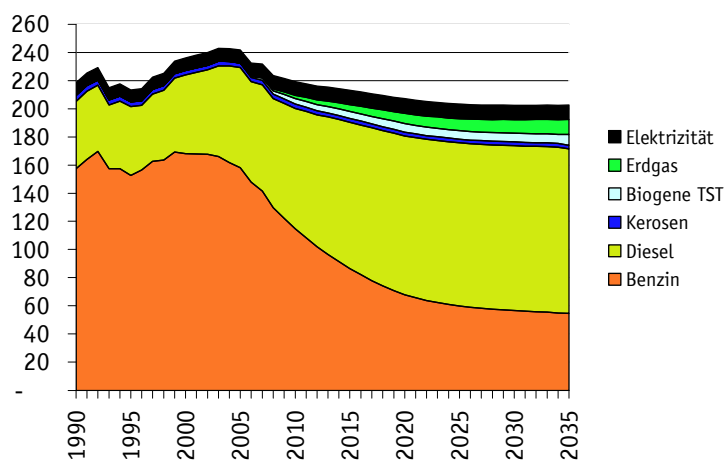
- › Die **Fiskalische Förderung alternativer Treibstoffe** wird konkret wie folgt berücksichtigt:
 - › *Ethanol*: Annahme eines Anteils von 3% Ethanol bis 2010 und 5.75% bis 2020 im Benzin; zwei Drittel des Ethanols werden über Importe gedeckt.
 - › *Erdgas/Biogas*: Annahmen gemäss Vernehmlassungsvorlage (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 ggü. 2010). Annahme eines Anteils von 10% Biogas am Gesamtgaseinsatz.

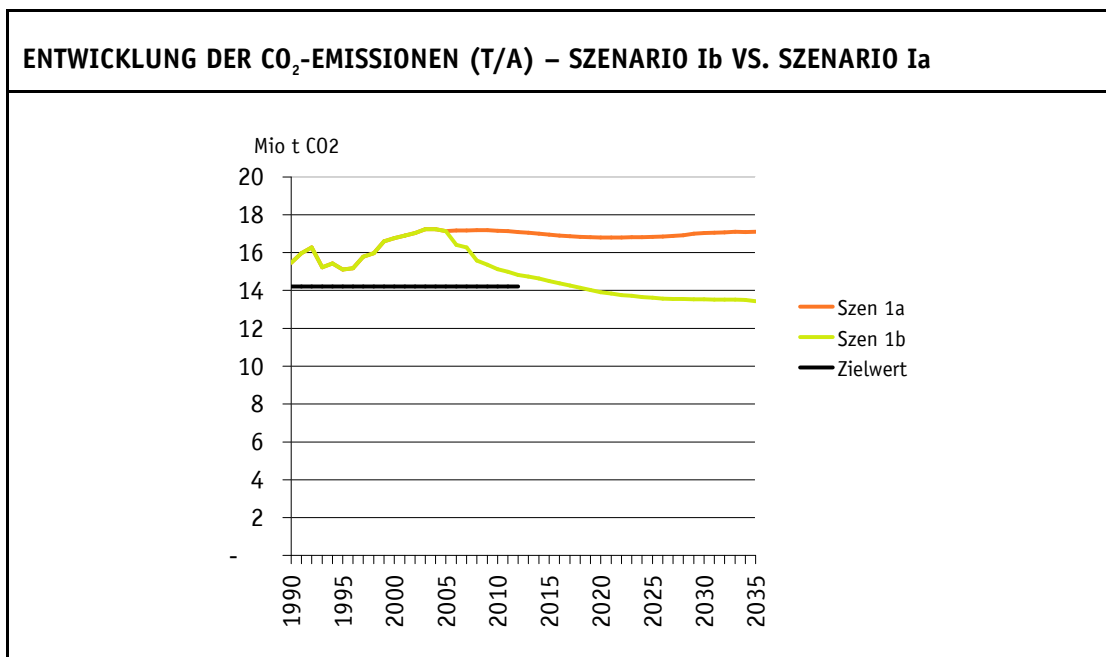
4.3. AUSWIRKUNGEN

4.3.1. ÜBERSICHT

Die nachstehenden Figuren zeigen – analog zum Referenz-Szenario (Ia) in Kap. 3 – die Auswirkungen nach Verbrauchs- bzw. Absatzoptik. Weil Biogas und –ethanol ganz oder teilweise CO₂-frei sind, differiert die Darstellung der CO₂-Emissionsentwicklung leicht von der PJ-Darstellung. Figur 17 zeigt die CO₂-Entwicklung von Szenario Ib gegenüber dem Referenz-Szenario (Ia). Demnach wird das Ziel 2010 noch nicht erreicht, das wird erst gegen 2014 der Fall sein.

ENERGIENACHFRAGE VERKEHR (VERBRAUCHSOPTIK, PJ/A)– SZENARIO REFERENZ Ib

Figur 15 Entwicklung der Energienachfrage Verkehr nach Energiearten (Verbrauchsoptik) in Szenario Ib.

ENERGIENACHFRAGE VERKEHR (ABSATZSOPTIK, PJ/A)– SZENARIO REFERENZ Ib

Figur 16 Entwicklung des Energienachfrage Verkehr nach Energiearten (Absatzoptik) in Szenario Ib.



Figur 17 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).

4.3.2. 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 Ia und Ib. Demnach nimmt der Lenkungseffekt durch die CO₂-Abgabe wie auch der Tanktourismus tendenziell ab, während Bonus-Malus und alternative Treibstoffe in der Bedeutung eher zunehmen.

BEITRÄGE DER MASSNAHMEN ZUR CO ₂ -REDUKTION			
Massnahme	2010	2015	2020
Lenkungseffekt / CO ₂ -Abgabe	36%	34%	28%
Bonus Malus	5%	18%	32%
Ethanol / Gas	16%	19%	20%
TankTourismus	43%	29%	20%
Total	100%	100%	100%

Tabelle 2 Zusammenstellung der Massnahmenwirkungen

5. SENSITIVITÄTSBETRACHTUNGEN

Im Folgenden werden drei Sensitivitätsbetrachtungen erläutert, nämlich die Effekte auf den Energiebedarf im Verkehr, falls

- › das Wirtschaftswachstum höher ausfällt als in den bisher erörterten Szenarien 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 BFF.

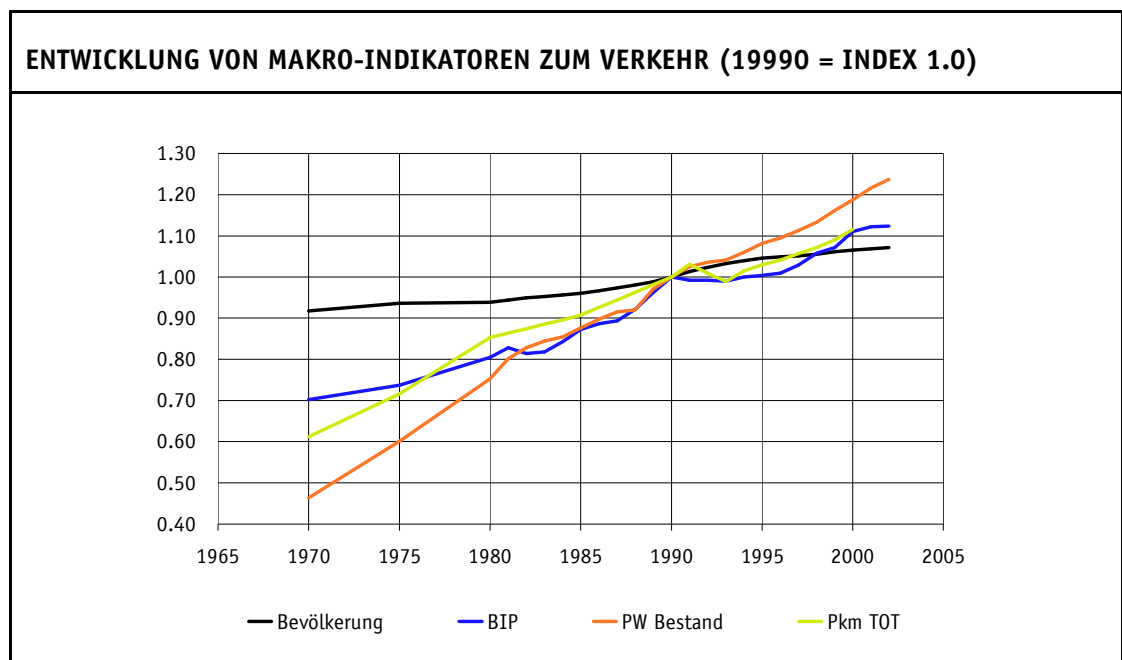
5.1. SENSITIVITÄT „BIP HOCH“

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

Um die Effekte auf die Verkehrsnachfrage abzuschätzen, wird auf die Verkehrsperspektiven des ARE Bezug genommen, die kürzlich publiziert wurden (btr. Güterverkehr: ProgTrans/Infras 2004), bzw. noch in Erarbeitung sind (Teil Personenverkehr, noch unveröffentlicht). 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. Wir fokussieren dabei auf den Strassenverkehr, weil aus energetischer Sicht hier die wesentlichen Effekte zu erwarten sind, selbst wenn dieses Szenario damit rechnet, 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 ggü. 2002) erwartet, das dem Szenario Ia 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.

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



Figur 18 Indexierte Entwicklung von BIP, Bevölkerung, PW-Bestand und Personenverkehrsleistung

BIP entwickelt hat, während der PW-Bestand noch höhere Wachstumsraten aufwies. Das kann allerdings nicht unesehen in die Zukunft extrapoliert werden, da eine Reihe von Faktoren es nahe legen, mit Sättigungserscheinungen zu rechnen (z.B. mittlerweile 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 8% höheres Verkehrswachstum. Ebenfalls analog zum Güterverkehr verändern wir die übrigen energie-relevanten Annahmen (wie Fahrzeugmix, spezifische Energieverbrauchsfaktoren) nicht. Figur 19 zeigt das entsprechende Ergebnis anhand der CO₂-Emissionen im Vergleich zu den Szenarien Ia und Ib (und gleichzeitig der nachstehend diskutierten „Preis hoch“-Sensitivität).

5.2. SENSITIVITÄT „ERDÖLPREIS HOCH“

Die zweite Sensitivitätsbetrachtung unterstellt einen höheren Erdölpreis. Entsprechend den Vorgaben wird an Stelle der 30\$/bbl gemäss Szenario Ia/Ib neu von einem Preisniveau von 50\$/bbl ausgegangen. 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 die nachstehende Tabelle 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. Im Vergleich zur CO₂-Abgabe, welche in Szenario Ib mit 30 Rp./L veranschlagt wurde, handelt es sich demnach um eine geringere Erhöhung (rund 60% der CO₂-Abgabe).

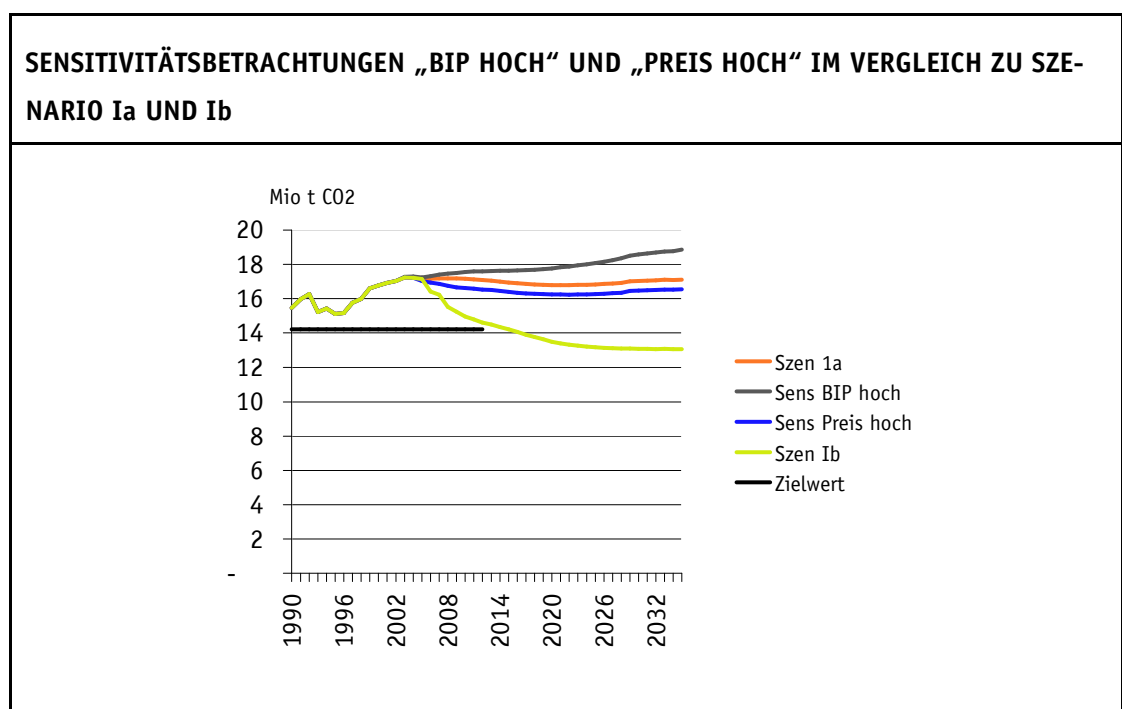
Treibstoffpreise und Fiskalbelastung (Rp. / Liter, Stand ca. Mitte 2005)		
	Benzin unverbleit	Dieselöl
Mineralölsteuer	43.1	45.9
Mineralölsteuerzuschlag	30.0	30.0
<i>Gesamtsteuersatz</i>	<i>73.1</i>	<i>75.9</i>
Mehrwertsteuer 7.6% (bzgl.Tankst.Preis)	10.6	10.6
<i>Gesamtfiskalbelastung</i>	<i>83.7</i>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

Tabelle 3 Fiskalbelastung der Treibstoffe

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. wie 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 Tanktoursimus 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.

Die nachstehende Figur zeigt den Effekt der beiden Sensitivitätsbetrachtungen im Vergleich zu Szenario Ia und Ib.



Figur 19 Vergleich der Nachfragewirkung der beiden Sensitivitäten „BIP hoch“ und „Preis hoch“ im Vergleich zu den Szenarien Ia und Ib.

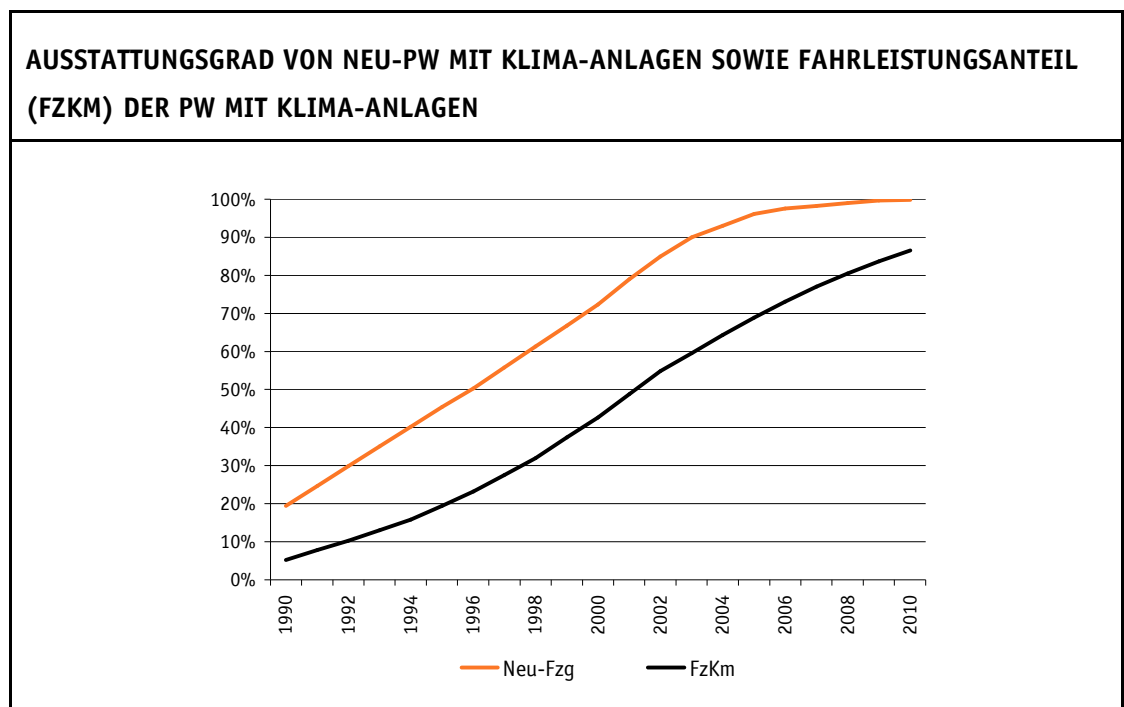
5.3. SENSITIVITÄT „KLIMA“

Hier interessiert die Frage, wie stark sich die Energienachfrage im Verkehrssektor ändert, wenn das Temperaturniveau als Folge des Klimawandels ansteigt. Den Haupteffekt orten wir beim Einsatz von Klimaanlage im PW-Bereich.

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 Ia bzw. Ib. 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.

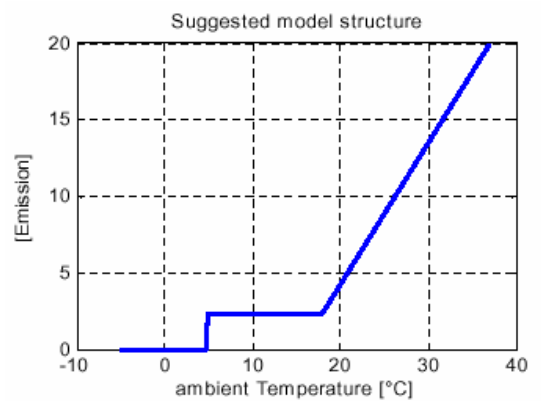
In der Basisrechnung wurde bereits mit einem breiten Ausstattungsgrad der Neu-PW gerechnet. Rund 70% der Fzkm werden demnach heute schon von Fahrzeugen mit Klimaanlage zurückgelegt.



Figur 20 Mittlerweile sind der überwiegende Teil der Neu-Fahrzeuge mit Klima-Anlagen ausgerüstet.

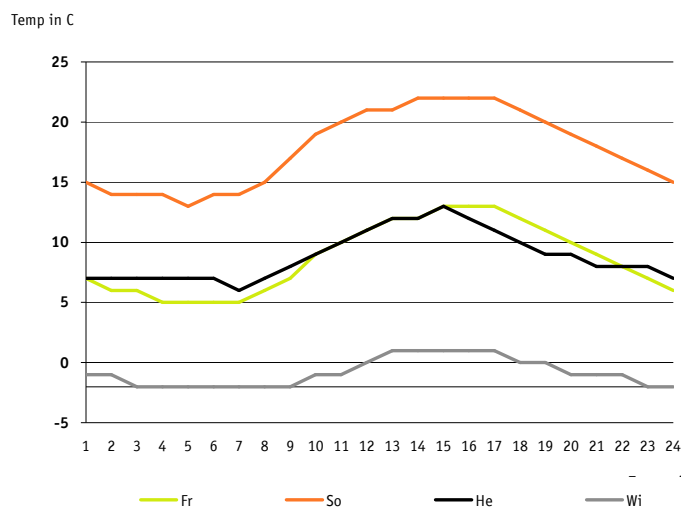
Der Effekt auf den Energieverbrauch lässt sich mittels eines Modells (nach EMPA 2005) nachbilden, das den Treibstoffverbrauch (und die Emissionen) in Funktion der Aussentemperatur angibt. Auffallend ist dabei, dass die Anlagen auch im Temperaturbereich von rund 5 bis 18 Grad aktiv sind, allerdings auf einem relativ tiefen Leistungsniveau.

MODELL ZUR ABBILDUNG DES ENERGIEVERBRAUCHS VON KLIMA-ANLAGEN BEI PW



Figur 21 gemäss EMPA 2005

TEMPERATURGANGLINIEN



Figur 22 Vier mittlere saisonale Temperaturganglinien für das Schweizer Mittelland

Für die Abschätzung eines PW im Jahresmittel wurden dabei vier typische Temperaturverteilungen für das CH-Mittelland unterstellt (vgl. Figur 22). Daraus 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 Klimaanlage verursachte Mehrenergieverbrauch (bei

Annahme einer Vollausrüstung der Flotte) rund 4% des PW-bedingten Treibstoffverbrauchs aus, oder in CO₂-Emissionen ausgedrückt rund 0.45 Mio t CO₂.

Werden nun die Aussentemperaturganglinien 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 (Jahrgang 2004¹) – ohne Klimaanlage 190 g CO₂/km
- › Einfluss Klimaanlage bei heutigen Temperatur-Verteilungen: +8.18 g CO₂/km ~ 4%
(Hochrechnung CH: +0.45 Mio t CO₂ Emission)
- › Einfluss AC bei Temperatur-Verteilung „heute + 1 Grad“: +8.60 g CO₂/km
(Hochrechnung CH: +0.47 Mio t CO₂ Emission)
- Einfluss AC bei Temperatur-Verteilung „heute + 2 Grad“: +8.91 g CO₂/km
(Hochrechnung CH: +0.49 Mio t CO₂ Emission)

1 Quelle: Auto-schweiz

ANNEX

ANNEX 1: ABSATZ- UND VERBRAUCHSENTWICKLUNG VERKEHR 1990-2003

ENERGIEABSATZ TREIBSTOFFE

	Benzin	Diesel	Kerosen	Elektr.
	in 1000t	in 1000t	in 1000t	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

	Benzin	Diesel	Keroser	Elektr.	Summe
	in PJ	in PJ	in PJ	in PJ	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

	Benzin	Diesel	Kerosen	Elektr.	Summe
	Index	Index	Index	Index	Index
1990	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1991	104.2	101.4	96.9	98.2	102.1
1992	107.9	98.3	102.1	98.5	104.8
1993	100.1	94.6	105.6	95.6	99.9
1994	100.0	100.5	108.4	94.8	101.5
1995	97.0	102.1	114.3	94.6	101.0
1996	99.5	95.9	118.1	93.2	102.0
1997	103.3	100.2	122.3	93.7	105.9
1998	104.0	103.6	127.5	96.3	108.0
1999	107.5	109.8	135.7	99.0	112.8
2000	107.6	117.0	141.5	102.6	115.3
2001	104.6	119.1	133.5	104.9	112.5
2002	102.5	123.3	123.4	108.7	110.3
2003	102.0	130.7	111.0	116.0	109.4

Quelle: Energiestatistik

ENERGIEVERBRAUCH (modelliert)

PJ/a		1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Strasse / Pers-V	B	129.6	132.0	133.8	134.6	135.8	137.5	139.6	140.6	140.6	139.1
Strasse / Pers-V	D	12.2	13.7	14.1	14.5	15.0	15.6	16.6	18.0	19.7	22.2
Strasse / Güter-V	B	8.2	7.5	7.3	7.4	7.4	7.3	7.2	6.8	6.5	6.1
Strasse / Güter-V	D	26.0	26.0	26.3	26.8	27.7	29.4	31.8	32.4	32.8	33.7
Schiene	EL	9.2	8.5	8.3	8.4	8.6	8.9	8.9	9.1	9.0	9.1
Offroad Verkehr	B+D	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.3
Offroad Nicht-Verkehr	B+D	16.6	16.5	16.3	16.0	15.7	15.5	15.2	15.2	15.2	15.2
Flugverkehr (nat)	K	4.3	3.4	3.3	3.3	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
Summe		209.1	210.7	212.6	214.1	216.6	220.5	225.6	228.6	230.2	231.8

Quelle: INFRAS (Ex Post Analyse 2003, aktualisiert)

ANNEX 2: VERKEHRLICHES MENGengerüst STRASSENVERKEHR - SZENARIO Ia (REFERENZ)

FAHRZEUG-BESTÄNDE						
Jahr	PW	Lieferwagen	SNF	Reisebusse	Linienbusse	Mot. 2Räder
1990	2'985'390	220'923	55'919	2'341	4'133	763'873
1995	3'229'165	238'363	53'843	2'382	4'263	704'053
2000	3'545'253	260'052	52'178	2'229	4'228	731'430
2005	3'846'086	278'533	50'240	2'090	4'412	752'304
2010	4'054'359	287'124	52'614	2'030	4'412	767'619
2015	4'222'932	293'781	55'415	1'989	4'414	788'045
2020	4'397'624	300'448	56'704	1'956	4'418	810'766
2025	4'577'448	308'688	57'247	1'942	4'421	835'232
2030	4'745'859	318'412	57'481	1'937	4'422	859'755
2035						

Tabelle 4 Fahrzeug-Bestände 1990 - 2035

FAHRLEISTUNGEN [MIO. FZKM/A]						
Jahr	PW	Lieferwagen	SNF	Reisebusse	Linienbusse	Mot. 2Räder
1990	42'648	2'758	2'044	108	175	2'025
1995	44'638	3'025	1'996	110	193	1'744
2000	49'552	3'792	2'385	99	197	1'998
2005	53'659	4'391	2'138	98	213	2'282
2010	56'544	4'675	2'325	95	216	2'485
2015	58'876	4'847	2'507	93	217	2'649
2020	61'199	4'975	2'615	92	215	2'793
2025	63'695	5'119	2'687	91	213	2'928
2030	65'913	5'288	2'742	91	213	3'055
2035	67'258	5'452	2'798	91	212	3'177

Tabelle 5 Fahrleistungen 1990 – 2035

ANNEX 3: SZENARIO Ia (REFERENZ OHNE CO₂-ABGABE)

Szen 1a		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Benzin	PJ	157.3	152.6	168.0	158.2	135.3	113.7	101.3	96.9	95.6	94.5
Diesel	PJ	47.8	48.8	55.9	71.1	93.5	111.7	121.2	125.3	129.9	131.7
Kerosen	PJ	4.3	3.4	3.2	3.1	3.1	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
Biogene TST	PJ	-	-	-	-	0.2	0.4	0.7	1.0	0.9	1.2
Erdgas	PJ	-	-	-	-	1.1	2.4	3.7	4.9	3.8	4.5
Elektrizität	PJ	9.2	8.5	8.9	9.4	9.6	10.2	10.4	10.3	10.3	10.2
Sum	PJ	218.6	213.3	236.1	241.7	242.8	241.0	239.9	241.0	243.2	244.7

Szen 1a		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Benzin	mio t CO ₂	11.6	11.3	12.4	11.7	10.0	8.4	7.5	7.2	7.1	7.0
Diesel	mio t CO ₂	3.5	3.6	4.1	5.2	6.9	8.2	8.9	9.2	9.6	9.7
Kerosen	mio t CO ₂	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Biogene TST	mio t CO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Erdgas	mio t CO ₂	-	-	-	-	0.1	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2
Elektrizität	mio t CO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sum	mio t CO ₂	15.5	15.1	16.8	17.1	17.2	16.9	16.8	16.8	17.0	17.1

ANNEX 4: SZENARIO Ib (REFERENZ MIT CO₂-ABGABE)

Szen 1b		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Benzin	PJ	157.3	152.6	168.0	158.2	114.7	86.6	67.9	59.9	56.6	54.6
Diesel	PJ	47.8	48.8	55.9	71.1	85.5	103.9	112.8	115.9	117.1	116.8
Kerosen	PJ	4.3	3.4	3.2	3.1	3.1	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
Biogene TST	PJ	-	-	-	0.0	3.8	5.0	6.1	6.1	6.2	7.6
Erdgas	PJ	-	-	-	-	2.4	4.8	7.3	8.5	9.7	10.9
Elektrizität	PJ	9.2	8.5	8.9	9.4	9.6	10.2	10.4	10.3	10.3	10.2
Sum	PJ	218.6	213.3	236.1	241.7	219.1	213.1	207.1	203.3	202.5	202.7

Szen 1b		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Benzin	mio t CO ₂	11.6	11.3	12.4	11.7	8.5	6.4	5.0	4.4	4.2	4.0
Diesel	mio t CO ₂	3.5	3.6	4.1	5.2	6.3	7.6	8.3	8.5	8.6	8.6
Kerosen	mio t CO ₂	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Biogene TST	mio t CO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Erdgas	mio t CO ₂	-	-	-	-	0.1	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6
Elektrizität	mio t CO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sum	mio t CO ₂	15.5	15.1	16.8	17.1	15.1	14.5	13.9	13.6	13.5	13.4

GLOSSAR

AB:	Autobahn
A/C:	Air Conditioning, Klima-Anlagen
ACEA:	European Automobile Manufacturers Association
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
B'ANA:	Bestandes-Analysen (des Motorfahrzeugbestandes)
BFS:	Bundesamt für Statistik
BIP:	Bruttoinlandprodukt
BIV:	Binnenverkehr
BRD:	Bundesrepublik Deutschland
BUWAL:	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern
CH:	Schweiz
CO ₂ :	Kohlendioxid
D:	Diesel
ECE:	Economic Commission for EUROPE
EFA, E-Faktor:	Emissionsfaktor
EFKO:	Eidgenössische Fahrzeugkontrolle
EMPA:	Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Dübendorf
Euro-1, -2, -3, -4:	Europäische Abgasvorschriften für leichte und schwere Motorwagen
Fzg:	Fahrzeug
FzKm:	Fahrzeug-Kilometer
GKat:	geregelter Katalysator
HBEFA:	Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs
IE, IEV:	Import/Export-Verkehr
io:	innerorts
KMR, KKR:	Kleinmotorrad, Kleinkrafttrad (<50cc),
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)
LSVA:	Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe
LW:	Lastwagen (Schweiz)
Mofa:	Motorfahrrad
MOFIS:	Motorfahrzeuginformationssystem (der EFKO)
MR:	Motorrad
ÖPNV:	Öffentlicher Personennahverkehr
ÖV:	Öffentlicher Verkehr
PEFA:	Periodische Fahrleistungserhebung (des ARE)
PF:	Partikelfilter
PW:	Personenwagen, Personenkraftwagen (Schweiz)
RBus:	Reisebus, Car
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)}
TR, TRV:	Transitverkehr
TST:	Treibstoffe
UVEK:	Eidg. Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
V'Zus:	Verkehrszusammensetzung (= Mix der Fahrzeugschichten)
ZQ, ZQV:	Ziel/Quell-Verkehr
ZR:	Zweiräder

LITERATUR

- ARE 2002:** Aggregierte Verkehrsprognosen Schweiz und EU, Zusammenstellung vorhandener Prognosen bis 2020, erarbeitet durch ARR, erhältlich bei BBL, Vertrieb Publikationen, 3003 Bern, www.bbl.admin.ch/bundespublikationen, Bestell-Nr.: 812.016 d, Bern 2002
- 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
- BFS 2001:** BFS Aktuell; Güterverkehr auf der Strasse; Fahrzeugkilometer, Tonnen, Tonnenkilometer: Zeitreihen 1985/93-2000; Daten vor Einführung der LSVA; 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
- 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 2000:** Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1950 – 2020, *Nachtrag* zu Schriftenreihe Umwelt Nr. 255; Bern 2000
- BUWAL 2003:** CO₂-Abgabe/Klimarappen bei Treibstoffen, ausgeführt durch Infrac, Schlussbericht 16.6.2003
- 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 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
- 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
- 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

ProgTrans/Infras 2004: Perspektiven des schweizerischen Güterverkehrs bis 2030, im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung (ARE), Bern, März 2004