

Energieperspektiven 2035/2050

Energienachfrage

# Energieverbrauch Sektor Verkehr

Ergebnisse Szenario III und IV

Stand Anfang Juni 2006

---

## INHALT

<b>1.</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>3</b>
1.1.	ZWECK DER ENERGIEPERSPEKTIVEN	3
1.2.	INHALT DIESES ZWISCHENBERICHTS	3
1.3.	ZIELE UND GRUNDPRINZIPIEN DER BEIDEN ZIEL-SZENARIEN III UND IV	4
1.4.	GRUNDSÄTZLICHE ANSATZPUNKTE IM VERKEHR	5
1.5.	NEUE BEZUGSBASIS	7
<b>2.</b>	<b>KONKRETISIERUNG SZENARIO III</b>	<b>7</b>
2.1.	ANSATZPUNKT EFFIZIENZ	7
2.2.	ANSATZPUNKT ALTERNATIVER ENERGIEMIX	12
2.3.	UMSETZUNG	13
2.4.	ERGEBNISSE	14
2.5.	AUSWIRKUNGEN	15
<b>3.</b>	<b>KONKRETISIERUNG SZENARIO IV</b>	<b>17</b>
3.1.	ANSATZPUNKT MENGEN-ANPASSUNGEN	17
3.2.	ERGEBNISSE	18
<b>4.</b>	<b>SZENARIO IV – SENSITIVITÄT „BIP HOCH“</b>	<b>20</b>
4.1.	ANSATZ	20
4.2.	RESULTAT SENSITIVITÄTSBETRACHTUNG	21
	<b>LITERATUR</b>	<b>23</b>

## 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

Der vorliegende Arbeitsbericht behandelt den Sektor Verkehr und schliesst an den Zwischenbericht zum Referenz-Szenario I (Szenario I in zwei Ausprägungen IA/IB, Stand 30.7.2005) sowie an den Kurzbericht zum Szenario II (Stand 30.6.2005) an. Er beschreibt die Annahmen und Ergebnisse zu den **Szenarien III und IV**. Beides sind Ziel-Szenarien, d.h. bestimmte, quantitativ festgelegte Zielgrössen sind in diesen Szenarien einzuhalten und mögliche Massnahmen auf deren Einhaltung auszurichten. Wie bereits in den vorangehenden Arbeitsberichten wird die Entwicklung der Energienachfrage im Bereich Verkehr wiederum unter Verwendung eines Bottom-up-Ansatzes erörtert. Es werden die wichtigsten Annahmen, Mengengerüste und Ergebnisse der beiden Subsznarien dargestellt. Ergänzend wird am Beispiel von Szenario IV mit einer Sensitivitätsbetrachtung grob abgeschätzt, welchen Effekt ein verändertes Wirtschaftswachstum auf die Energienachfrage im Verkehrsreich hätte.

### 1.3. ZIELE UND GRUNDPRINZIPIEN DER BEIDEN ZIEL-SZENARIEN III UND IV

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.

#### **Szenario III „Neue Prioritäten“**

In Szenario III sind durch eine möglichst effiziente Kombination von Instrumenten und Massnahmen nach Möglichkeit folgende Ziele zu erreichen:

- › Reduktion der CO<sub>2</sub>-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).

Diese Szenario III mit dem Titel „Neue Prioritäten“ lässt sich anhand folgender Stichworte umreissen:

- › Globales Umfeld: weltweit werden die Prioritäten verstärkt auf Klimaschutz und Energieeffizienz gesetzt. Globale Instrumente wie CO<sub>2</sub>-Handel und / oder völkerrechtlich verbindliche Ziele sind akzeptiert.
- › Schweiz: Als Hintergrund dieses Szenarios werden erhöhte Energiepreise unterlegt. Preisinstrumente wie eine Energieabgabe bewirken eine Verdoppelung der Endenergiepreise.
- › 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 denen der Trendszenarien.

### Szenario IV „Wege zur 2000-Watt-Gesellschaft“

In Szenario IV sind die Ziele noch ambitionierter formuliert:

- › Reduktion der CO<sub>2</sub>-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, was eine Änderungen insbesondere in den Transport-Aktivitäten ermöglicht.

## 1.4. 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 LW-Km) hängt von der Auslastung und kann im Prinzip 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 zwei Aspekte: auf der einen Seite spielt die Technologie 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. Auf der andern Seite sind spezifische CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-Bilanz günstig auswirken, da das bei der Verbrennung freigesetzte CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>-Reduktion zu leisten, ohne dass dabei zwingend auch die Effizienz verbessert würde.

Die Konkretisierung und Umsetzung dieser Ansatzpunkte erfolgt schrittweise:

- › In Szenario III wird (ausschliesslich) 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 IA) übernommen werden, wo noch mit einer spürbaren Zunahme der Nachfrage gerechnet wird.
- › Erst in Szenario IV, wo die Ziele noch ambitiöser sind, wird auch bei den übrigen Ansatzpunkten, namentlich dem Umfang der Transportleistungen und dem Modal Split angepasst.

Diese „Konstruktion“ der Szenarien 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 unterstellt, dass das Energie-Preisniveau rund doppelt so hoch ist gegenüber dem heute bekannten. In Szenario III wird aber eine nicht eine preis-, als vielmehr technikgetriebene Entwicklung abgeleitet, die aber – so die Hypothese – unter heutigen Preisbedingungen nicht erwartbar ist. „Artifiziell“ 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.

## 1.5. NEUE BEZUGSBASIS

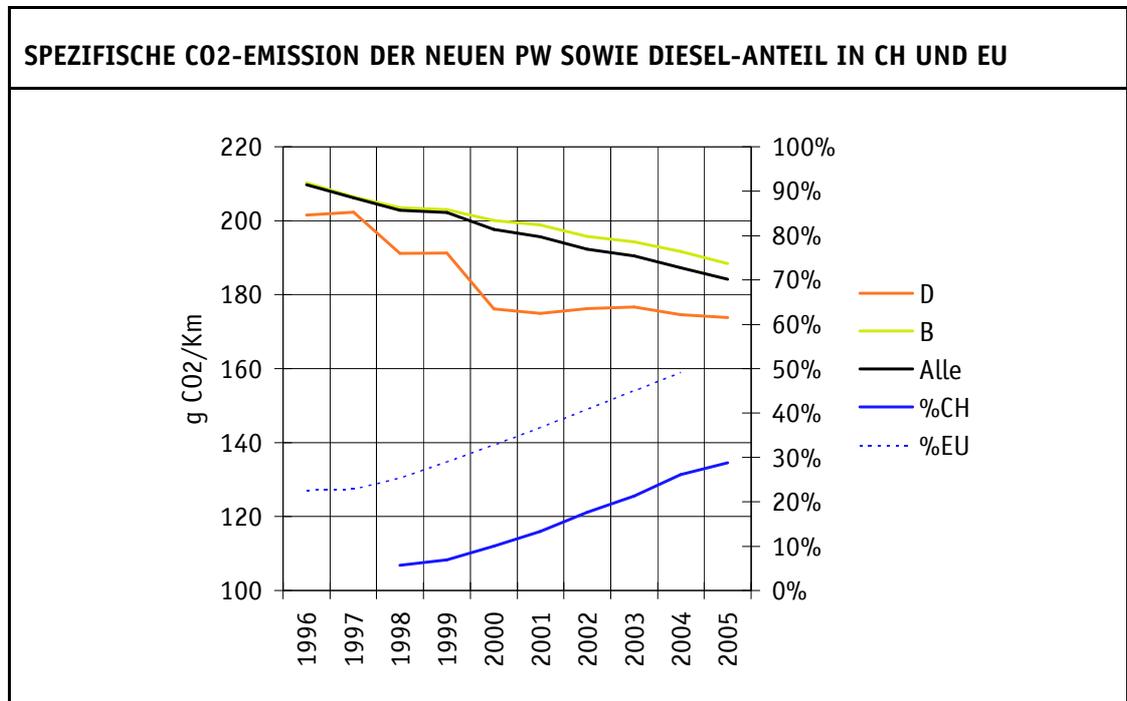
Um mit andern Arbeiten des UVEK im Bereich Verkehr konsistent zu sein, wurde die Referenzentwicklung (Szenario IA) neu angepasst und den Szenarien III und IV als neue Bezugsbasis unterlegt. Grund sind einerseits die vom UVEK im Frühjahr 2006 publizierten neuen Verkehrsperspektiven zum Personenverkehr (die Güterverkehrsperspektiven aus dem Jahr 2004 waren bereits in den ersten Perspektiv-Arbeiten berücksichtigt); die Differenzen im Strassenverkehr sind bis 2020 vernachlässigbar, für die längerfristige Periode bis 2035 gehen die UVEK-Perspektiven von etwas geringeren Wachstumsraten aus. Andererseits wurden vor allem im Bereich des öffentlichen Verkehrs die Entwicklungen der jüngsten Jahre (bis 2005) einbezogen, welche mit der ersten Etappe von Bahn 2000 eine nennenswerte Zunahme bei Betriebs- und Verkehrsleistungen vor allem im Personenverkehr erfuhren. Durch eine Kombination der Erwartungen aus den Perspektiv-Arbeiten des UVEK und der neuen statistischen Basis werden somit die künftigen Entwicklungen auf den neuen Bezugszeitpunkt 2005 bezogen. Tendenziell erhöht sich damit der Anteil der Schiene, allerdings sind die Differenzen zu den bisherigen Arbeiten begrenzt, sie liegen in der Grössenordnung von knapp 0.5 PJ/a.

## 2. KONKRETISIERUNG SZENARIO III

### 2.1. ANSATZPUNKT EFFIZIENZ

#### **Personenwagen**

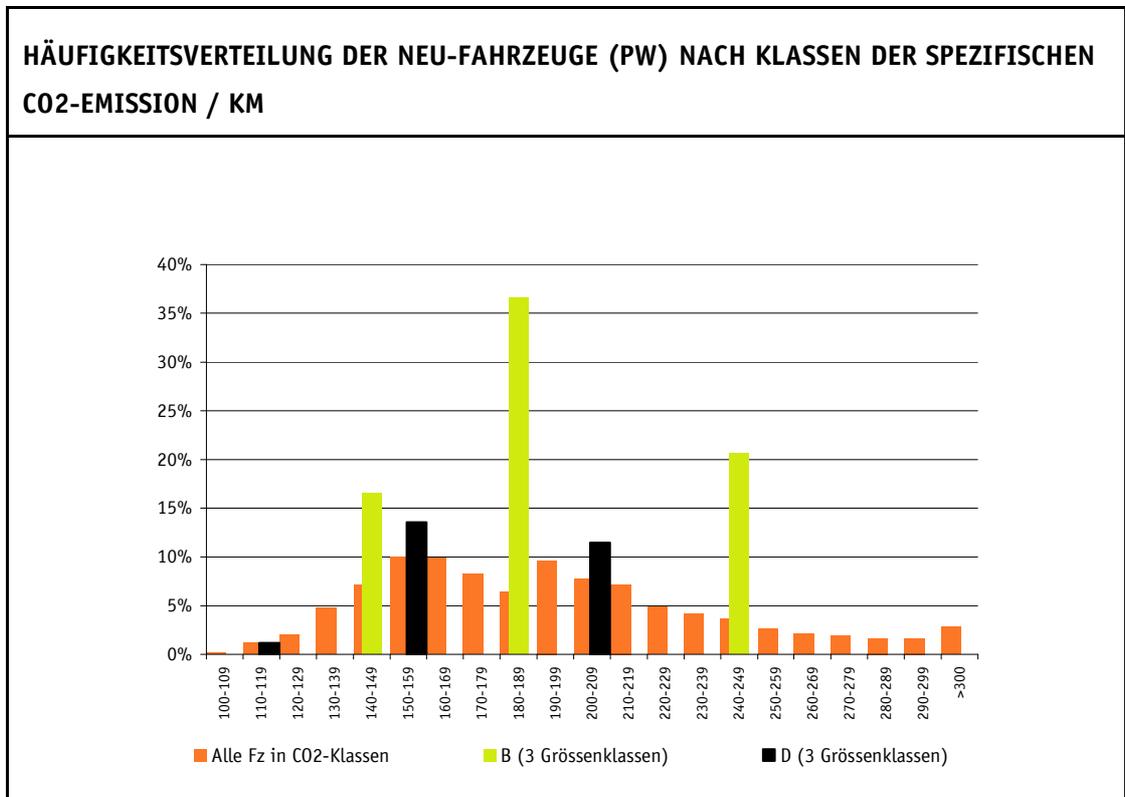
Wie einleitend ausgeführt fokussiert Szenario III auf Energieeffizienz. Und weil ein Grossteil (gut 2/3) der Energie im Verkehr durch Personenwagen verbraucht wird steht dieses Segment im Zentrum des Interesses. Die nachstehende Abbildung zeigt die Ausgangslage:



Figur 1

Die Darstellung zeigt, dass die Effizienzsteigerung der letzten 10 Jahre bei rund 1.5%/a lag (statt der in der Vereinbarung UVEK und auto-schweiz erwarteten 3%/a). Gleichzeitig zeigt sich, dass die Absenkung zu einem guten Teil auf die Erhöhung des Dieselanteils zurückzuführen ist. 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 heutigen PW-Neufahrzeuge in der Schweiz liegt bei 190 g CO<sub>2</sub>/km (zum Vergleich: in der EU beträgt dieser Wert 160 g/km, allerdings bei einem Diesel-Anteil von rund 50%, während dieser in der Schweiz bei 28% liegt [2005]). 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). Die „best practice“ kann man heute am Beispiel des Toyota Prius illustrieren, einem Hybrid-Fahrzeug mit rund 100 g CO<sub>2</sub>/km (4.3 l/100 km).

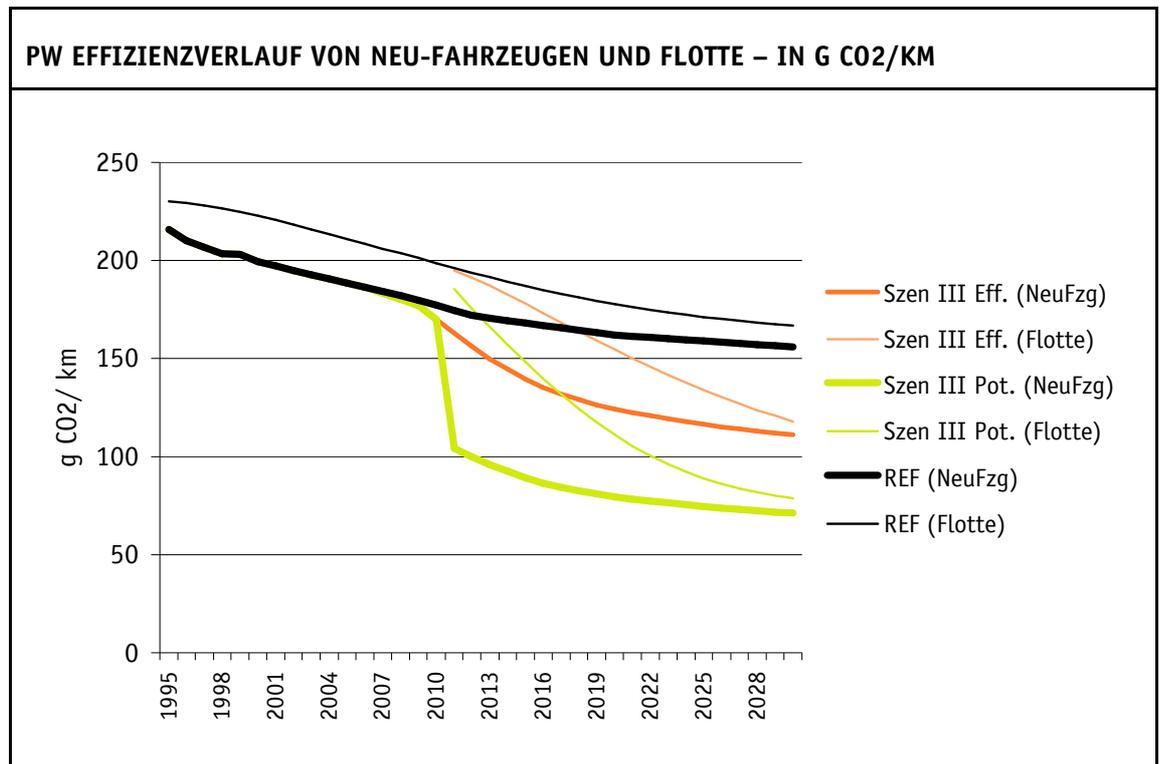


Figur 2

Allerdings dauert es einige Jahre, bis sich eine Technologie in der Flotte umsetzt und so den letztlich relevanten CO<sub>2</sub>-Ausstoss zu vermindern vermag. Gleichzeitig ist aber mit diesem 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 3 zeigt, wie sich die spezifische CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>/km absinkt. Für das effektive Szenario III (orange) wird unterstellt, dass der Effi-

ziengewinn vor allem im Zeitraum 2010-2020 markant beschleunigt wird im Vergleich zur derzeit beobachtbaren Entwicklung (rund Faktor 3), mit langsam auslaufender Tendenz .



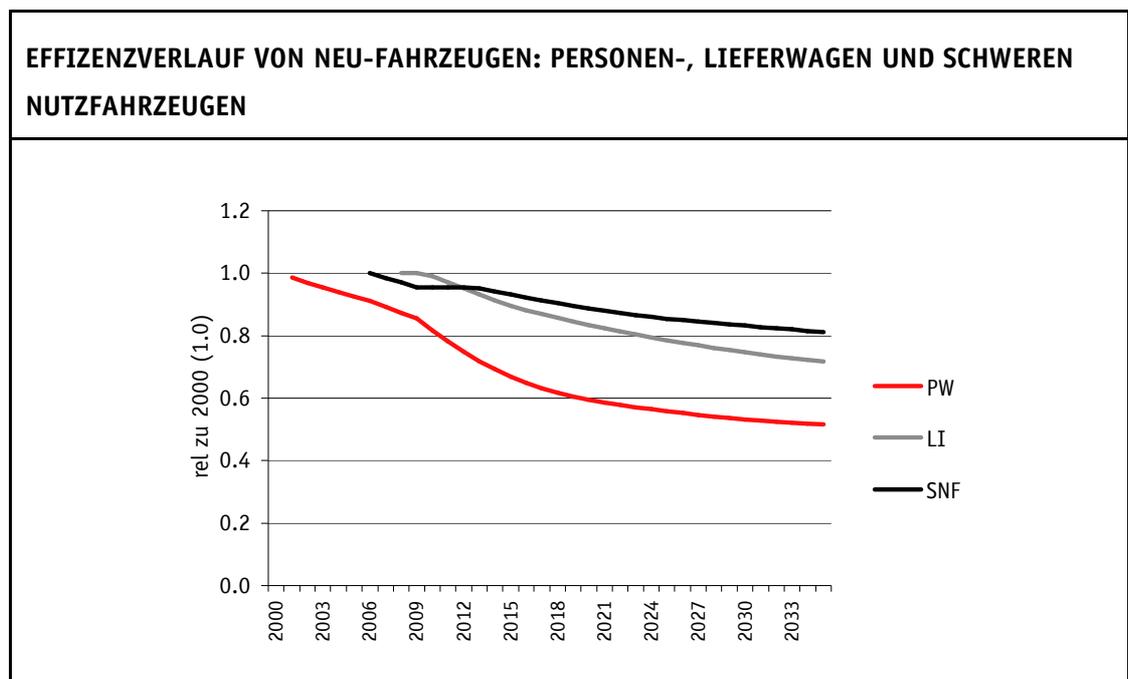
Figur 3

Für die Umsetzung liegt eine Reihe von technologischen Optionen vor, welche zu einer solchen Reduktion des spezifischen Energieverbrauchs beitragen können. Die „Hybridisierung“, welche hier als illustrativer „Benchmark“ genommen wurde, ist eine der möglichen Optionen. Weitere Stichworte etwa sind:

- › Reduktion der Masse der Fahrzeuge
- › Rollwiderstand (Reifen)
- › Reduktion der Fahrwiderstände beim Luftwiderstand
- › Optimierungen beim Antrieb, wie
  - › Zylinderabschaltungen
  - › Vermeidung von mechanischen und Drosselverlusten
  - › Optimierungen beim Betrieb im Kennfeld (Lastkollektive)
  - › Neue Motorenkonzepte (wie HCCI, homogeneous Charge Compression Ignition)
- › Optimiertes Energiemanagement wie Start-Stop-Technologien.

### 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 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<sup>1</sup>) zusammen.



Figur 4

### 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

1 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]) ist eine Reduktion des spezifischen Energieverbrauchs absehbar – trotz verbessertem Abgasverhalten.

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 rund 8% resultiert.

## 2.2. ANSATZPUNKT ALTERNATIVER ENERGIEMIX

Während heute die Energienachfrage im Strassenverkehr praktisch ausschliesslich auf fossilen Energieträgern basiert, stellt die Einführung von Biotreibstoffen eine neue Option dar. Grundsätzlich wurden diese Optionen bereits in den früheren Szenarien (namentlich IB und II) eingeführt, weil eine fiskalische Förderung bereits eingeleitet und vom Bundesrat vorgeschlagen ist (Beschluss 23.11.2005). Die konkrete Umsetzung in jenen Szenarien orientierte sich an den Annahmen der Vernehmlassungsvorlage (EFD 2004). Konkret wurde beim *Ethanol* ein Anteil von 3% Ethanol bis 2010 und 5.75% bis 2020 im Benzin unterstellt. Beim Erdgas/Biogas wurde von einem Anteil von rund 30'000 Erdgasfahrzeugen im Jahr 2010 mit anschliessender Zunahme ausgegangen (Verdreifachung bis 2020 gegenüber 2010, dann abflachendes Wachstum), bei einem Anteil von 10% Biogas am Gesamtgaseinsatz.

Diese Annahmen orientierten sich u.a. an Zielsetzungen, wie sie die EU für ihre Mitgliedstaaten formuliert hat (Ziel 2% Anteil Biotreibstoffen per 2005, 5.75% per 2010 in der EU Richtlinie 2003/30/EG zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen). Der Treiber hinter diesen Zielsetzungen sind primär die Versorgungsfrage und der Abbau der Abhängigkeit in der Energieversorgung. Ende 2005 war klar, dass die EU weder das für dieses 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 möglicherweise eine neue „Biokraftstoff-Richtlinie“ neu verpflichtende Zielvorgaben enthalten anstatt der 2003 empfohlenen Richtwerte.

Die Debatte über Biotreibstoffe für den Strassenverkehr ist allerdings noch nicht abgeschlossen. Aus CH-Sicht wird für eine namhafte Verbreitung von Biotreibstoffe die Importfrage relevant, aus Kosten- wie aus Verfügbarkeitsgründen. Dabei werden sowohl die Energiebilanz wie auch die Klimaschutzaspekte kontrovers debattiert (einzelne Studien machen geltend, es werde z.B. mehr Energie benötigt um Ethanol herzustellen, als es selbst enthält; andere folgern, die Nutzung von Biokraftstoffen könnte den Treibhauseffekt erhöhen, da Wälder, Feuchtgebiete sowie Reservate in Anbaufläche umgewandelt werden würden, um mehr Getreide und Sojabohnen anbauen zu können [Delucchi 2003]) Aus Kosten-Effizienz-

Überlegungen stellt sich überdies die Frage, wo Biokraftstoffe zweckmässigerweise eingesetzt werden sollen. Einzelne Studien sehen eine höhere Kosteneffizienz bei deren stationärem Einsatz (CE 2005). Auf der andern Seite besteht im Strassenverkehr mit dem Erlass der Mineralölsteuer ein starkes Förderinstrumentarium mit dem Potenzial, die Verbreitung der Biotreibstoffe deutlich anzukurbeln.

Auf diesem Hintergrund wird im Szenario III auch den Biotreibstoffen eine Bedeutung eingeräumt, welche über das in Szenario IB und II hinausgeht. Konkret wird ein Anteil von 7% per 2020 (ansteigend auf 10% bis 2035) unterstellt<sup>2</sup>. Gleichzeitig wird – um der CO<sub>2</sub>-Zielsetzung besser gerecht zu werden – vor allem im Gasbereich der Anteil von Biogas deutlich erhöht.

### 2.3. UMSETZUNG

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)<sup>3</sup>. 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 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.

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

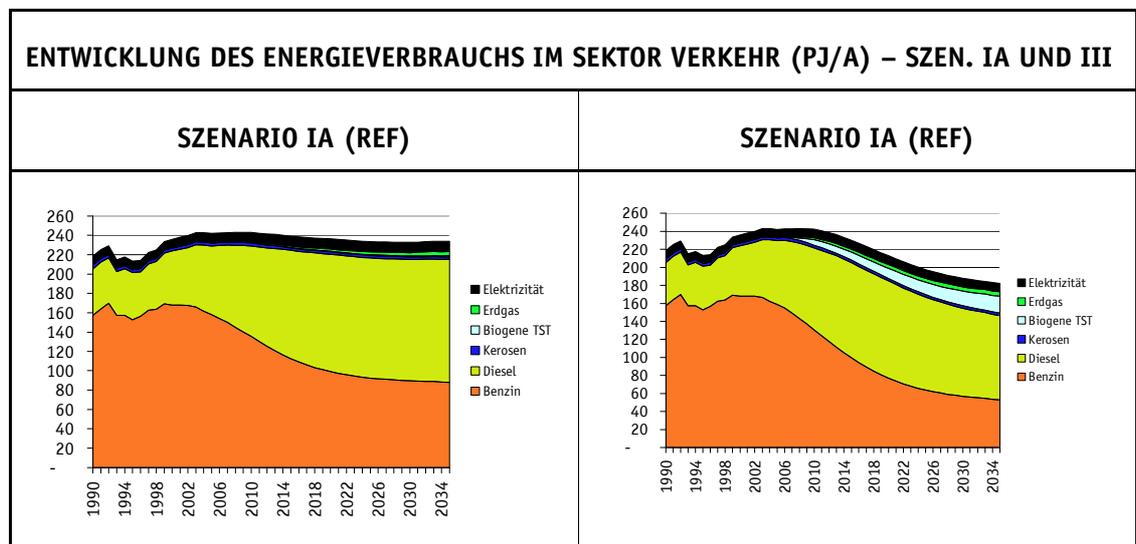
3 Dadurch könnte sich allerdings gleichzeitig ein sog. Rebound-Effekt einstellen: Der Rebound-Effekt besagt, dass Einsparungen, die z.B. durch effizientere Technologien entstehen, durch vermehrte Nutzung und Konsum überkompensiert werden.

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 sein, 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.

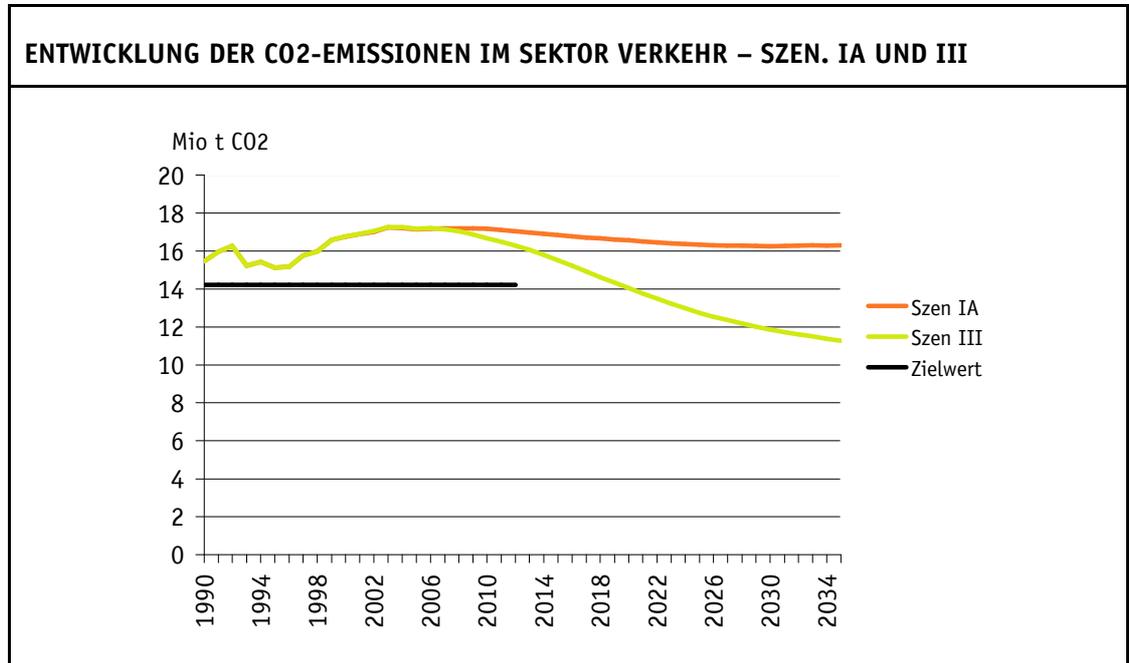
Eine alternative Policy-Option bestünde darin, statt der Preissignale Standards vorzugeben. Solche Systeme bestehen bereits heute an vereinzelt Orten. Dabei kommen unterschiedliche Design-Muster zum Zug: Das zwischen UVEK und auto-schweiz vereinbarte freiwillige Abkommen ist offenbar nur beschränkt wirksam. Eine Alternative bestünde in Effizienzvorschriften, wobei auch hier unterschiedliche Umsetzungsmöglichkeiten bestehen, etwa Vorgaben für Flottenverbrauch per Hersteller (Beispiel USA), Vorgaben für die Industrie insgesamt (EU, Australien) oder je Fahrzeug (China).

## 2.4. ERGEBNISSE

Die nachstehenden Grafiken illustrieren die Ergebnisse für Szenario III, in PJ und in CO<sub>2</sub>-Emissionen (in beiden Fällen wird die Absatz-Optik gezeigt).



Figur 5



Figur 6

Ein Vergleich mit den Zielvorgaben für Szenario III zeigt, dass die Vorgaben mit diesem Absenkpfad eingehalten werden können. Während die CO<sub>2</sub>-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.

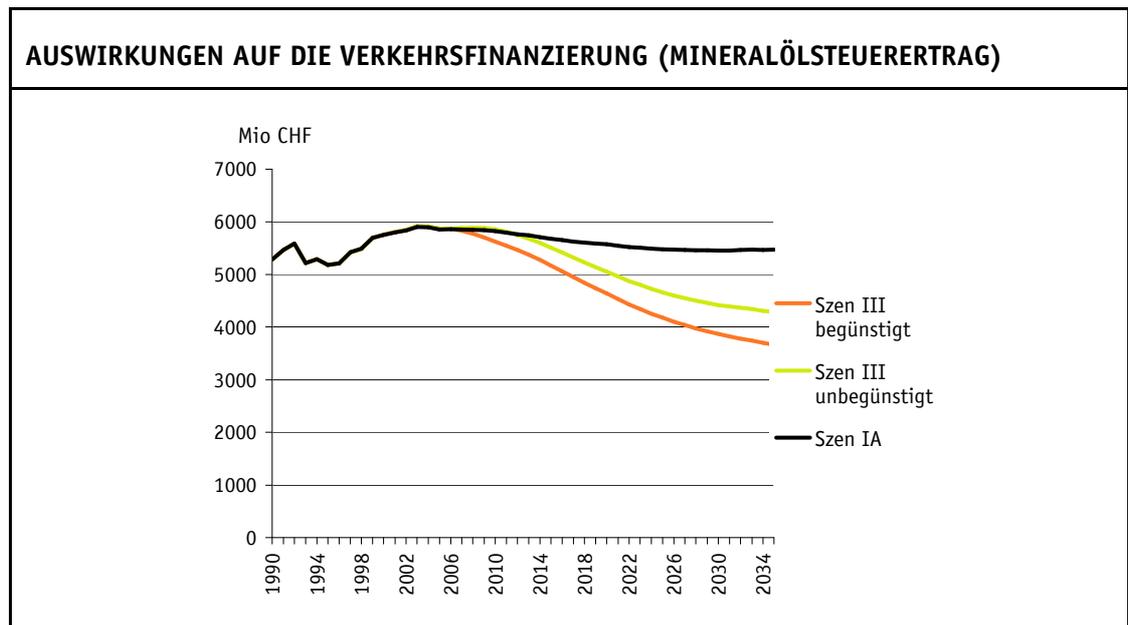
VERGLEICH MIT ZIELVORGABEN		
	2020	2035
Zielvorgabe CO <sub>2</sub> -Emissionen	-10%	-20%
Zielvorgabe spezif. Energieverbrauch pro Kopf		-20%
CO <sub>2</sub> -Emissionen, effektiv lt. Szen. III	-16%	-33%
spezif. Energieverbrauch pro Kopf, lt. Szen. III		-21%

Tabelle 1 Text

## 2.5. AUSWIRKUNGEN

Weil die Finanzierung des Verkehrssystems heute zu einem guten Teil an die Mineralölsteuer gebunden ist, mag interessieren, 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 Anteilendurchaus 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 Finanzierungsschemata ermöglichen. Dadurch wird der Druck zu einem einfachen Erhebungssystem (wie es bei der Mineralölsteuer der Fall ist) abnehmen.



**Figur 7** Steuerausfälle bei der Mineralölsteuer infolge der Effizienzgewinne (Szen. III, unbegünstigt) sowie zusätzlich durch die Förderung der biogenen Treibstoffe (Szen. III, begünstigt)

Würde das heutige System beibehalten, müsste jedenfalls der Mineralölsteueranteil markant erhöht werden, um die Ausfälle zu kompensieren. Weil der Effizienzgewinn längerfristig bei rund einem Faktor 2 liegt (vgl. Figur 3), wäre eine Verdoppelung der Verkehrsabgabe nötig. Bei einer Verdoppelung des Tankstellenpreises bliebe somit noch Raum für die in Szenario III

unterlegte Energie- oder CO<sub>2</sub>-Abgabe. Aufgrund des Effizienzgewinns würden die Energiekosten (pro km) gleichwohl etwa auf dem heutigen Niveau bleiben.

TREIBSTOFF-PREISE BEI EINER VERDOPPELUNG VON ENERGIE- UND MINERALÖLSTEUER		
	Heute Rp/L TSt.	2035 Rp/L TSt.
Energie	65	65
Abgabe		65
Minöst	85	170
MWSt	12	24
Klima Rp	2	2
Tanksäulenpreis	164	326

Tabelle 2

### 3. KONKRETISIERUNG SZENARIO IV

#### 3.1. ANSATZPUNKT MENGEN-ANPASSUNGEN

Wie einleitend erläutert, übernimmt dieses Szenario IV („Wege 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-Personenverkehrsperspektiven (ARE 2006). Es ist geprägt von längerfristig deutlich steigenden Energiepreisen und einer Verkehrspolitik, die dies mit Einführung neuer Lenkungsabgaben im Straßenverkehr vorwegnimmt. Dadurch findet eine gedämpfte Entwicklung der Mobilität statt, vor allem durch eine Rückbesinnung auf lokale und regionale Aktionsradien.

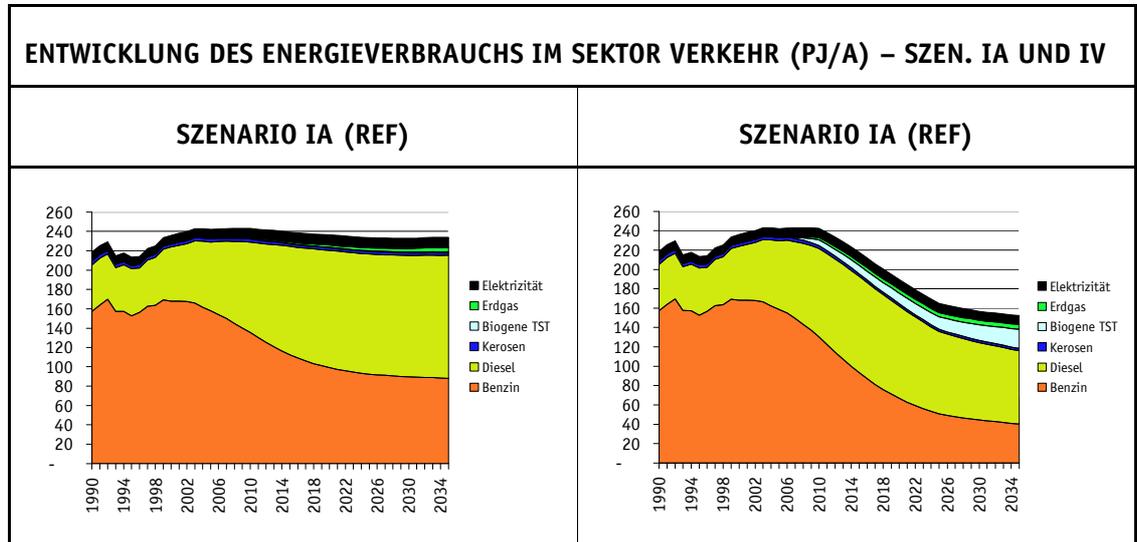
Selbst in diesem Szenario nimmt der Strassenverkehr noch immer zu, allerdings nur mehr geringfügig (5%) und deutlich weniger als im Referenzszenario. Gleichzeitig wird mit einer Modal Split-Verschiebung vom MIV zum ÖV und auch zum Langsamverkehr gerechnet; auch Auslastungsverbesserungen sind Teil des Bildes. Für die Bahnen wird mit entsprechendem Mehrverkehr (Pkm) gerechnet, betrieblich (in Zugskm) 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/biogenen Treibstoffe folgen dem Szenario III.

### **Konkretisierung im Güterverkehr**

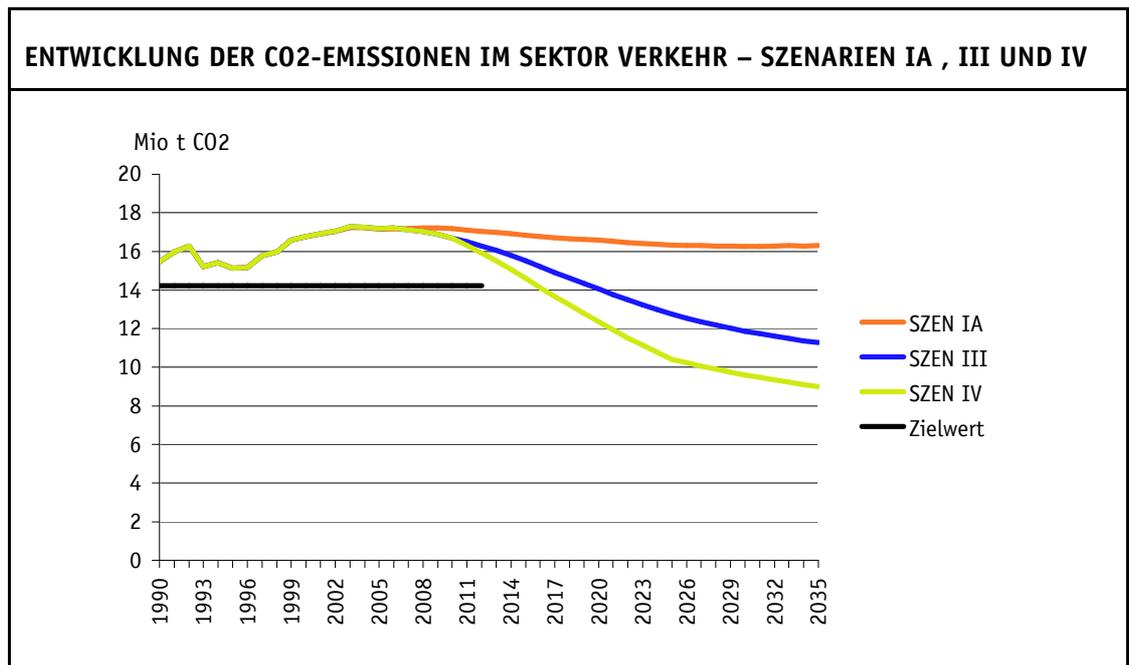
Das Mengengerüst im Güterverkehr orientiert sich am sog. Alternativ-Szenario 2 der Güterverkehrsperspektiven (ARE 2004). In diesem Szenario wird ein Gesamtverkehrswachstum von +32% erwartet (statt +54% im Basis-Szenario), mit einer Differenzierung zwischen Strasse und Schiene (Strasse: +22% statt +35%, 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).

## **3.2. ERGEBNISSE**

Diese werden in analoger Weise wie in Szenario III dargestellt (in PJ und in CO<sub>2</sub>-Emissionen; Absatz-Optik):



Figur 8



Figur 9

Ein Vergleich mit den Zielvorgaben für Szenario IV zeigt, dass diese eingehalten werden können. Wie bereits in Szenario III gilt hier analog, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionsziele längerfristig relativ „grosszügig“ eingehalten werden können (auch wenn der Zielwert für 2010 noch klar verpasst wird), hingegen gilt dies für den spezifischen Energieverbrauch nur knapp. Die

zusätzliche Anforderung einer Reduktion um rund 15% wird durch Anpassung der Nachfrage erreicht.

VERGLEICH MIT ZIELVORGABEN		
	2020	2035
Zielvorgabe CO <sub>2</sub> -Emissionen	-20%	-35%
Zielvorgabe spezif. Energieverbrauch pro Kopf		-35%
CO <sub>2</sub> -Emissionen, effektiv lt. Szen. III	-26%	-46%
spezif. Energieverbrauch pro Kopf, lt. Szen. III		-34%

Tabelle 3

## 4. SZENARIO IV – SENSITIVITÄT „BIP HOCH“

### 4.1. ANSATZ

Analog zum Szenario IA (INFRAS 2005) 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? Die Argumentation erfolgt qualitativ entlang den Ansatzpunkten, die bereits für die Konstruktion von Szenario III und IV herangezogen wurden (vgl. Abschnitt 1.4).

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 vermöchten 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's 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 ist deshalb bei den Transportleistungen zu erwarten:

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.

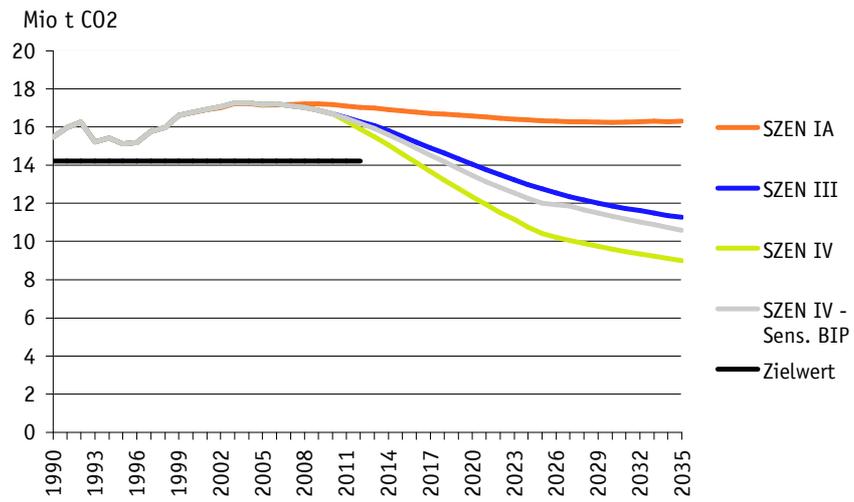
Im **Personenverkehr** wird demgegenüber sowohl auf der Strasse als auch auf der Schiene ein höheres Nachfragewachstum unterstellt, da auch unter Szenario IV-Bedingungen davon auszugehen ist, dass ein Zusammenhang zwischen BIP- und Verkehrsnachfrage-Entwicklung besteht. Entsprechend wird keine signifikante 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 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.

## 4.2. RESULTAT SENSITIVITÄTSBETRACHTUNG

Die getroffenen Annahmen führen dazu, dass ein guter Teil des Mengeneffekts von Szenario IV durch das erhöhte Wirtschaftswachstum wieder aufgehoben wird. Dadurch werden die Zielvorgaben für das Szenario IV in dieser Ausprägung nur noch teilweise erfüllt: Die CO<sub>2</sub>-Ziele sind so praktisch noch erreichbar, das Effizienzziel 2035 btr. Energieverbrauch pro Kopf (-35%) hingegen wird nicht mehr erreicht (-23%).

**SENSITIVITÄT „BIP HOCH“: ENTWICKLUNG DER CO<sub>2</sub>-EMISSION IM VERKEHR –  
VERGLEICH DER SZENARIEN IA , III, IV UND IV-SENSITIVITÄT**



## LITERATUR

- ARE 2004:** Perspektiven des schweizerischen Güterverkehrs bis 2030, Szenarien und Hypothesen, ARE-Bericht 09.2004, Dez. 2004
- ARE 2006:** Perspektiven des schweizerischen Personenverkehrs bis 2030, ARE-Bericht 11.2005, April 2006
- CE 2005:** Biofuels under development, An analysis of currently available and future biofuels, and a comparison with biomass application in other sectors, May 2005
- 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
- INFRAS 2005:** Energieperspektiven – Sektor Verkehr, Ergebnisse Szenario Ia/Ib, (im Auftrag BFE), Zwischenbericht Stand 30.7.2005