





**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.**  
Institut für Verkehrsforschung

## **Flottenverbrauch 2010**

Aktivierung des Reduktionspotentials  
und Beitrag zum Klimaschutz

Endbericht

in Zusammenarbeit mit



**ifeu-**  
**Institut für Energie- und**  
**Umweltforschung**  
**Heidelberg GmbH**



**Universität Karlsruhe (TH)**  
**Institut für Wirtschaftspolitik**  
**und Wirtschaftsforschung**  
**Sektion Systemdynamik und**  
**Innovation**

M. Mehlin, C. Nobis, A. Gühnemann, U. Lambrecht, W. Knörr, B. Schade  
Berlin, Heidelberg, Karlsruhe im Juli 2002

# Flottenverbrauch 2010

<b>Inhaltsverzeichnis</b>		<b>Seite</b>
ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....		IV
TABELLENVERZEICHNIS.....		VI
<b>Kurzfassung.....</b>		<b>1</b>
<b>Executive Summary .....</b>		<b>7</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>12</b>
1.1	Aufgabenstellung und Hintergrund .....	12
1.2	Eingrenzung des Untersuchungsfeldes .....	14
1.3	Vorgehensweise .....	15
<b>2</b>	<b>Der Flottenverbrauch und die Selbstverpflichtung .....</b>	<b>17</b>
2.1	Entwicklung des Flottenverbrauchs der Neuzulassungen seit 1990.....	17
2.1.1	Normverbrauch eines Einzelfahrzeugs.....	17
2.1.2	Entwicklung des Flottenverbrauchs seit 1990 .....	18
2.2	Selbstverpflichtungen der Automobilindustrie.....	20
2.2.1	Deutsche Selbstverpflichtung .....	20
2.2.2	EU - Strategie zu CO <sub>2</sub> -Emissionen von Personenkraftwagen.....	21
<b>3</b>	<b>Technologisches Potenzial zur Reduktion des Kraftstoffverbrauchs .....</b>	<b>23</b>
3.1	Aktueller Forschungs- und Entwicklungsstand .....	23
3.1.1	Benzin- und Dieselmotorenteknik .....	23
3.1.2	Antriebsstrang und Nebenaggregate.....	26
3.1.3	Gesamtfahrzeug .....	28
3.1.4	Zusammenfassung der vorhandenen Potenziale .....	29
3.1.5	Beispiele für besonders sparsame Fahrzeuge in Serienproduktion .....	31
3.1.6	Langfristige Entwicklung .....	32
3.2	Trenderstellung zur Umsetzung der Potenziale.....	35
3.2.1	Entstehungsprozess von Personenkraftwagen .....	35
3.2.2	Trendentwicklung der CO <sub>2</sub> - Emissionen je Segment.....	36

<b>4</b>	<b>Marktbezogene Strukturierung der neuzugelassenen Pkw .....</b>	<b>38</b>
4.1	Einleitung .....	38
4.2	Segmentierung der Fahrzeugtypen .....	38
4.3	Entwicklung der Segmente und Antriebsarten von 1990 bis 2000 .....	40
4.4	Trenderstellung der zukünftigen Segmentanteile .....	42
4.4.1	Methode und Annahmen .....	42
4.4.2	Entscheidungskriterien beim Neuwagenkauf .....	43
4.4.3	Trendentwicklung der einzelnen Segmente bis 2010 .....	46
4.4.4	Trendentwicklung der Antriebsarten bis 2010 .....	49
<b>5</b>	<b>Beeinflussungsmöglichkeiten von Technologien und Markt .....</b>	<b>51</b>
5.1	Einleitung .....	51
5.2	Umweltpolitische Instrumente zur Reduzierung des Flottenverbrauchs .....	51
5.2.1	Ökonomische Instrumente .....	53
5.2.2	Ordnungsrechtliche Instrumente .....	56
5.2.3	Instrumente der Information und Aufklärung .....	57
5.3	Expertenbefragung .....	58
5.3.1	Fragestellung und methodisches Vorgehen .....	59
5.3.2	Ergebnisse der Expertenbefragung .....	59
5.4	Entwicklung eines Nachfragemodells zur Abbildung der Wirksamkeit von Maßnahmen auf das Verhalten von Neuwagenkäufern .....	67
5.4.1	Wahl des Fahrzeugsegments .....	68
5.4.2	Wahl der Antriebsart .....	71
<b>6</b>	<b>Szenarienentwicklung und Berechnung .....</b>	<b>74</b>
6.1	Trendentwicklung der durchschnittlichen CO <sub>2</sub> -Emissionen der neuzugelassenen Pkw .....	74
6.2	Die Szenarien auf dem Weg zur Halbierung des Flottenverbrauchs .....	75
6.2.1	Kontinuitätsszenario .....	76
6.2.2	Neuausrichtungsszenario .....	78
6.2.3	Grenzwertszenario .....	79
6.2.4	MittelfristszENARIO 2015 .....	80
6.3	Ausschöpfen der technologischen Potenziale in den Szenarien .....	80
6.4	Ergebnisse und Auswirkungen auf den Flottenverbrauch .....	83

<b>7</b>	<b>Volkswirtschaftliche Bewertung.....</b>	<b>87</b>
7.1	System Dynamics und das Modell ESCOT.....	87
7.1.1	Struktur von ESCOT .....	88
7.1.2	Das Verkehrsmodell.....	88
7.1.3	Das Makromodell .....	91
7.2	Ergebnisse der Szenarienberechnung .....	98
7.2.1	Ergebnisse in anderen Verkehrsbereichen .....	98
7.2.2	Volkswirtschaftliche Auswirkungen.....	101
7.3	Fazit.....	104
<b>8</b>	<b>Einfluss der Halbierung der Flottendurchschnittsemission auf die CO<sub>2</sub>- Gesamtemissionen des Straßenverkehrs.....</b>	<b>106</b>
8.1	Modellbeschreibung TREMOD .....	106
8.1.1	Berechnung des zukünftigen Verbrauchs und der Emissionen.....	107
8.1.2	Fahrleistungsgewichtung nach Straßenkategorien.....	108
8.1.3	Berücksichtigung der Pkw-Segmente in TREMOD .....	109
8.2	Ergebnisse der Szenarienberechnung .....	111
8.2.1	Entwicklung der Pkw-Fahrleistung .....	112
8.2.2	Entwicklung des Anteile der Antriebsarten am Pkw-Bestand .....	112
8.2.3	Entwicklung des spezifischen Realverbrauchs und der spezifischen Kohlendioxidemissionen der Pkw des Gesamtbestandes .....	113
8.2.4	Entwicklung des gesamten Kraftstoffverbrauchs und der Kohlendioxidemissionen.....	115
8.2.5	Entwicklung der Kohlendioxidemissionen des gesamten Straßenverkehrs.....	117
8.2.6	Fazit.....	119
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>121</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>124</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>125</b>

ANHANG

## **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Segmentaufteilung der PKW-Neuzulassungen 1990 - 2000.....	3
Abbildung 2: Vorgehensweise zur Szenarienerstellung.....	4
Abbildung 3: Maßnahmenbündel zur Halbierung des Flottenverbrauchs bis 2010 und seine Auswirkungen .....	5
Abbildung 4: Anteile der CO <sub>2</sub> – Emissionen in Deutschland.....	13
Abbildung 5: Grundbestandteile zur Analyse der Flottendurchschnittsemission.....	15
Abbildung 6: Gültiger Testzyklus zur Messung von Emissionen und Verbrauch von Pkw (NEFZ).....	17
Abbildung 7: Flottenverbrauch nach NEFZ.....	19
Abbildung 8: Flottendurchschnittsemissionen.....	20
Abbildung 9: Flottenemission der ACEA Mitglieder .....	22
Abbildung 10: Emissionsergebnisse für Benzinmodell der Firma AVL List.....	29
Abbildung 11: Beiträge zur Verbrauchsreduktion aus Simulation der Firma ASSET/Bosch.....	30
Abbildung 12: Emissionswerte optimierter Serienmodelle und ihrer Ausgangsmodelle .....	32
Abbildung 13: Mittlere Emission je Segment im Jahr 2000.....	36
Abbildung 14: Ermittlung der Flottendurchschnittsemission anhand von Segmenten .....	38
Abbildung 15: Segmentaufteilung der Pkw – Neuzulassungen .....	40
Abbildung 16: Segmentaufteilung der Pkw – Neuzulassungen mit geringem Anteil.	41
Abbildung 17: Anteil der Dieselmotoren .....	42
Abbildung 18: Neuzulassungen 2000: Frauenanteil .....	44
Abbildung 19: Bedeutung von Kriterien beim Neuwagenkauf nach Segmenten.....	45
Abbildung 20: Trendentwicklung der Segmentanteile.....	49
Abbildung 21: Maßnahmen und ihre Wirkung auf die relevanten Kostenarten.....	68
Abbildung 22: Gesamttablauf der Studie .....	74
Abbildung 23: Bestandteile der Flottendurchschnittsemission im Trend 2010.....	75
Abbildung 24: Gestaltung der Maßnahme Neuwagenabgabe/-förderung (Variante B) .....	78
Abbildung 25: Gestaltung der Kfz-Steuerbefreiungen im Szenario Neuausrichtung.....	79

Abbildung 26: Anstieg von Pkw-Kosten 1995 - 2000.....	82
Abbildung 27: Segmentverschiebung im Kontinuitätsszenario .....	84
Abbildung 28: Segmentverschiebung im Neuausrichtungsszenario .....	85
Abbildung 29: Struktur des System Dynamics Modell ESCOT .....	88
Abbildung 30: Bestimmung der PKW-Besitzrate .....	89
Abbildung 31: Segmentbestimmung in ESCOT .....	91
Abbildung 32: Makromodell in ESCOT .....	92
Abbildung 33: Input-Output-Tabelle .....	93
Abbildung 34: Konsum in ESCOT .....	94
Abbildung 35: Bruttoinlandsprodukt in ESCOT.....	97
Abbildung 36: PKW-Bestand für das Kontinuitäts-, Neuausrichtungs- und Grenzwertszenario .....	99
Abbildung 37: Fahrleistungen des Straßenverkehrs in den Szenarien .....	100
Abbildung 38: Privater Konsum im Fahrzeugbau .....	101
Abbildung 39: Bruttoinlandsprodukt.....	103
Abbildung 40: Berechnungsschema „Pkw-Emissionen“ .....	107
Abbildung 41: Fahrleistungsgewichtung für Pkw .....	109
Abbildung 42: Entwicklung des Kraftstoffverbrauchs der Benzin- und Diesel-Pkw in Deutschland 1990-2000 .....	110
Abbildung 43: Fahrleistung der Pkw in Deutschland 1990, 2010, 2015.....	112
Abbildung 44: Anteile der Benzin- und Diesel-Pkw am Pkw-Bestand 1990, 2010, 2015 .....	113
Abbildung 45: Mittlerer Verbrauch der in Deutschland zugelassenen Diesel- und Benzin-Pkw 1990, 2010 und 2015.....	114
Abbildung 46: Spezifische Kohlendioxidemissionen der Pkw 1990 – 2015 (direkte Emissionen).....	115
Abbildung 47: Kohlendioxidemissionen der Pkw in Deutschland (direkte Emissionen) .....	116
Abbildung 48: Kohlendioxidemissionen (direkt und Vorkette) des Pkw-Verkehrs 1990 und in den Szenarien 2010 und 2015.....	117
Abbildung 49: Kohlendioxidemissionen des Straßenverkehrs nach Fahrzeugarten	118
Abbildung 50: Kohlendioxidemissionen des Straßenverkehrs 1990 und 2010 .....	118
Abbildung 51: Kohlendioxidemissionen des Straßenverkehrs 1990 und 2015 .....	119

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: CO <sub>2</sub> - Emissionen je Antriebsart und Segment im Trend 2010 .....	2
Tabelle 2: Treibhausgasemissionen in der Europäischen Union .....	12
Tabelle 3: Emissionen je Segment im Trend 2010 .....	37
Tabelle 4: Segmentierung der Neuzulassungen .....	39
Tabelle 5: Untersuchte Instrumente zur Beeinflussung des Flottenverbrauchs .....	53
Tabelle 6: Items zum Kaufverhalten der Neuwagenkäufer .....	60
Tabelle 7: Ausweichreaktionen der Neuwagenkäufer nach Anzahl der Nennungen	61
Tabelle 8: Erforderlicher Anstieg des Anschaffungspreises zur Förderung der Wahl eines sparsamer motorisierten Pkw .....	61
Tabelle 9: Erforderlicher Anstieg des Anschaffungspreises, der Kraftstoff- und fixen Unterhaltskosten damit eine sparsamere Motorisierung gewählt wird .....	62
Tabelle 10: Items zu Kosten .....	62
Tabelle 11: Instrumente zur Reduktion des Flottenverbrauchs nach Rangfolge der Nennungen (absolute Zahlen) .....	63
Tabelle 12: Items zu Maßnahmen .....	64
Tabelle 13: Maßnahmenvarianten der Instrumente Mineralölsteuer und Kfz-Steuer: Einschätzung der gesellschaftlichen Akzeptanz und der Wirkung auf den Flottenverbrauch .....	65
Tabelle 14: Kosten in ausgewählten Segmenten der Jahre 1990 und 2000 [DM] ....	69
Tabelle 15: Kostenvergleich Benzin- und Dieselfahrzeuge mit abweichenden Fahrleistungen [DM] .....	71
Tabelle 16: Maßnahmenübersicht .....	76
Tabelle 17: Gestaltung der Kfz-Steuer im Kontinuitätsszenario .....	77
Tabelle 18: Gestaltung der Kfz-Steuer in Variante C des Kontinuitätsszenarios .....	78
Tabelle 19: CO <sub>2</sub> -Grenzwerte .....	79
Tabelle 20: Zusätzliche CO <sub>2</sub> -Reduktion in den Szenarien gegenüber Trendentwicklung .....	82
Tabelle 21: Einflussfaktoren auf die Pkw-Besitzrate .....	90
Tabelle 22: Variablen der Pkw-Flotte .....	90
Tabelle 23: Forschungs- und Entwicklungsausgaben per Wirtschaftssektor .....	96
Tabelle 24: Veränderung der Verkehrsleistungen .....	100

Tabelle 25: Auswirkung der Szenarien auf makroökonomische Größen der Nachfrageseite .....	102
Tabelle 26: Auswirkung der Szenarien auf makroökonomische Größen der Angebotsseite.....	103
Tabelle 27: Änderungen der Fahrleistung sowie der spezifischen CO <sub>2</sub> -Emissionen und der gesamten direkten CO <sub>2</sub> -Emissionen der Pkw.....	115



## Kurzfassung

Unter dem Druck steigender Verkehrsaufkommen ist es für das Erreichen der Klimaschutzziele notwendig, eine Energiewende im Verkehr zu initiieren, indem neue technologische Lösungen für einen energieeffizienten Verkehr angestoßen werden und die Umsetzung vorhandener Lösungen beschleunigt wird. In Deutschland verursachte der Straßenverkehr im Jahr 2000 ein Fünftel der CO<sub>2</sub>-Emissionen, nachdem der Anteil 1990 noch bei 15 % lag. Demzufolge steigt die Notwendigkeit, Potenziale und Handlungsoptionen zu identifizieren, um den Kraftstoffverbrauch und damit die CO<sub>2</sub>-Emissionen und den Energiebedarf im Straßenverkehr wesentlich zu reduzieren.

Hierzu bieten sich im Wesentlichen drei Ansatzpunkte:

1. Minderung des spezifischen Verbrauchs der Fahrzeuge
2. Reduktion der Fahrleistungen der Fahrzeuge
3. Verbesserung der Verkehrsorganisation sowie des Fahrverhaltens mit dem Ziel effizienterer Verkehrsabläufe.

Der spezifische Verbrauch bestimmt den Verbrauch eines jeden Fahrzeugs für seine gesamte Lebensdauer. Daher werden in der vorliegenden Studie „Flottenverbrauch 2010“ auf Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) Reduktionspotenziale für den spezifischen Kraftstoffverbrauch von Personenkraftwagen näher untersucht. Der „Flottenverbrauch“ wird als der spezifische normierte Kraftstoffverbrauch (Europäischer Fahrzyklus) aller in einem Jahr neu zugelassenen Pkw definiert. Der normierte Verbrauch ist nicht zu verwechseln mit dem Realverbrauch, der trotz einer 1996 verbesserten Norm immer noch deutlich höher liegt.

Die Studie geht der Frage nach, wie die aus dem Flottenverbrauch resultierenden durchschnittlichen Kohlendioxidemissionen des Jahres 1990 bis zum Jahr 2010 deutlich gesenkt werden können. Die Zielgröße ist eine Halbierung von 210 g CO<sub>2</sub>/km auf 105 g CO<sub>2</sub>/km. Sie ist bewusst ambitioniert festgelegt, um Potenziale und Grenzen der Beeinflussung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs aufzuzeigen. Die Bearbeitung der Studie erfolgt in drei Teilen:

- a) In einem umfassenden **Analyseteil** werden die drei wichtigsten Einflussgrößen des Flottenverbrauchs beleuchtet: 1. Die derzeitigen Entwicklungen der Fahrzeugtechnik mit ihrem potenziellen Beitrag zur Emissionsreduktion, 2. die Struktur des Neuwagenmarktes hinsichtlich der Zusammensetzung aus verschiedenen Größen- und Leistungsklassen sowie 3. Instrumente und Maßnahmen, die Einfluss auf das Verhalten von Neuwagenkäufern haben können.
- b) Erstellung einer **Trendentwicklung** und Aufbau eines Modells zur Simulation von Maßnahmewirkungen am Neuwagenmarkt unter Verwendung der Erkenntnisse aus dem Analyseteil und zusätzlichen Kostenkomponenten; Berechnung von **Szenarien**, in denen verschiedene Maßnahmen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Durchschnittsemissionen getestet werden.
- c) In ausgewählten Szenarien wird die Auswirkung der Reduktionen auf die **gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen** aus dem Straßenverkehr untersucht. Ferner werden die eingesetzten Maßnahmen einer **gesamtwirtschaftlichen Bewertung** unterzogen.

### Analyse der technischen Entwicklungen

Zentraler Ansatzpunkt zur Verbrauchsreduktion bei Kraftfahrzeugen ist auch heute noch die Motorentechnik. Obwohl der 4-Takt-Verbrennungsmotor seit Jahrzehnten erforscht wird, eröffnen sich im Detail nach wie vor Potenziale zur weiteren Reduktion des Kraftstoffverbrauchs. Die automatische Motorabschaltung, die Hybridisierung des Antriebs sowie die Weiterentwicklung der Getriebetechnik, Nebenaggregate und des Gesamtfahrzeugs lassen weitere Einsparungen erwarten. Die Einführung völlig neuer, alternativer Antriebskonzepte lässt innerhalb des kurzen Prognosehorizontes nur geringe Marktanteile erwarten. Deren Verbreitung wird wesentlich von der Preisentwicklung der neuen Technologien und der flächendeckenden Verfügbarkeit alternativer Kraftstoffe abhängen. Hierzu wird es notwendig

sein, eine europäische Lösung zu finden, um den Ansprüchen des grenzüberschreitenden Verkehrs gerecht zu werden.

Die Potenziale zur CO<sub>2</sub> - Reduktion werden für den weiteren Verlauf der Studie auf einzelne Fahrzeugsegmente wie z.B. Kleinwagen, Mittelklasse usw. abgebildet und bilden damit die technische Komponente für die Trendentwicklung. Es wird angenommen, dass die Selbstverpflichtung der europäischen Automobilindustrie gegenüber der Europäischen Kommission, in der die Reduktion um 25 % bis 2008 gegenüber 1995 festgeschrieben ist, eingehalten wird. Hierfür sind wesentliche technische Entwicklungen in der Großserie umzusetzen. Im Einzelnen ergeben sich folgende Emissionswerte:

**Tabelle 1: CO<sub>2</sub> - Emissionen je Antriebsart und Segment im Trend 2010**

Segment	Mini	KW	UMK	MK	OMK	OK	Vans	GW	UT
Benzin [g CO <sub>2</sub> /km]	101,9	111,9	126,6	147,1	174,2	219,4	151,1	193,7	176,8
Diesel [g CO <sub>2</sub> /km]	72,6	103,6	105,1	118,9	144,3	169,0	134,5	194,2	162,6

KW: Kleinwagen, UMK: Untere Mittelklasse, MK: Mittelklasse, OMK: Obere Mittelklasse, OK: Oberklasse, GW: Geländewagen, UT: Utility Fahrzeug

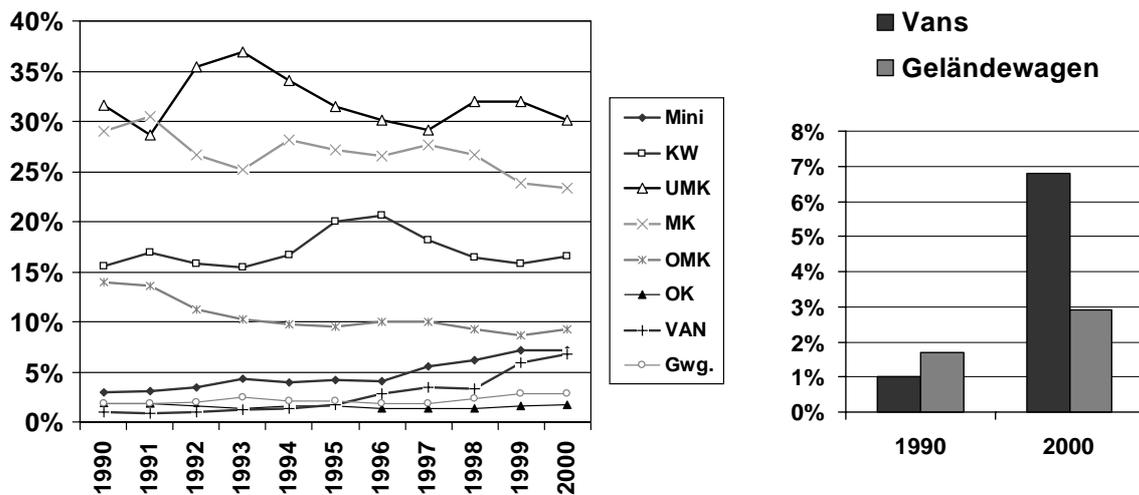
Zusätzlich wird hinsichtlich der Szenarien unterstellt, dass durch das Ausreizen der genannten technischen Möglichkeiten und unter Berücksichtigung zusätzlicher Kosten weitere Einsparpotenziale in der Größenordnung von 5 bis 15 % je nach Fahrzeuggröße und Antriebsart bis zum Jahr 2010 realisierbar sind.

### Analyse der Marktstruktur

Neben der Technologie ist die Zusammensetzung der Neuwagenflotte aus Fahrzeugen mit unterschiedlich hohem CO<sub>2</sub>-Ausstoß entscheidend für die Abschätzung der künftigen Durchschnittsemissionen. Die vom Kraftfahrt-Bundesamt vorgenommene Zuordnung der Neuwagen in definierte Segmente wie zum Beispiel „Kleinwagen“ und „Mittelklasse“ sowie nach Benzin- und Dieselantrieb erweist sich als die geeignetste Lösung, den Markt und die Relevanz einzelner Fahrzeuge zu beschreiben.

Es ist festzustellen, dass Pkw der Unteren Mittelklasse den Neuwagenmarkt dominieren und zusammen mit der Mittelklasse während des gesamten Analysezeitraums von 1990 bis 2000 über die Hälfte der Neuzulassungen ausmachen. Fahrzeuge der Mittelklasse und der Oberen Mittelklasse weisen insgesamt einen rückläufigen Anteil an den Neuzulassungen auf. Eine gegenteilige Entwicklung ist bei den Minis und den Vans festzustellen. Beide Segmente sind insbesondere zwischen 1996 und 2000 stark angewachsen und machen jeweils rund 7 % des Gesamtmarktes aus. Weniger stark ist der Anstieg bei den Geländewagen.

**Abbildung 1: Segmentaufteilung der PKW-Neuzulassungen 1990 - 2000**



Quellen: KBA, eigene Berechnungen

### Analyse der Beeinflussungsmöglichkeiten

Im Rahmen der Studie werden sowohl verkehrs- als auch umweltpolitische Maßnahmen auf ihre Wirksamkeit zur Reduktion des Flottenverbrauchs untersucht. Da der Fokus auf der Senkung des Normverbrauches bei Neuwagen liegt, verlieren solche Maßnahmen an Relevanz, die stärker auf die Senkung der Fahrleistungen oder des Realverbrauchs zielen. Entscheidend für den durchschnittlichen Normverbrauch ist das Entscheidungsverhalten der Neuwagenkäufer.

Um die Wirksamkeit von Maßnahmen in diesem Feld besser abschätzen zu können, wurde eine Expertenbefragung durchgeführt, die sich an Industrie, Verbände, Politik und Forschung richtete. Als besonders geeignete Instrumente, die die Produktion und den Verkauf verbrauchsarmer Fahrzeuge unterstützen, werden hier vor allem die Mineralölsteuer und eine CO<sub>2</sub>-basierte Steuer genannt. Zusätzlich wird umfangreichen bewusstseinsbildenden Kampagnen eine hohe Bedeutung zugemessen, da keine der abgefragten Maßnahmenvarianten allein in der Lage sei, gleichzeitig eine hohe gesellschaftliche Akzeptanz und eine hohe Wirkung auf den Flottenverbrauch zu erzielen. Damit steigende Preise die Entscheidung von Neuwagenkäufern gegenüber ihrer ursprünglichen Kaufabsicht zugunsten eines deutlich sparsameren Modells beeinflussen, ist nach Meinung der Experten ein Anstieg des Neuwagenpreises je nach Segment um 20 bis 30 % notwendig.

Neben den Ergebnissen aus der Befragung wird als Basis zur Wirkungsabschätzung der Szenarien die zurückliegende Kostenentwicklung für Pkw-Kauf und Unterhalt analysiert. Dies erfolgt für ausgewählte Referenzmodelle eines jeden Segments für die Jahre 1990 bis 2000. Das Verhältnis der Kosten zu den Zulassungsanteilen je Segment dient dann als weitere Basis für die Szenarientwicklung.

### Trendentwicklung und Szenarienerstellung

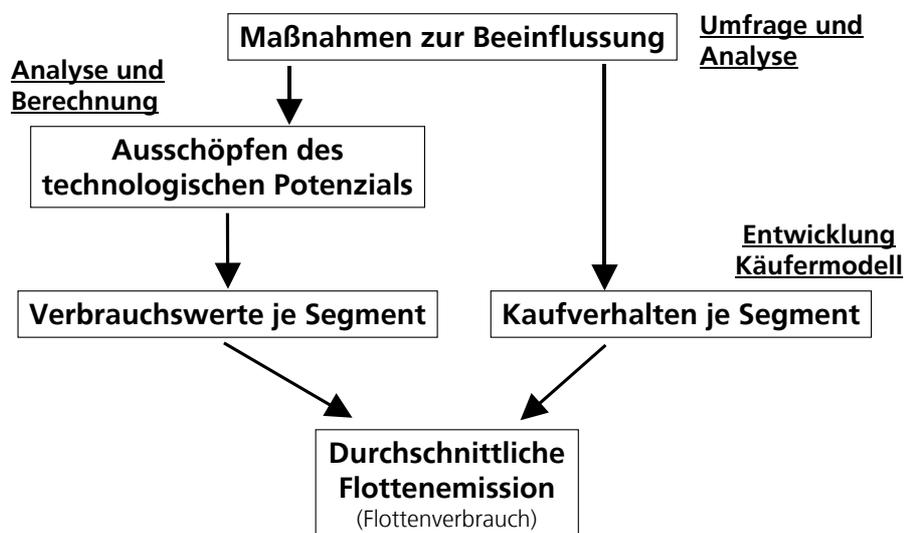
Die absehbare technische Entwicklung, die im Analyseteil bereits segmentspezifisch erläutert worden ist, wird für die Trendentwicklung mit der künftig zu erwartenden Segmentstruktur verknüpft. Diese Struktur wurde in Anlehnung an die Studie „Eurocar“ der Marketing Systems GmbH, Düsseldorf<sup>1</sup> angenommen, die als wesentliche Einflussparameter die künftigen Pkw-Kosten, die Modellpolitik der Hersteller und den Ersatzbedarf berücksichtigt. So ergibt sich für das Jahr 2010 ein durchschnittlicher Flottenemissionswert von ca. 129 g CO<sub>2</sub>/km, was

<sup>1</sup> Marketing Systems GmbH 2001

gegenüber dem Jahr 2000 eine Minderung von rund 29 % bedeutet, bzw. 39 % gegenüber 1990.

Zur Berechnung der Szenarien, in denen eine Reduktion auf 105 g CO<sub>2</sub>/km erreicht werden soll, wird auf Basis der Daten aus der Analyse der vergangenen zehn Jahre (Segmententwicklung und Kosten) sowie unter Zuhilfenahme eines technischen Indikators und den Ergebnissen der Expertenbefragung ein Käufermodell geschätzt. Dieses Modell bildet die Reaktionen der Käufer ab, die sich ergeben, wenn bestimmte ordnungsrechtliche oder ökonomische Maßnahmen in den Szenarien ergriffen werden. Gleichzeitig werden verstärkte Entwicklungsanstrengungen der Hersteller angenommen, die in allen Szenarien eine zusätzliche Reduktion der Emissionen von 5 bis 15 % gegenüber dem Trend bei einem gleichzeitigen Preisanstieg der Neuwagen von 10 % bewirken.

**Abbildung 2: Vorgehensweise zur Szenarienerstellung**



Zur Halbierung des Flottenverbrauchs werden drei Szenarien mit verschiedenen Maßnahmenbündeln entwickelt und mit dem Käufermodell auf ihre Wirksamkeit zur Reduktion der Emissionen überprüft. Das Szenario „Kontinuität“ steht für Kontinuität der Instrumente, d.h. Fortführung der bestehenden Steuerarten, während das Szenario „Neuausrichtung“ auf die konsequente Umstellung der bisherigen steuerlichen Instrumente auf eine CO<sub>2</sub> - basierte Bemessungsgrundlage abzielt, einschließlich neu geschaffener Maßnahmen. Außerdem wird ein Grenzwert-Szenario berechnet, das die Einführung von Emissionsgrenzwerten untersucht, und ein „MittelfristszENARIO“, welches den Zeithorizont auf 2015 erweitert.

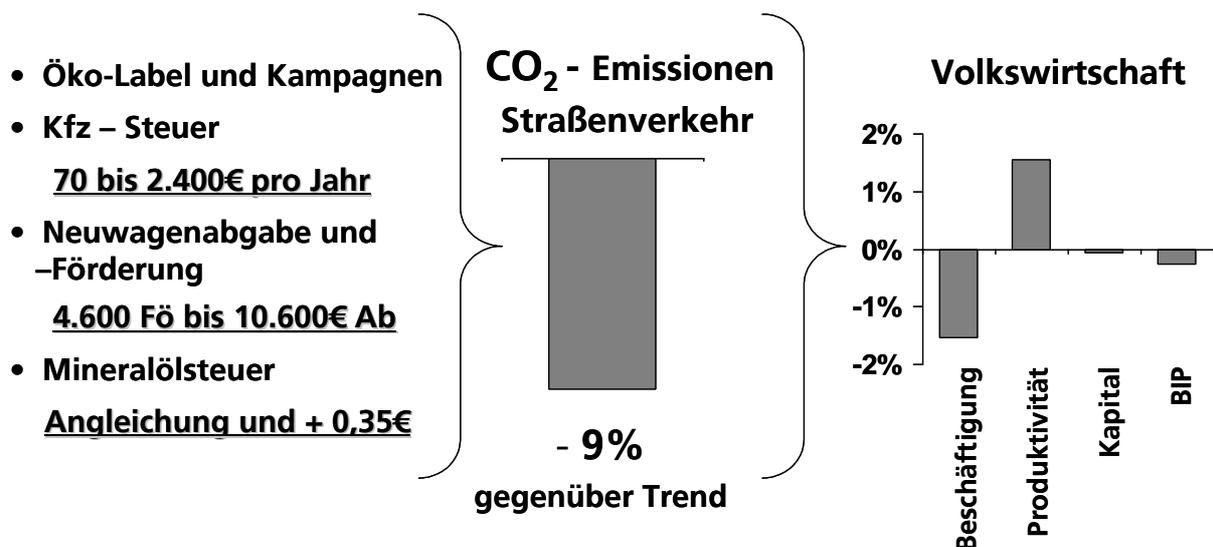
### **Fazit und Auswirkungen einer Halbierung des Flottenverbrauchs**

Die Halbierung der durchschnittlichen Flottenemissionen auf 105 g CO<sub>2</sub>/km kann mit dem Maßnahmenbündel des Szenarios „Neuausrichtung“ erreicht werden (siehe Abbildung 3). Von hoher Bedeutung ist hier zum einen die konsequente Ausrichtung der Maßnahmen an den Emissionswerten, sowohl bei der Kfz-Steuer als auch bei der Neuwagenförderung/-abgabe. Zum anderen spielt die wesentlich größere Spanne der Beträge gegenüber heute eine sehr wichtige Rolle. So wurde für die Kfz-Steuer eine Spanne von 70 bis 2.400 Euro pro Jahr angesetzt, gegenüber 120 bis 1075 Euro für die Referenzmodelle des Jahres 2000. Die Mineralölsteuer hat dem Modell zu Folge einen vergleichsweise geringen Einfluss auf den Neuwagenkauf.

Im nächsten Schritt wird der Beitrag für die in den Szenarien angewendeten Maßnahmenbündel zur Reduzierung der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs bewertet und darüber hinaus die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen auf alle Sektoren. Auf dieser Grundlage wird sowohl die Effizienz der Maßnahmen als auch ihre wirtschaftliche Verträglichkeit bestimmt und verglichen.

Die Berechnung der Auswirkungen auf die gesamten Kohlendioxidemissionen wurde durch das Institut für Energie und Umweltforschung (IFEU) Heidelberg durchgeführt. Im Ergebnis zeigt sich, dass die Halbierung des Flottenverbrauchs bis 2010 dazu führt, dass die gesamten auf den Straßenverkehr zurückzuführenden CO<sub>2</sub>-Emissionen auf dem Wert des Basisjahres 1990 stabilisiert werden. Das bedeutet eine Emissionseinsparung von 9 % gegenüber dem im Trend erwarteten Wert. Dieses Ergebnis folgt aus dem kurzen Zeitrahmen bis 2010 und der erst allmählichen Substitution von alten Bestandsfahrzeugen durch verbrauchsärmere neue Fahrzeuge. Darüber hinaus verhindert der ansteigende Lkw-Verkehr ein positiveres Ergebnis. Im Hinblick auf die Ziele zur Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen zeigt sich, dass es nicht ausreicht, den Normverbrauch des Fahrzeugs zu optimieren. Stattdessen muss der Energiebedarf des gesamten Fahrzeugs inklusive Betrieb der Nebenaggregate betrachtet werden. Und über die rein fahrzeugbezogenen Maßnahmen hinaus müssen Reduktionspotenziale durch eine Optimierung der Fahrweise der Fahrzeuglenker untersucht und ausgeschöpft werden, die einen erheblichen Einfluss auf den Realverbrauch besitzen.

**Abbildung 3: Maßnahmenbündel zur Halbierung des Flottenverbrauchs bis 2010 und seine Auswirkungen**



Die Szenarien wurden anhand des Modells ESCOT des Instituts für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung (IWW) der Universität Karlsruhe einer gesamtwirtschaftlichen Bewertung unterzogen. Die teilweise einschneidenden Maßnahmen zur Förderung kraftstoffeffizienter Fahrzeuge erzeugen negative makroökonomische Wirkungen, die zum großen Teil aber noch im Bereich beobachtbarer wirtschaftlicher Schwankungen liegen. Für einige Indikatoren wie Beschäftigung und Export führen die Maßnahmen im betrachteten Zeitraum jedoch zu merklichen Einbußen.

Während auf der Nachfrageseite zunächst dämpfende Auswirkungen durch höhere Transportkosten auf der Straße auftreten, zeigen sich auf der Angebotsseite nach einigen Jahren positive Effekte durch eine Beschleunigung des technischen Fortschritts. Dennoch muss für das Bruttoinlandsprodukt im Extremfall der Halbierung des Flottenverbrauchs ein Rückgang von 0,3 % und ein negativer Beschäftigungseffekt von 1,6 % gegenüber der Trendentwicklung verzeichnet werden. Noch stärkere negative Auswirkungen der angenommenen Maß-

nahmen treten deswegen nicht ein, weil die Konsumenten durch die Wahl eines Fahrzeugs eines anderen Segments, also durch die Umschichtung des PKW-Markts, die Preiserhöhung umgehen können, was auch zur Erreichung des CO<sub>2</sub>-Ziels beiträgt.

Die Ergebnisse dieser Studie haben gezeigt, dass es wesentlich darauf ankommt, die Wirksamkeit technischer Reduktionsmaßnahmen zu überprüfen, zu optimieren und in wirtschaftlich effiziente Strategien mit begleitenden planerischen und steuernden Maßnahmen einzubinden.

## Executive Summary

The increasing traffic demand in Europe will jeopardise the achievement of the climate protection goals unless new technological solutions for a more energy efficient transport are developed and the implementation of existing solutions is accelerated. In Germany, road traffic in 2000 generated one fifth of the CO<sub>2</sub>-emissions, in 1990 that share was only 15 %. Thus, the biggest growth can be stated in this sector, whereas other sectors had decreasing emissions. Therefore, there is an increasing need to find ways to reduce the negative effects of the traffic sector on climate and energy consumption.

In essence, there are three possibilities to reduce CO<sub>2</sub>-emissions and energy demand in the transport sector:

1. The reduction of the specific fuel consumption per vehicles
2. The reduction of the mileage of vehicles
3. The improvement of the traffic organisation as well as changes in attitude of the drivers with the aim to make the traffic flow more efficient.

The specific fuel consumption determines the fuel demand of each vehicle for its whole life span. Therefore, the study "Flottenverbrauch / New Cars' Fuel Consumption 2010", which was carried out on the initiative of the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF), deals with the first of the three points mentioned above, whereas the analysis is concentrated on passenger cars. The "fleet consumption" is defined as the specific fuel consumption (measured according to the European Drive Cycle) of all newly registered passenger cars of one year. The standardised consumption has to be distinguished from the real consumption. Although the drive cycle was improved in 1996, the real consumption is still higher than the standardised consumption.

The study explores the possibility to reduce the average CO<sub>2</sub> emissions considerably between 1990 and 2010. The target is to halve from 210 g CO<sub>2</sub>/km to 105 g CO<sub>2</sub>/km. The aim is deliberately ambitious in order to explore potentials and limits for influencing the specific fuel consumption. The study is divided into three parts:

- a) The three main determinants of the specific fuel consumption are investigated in a **comprehensive analysis**: 1. the current developments in vehicle technologies and their emission reduction potential, 2. the structure of the new passenger car market concerning the share of different classes of size and performance, and 3. instruments and measures which could influence the behaviour of purchasers of new passenger cars.
- b) Establishment of a **trend development** and a scenario simulation model using the results of the analysis in part a) and additional cost components is established. Scenarios are calculated in order to examine the consequences of different measures on the average emissions.
- c) Selected scenarios are being tested for their impacts on reducing **the overall CO<sub>2</sub> emissions** in the transport sector. Furthermore, the assumed measures undergo an assessment of their **economic impacts**.

### Analysis of technological developments

A main field for fuel saving activities of passenger cars is still the engine technology. Despite the 4-cylinder-combustion engine being investigated for decades now, there are still potentials for a further reduction of its fuel consumption. The engine idling stop, the hybridisation of the drive train as well as the further development of the transmission technology, auxiliary units and the whole vehicle indicate further fuel saving potentials. Within the short investigation period of this study, only a small market share of newly introduced, alternative power train concepts is expected. Their market penetration will depend considerably on the price of

the new technologies as well as the European-wide availability of alternative fuels, in particular with respect to the requirements of cross-border transport.

In the further process of the study, the technological potentials for the reduction of CO<sub>2</sub> emissions are assigned to various vehicle segments such as small vehicles, middle class, etc., and thus form the technological component for the trend development. It is assumed that the commitment between the European Automobile Manufacturers Association (ACEA) and the European Commission will be met, which means that a reduction of 25 % until 2008 compared to 1995 is going to be achieved. To this end, considerable technical developments have to be implemented in the series production. In detail, the following emission values result from the assumptions taken:

**Table 1: Trend of CO<sub>2</sub> Emission by 2010 per segment and fuel type**

Segment	Mini	Small	LMC	MC	UMC	Luxury	Vans	Off-road	UT
Petrol [g CO <sub>2</sub> /km]	101.9	111.9	126.6	147.1	174.2	219.4	151.1	193.7	176.8
Diesel [g CO <sub>2</sub> /km]	72.6	103.6	105.1	118.9	144.3	169.0	134.5	194.2	162.6

LMC: Lower Middle Class, MC: Middle Class, UMC: Upper Middle Class, UT: Utility vehicle

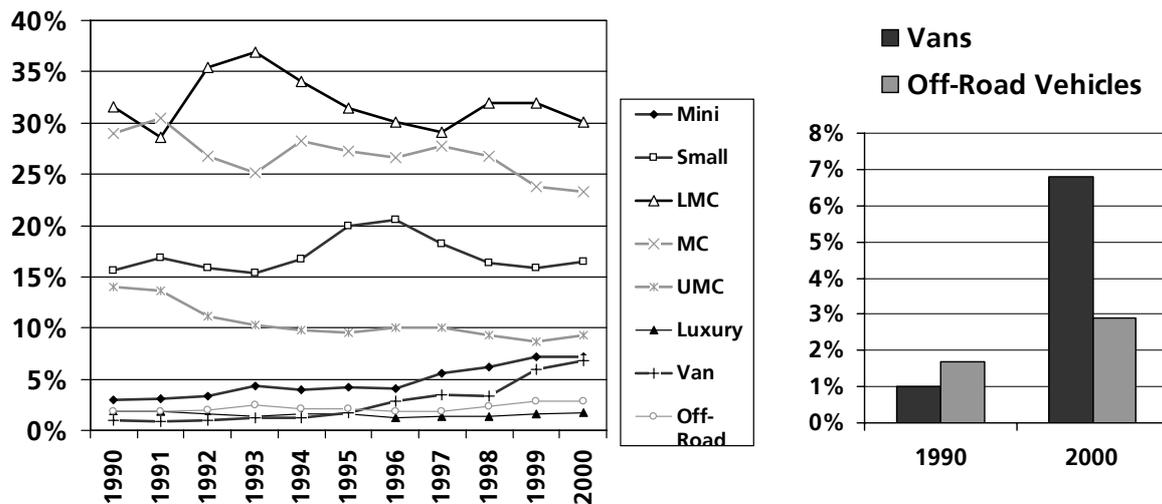
With respect to the scenarios, it is assumed that a full exploitation of the technological possibilities by additional expenditures lead to further reduction potentials in the range of 5 to 15 % depending on the vehicle size and fuel type.

### Market Structure Analysis

Besides the technology, the second element to estimate the future average emissions is the structure of the new passenger car fleet in terms of different CO<sub>2</sub> emissions. The allocation of new passenger cars to defined segments such as “small vehicles” and “middle class” as well as petrol and diesel combustion, which is applied by the German Federal Motor Transport Authority (KBA), appeared to be the most suitable way to describe the relevance of the different cars on the market.

It can be observed that passenger cars of the lower middle class dominate the market of new passenger cars. Together with the middle class vehicles they account for more than half of the total new registrations in the analysed period from 1990 to 2000. Vehicles of the middle class and the upper middle class show a decrease of their share of new registrations. The opposite development can be stated for minis and vans. Both segments were increasing in particular between 1996 and 2000 to a market share of about 7 % each. The increase of the off-road vehicles is not as strong.

**Figure 1: Segment shares of new passenger car registrations 1990 - 2000**



Sources: KBA, own calculations

### Analysis of measures to reduce fleet consumption

Transport policies as well as environmental policy measures are tested in the study for their effectiveness concerning the fleet consumption. Since the focus is on the reduction of the specific standardised fuel consumption of new registered cars, those measures are of less relevance that mainly aim at reducing the mileage or the real fuel consumption. The standardised fuel consumption depends especially on the vehicle choice of the new car purchasers.

In order to assess the impact intensities of measures in this field, an expert survey has been carried out including experts in industry, associations, politics and research. As a very suitable measure which fosters the production and the sale of low consumption vehicles, the fuel tax and a CO<sub>2</sub> based tax were mentioned. Additionally, extensive campaigns raising awareness towards fuel saving technologies as accompanying measures are regarded of high importance since none of the examined measures are capable to achieve a high acceptance in the society as well as a strong impact on the fleet consumption. According to the experts' opinion, a shift of car purchasers' choice towards considerably more energy efficient models can only be achieved by a price increase of about 20 to 30 % depending on the segment.

In addition to the results of the expert survey, the previous development of costs for the purchase and maintenance of a vehicle is taken as a basis for the impact estimation of scenarios. This analysis has been performed for selected reference models of each segment in relation to their shares of new registrations for the years 1990 to 2000.

### Trend development and the creation of scenarios

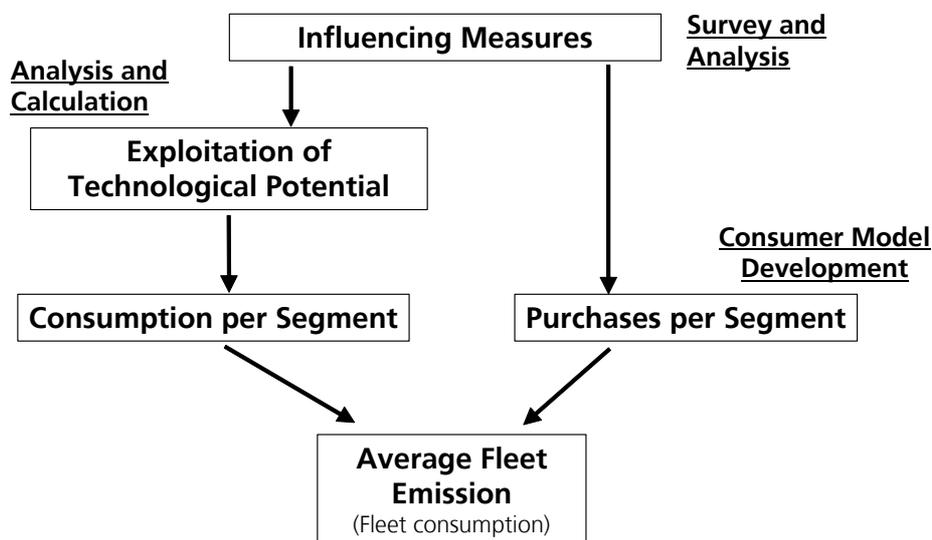
The foreseeable technical development that is described in the analysis part is applied to the future expected segment structure on the car market. This structure is being derived from the study "Eurocar" of Marketing Systems Ltd., Düsseldorf<sup>2</sup>, which takes mainly into account the future vehicle-costs, the model policy of the car manufacturers and the replacement demand. Hence, an average fleet emission value of about 129 g CO<sub>2</sub>/km is estimated for the year 2010. This indicates a decrease of about 29 % compared to 2000, and a decrease of about 39 % compared to 1990 respectively.

For calculating the scenarios, in which a reduction to 105 g CO<sub>2</sub>/km should be achieved, a consumer model for car purchase behaviour is estimated based on the data from the analysis of the past 10 years (segment development and costs). Furthermore, an indicator for the

<sup>2</sup> Marketing Systems Ltd. 2001

technical progress is used as well as the results of the expert survey. The model describes the purchaser reactions that result from certain legislative or economic measures in the scenarios. Simultaneously, increased technical efforts of the car manufacturers are assumed, which lead to an additional emission reduction of 5 to 15 % associated to a cost increase of about 10 % compared to the trend development.

**Figure 2: Approach for scenario preparation**



For the reduction of the fleet consumption in 2010, three scenarios with different bundles of measures are developed and assessed with respect to their effectiveness to reduce the emissions by means of the consumer model. The scenario “Continuity” stands for the continuity of the instruments, which means the ongoing use of the existent types of taxes. The scenario “New Orientation” aims at the consequent conversion of the present taxes towards a CO<sub>2</sub> relation, including new types of measures. In addition, a scenario investigating legal emission limits is being calculated. A “medium term scenario” is being calculated as well, which expands the time horizon to the year 2015.

### **Conclusion and consequences of halving the fleet consumption**

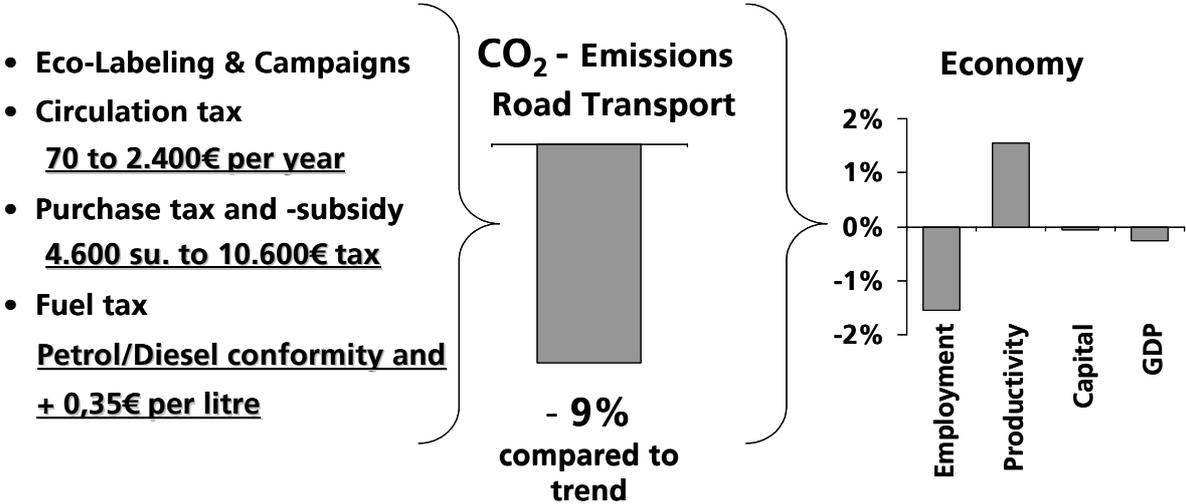
Cutting the average fleet emissions by half to 105 g CO<sub>2</sub>/km can be reached by the bundle of measures assumed in the scenario “New Orientation” (see Figure 3). The consequent relation of the measures to the CO<sub>2</sub> emissions, both concerning the vehicle tax and the new vehicle subsidy (and charge respectively) is of particular importance. Furthermore, the broadly increased range of charges compared to the situation of today plays a major role. For the circulation tax, a range from 70 to 2,400 Euro per year was set, compared to 120 to 1,075 Euro for the reference models by 2000. According to the consumer model, the fuel tax has a comparably low influence on the vehicle choice today.

In the next step, the bundles of measures that were used in the scenarios are assessed regarding their contribution to a reduction of overall transport CO<sub>2</sub> emissions in the road transport sector. Moreover, the bundles of measures are assessed regarding their macroeconomic consequences on all sectors. On that basis, the efficiencies of the measures as well as their economic compatibilities are being determined and compared.

The calculation of the effects on the overall CO<sub>2</sub> emissions of road traffic has been carried out by the Institute for Energy and Environmental Research (IFEU) Heidelberg. It shows that halving the fleet consumption until 2010 leads to the stabilisation of the overall road transport CO<sub>2</sub> emissions at the value of the base year 1990. This is equivalent to an emission reduction of 9 % compared to the expected trend value. This result is a consequence of the short time period to 2010 and the only gradual replacement of old vehicles by new ones with lower

fuel consumptions. Furthermore, the increasing freight transport does not permit a more positive result. In terms of the CO<sub>2</sub> emission reduction targets the results show that a reduction of the standardised fuel consumption alone is not sufficient. Instead, the energy demand of the whole vehicle operation has to be regarded including auxiliary units. Besides the purely vehicle related measures, reduction potentials by optimising the driving manners, which have also a considerable influence on the fuel demand, have to be examined and used.

**Figure 3: Bundle of measures to halve the fleet consumption by 2010 and its impacts**



The scenarios have been subject to a macroeconomic assessment by means of the model ESCOT of the Institute for Economic Policy and Economic Research (IWW) of the University of Karlsruhe. The partly drastic measures for a promotion of fuel efficient cars lead to negative macroeconomic impacts, however being mostly in the range of observable economic variations. Nevertheless, for some indicators such as employment and export the measures create considerable losses within the investigation period.

While negative effects initially arise on the demand side because of higher road transport costs, positive effects appear on the supply side after a few years because of an acceleration of the technological progress. However, in the extreme case of halving the average fleet consumption a decrease of the gross domestic product of 0.3 % and a negative effect on employment of 1.6 % compared to the trend development must be stated. Yet stronger negative effects of the supposed measures do not occur because consumers are able to avoid the price increase by choosing a model of another segment – thus by restructuring the car market – which again contributes to achieve the CO<sub>2</sub> target value.

The results of this study have shown that there is a considerable need to examine and optimise the efficiency of technical measures to decrease the fuel demand of cars. Furthermore, it is necessary to integrate these measures into economically efficient strategies with accompanying planning and guiding measures.

# 1 Einleitung

## 1.1 Aufgabenstellung und Hintergrund

Vor dem Hintergrund wachsender Verkehrsaufkommen steigt die Notwendigkeit, neue Wege aufzuzeigen, wie die negativen Auswirkungen des Pkw-Verkehrs auf die Klimaentwicklung und den Ressourcenverbrauch verringert werden können. Innerhalb dieser Studie soll im Rahmen von Szenarien untersucht werden, welche technologischen Potenziale hierfür ausgeschöpft werden können und welche ordnungs- und finanzpolitischen Maßnahmen zur Unterstützung geeignet sind.

Anlass für die Untersuchung ist das Phänomen der Klimaänderung, das im Grünbuch zur Strategie für Energieversorgungssicherheit der Europäischen Kommission<sup>3</sup> als eine Bedrohung für die harmonische Entwicklung der Welt bezeichnet wird. Als Ursache für die zunehmende Erwärmung des Klimas wird der erhebliche Anstieg der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre, der in erster Linie auf den Verbrauch fossiler Brennstoffe zurückgeht, genannt. Die zwischenstaatliche Sachverständigengruppe für Klimaänderung IPCC errechnete in 35 unterschiedlichen Szenarien einen Temperaturanstieg aufgrund der zunehmenden Konzentration von Treibhausgasen zwischen 1,4 C und 5,8 C bis zum Jahr 2100 gegenüber 1990.<sup>4</sup>

Auf der dritten Vertragsstaatenkonferenz der Klimarahmenkonvention (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) in Kyoto/Japan Ende 1997 gingen die Vertragsstaaten die ersten völkerrechtlich verbindlichen Verpflichtungen zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen ein.<sup>5</sup> Das Kyoto-Protokoll schreibt eine Reduzierung der wichtigsten Treibhausgase um 5,2% bis zum Zeitraum 2008 bis 2012 vor, bezogen auf den Emissionsstand von 1990. Im Verlauf der weiteren Verhandlungen, etwa bei der 6. Vertragsstaatenkonferenz in Bonn im Juli 2001 oder der 7. Konferenz in Marrakesch im September 2001, wurden die einzelnen Inhalte des Protokolls weiter konkretisiert.

Zu den Treibhausgasen anthropogenen Ursprungs werden Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Distickstoffoxid (N<sub>2</sub>O), Methan (CH<sub>4</sub>), fluorierte Kohlenwasserstoffe (HFC), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFC) und Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>) gezählt. Insgesamt konnten die Treibhausgasemissionen in der Europäischen Union auf dem Niveau von 1990 stabilisiert werden.<sup>6</sup>

**Tabelle 2: Treibhausgasemissionen in der Europäischen Union**

	1990	1995	1999
CO <sub>2</sub>	3325	3258	3271
CH <sub>4</sub>	440	394	366
N <sub>2</sub> O	394	379	338
H-FKW	26	37	43
FKW	14	8	8
SF <sub>6</sub>	8	12	11

[Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-äquivalente]

Quelle: UNFCCC / Europäische Kommission

<sup>3</sup> Europäische Kommission 2000

<sup>4</sup> IPCC 2001 (Intergovernmental Panel on Climate Change)

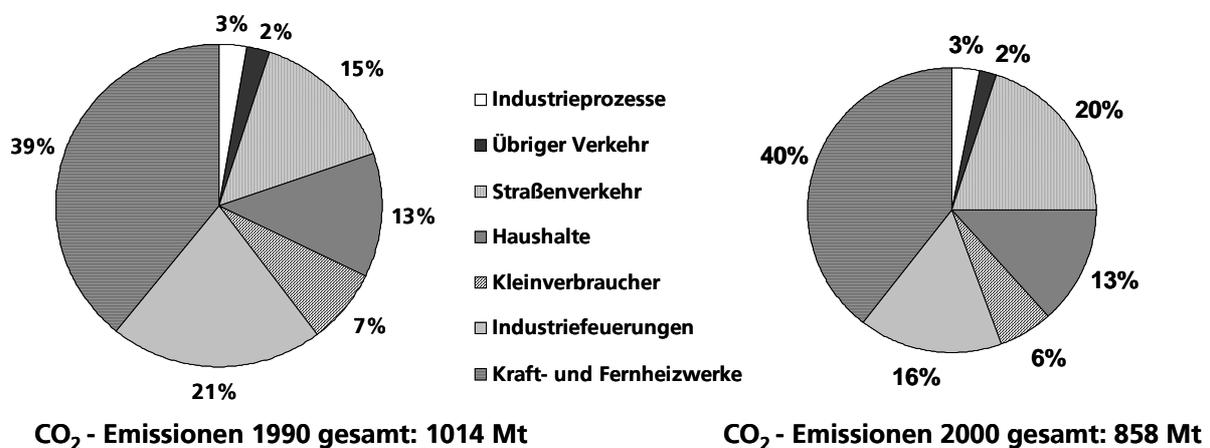
<sup>5</sup> Wuppertal Institut für Klima Umwelt Energie 1999: S. 4

<sup>6</sup> UNFCCC 2000

Für den Verkehrsbereich ist vor allem Kohlendioxid relevant, die anderen Gase spielen hier kaum eine Rolle. Im Jahr 1998 trug der Energieverbrauch des Verkehrs mit 28 % zu den gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen in Europa bei. Wenn nichts unternommen werde, um den Trend zur Zunahme des Verkehrs umzukehren, so die EU-Kommission in ihrem Grünbuch,<sup>7</sup> dürften nach den aktuellsten Schätzungen die durch den Verkehr verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen zwischen 1990 und 2010 um ungefähr 50 % steigen und ein Niveau von 1114 Mio. Tonnen gegenüber 739 Mio. Tonnen im Jahre 1990 erreichen. Hauptverantwortlich für diese Situation sei der Straßenverkehr, auf den 84 % der durch den Verkehr verursachten Kohlendioxidemissionen entfielen.

Die Regierung der Bundesrepublik Deutschland hat sich im Vergleich zu den Minderungszielen des Kyoto-Protokolls zur Einhaltung verschärfter Emissionsziele verpflichtet. Auf der Berliner Klimakonferenz 1995 wurde die Zusage gegeben, bis zum Jahr 2005 die CO<sub>2</sub>-Emissionen um 25 % gegenüber dem Bezugsjahr 1990 zu senken. Um dieses Ziel zu erreichen, muss vor allem dem Bereich Verkehr mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden, da entgegen dem Gesamttrend die CO<sub>2</sub>-Emissionen in diesem Bereich anstiegen. Während in Deutschland von 1990 bis 2000 ein Rückgang der gesamten Emissionen um rund 15 % zu verzeichnen war,<sup>8</sup> sind die des Verkehrssektors um über 9 % angestiegen. Insbesondere der Straßenverkehr weist eine um knapp 15 % gestiegene Emissionsmenge auf. Dagegen konnten alle anderen Emittentengruppen zur Verringerung beitragen, einschließlich des sonstigen Verkehrs. Dies hat zur Folge, dass der Straßenverkehr mittlerweile ein Fünftel der Kohlendioxidemissionen in Deutschland verursacht.

**Abbildung 4: Anteile der CO<sub>2</sub> – Emissionen in Deutschland**



Quelle: Umweltbundesamt

Um die ungünstige Entwicklung bei den Kohlendioxidemissionen im Straßenverkehr zu stoppen und somit den Energieverbrauch des Verkehrs zu senken, wird in der vorliegenden Studie „Flottenverbrauch 2010“ auf Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) der spezifische Kraftstoffverbrauch der Personenkraftwagen als ein Ansatzpunkt näher untersucht. Der spezifische Verbrauch stellt einen wichtigen Diskussionspunkt dar, weil er den Verbrauch eines jeden Fahrzeugs für durchschnittlich 12 Jahre vorbestimmt. Ferner gibt die allgemein übliche Verwendung des spezifischen Kraftstoffkonsums in den Produktinformationen der Hersteller wie auch der Gebrauch als politischer Diskussionsgegenstand Anlass zu einer näheren Untersuchung.

<sup>7</sup> Europäische Kommission 2000

<sup>8</sup> Umweltbundesamt: Daten zur Umwelt 2001

Vor dem Hintergrund der europaweit gesetzten Ziele zum Flottenverbrauch (siehe Kapitel 2.2) wird in dieser Studie untersucht, wie über den bereits festgelegten Zielwert hinaus weitere Einsparpotenziale realisiert werden können. Die technologischen Möglichkeiten sind einerseits realitätsnah zu berücksichtigen, andererseits werden insgesamt bewusst Extremwertszenarien angewandt, um Möglichkeiten und Grenzen der Beeinflussung des Parameters spezifischer Kraftstoffverbrauch zu diskutieren. Aus diesem Grund wird im Rahmen von Szenarien der Frage nachgegangen, wie eine theoretische Zielvorgabe „Halbierung des Flottenverbrauchs bis 2010 gegenüber 1990“ bei Neuwagen realisiert werden könnte. Darüber hinaus wird der Zeithorizont auf 2015 erweitert, um zusätzlichen Handlungsspielraum aufzuzeigen.

Für alle erfolgversprechenden Maßnahmenbündel werden die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen auf alle Sektoren, ihre Akzeptanz und ihr Beitrag zur Reduzierung der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs bewertet. Auf dieser Grundlage wird sowohl die Effizienz der Maßnahmen als auch ihre wirtschaftliche Verträglichkeit bestimmt und verglichen.

Die Studie verfolgt das Ziel, Wege aufzuzeigen, wie bereits vorhandene Technologien zur Reduzierung des Verbrauchs fossiler Energieträger im Pkw - Verkehr schnellstmöglich eine hohe Durchdringung am Markt erzielen können sowie zu untersuchen, welche neuen Technologien besonders aussichtsreich erscheinen. Außerdem sind unterstützende ordnungswie auch finanzpolitische Maßnahmen darzustellen. Dabei liegt der Schwerpunkt nicht auf der Abbildung der technologischen, ökonomischen oder gesellschaftlichen Aspekte in ihrer höchst möglichen Genauigkeit, sondern darin, das Spektrum und die Intensität der Handlungsoptionen aufzuzeigen, die notwendig werden, um das angestrebte Emissionsreduzierung zu erreichen.

## **1.2 Eingrenzung des Untersuchungsfeldes**

Um den Energieverbrauch des Straßenverkehrs reduzieren zu können, sind im wesentlichen drei Ansätze denkbar: Erstens die Verminderung der insgesamt erbrachten Fahrleistung, zweitens eine effizientere Gestaltung des Verkehrsablaufs und drittens die Senkung des durchschnittlichen Kraftstoffverbrauchs je Fahrzeug.

Um eine spürbare Verringerung der Fahrleistungen oder Verbesserung des Verkehrsflusses zu erzielen, sind weitreichende Maßnahmen und umfangreiche Wechselwirkungen in Betracht zu ziehen. Eindeutiger stellt sich der durchschnittliche Verbrauch eines jeden Pkws in Abhängigkeit seiner Technologie und des Fahrstils seines Fahrers dar.

Wird der Kraftstoffkonsum durch die Kombination der von den Herstellern angegebenen, in einem normierten Zyklus festgestellten Verbrauchswerten mit den Fahrleistungen der Fahrzeuge errechnet, liegt der ermittelte Gesamtverbrauch unter dem Gesamtabsatz von Benzin und Diesel. Seit jeher befinden sich Normverbrauchswerte unterhalb der tatsächlichen Verbrauchswerte. Somit kann der real festgestellte Durchschnittsverbrauch je Fahrzeug rein theoretisch in den genormten Verbrauchswert und einen variablen, von unterschiedlichen Fahrweisen, Einsatzbereichen und Wartungszuständen abhängigen Praxiszuschlag aufgeteilt werden.

Obwohl der Normverbrauchswert fast immer unter dem tatsächlichen Verbrauch liegt, ist er eine gut geeignete Bezugsgröße für die vorliegende Studie, weil die Vergleichbarkeit der Daten gegeben ist und ausreichend Daten und Untersuchungen mit dem Fokus auf den Normverbrauch vorliegen.

Weil die Studie nicht direkt auf den quantitativen Verbrauch abzielt, sondern die aus der Verbrennung resultierenden Kohlendioxidemissionen im Blickfeld hat, wird als Bezugsgröße nicht der Verbrauch in Litern je 100 Kilometern, sondern der damit korrelierende CO<sub>2</sub>-Ausstoß gewählt. Die Notwendigkeit dieser Differenzierung ergibt sich aus der höheren Kohlendioxidmenge, die bei der Verbrennung eines Liters Dieselkraftstoff im Vergleich zu

einem Liter Benzin entsteht. Anhand der durchschnittlichen Kohlendioxidemission je Kilometer wurde auch der Zielwert der Halbierung bestimmt.

Bezugsgröße seitens der Fahrzeuge sind die Personenkraftwagen der Klasse M1<sup>9</sup>, dies sind alle „Kraftfahrzeuge zur Personenbeförderung mit mindestens 4 Rädern und maximal 9 Sitzplätzen (einschließlich Fahrersitz)“. Hierzu gehören alle handelsüblichen Pkw, sowie Kleinbusse, die der Definition gerecht werden. Darüber hinaus fallen auch leichte Nutzfahrzeuge bis zu 3,5 Tonnen zulässiges Gesamtgewicht in diese Kategorie, die explizit als Personenkraftwagen angemeldet werden. Im Rahmen der Studie werden alle Pkw betrachtet, die innerhalb eines Jahres neu zugelassen werden.

### 1.3 Vorgehensweise

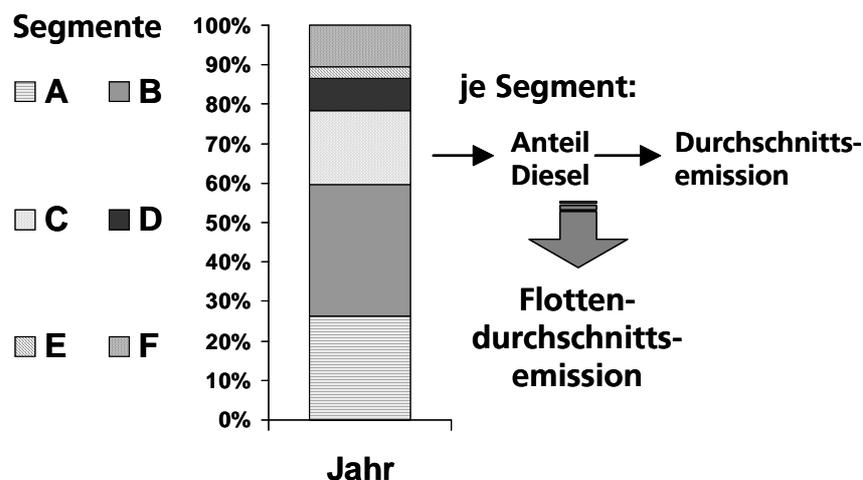
Bevor auf konkrete Potenziale zur Verbrauchsreduktion eingegangen wird, erfolgt in Kapitel 2 eine nähere Beschreibung des Normverbrauchs und seines Praxisbezugs sowie eine Darstellung seiner Entwicklung seit 1990. Als wichtige Hintergrundinformation findet sich in Kapitel 2 ein Abschnitt zur Selbstverpflichtung der Automobilindustrie, die im Wesentlichen die hier untersuchte Größe zum Inhalt hat und eine wichtige Randbedingung bei der späteren Entwicklung der Reduktions-Szenarien darstellt.

In einer umfassenden Literaturrecherche, beim Besuch entsprechender Fachveranstaltungen und in Gesprächen mit Experten sind die technologischen Potenziale zur Verbrauchsreduktion zusammengetragen worden und in Kapitel 3 aufbereitet. Hieraus wird anschließend die Trenderstellung bezüglich der Technologien für den Zeitraum bis 2010 abgeleitet.

Bedeutend für die künftige Entwicklung des durchschnittlichen Kraftstoffverbrauchs ist neben der Technologie auch die Größen-Zusammensetzung der Neuwagen, hier als Segmente bezeichnet, die innerhalb eines Jahres auf den Markt kommen. Dieser Aspekt wird in Kapitel 4 näher untersucht, einschließlich der Frage, wie sich die Struktur unter den absehbaren Rahmenbedingungen im Trend künftig entwickeln wird.

Die Strukturierung in Segmente und das auf sie bezogene technologische Potenzial bilden zusammen mit dem Anteil der Dieselfahrzeuge das in dieser Studie verwendete Grundgerüst zur Analyse des Flottenverbrauchs bzw. der Flottendurchschnittsemission.

**Abbildung 5: Grundbestandteile zur Analyse der Flottendurchschnittsemission**



<sup>9</sup> Nach Begriffsbestimmung der Richtlinie 70/156/EWG

Möglichkeiten zur Beeinflussung der in Kapitel 3 dargestellten technologischen Entwicklung und in Kapitel 4 behandelten strukturellen Entwicklung des Neuwagenmarktes sind in Kapitel 5 zusammengefasst. Es beinhaltet unter anderem eine Beschreibung der im Rahmen dieser Studie durchgeführten Expertenbefragung und des neuentwickelten Modells zum Verhalten der Neuwagenkäufer. Die Expertenbefragung wurde als ein bedeutendes Werkzeug eingesetzt, um die in der Literatur nicht ausführlich beschriebenen Wirkungen von Instrumenten auf das Käuferverhalten und den Neuwagenmarkt zu beleuchten.

Aufbauend auf der vorangegangenen Analyse der Technologien, des Marktes und der Beeinflussungsmöglichkeiten werden in Kapitel 6 verschiedene Szenarien, bzw. Maßnahmenbündel entwickelt, die zur Reduktion des Flottenverbrauchs führen. Die Szenarien werden berechnet und das direkte Ergebnis bezüglich der Reduzierung des Flottenverbrauchs dargestellt.

Die Szenarien werden innerhalb von Kapitel 7 mittels des dynamischen Simulationsmodells „Economic Assessment of Sustainability poliCies Of Transport“ (ESCOT) des Instituts für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung der Universität Karlsruhe (IWW) abgebildet und die dabei eingesetzten Maßnahmen auf ihre wirtschaftlichen Auswirkungen hin überprüft.

Kapitel 8 hat zum Ziel, eine Aussage über die Bedeutung der Halbierung des Flottenverbrauchs hinsichtlich der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs zu treffen, wobei das Emissionsberechnungsmodell „Transport Emission Estimation Model“ (TREMOD) des Instituts für Energie- und Umweltforschung Heidelberg zur Anwendung kommt.

## 2 Der Flottenverbrauch und die Selbstverpflichtung

### 2.1 Entwicklung des Flottenverbrauchs der Neuzulassungen seit 1990

#### 2.1.1 Normverbrauch eines Einzelfahrzeugs

Der in dieser Studie untersuchte Flottenverbrauch errechnet sich aus dem mittleren Normverbrauch aller neuzugelassenen Pkw eines Jahres. Die Normverbrauchswerte der einzelnen Fahrzeuge werden über ein einheitliches Verfahren ermittelt, das sich 1996 grundlegend änderte.

Vor 1996 erfolgte die Verbrauchsmessung nach einem in der EG-Richtlinie 80/1268/EWG festgelegten Zyklus. Er enthielt drei Teile:

Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit von 90 km/h,

Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit von 120 km/h,

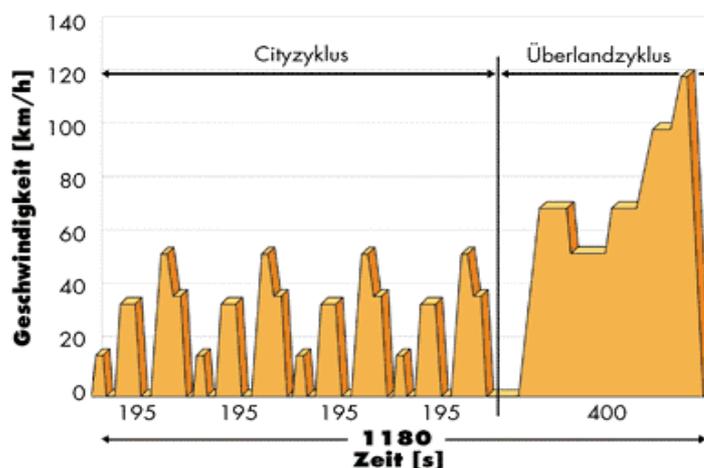
Definierter Stadtverkehrszyklus mit maximal 50 km/h.

Die drei Einzelwerte wurden über den arithmetischen Mittel zum sogenannten DIN-Drittermix zusammengefasst und als zentrale Vergleichsgröße sowie für die Produktinformationen der Hersteller verwendet.

Die von Automobilclubs und der Automobilpresse bei realen Testfahrten ermittelten Verbrauchswerte, waren fast immer deutlich höher als die DIN-Angaben. Die Testverbräuche lagen rund 20 % über dem Drittermix, teilweise betrug die Differenz sogar um 30 %. Daher hat zum Beispiel der ADAC in seinen Kostenberechnungen für Pkw-Halter, die auf den Normangaben basieren, einen Aufschlag bei den Kraftstoffkosten miteingerechnet.

Seit 1996 wird der Kraftstoffverbrauch nach der Richtlinie 93/116/EG gemessen, mit der die realen Fahrbedingungen besser simuliert werden sollen. Der sog. Neue Europäische Fahrzyklus (NEFZ) besteht nur noch aus zwei Teilen, einem Cityzyklus (vier identische Teilzyklen) und einem Überlandzyklus, wobei letzterer etwas mehr als ein Drittel der 11 Kilometer entsprechenden Fahrt ausmacht (siehe Abbildung 6).

**Abbildung 6: Gültiger Testzyklus zur Messung von Emissionen und Verbrauch von Pkw (NEFZ)**



Quelle: Richtlinie 93/116/EG; Darstellung: TU Wien

Das auf dem Rollen-Prüfstands durchgeführte Verfahren simuliert Brems- und Beschleunigungsmanöver sowie schnelle Fahrt bis 120 km/h, wie sie im alltäglichen Verkehr vorkommen. Nebenverbraucher im Fahrzeug wie Klimaanlage und Beleuchtung, die zum eigentlichen Fahrbetrieb nicht benötigt werden, bleiben ausgeschaltet. Messgröße im NEFZ ist nicht mehr der Kraftstoffverbrauch, sondern die CO<sub>2</sub>-Massenemission, aus welcher der Kraftstoffverbrauch berechnet wird.

Um die Verbrauchsunterschiede zu ermitteln, die sich aus den beiden Messverfahren ergeben, wurden zwei Jahre lang Parallelmessungen mit beiden Zyklen durchgeführt. Die Abweichungen betragen nach Angaben des Verbandes der deutschen Automobilindustrie<sup>10</sup> rund 10 %, bei kleinen und leichten Fahrzeugen mit niedrigem Hubraum seien sie etwas darunter, bei großen, schweren Fahrzeugen mit großvolumigen Motoren etwas darüber. Bezüglich des bei realen Testfahrten gemessenen Verbrauchs zeigt der neue Messzyklus eindeutig Verbesserungen, wenngleich die Differenz häufig immer noch bei 15 % liegt.

Je nach persönlicher Fahrweise kann der Mehrverbrauch näher am Normwert liegen oder aber noch weiter von ihm abweichen. Der große Einfluss des individuellen Fahrstils und auch des Fahrzeugzustands auf den Kraftstoffverbrauch stellt daher ein großes Potenzial an Reduktionsmöglichkeiten dar. Abhängig vom Fahrstil (Geschwindigkeit, Gangwahl, vorausschauendes Fahren, etc.), dem Reifendruck, unnötiger Beladung und dem Wartungszustand des Fahrzeugs können im Maximalfall bis zu 40 % Kraftstoff<sup>11</sup> eingespart werden. Die Verbrauchsdifferenz durch die unterschiedliche persönliche Fahrweise könnte in Zukunft durch vorausschauende Fahrerassistenzsysteme verringert werden, die sich derzeit noch im Forschungsstadium oder der Vorentwicklung der Automobilhersteller befinden. Die Systeme empfehlen zum Beispiel eine Geschwindigkeitsreduktion, wenn die Lichtsignalanlage in einer bestimmten Entfernung, für den Fahrer noch nicht sichtbar, auf Rot umschaltet. Für den Normverbrauch bliebe dies aber ohne Auswirkungen.

### **2.1.2 Entwicklung des Flottenverbrauchs seit 1990**

Der Flottenverbrauch ist in dieser Studie als durchschnittlicher Normverbrauch aller neu zugelassenen Pkws eines Jahres definiert. Das Kraftfahrt-Bundesamt führte die hierfür erforderliche Gewichtung der Normverbrauchswerte der einzelnen Fahrzeugtypen anhand der Zulassungszahlen erstmals für 1999 durch. Für die Jahre davor liegen keine offiziellen Angaben zum Durchschnittswert der Neuwagenflotte vor. Die Möglichkeit, die vorhandenen Zulassungszahlen des KBA ersatzweise mit den entsprechenden Herstellerangaben zu verknüpfen, wurde verworfen, weil in den Datenbeständen des KBA die Verbrauchswerte nicht mitaufgenommen sind. Die Zuordnung anhand der Typschlüsselnummern müsste manuell vorgenommen werden, was aus Zeit- und Kostengründen in dieser Studie nicht möglich war. Während die Typenvielfalt der Fahrzeuge noch in überschaubarem Rahmen bleibt, gibt es eine Vielzahl an Karosserie- und Getriebevarianten sowie viele Bereifungs- und andere Ausstattungsoptionen, die zu unterschiedlichen Typschlüsselnummern führen.

Für die weiteren Betrachtungen wird deshalb auf Angaben des Verbandes der deutschen Automobilindustrie (VDA) und des Verbandes der Importeure von Kraftfahrzeugen e.V. (VDIK) zum Flottenverbrauch zurückgegriffen und im Rahmen dieser Studie eine Überarbeitung durchgeführt.

Der VDA gibt für die Zeit bis 1995, als noch der DIN-Drittelmix gültig war, auch auf den Neuen Europäischen Fahrzyklus umgerechnete Werte an. Aus den VDA - Angaben geht eine Reduktion des Flottenverbrauchs der Pkw aus deutscher Produktion von 17,3 % für die Jahre 1990 bis 2000 hervor. Vom VDIK sind bis zur Umstellung des Messverfahrens lediglich die Verbrauchswerte nach DIN-Norm vorhanden. Aus Parallelangaben und statistischen Ableitungen in den Folgejahren lässt sich aber auch hier der Verbrauch nach NEFZ ermitteln. Die

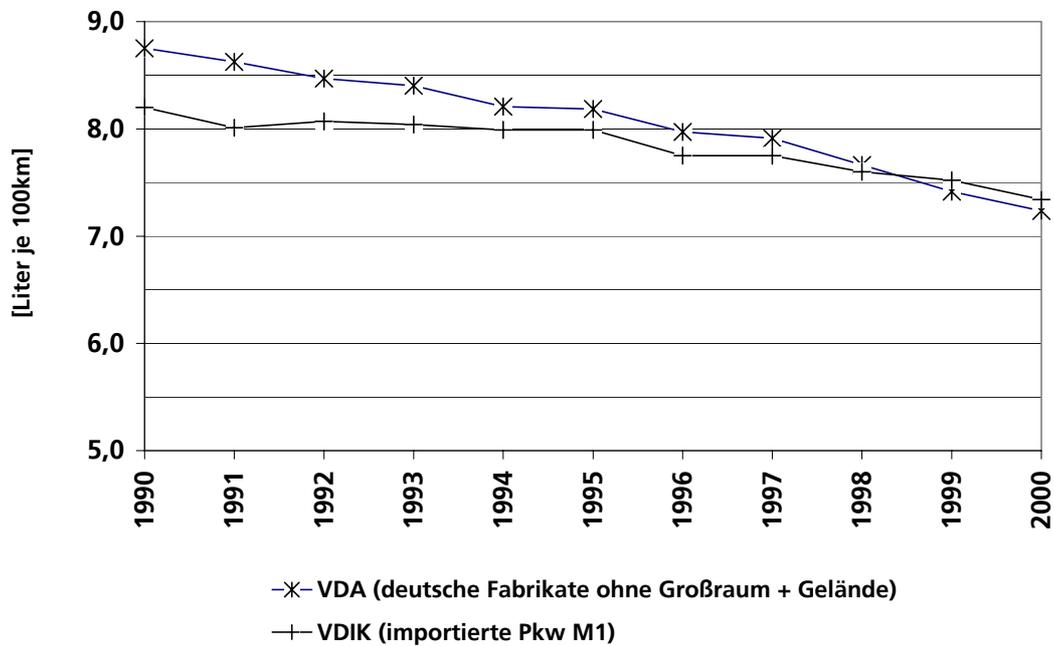
---

<sup>10</sup> VDA 2001, Kraftstoffverbrauchstabellen

<sup>11</sup> Franck 1999

Reduktion fällt hier mit gut 10 % deutlich niedriger aus als bei den deutschen Fabrikaten. Wie aus Abbildung 7 ersichtlich wird, lag der Durchschnittswert bei den Importeuren 1999 und 2000 erstmals höher als bei den einheimischen Herstellern.

**Abbildung 7: Flottenverbrauch nach NEFZ**



Quellen: VDA, VDIK, eigene Berechnungen

Um den genauen Flottendurchschnittswert aller neuzugelassenen Pkw für 1990 zu ermitteln, bedürfen die Herstellerangaben einer weiteren Bearbeitung. Der VDA gibt für 1990 einen Durchschnittsverbrauch für alle neuzugelassenen Fahrzeuge aus deutscher Produktion von 8,75 l/100km nach NEFZ an, umgerechnet aus dem DIN-Drittmix. Dabei wurden jedoch nicht alle der zur hier betrachteten Kategorie der M1 Fahrzeuge gehörenden Pkw berücksichtigt: Geländewagen, Kleinbusse und Transporter mit Pkw-Zulassung sind nicht enthalten. Diese unberücksichtigten Fahrzeuge summieren sich für 1990 auf 2,5 % aller Neuzulassungen deutscher Fabrikate. Wird ihnen ein typischer Verbrauch von 12,0 Litern je 100 km zugeordnet, erhöht sich der Flottenverbrauch der deutschen Pkw auf 8,83 l/100 km. Die Angaben des VDIK beziehen sich direkt auf M1 - Fahrzeuge.

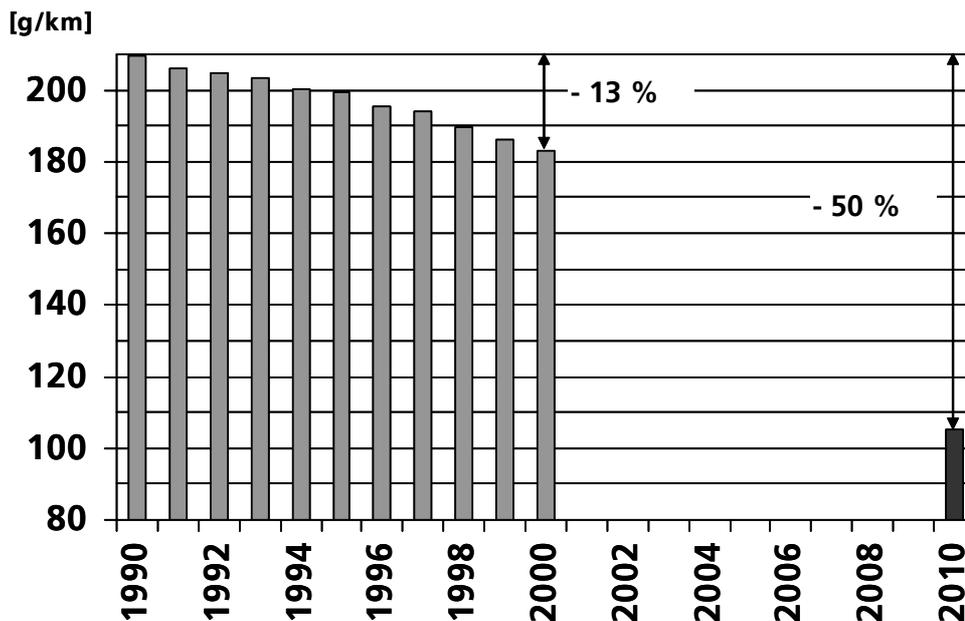
In der weiteren Berechnung ist der Anteil der Neuzulassungen der beiden Fahrzeuggruppen zu berücksichtigen. Es ergibt sich bei einem 1990 erreichten Anteil der Importeure von 34,8 % ein Flottenverbrauch nach NEFZ von 8,61 l je 100 km. In der weiteren Ableitung des durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Emissionswerts ist zu berücksichtigen, dass ein Liter Diesel eine rund 11 % größere Menge Kohlendioxid verursacht als ein Liter Benzin. Daher muss auch der Anteil an Dieselfahrzeugen beachtet werden, der 1990 11,1 % betrug. Aufgrund statistischer Ungenauigkeiten und verschiedener Umrechnungsfaktoren, die in den Endwert einfließen, bewegen sich die Ergebnisse um 210 g/km, weichen aber nur geringfügig voneinander ab (0,3 % entsprechend 0,7 g/km).

Somit wird im weiteren Verlauf der Studie als Basis für die durchschnittliche Kohlendioxidemission aller neuzugelassenen Pkw des Jahres 1990 der Wert 210 Gramm pro Kilometer angesetzt. Es ist anzumerken, dass sich das Bezugsjahr 1990 noch auf dem Höhepunkt des Verbrauchsanstiegs befindet, der durch die Einführung des Katalysators hervorgerufen wur-

de. Bereits 1986 erreichten die deutschen Hersteller einen Durchschnittsverbrauch von 8,2 l/100 km (umgerechnet auf NEFZ).

Für die Jahre 1998 bis 2000 stehen Angaben des KBA zur Verfügung. Vergleichsrechnungen mit der oben beschriebenen Methode ergaben lediglich geringfügige Abweichungen. Im Jahr 2000 betrug die durchschnittliche Flottenemission 182,3 g/km, reduzierte sich also um 13,2 % gegenüber dem Ausgangswert von 1990. Somit wären für eine Halbierung der Durchschnittsflottenemission noch weitere 77,3 Gramm einzusparen.

**Abbildung 8: Flottendurchschnittsemissionen**



Quellen: KBA, VDA, VDIK, eigene Berechnungen

## 2.2 Selbstverpflichtungen der Automobilindustrie

### 2.2.1 Deutsche Selbstverpflichtung

Im Jahr 1995 gaben die deutschen Automobilhersteller gegenüber der Bundesregierung eine freiwillige Zusage zur Kraftstoffverbrauchsminderung ab.<sup>12</sup> Die eigene Forschung und Entwicklung solle gebündelt und gestärkt werden und die erreichbaren Minderungspotenziale ausgeschöpft werden. Die deutsche Automobilindustrie sagte zu, den durchschnittlichen Normverbrauch der von ihnen neu in den Verkehr gebrachten Pkw bis zum Jahr 2005 um 25 % gegenüber dem Stand von 1990 zu senken. Im Jahr 2000 waren bereits 17,3 % realisiert.

Im Gegensatz zur Selbstverpflichtung der europäischen Automobilindustrie stellt die deutsche Zusage keine rechtlich bindende Vereinbarung dar. Überwachungsmechanismen wurden nicht institutionalisiert, Sanktionsmaßnahmen sind nicht vorgesehen. Darüber hinaus existieren keine offiziellen Dokumente, die von Seiten der Bundesregierung unterzeichnet wurden, sondern einseitig eine Pressemitteilung des VDA.

<sup>12</sup> VDA Pressemitteilung vom 23.03.1995

## 2.2.2 EU - Strategie zu CO<sub>2</sub>-Emissionen von Personenkraftwagen

Im Rahmen der Strategie der Europäischen Union,<sup>13</sup> bis spätestens 2010 bei allen in der EU verkauften Neuwagen einen durchschnittlichen Emissionswert von 120 g CO<sub>2</sub>/km zu erreichen, werden drei Instrumente eingesetzt:

Eine Vereinbarung mit den Automobilherstellern zur Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von Personenneuwagen,

Marktorientierte Maßnahmen, mit denen die Kaufentscheidung der Kunden zugunsten kraftstoffsparender Autos beeinflusst wird,

Verbesserung der Verbraucherinformationen über kraftstoffsparende Autos.

Die Vereinbarung mit den europäischen Automobilherstellern<sup>14</sup> beinhaltet vor allem die Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen auf 140 g/km bis zum Jahr 2008, bezogen auf Fahrzeuge der Klasse M1 und Emissionsmessung nach NEFZ. Das Ziel soll vor allem durch die Einführung neuer Technologien erreicht werden und nicht durch Marktveränderungen, die unabhängig von technischen Veränderungen stattfinden. Im Jahr 2003 erfolgt eine Bewertung von zusätzlichen Effizienzverbesserungen durch den Verband der europäischen Automobilhersteller (Association des Constructeurs Européens d' Automobiles ACEA) im Hinblick auf eine weitere Annäherung an das Ziel von 120 g/km CO<sub>2</sub> bis 2012. Ferner wird für das Jahr 2003 ein Zwischenziel in der Größenordnung von 165 bis 170 g/km CO<sub>2</sub> angestrebt.

Die Selbstverpflichtung beinhaltet darüber hinaus, dass keine zusätzlichen steuerlichen Maßnahmen notwendig sind, um den ACEA bei der Erreichung seiner Ziele zu unterstützen. Ein Rechtsetzungsvorschlag wird von der EU-Kommission jedoch für den Fall beabsichtigt, dass das Ziel 2008 nicht erreicht wird oder keine hinreichende Fortschritte, insbesondere gemessen am Zielbereich 2003, erzielt werden.

Die Kfz-Herstellerverbände Japans und Südkoreas schlossen sich der Zusage der europäischen Automobilindustrie bezüglich des Zielwertes von 140 g/km an, sind aber mit der EU übereingekommen, diesen erst ein Jahr später erreichen zu müssen.

Als von entscheidender Bedeutung für die Bewertung der Effizienz der EU-Strategie wird das System zur Überwachung der CO<sub>2</sub>-Emissionen angesehen. Die Gesetzesgrundlage für das CO<sub>2</sub>-Monitoringsystem bildet die Entscheidung Nr.1753/2000/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22.06.2000. Hierin sind die Mitgliedsstaaten verpflichtet, für alle neuzugelassenen Pkw die spezifische CO<sub>2</sub>-Emission, Kraftstofftyp, Masse, Nennleistung, Hubraum und den Hersteller zu erfassen. Die Daten sind für jedes Merkmal nach vorgegebenen Kategorien zu übermitteln.

Den Jahresberichten zum offiziellen CO<sub>2</sub>-Überwachungssystem ist zu entnehmen, dass die Kohlendioxidemissionen der in Europa neu zugelassenen Pkw aus europäischer Herstellung von 1995 bis 2000 um 8,6 % auf 169 g/km gesunken sind, wie in Abbildung 9 dargestellt. Damit hat der Verband das angestrebte Zwischenziel für 2003 bereits vorzeitig erreicht.<sup>15</sup> Sehr unterschiedlich war die Verringerung der Emissionen von benzinbetriebenen Pkw mit 5,9 % gegenüber den Dieselmotoren mit 10,8 %. Die durchschnittliche Motorleistung stieg im Betrachtungszeitraum um knapp 8 % auf 72 KW, das Gewicht um gut 14 % auf 1188 kg.

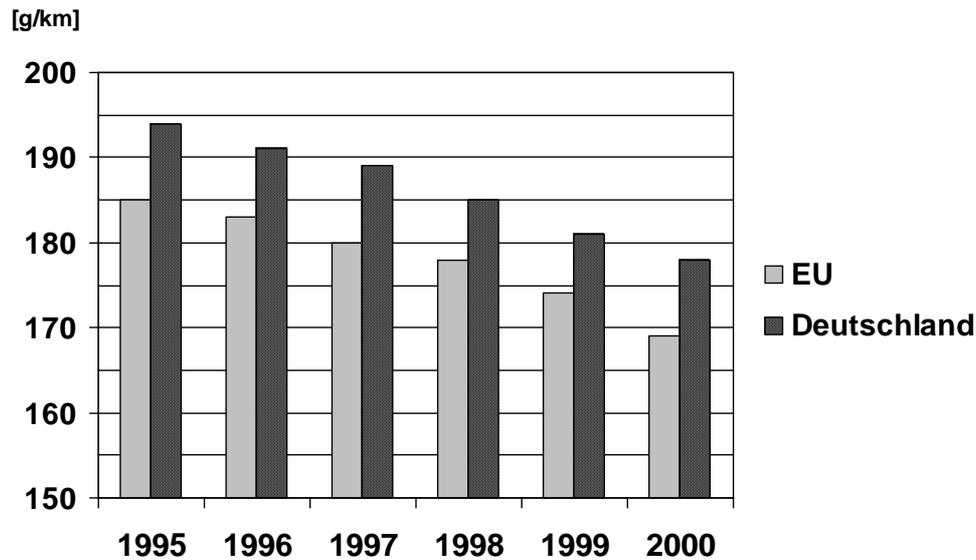
Pkw aus europäischer Herstellung, die in Deutschland erstmals zugelassen wurden, verzeichneten einen Rückgang der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 8,2 % zwischen 1995 und 2000 und liegen nun bei 178 g/km. Damit ist die Differenz zum EU-Durchschnitt etwas größer geworden, obwohl der Gewichtsanstieg der in Deutschland neuzugelassenen Autos (9,3 %) nicht so groß war wie in ganz Europa. Allerdings ist der Zuwachs an Motorleistung mit über 17 % deutlich höher.

<sup>13</sup> Europäische Kommission 1995

<sup>14</sup> Europäische Kommission 1998

<sup>15</sup> Es bleibt an dieser Stelle ungeklärt, ob die Reduktion im Sinne der Verpflichtung tatsächlich vorrangig durch technische Maßnahmen erreicht worden ist.

**Abbildung 9: Flottenemission der ACEA Mitglieder**



Quelle: Europäische Kommission [KOM(2001) 643]

Gegenüber der Selbstverpflichtung der Automobilindustrie sind die beiden anderen Instrumente der EU - Strategie von geringerer Bedeutung. Hinsichtlich der Maßnahmen, mit denen die Kaufentscheidung der Kunden zugunsten kraftstoffsparender Autos beeinflusst werden soll, wurde im April 2000 eine Expertengruppe eingerichtet. Ihre Aufgabe ist die Unterstützung der Europäischen Kommission bei der Entwicklung von steuerlichen Rahmenmaßnahmen zur Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Es wird dabei nicht angestrebt, Legislativmaßnahmen zu entwerfen, sondern lediglich mögliche Leitlinien für die Besteuerung von Kraftfahrzeugen aufzuzeigen.

Zur Verbesserung der Verbraucherinformation über den Kraftstoffverbrauch von Pkw im Rahmen des Marketings hat die EU die Richtlinie 1999/94/EG erlassen. Sie enthält ein Verbraucherinformationssystem, das die Angabe des Kraftstoffverbrauchs in Werbeschriften und am Verkaufsort regelt. Darüber hinaus haben die Mitgliedstaaten einen kostenlosen Leitfaden über den Kraftstoffverbrauch und die CO<sub>2</sub>-Emissionen zu erstellen, indem alle zum Verkauf angebotenen Fahrzeugmodelle mit ihren Verbrauchswerten nach Fabrikmarken aufgelistet sind. Der Leitfaden enthält ferner eine Liste der zehn Versionen von Neuwagen mit den niedrigsten Kohlendioxidemissionen je nach Kraftstoffart. Der Leitfaden soll den Verbrauchern in den Verkaufsstellen der Händler zukünftig kostenlos zur Verfügung stehen.

### 3 Technologisches Potenzial zur Reduktion des Kraftstoffverbrauchs

Eine Vielzahl unterschiedlicher Entwicklungsansätze lassen in Zukunft eine Verbrauchs- bzw. Emissionsreduktion erwarten. Der Schwerpunkt der folgenden Beschreibung liegt bei den Technologien, die aufgrund der derzeitigen Forschungsaktivitäten Chancen haben, innerhalb der nächsten zehn Jahre verwirklicht zu werden. Es ist nicht das Ziel, diese Ansätze vollständig und in möglichst hoher Detaillierung widerzugeben.

Kapitel 3.2 beschreibt die Trenderstellung zur Umsetzung der Potenziale, die einerseits das Ergebnis aus 3.1 darstellt und andererseits, neben der Marktstruktur der Neuzulassungen, als wichtige Grundlage zur Szenarienentwicklung in Kapitel 6 dient.

#### 3.1 Aktueller Forschungs- und Entwicklungsstand

##### 3.1.1 Benzin- und Dieselmotorentechnik

Zentraler Ansatzpunkt zur Verbrauchsreduktion bei Kraftfahrzeugen ist auch heute noch die Motorentechnik. Obwohl der 4-Takt-Verbrennungsmotor seit Jahrzehnten erforscht wird und einen sehr hohen Reifegrad erreicht hat, eröffnen sich im Detail nach wie vor Potenziale zur weiteren Reduktion des Kraftstoffverbrauchs. Neben den Automobilherstellern befassen sich zahlreiche eigenständige Forschungseinrichtungen und Hochschul-Institute mit der Optimierung des Verbrennungsmotors. Die Vielzahl ihrer Veröffentlichungen und Veranstaltungen lassen auf enorme Investitionen in diesem Forschungsbereich schließen.

##### Benzinmotor

Die Entwicklung von sparsameren Benzinmotoren konzentriert sich derzeit auf die Motorsteuerung. Das bisher angewandte System, bei dem die Zylinderfüllung (und damit die produzierte Leistung) mittels Drosselklappe gesteuert wurde, soll durch andere Technologien ersetzt werden, bei denen vor allem die so genannten Drosselverluste umgangen werden können.

Hierzu zählt vor allem die **Benzin-Direkteinspritzung**, bei der der Kraftstoff entgegen der herkömmlichen Saugrohreinspritzung direkt in den Brennraum eingespritzt wird. Dieses Verfahren erlaubt zwei völlig unterschiedliche Betriebsarten (Schicht- und Homogenbetrieb), die dazu führen, dass eine Verbrauchsreduktion gegenüber den bisherigen Benzinmotoren vor allem bei niedrigen und mittleren Drehzahlen erzielt werden kann. Daher fällt der optimalen Abstimmung des Motors und des Getriebes auf den Normzyklus eine noch wichtigere Rolle als ohnehin schon zu. Gleichzeitig wird auch der persönliche Fahrstil ausschlaggebender für den in der Praxis realisierten Verbrauchswert. Unter Umständen ergeben sich wieder größere Differenzen zwischen Norm- und Praxisverbrauch.

Die in der Literatur genannten Einsparpotenziale durch die Direkteinspritzung variieren recht stark. Sie liegen durchschnittlich zwischen 12 % und 20 %, <sup>16</sup> mit zum Teil hohen Abweichungen. Die bereits erhältlichen Modelle mit Benzin-Direkteinspritzmotoren konnten den bisherigen Erwartungen bezüglich Verminderung des Kraftstoffkonsums nur bedingt gerecht werden. Gründe hierfür liegen in der Problematik der erforderlichen Abgasnachbehandlung mittels NO<sub>x</sub>-Speicherkatalysatoren im Zusammenhang mit dem noch nicht schwefelfrei verfügbaren Benzin. Durch Weiterentwicklung der Brennverfahren und Einspritzsysteme sowie durch die Verfügbarkeit schwefelfreien Benzins können die Potenziale der Direkteinspritzung in Zukunft verstärkt ausgeschöpft werden.

<sup>16</sup> Salber, Kemper, van der Staay, Esch 2001: Antriebskonzepte; Leonhard 2001; Ellinger, Kapus, Schweinzer, Prenninger 2000

Verschiedene Hersteller stellen für neue Modelle, die in Kürze erhältlich sein werden, wesentliche Verbrauchsreduktionen in Aussicht. Volkswagen nennt ca. 10 % im „Golf FSI“, der Peugeot „406 HPi“ soll ebenfalls etwa 10 % weniger als ein vergleichbares konventionelles Modell verbrauchen und Mercedes erreicht im „C 200 CGI“ je nach Vergleichsmodell sogar einen mehr als 15 % geringeren Kraftstoffkonsum. Es handelt sich hierbei zum Teil noch um einzelne Modellvarianten, die parallel zu den konventionellen Motorvarianten in die Angebotspalette aufgenommen werden. Die genannten Reduktionspotenziale beinhalten neben der Direkteinspritzung auch andere Optimierungsmaßnahmen wie z.B. reduzierte Reibung.

Durch die **variable Ventilsteuerung** kann der Motor ebenfalls „entdrosselt“ werden. Elektromechanisch, -hydraulisch oder -magnetisch können Einlass- und Auslassventile unabhängig und bedarfsgerecht gesteuert werden, sowohl bezüglich des Ventilhubs als auch des Öffnungszeitpunkts. Somit wird die bestmögliche Abstimmung des Motorbetriebs für jeden Zeitpunkt möglich. Die bisherige Abgasreinigungstechnik kann beibehalten werden. Nachteilig ist die enorme Komplexität des Systems sowie der hohe elektrische Leistungsbedarf.

Die FEV Motorenteknik GmbH, Aachen, hat an einem Mittelklasse-Testfahrzeug Verbrauchsabsenkungen von 8 bis 9 % ermittelt,<sup>17</sup> zuzüglich weiterer 1 bis 2 % durch sekundäre Maßnahmen. Die sich bei der variablen Ventilsteuerung anbietende Zylinderabschaltung führe zu weiteren 6 % Verbrauchsreduzierung im europäischen Zyklus.

Von BMW wurden im Jahr 2001 die ersten Modelle mit dieser Technik vorgestellt, die zwar einen deutlich niedrigeren Normverbrauch aufweisen, bei Praxistests der Automobilpresse den Erwartungen aber noch nicht gerecht werden konnten. Da der Verbrauchsvorteil der variablen Ventilsteuerung vor allem im Leerlauf- und Teillastbereich liegt, kommt dem individuellen Fahrstil wieder eine höhere Bedeutung zu.

Weil mit der Benzin-Direkteinspritzung ebenfalls eine Entdrosselung einhergeht, führt der gleichzeitige Einsatz beider Techniken nur zu einer geringen zusätzlichen Reduktion. Trotzdem bietet sich die Kombination aus technischer Sicht an und es sind auch Untersuchungen hierzu im Gange.

### Dieselmotor

Die heute aktuellen Dieseldirekteinspritzer zeichnen sich durch eine hohe Zugkraft schon bei niedrigen Drehzahlen aus. Das Image des „phlegmatischen Diesels“ gehört der Vergangenheit an, denn die Modelle von heute sind durch ein hohes Maß an Dynamik bei gleichzeitig minimalem Verbrauch charakterisiert. Gegenüber entsprechenden Benzinmodellen mit ähnlichen oder sogar schlechteren Fahrleistungen liegt der Verbrauchsvorteil der Dieselvarianten bei Kleinwagen um 20 % [Liter je 100 km] und kann in der Mittelklasse auch 30 % und mehr betragen.

Forschung und Entwicklung konzentrieren sich derzeit stark auf die Verbesserung des Geräuschverhaltens und vor allem auf die Reduktion der Emissionen. Je nach Fahrzeuggewicht werden so genannte innermotorische Maßnahmen ergriffen oder für schwerere Autos Partikelfilter und eine NO<sub>x</sub>-Nachbehandlung zur Serienreife entwickelt um die künftigen Grenzwerte einhalten zu können.

Wie die Literaturrecherche zeigte, sind in naher Zukunft keine wesentlichen Verbrauchsreduktionen mehr zu erwarten. Das vorhandene Potenzial liegt in der weiteren Reibungsminimierung und der optimierten Abgasrückführung, was Einsparungen von jeweils rund 2 % verspricht.<sup>18</sup> Weiterentwickelte Einspritzsysteme ermöglichen zusätzliche Reduktionen. Die Tatsache, dass seit der Markteinführung des Dieseldirekteinspritzers die spezifische Leistung der Motoren wesentlich erhöht werden konnte - ohne negative Auswirkungen auf den Kraftstoffverbrauch - deutet allerdings auf noch weiteres Potenzial hin. So stieg die Leistung

---

<sup>17</sup> Salber, Kemper, van der Staay, Esch 2001: Antriebskonzepte

<sup>18</sup> Herzog, Cichocki, Marquard, Sauerwein 2001

vom ersten Direkteinspritzerdiesel von VW (1993) von 34,8 KW je Liter Hubraum auf 58 KW/l (2000) an.<sup>19</sup> In der nächsten Entwicklungsstufe sind spezifische Leistungen von bis zu 65 KW/l geplant bei einem Verbrauch von unter 5 l/100km.

Grundsätzlich liegt das Potenzial des Dieselmotors bei der Vervollständigung des Angebots, d.h. in der Entwicklung von Motoren für kleinere Pkw-Typen, bei denen bislang deutlich weniger Diesel- als Benzinmotoren zur Verfügung stehen. In den darüberliegenden Fahrzeugsegmenten ist das Angebot an Dieselmotoren bereits sehr umfangreich.

#### Variable Verdichtung und Downsizing

Die Variable Verdichtung ist ein weiterer wichtiger Forschungsgegenstand. Sie wird durch entsprechende Lagerung der Kurbelwelle ermöglicht und bietet ideale Voraussetzungen für das sogenannte Downsizing. Diese im Hubraum reduzierten, aufgeladenen Motoren werden in den effizienteren Bereichen mit hoher Drehzahl betrieben. Ihre Schwächen im Anfahrbereich kann die variable Verdichtung auffangen. Verbrauchseinsparungen durch Downsizing werden mit bis zu 20 % benannt,<sup>20</sup> allerdings oft in Verbindung mit anderen Maßnahmen. Schwachpunkt dieses Konzepts ist die Akzeptanz beim Käufer, da der akustische Komfort von mehrzylindrigen, großvolumigen Motoren verloren geht.

#### Automatische Motorabschaltung

Schon einige Versuche sind gescheitert, die automatische Motorabschaltung am Markt zu etablieren. Technisch weitgehend beherrschbar, wurde das System aber wegen der erforderlichen automatischen Kupplung bzw. des automatisierten Getriebes sowie aus Verschleiß- und Komfortgründen beim Kunden bisher nicht akzeptiert. Das Einsparpotenzial wird recht unterschiedlich mit 5 bis 15 % angegeben. Beim 3-Liter-Lupo von VW bewirkt diese Maßnahme den Sprung unter die 3-Liter Grenze: Von 3,11 auf 2,99 l/100km, das entspricht einer Reduktion um 3,9 %.

Mit der Einführung des Starter-Generators (siehe Kapitel 3.1.2) wird die Realisierung der automatischen Motorabschaltung allerdings wesentlich vereinfacht und erscheint schon fast obligatorisch.

#### Hybridfahrzeuge

Hybride Antriebskonzepte in Pkw sind in der Vergangenheit immer wieder als Prototypen und Versuchsträger von der Automobilindustrie präsentiert worden. Dabei stand fast ausschließlich die Verbindung von Verbrennungs- und Elektromotor im Mittelpunkt, wodurch die Kombination von hoher Reichweite und schnellem Nachtanken mit der Rückgewinnung der Bremsenergie und dem entkoppelten Betrieb des Verbrennungsmotors (Vermeidung des wirkungsgradungünstigen Teillastbereichs) ermöglicht wird. Insbesondere die japanischen Hersteller Toyota und Honda haben bereits erste Modelle mit Hybridantrieb eingeführt.

Unübersehbar wurde die Forschung und Entwicklung an Hybridfahrzeugen in jüngster Zeit wesentlich intensiviert. Entscheidende Entwicklungsfortschritte in der Elektronik und Steuerungstechnik sowie die Möglichkeit der Übergangslösung zum Brennstoffzellenfahrzeug (Erkenntnisgewinn bei Elektromotoren und Antriebsmanagement) tragen dazu bei. Die abgestimmte Dimensionierung aller Komponenten, um die erreichten Kraftstoffverbrauchsvorteile nicht wieder durch Mehrgewicht zu substituieren, sowie die komplexe Steuerung des Gesamtsystems sind die wesentlichen Herausforderungen, damit die Vorteile beider Antriebstechniken ohne die jeweiligen Nachteile genutzt werden können.

---

<sup>19</sup> Schmidt, Stehr 2001

<sup>20</sup> Ellinger, Kapus, Schweinzer, Prenninger 2000

Aussagen zur Verbrauchsreduktion im Vergleich zu konventionellen Pkws sind problematisch, weil in Versuchen statt dem herkömmlichen Verbrennungsmotor meist ein optimierter Benzindirekteinspritzer oder ein anderes neues Konzept zum Einsatz kommt. DaimlerChrysler hat in Versuchsfahrzeugen den bisherigen Motor beibehalten und um einen elektrischen Antrieb ergänzt.<sup>21</sup> Dadurch konnte der Verbrauch beim Mercedes „A 170 CDI“ um einen Liter Diesel gesenkt werden, was ausgehend von einem Normverbrauch von 4,9 l/100 km über 20 % entspricht. Beim „Smart cdi“ wurde der Dieselkonsum von 3,48 auf 2,78 l/100 km reduziert, was ebenfalls über 20 % entspricht. Zudem haben sich bei beiden Fahrzeugen durch den zusätzlichen Elektromotor die Fahrleistungen deutlich verbessert.

### 3.1.2 Antriebsstrang und Nebenaggregate

Bei einer immer effizienteren Motorentechnik erlangen der Energieverbrauch der Nebenaggregate und die Verluste in der Kraftübertragung eine zunehmende Bedeutung. Der steigende Energiebedarf durch viele elektrische Hilfsmotoren und Klimaanlage kommt hinzu. Im Bereich der Getriebetechnik gilt es, Schaltzeitpunkte und -vorgänge zu optimieren sowie den Mehrverbrauch der Automatikgetriebe zu eliminieren.

Die Weiterentwicklung herkömmlicher Schalt- und Automatikgetriebe beschäftigt sich mit zusätzlichen Gängen bzw. Fahrstufen und der Reduktion der Reibung. Bei den manuellen Schaltgetrieben ist ein Trend zum 6-Ganggetriebe feststellbar bei geringfügigem Verbrauchsvorteil im NEFZ-Zyklus.

Die Firma ZF Friedrichshafen gibt für ihr 6-Gang Automatikgetriebe Verbrauchsvorteile von 5 bis 6 % gegenüber einer 5-Gang-Automatik bei einem stark motorisierten Pkw der oberen Mittelklasse an.<sup>22</sup>

#### Automatisiertes Schaltgetriebe

Insbesondere durch Fortschritte in der Elektronik und Steuerungstechnik ist das automatisierte Schaltgetriebe zu einem vielversprechenden Forschungsthema geworden. Im Kern bleibt das gewohnte manuelle Schaltgetriebe erhalten, Kupplungs- und Schaltvorgang erfolgen jedoch hydraulisch oder elektromotorisch. Prinzipiell könnte das neuartige Getriebekonzept den Bedienkomfort einer konventionellen Automatik bieten und ihn mit dem niedrigeren Verbrauch des Schaltgetriebes verbinden. Im Optimum ist sogar eine Verbrauchseinsparung gegenüber einem manuellen Schaltgetriebe denkbar, weil der Schaltvorgang und der Schaltzeitpunkt effizienter gesteuert werden können, als ein Mensch es kann. So kann auf jeden Fall der Mehrverbrauch des herkömmlichen Automatikgetriebes als Einsparpotenzial angesehen werden, lediglich den Komfortansprüchen von höher positionierten Autos kann das automatisierte Getriebe bezüglich des Schaltvorgangs noch nicht gerecht werden. In den unteren Fahrzeugsegmenten bietet es jedoch wesentliche Verbesserungen in Bezug auf Fahrkomfort und Verbrauchswerte.

Beim Kleinwagen Opel Corsa liegt der Normverbrauch der automatisierten Variante um 1 bis 3 % unterhalb der Variante mit manuellem Schaltgetriebe. Mercedes-Benz weist für sein Mittelklassemodell ebenfalls geringfügig günstigere Normverbrauchswerte für die Version mit automatisiertem Schaltgetriebe aus. Auf Basis von Versuchen und Simulationsrechnungen sind aber auch schon Verbrauchsreduktionen von rund 10 % gegenüber dem herkömmlichen Schaltgetriebe erreicht worden,<sup>23</sup> verbunden jedoch mit dem Hinweis, dass der Nachweis in der Praxis noch aussteht.

---

<sup>21</sup> Noreikat 2002

<sup>22</sup> Wagner 2001

<sup>23</sup> Hofmann, Petersen, Adamis, Brunner 1998; Baur, Kraxner 1998

## Stufenloses Automatikgetriebe

Diese bereits vor Jahrzehnten im Serieneinsatz erfolglos eingesetzte Getriebetechnologie ermöglicht es, die Drehzahl des Motors durch die vollvariable Übersetzung über einen sehr langen Zeitraum in optimalen Bereichen zu halten und kann den Fahrbetrieb dadurch effizienter gestalten. Vermutlich aufgrund des ungewohnten Fahr- und Geräuschverhaltens blieb das so genannte CVT (Continuously Variable Transmission) bis vor kurzem eine Randerscheinung vor allem bei Kleinwagen. Neuerdings ist das CVT-Getriebe aber wieder stärker in den Vordergrund der Entwicklungs- und Forschungsaktivitäten getreten, gerade aufgrund des zunehmenden Drucks, weitere Kraftstoffeinsparpotenziale zu erschließen. Einzelne Hersteller bieten derartige Getriebe mittlerweile bis hin zu stark motorisierten Pkw der oberen Mittelklasse an. Neue, elektronisch gesteuerte Betriebsstrategien ermöglichen ein Geräusch- und Beschleunigungsverhalten, das eine höhere Akzeptanz als bei früheren Ansätzen erwarten lässt.

Audi gibt für seine Modelle mit stufenlosem Automatikgetriebe fast die gleichen Verbrauchswerte an wie für die Ausführungen mit Schaltgetriebe, teilweise sogar noch geringfügig niedrigere. In Versuchen und Simulationen konnten gegenüber dem Schaltgetriebe schon Einsparungen von maximal rund 10 % dargestellt werden.<sup>24</sup>

## Starter-Generator

Einen wesentlichen Fortschritt in der Motorperipherie stellt der Starter-Generator dar. Dabei handelt es sich prinzipiell um eine elektrische Maschine, die Anlasser und Generator in einer Baueinheit zusammenfasst. Zunächst soll das neue Aggregat einen wesentlichen Beitrag zur Emissionsreduzierung beim Kaltstart, besonders bei den Kohlenwasserstoffen und beim Kohlenmonoxid leisten sowie den gestiegenen Bedarf an elektrischer Leistung heutiger Automobile decken.

Der Starter-Generator ermöglicht die Bereitstellung der elektrischen Leistung bei hohen Wirkungsgraden und einen sehr effizienten Betrieb der Nebenaggregate. In Verbindung mit der Umstellung des Bordnetzes auf 42 Volt entwerfen Forscher und Entwickler neue Funktionen und äußern sich gleichzeitig euphorisch zu den Einsparpotenzialen.<sup>25</sup>

Bereits bei der einfachsten Anwendung werden bis zu fünf Prozent Verbrauchersparnis genannt, bei Realisierung der sich technisch anbietenden automatischen Motorabschaltung bis über 10 %.<sup>26</sup> Die konsequente Weiterentwicklung aller Anwendungsmöglichkeiten wie dem elektrischen Betrieb von Ventilsteuerung oder Klimaanlage oder der Bremsenergierückgewinnung bis hin zur Booster-Funktion (Starter Generator als Beschleunigungshilfe) soll Vorteile im Kraftstoffkonsum bis schätzungsweise 20 % erbringen.<sup>27</sup> Je nach Auslegung des Starter Generators kann er stark genug sein, um rein elektrisches Fahren, z.B. zum genauen Einparken, zu ermöglichen und stellt im Zusammenhang mit der Booster-Funktion im Prinzip ein Hybridfahrzeug dar. Es wird in diesem Zusammenhang von einer zunehmenden Hybridisierung und je nach Leistung des E-Motors von „mild Hybrids“ gesprochen.

## Brennstoffzelle zum Antrieb von Nebenaggregaten

Um den Verbrennungsmotor allein auf den eigentlichen Vortrieb des Pkws zu optimieren und nicht mit der Produktion elektrischer Energie zu belasten, laufen derzeit Forschungsarbeiten, die die Brennstoffzelle als Energiequelle für alle anderen Funktionen untersuchen. Die Brennstoffzelle würde mittels Reformertechnik mit dem mitgeführten Benzin oder Diesel betrieben werden und umgeht somit das Problem der Wasserstoffspeicherung. Der strombe-

---

<sup>24</sup> Franck 1999

<sup>25</sup> Heil 2001

<sup>26</sup> Sattler, Paulus-Neues 2001

<sup>27</sup> Bolzenius 2001; Heil 2001

dingte Benzinverbrauch könnte dadurch von durchschnittlich 1,5 l/100km auf 0,7 l/100km gesenkt werden.<sup>28</sup>

### Thermomanagement

Das Kühlsystem des Verbrennungsmotors ist eine der wenigen Funktionen im Pkw, die noch nicht elektronisch geregelt werden. Ein optimierter Wärmehaushalt von Motor und Getriebe durch elektronisch geregelte Wasserpumpe, Ventile und Ventilator könnte jedoch zweifellos zur Verbrauchsreduzierung beitragen. Mit verschiedenen Prototypen wurden zwischen einem und 5 Prozent<sup>29</sup> Einsparung nachgewiesen. Laut Vertreter der Firma Bosch werden schon 2004 erste Serienautos mit elektronischem Thermomanagement auf den Markt kommen.

### **3.1.3 Gesamtfahrzeug**

Neben der Antriebstechnologie mit ihren vielen Komponenten ist auch die Optimierung der Fahrwiderstände des Gesamtfahrzeugs ein Ansatz zur Verbrauchsreduktion. Hierzu gehören die Senkung der Roll- und Luftwiderstände sowie des Gewichts.

### Gewichtsreduktion

Das Thema Leichtbau und Gewichtsreduktion wird anhaltend und intensiv diskutiert. Bei Oberklassefahrzeugen ist in den vergangenen Jahren zum Teil eine Gewichtsreduktion umgesetzt worden, doch in den anderen Segmenten ist eine stetige Gewichtszunahme festzustellen. Laut Hersteller werden die bereits umgesetzten Potenziale bislang von zusätzlicher Sicherheitstechnik, Abgasreinigungsanlagen und Komforteinrichtungen überkompensiert. Eine deutliche Gewichtsverringerung wäre auch aufgrund der sekundären Auswirkungen sehr wichtig. Der verringerte Rollwiderstand und der reduzierte Energiebedarf zum Beschleunigen und Bergauffahren würde den Antrieb durch einen leistungsschwächeren Motor ermöglichen.

Forschung findet derzeit sowohl zum Einsatz leichterer Werkstoffe in der bisherigen Bauweise statt als auch zu völlig anderen Bauweisen. Neuartige und leichte Werkstoffe erweisen sich allerdings zum Teil als ökologisch und preislich problematisch. Ferner kann die Beibehaltung der gewohnten Fahrzeugeigenschaften nicht immer gewährleistet werden. Nach Erfahrungen von VW bei der Entwicklung des 3 Liter Lupo tritt in Folge einer zehnpromtigen Gewichtsreduktion eine Verbrauchseinsparung von 8 % ein.<sup>30</sup> Mercedes-Benz nennt für die gleiche Gewichtsreduktion nur gut 3 % Verbrauchsreduktion.<sup>31</sup> Andere Forschungsarbeiten gehen von Minderverbräuchen von rund 0,3 bis 0,4 l/100km und 100 kg Gewichtsreduktion aus.<sup>32</sup> Das Potenzial fällt bei schweren Fahrzeugen sowie bei modernen Dieseln geringer aus.

### Reduktion des Rollwiderstands

Rollwiderstandsoptimierte Reifen bieten ein geringes Potenzial zur Verbrauchseinsparung. Daher werden explizite Kraftstoffsparmodelle fast immer mit derartigen Reifen ausgerüstet. Insgesamt ist das Thema Kraftstoffverbrauch und Rollwiderstand jedoch eher in den Hintergrund getreten, da die Verbrauchersparnis der optimierten Reifen mit Nachteilen bei anderen Eigenschaften verbunden ist. So haben Größe und Beschaffenheit des Reifens auch direkten Einfluss auf das Fahrverhalten und den Bremsweg eines Autos. Hier weisen rollwiderstandsarme Reifen schlechtere Eigenschaften als Standardreifen auf.

---

<sup>28</sup> Verein deutscher Ingenieure (VDI) 2001: Nachrichten, Nr. 28

<sup>29</sup> Kallenbach 2001

<sup>30</sup> Josefowitz, Köhle 2002

<sup>31</sup> Heil 2001

<sup>32</sup> Eberle 1999

## Reduktion des Luftwiderstands

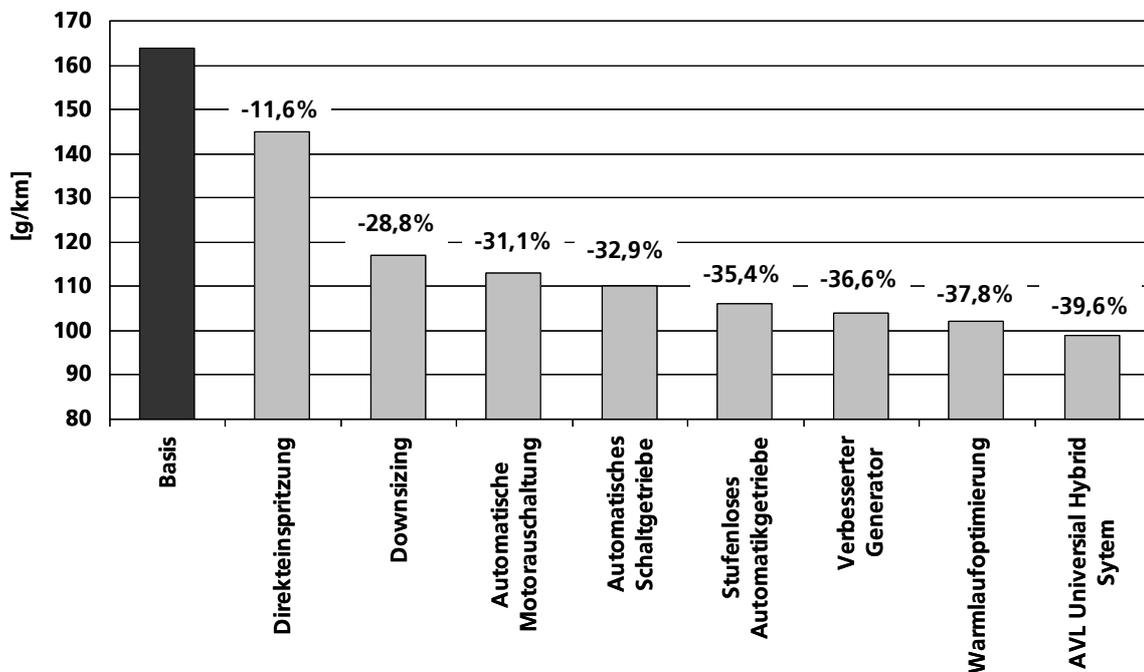
Potenziale im Bereich der Aerodynamik sind unter anderem in der Verbesserung der Kühlluftführung, in einem strömungsgünstigen Unterboden sowie in Detailoptimierungen der Karosserie und bei Außenspiegeln und Spoilern zu sehen. Allgemein wird das Potenzial für Verbrauchersparnisse als gering angesehen, dennoch wurden bei Kraftstoffsparsversionen intensive Anstrengungen unternommen, die Aerodynamik weiter zu verbessern. Künftige Auflagen zum Fußgängerschutz werden durch ihre Anforderungen an die Gestaltung der Fahrzeugfront zur weiteren Beschränkung des Potenzials führen.

### 3.1.4 Zusammenfassung der vorhandenen Potenziale

Bei der Abschätzung des gesamten Reduktionspotenzials darf nicht übersehen werden, dass die Einzelpotenziale nicht einfach aufaddiert werden können. Einige der technischen Maßnahmen verlieren in der Kombination ihre positiven Effekte. Der schlechte Wirkungsgrad des Verbrennungsmotors im Teillastbereich wird durch die Benzindirekteinspritzung zum Beispiel deutlich verbessert, wohingegen eine intelligente Getriebe- oder Hybridtechnik den Motor erst gar nicht in diesem Bereich betreibt, sondern möglichst nur in wirkungsgradgünstigeren hohen Lastbereichen. Zur Verdeutlichung sind nachfolgend einige Gesamtkonzepte dargestellt. Es handelt sich hierbei um ausgewählte Beispiele. Die Verbrauchseinsparung je Maßnahme hängt stark von der angewandten Reihenfolge des Maßnahmeneinsatzes ab und kann somit nicht als Einzelwert verwendet werden.

Die AVL List GmbH in Graz hat auf Basis gemessener Verbrauchs- und Emissionskennfelder Simulationen für ein Mittelklassefahrzeug durchgeführt, das in allen seiner Modifikationsstufen vorbestimmte Fahrbarkeits- und Komfortkriterien erfüllt. Das Fahrzeugkonzept wurde für eine Produktion um 2012 ausgelegt.

**Abbildung 10: Emissionsergebnisse für Benzinmodell der Firma AVL List**



Quelle: Ellinger, Kapus, Schweinzer, Prenninger

Die Simulation eines Dieselfahrzeugs ergab unter der Annahme eines Direkteinspritzers als Basisfahrzeug eine Reduktion um rund 30 % auf 91 g CO<sub>2</sub>/km. Technische Maßnahmen auf-

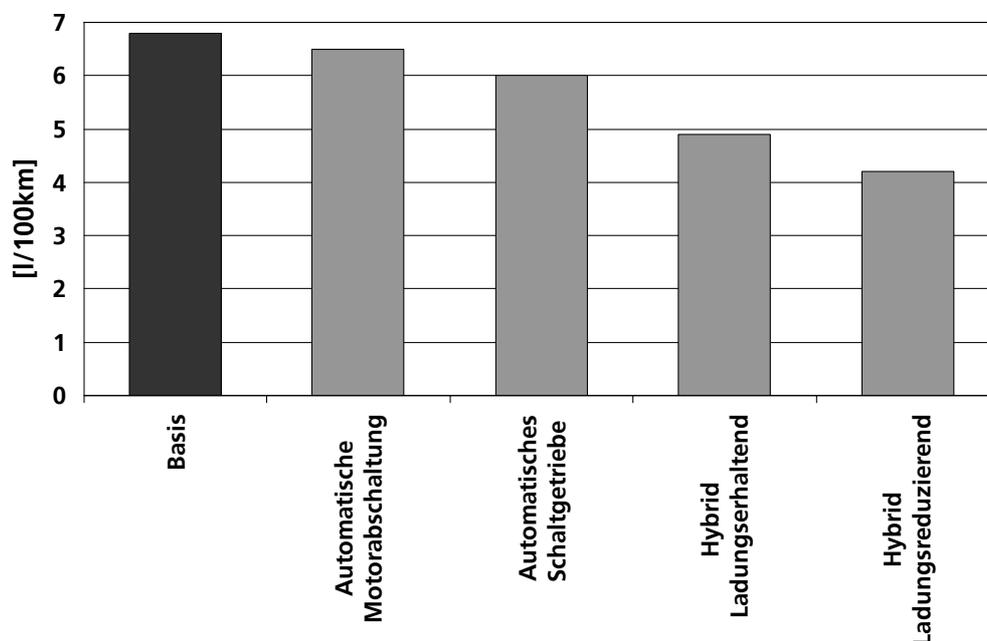
grund verschärfter Emissionsgrenzwerte (NO<sub>x</sub> und Partikel) sind dabei berücksichtigt. AVL List nahm Abschätzungen im Hinblick auf Jahresstückzahlen von 250.000 Antriebseinheiten vor und kam zu dem Ergebnis, dass die Benzinvariante bis zu einer Reduktion auf 113 g CO<sub>2</sub>/km ohne signifikante Zunahme der Produktionskosten zu realisieren ist, bei der Dieselvariante sei dies sogar für die Evolutionsstufe mit 91 g CO<sub>2</sub>/km möglich.

Entwürfe für Hybridfahrzeuge von VW lassen hohe Verbrauchseinsparungen erwarten.<sup>33</sup> Im Vergleich zur Automatikversion des Ausgangsfahrzeugs (Untere Mittelklasse) werden für die Benzinversion 49 % Einsparpotenzial genannt, für die Dieselvariante 45 %. Angewendet wurde ein automatisiertes Schaltgetriebe und ein Hybrid-Konzept mit verkleinerten Verbrennungsmotoren und einem 25 KW Elektromotor. Beim Benziner erfolgte zusätzlich die Umstellung auf einen Direkteinspritzer.

Der aus technischer Sicht korrekte Vergleich von VW mit den Automatikversionen des Ausgangsfahrzeugs sollte allerdings kritisch betrachtet werden. Zum Hybridkonzept gehört zwar zwingend ein automatisches Getriebe, die heutigen Neuwagenkäufer wählen in diesem Segment jedoch mehrheitlich ein manuelles Schaltgetriebe. Beim Vergleich zu diesen Versionen verbleibt eine Absenkung des Verbrauchs um 43 % (Benzin) bzw. 29 % (Diesel).

Von ASSET/Bosch wurden ebenfalls Simulationen anhand eines Referenzfahrzeugs (1100 kg, 1,2 l Hubraum) durchgeführt.<sup>34</sup> Dabei wird unter anderem aufgezeigt, dass der Ladungszustand der Batterie beim Hybridfahrzeug am Ende des Zyklusses eine wichtige Rolle spielt. So könnte eine weitere Ladungsreduktion zugunsten des ermittelten Durchschnittsverbrauchs stattfinden, was zwar der Norm nicht widersprechen würde, aber sehr realitätsfern wäre. Die simulierte Hybridversion weist gegenüber dem Ausgangsfahrzeug deutlich bessere Fahrleistungen auf.

**Abbildung 11: Beiträge zur Verbrauchsreduktion aus Simulation der Firma ASSET/Bosch**



Quelle: Kallenbach, Kind, Bickendorf, Jünemann

<sup>33</sup> Josefowitz, Köhle, 2002

<sup>34</sup> Kallenbach, Kind, Bickendorf, Jünemann 2002

### 3.1.5 Beispiele für besonders sparsame Fahrzeuge in Serienproduktion

Bereits heute bieten die Automobilhersteller spezielle Modelle an, die ganz besonders auf sparsamen Kraftstoffverbrauch ausgelegt sind. Teilweise handelt es sich um grundlegend veränderte Varianten, die nicht auf den gleichen Produktionsanlagen hergestellt werden wie das Ausgangsprodukt, teilweise auch um Fahrzeuge, die lediglich in Details optimiert wurden und in der Großserie mitproduziert werden. In der jeweiligen Modellpalette haben sie aber immer eine Sonderstellung und sind meist in den kleineren Fahrzeugsegmenten zu finden.

Um einen Eindruck zu geben, welche Technologien bei diesen Modellen zur Anwendung kommen, welchen Verbrauchsvorteil sie bieten und welchen erhöhten finanziellen Einsatz sie beim Käufer erfordern, sind hier einige wichtige Vertreter dieser Sparmodelle aufgeführt. Im Gesamtkontext der Studie liefern sie wichtige Anhaltspunkte zur Abschätzung der künftigen Entwicklung von Technik und Kosten.

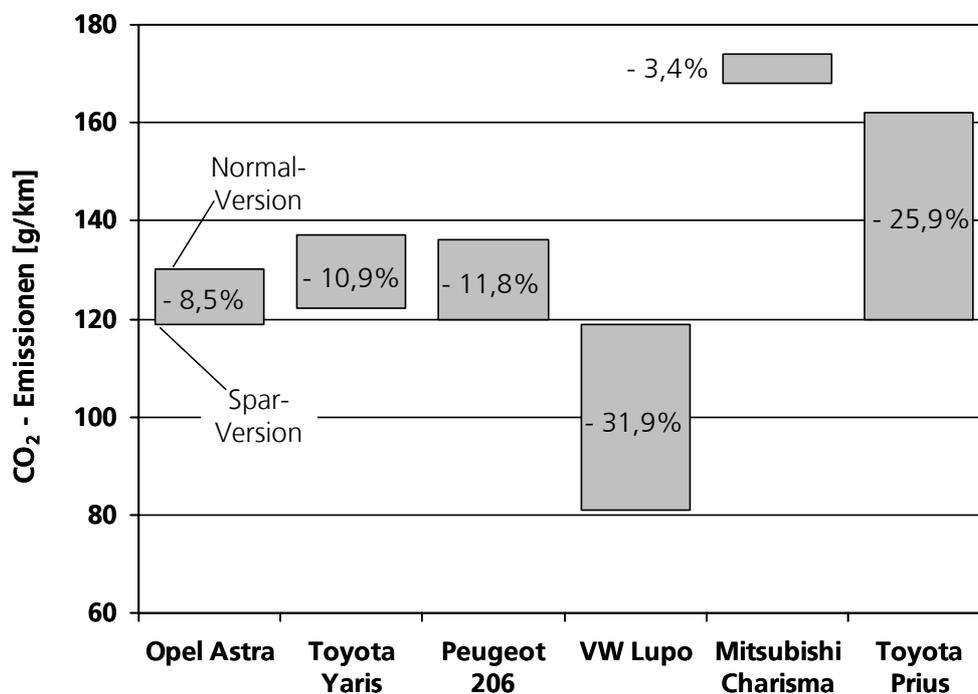
- In der Unteren Mittelklasse bietet Opel das Modell Astra sowohl als gewöhnlichen Diesel mit 55 KW Leistung an, wie auch eine als „Eco 4“ bezeichnete verbrauchsreduzierte Variante mit ebenfalls 55 KW. Für letztere wurden konventionelle Techniken zur Verbrauchsreduktion wie rollwiderstandsarme Reifen, ein länger übersetztes Getriebe sowie diverse Leichtbauteile und eine in Details optimierte Aerodynamik eingesetzt. Das Ergebnis ist eine um 8,5 % auf 119 g CO<sub>2</sub>/km verringerte Kohlendioxidemission. Opel bietet beide Versionen ausdrücklich zum gleichen Preis an. Auch der Kleinwagen Corsa ist in einer nach gleichem Muster optimierten Variante verfügbar, wobei hier zusätzlich ein automatisiertes Schaltgetriebe zum Einsatz kommt. Es handelt sich um ein Benzinmodell mit konventioneller Einspritztechnik, das bei gleicher Motorleistung nur 118 statt 132 g CO<sub>2</sub> pro Kilometer emittiert (- 10,6 %).
- Toyota hat eine Sparvariante des Kleinwagens Yaris im Programm, die wie bei Opel mittels herkömmlicher Technik verbrauchoptimiert wurde. Außerdem ist die Variante auch in ihrer Ausstattung reduziert, wodurch sie ein grundsätzliches Basismodell darstellt. Bei gleicher Motorisierung mit 48 KW ist die Variante „ECO“ um ca. 11 % auf 122 g CO<sub>2</sub>/km reduziert und rund 1000 Euro günstiger als das eigentliche Grundmodell.
- Ähnlich wie Toyota bietet Peugeot den Kleinwagen 206 auch in einer mit konventionellen Mitteln auf Sparsamkeit ausgelegten Variante an, die zugleich an eine einfachere Ausstattungsversion gekoppelt ist. Sie weist einen um etwa 1000 Euro niedrigeren Kaufpreis auf und erzielt mit dem gleichen leistungsstarken Dieselmotor (66 KW) einen 11,8 % niedrigeren CO<sub>2</sub>-Emissionswert (120 g CO<sub>2</sub>/km).
- Wesentlich mehr Aufwand betrieb Volkswagen beim sehr bekannten „Sparmobil“ dem „Lupo 1.2 3L TDI“ sowie beim größeren Audi „A2 1.2 TDI“. Beide verfügen weitgehend über die gleiche Technik und erfordern teilweise eine aufwändige Produktion außerhalb der Serienfertigung. Die Verbrauchersparnis kommt auch hier durch eine verbesserte Aerodynamik und widerstandsarme Reifen zustande. Die Leichtbaumaßnahmen wurden in Form einer Aluminiumkarosserie (Audi) intensiviert und die Antriebseinheit gegenüber den herkömmlichen Varianten grundlegend verändert. Ein speziell für die Kraftstoffsparmodelle verkleinerter und optimierter Dieselmotor neuester Bauart wurde mit einer Start-Stop-Automatik und einem automatisierten Schaltgetriebe kombiniert. Um alle Sparpotenziale zu nutzen, muss ein Sparmodus per Tastendruck am Armaturenbrett aktiviert werden, wodurch die Motorleistung von 45 auf 30 KW absinkt. Die Norm-CO<sub>2</sub>-Emissionen belaufen sich somit bei beiden Fahrzeugen auf 81 g/km und stellen eine Reduktion um rund 30 % gegenüber ähnlichen Varianten dar, die aber nur bedingte Vergleichsmöglichkeiten bieten, weil sie leistungsstärker und besser ausgestattet sind. Preislich liegen die sparsamen Versionen 450 bis 2150 Euro über den Vergleichsmodellen.
- Im Bereich der Mittelklasse hat Mitsubishi einen der ersten Benzin-Direkteinspritzer im Angebot. Der „Charisma 1,8 GDI“ ist allerdings in die Modellpalette vollständig integriert und stellt keine Sonderversion dar, sondern eine - wie allgemein üblich - nach Preis und Motorleistung abgestufte Variante. Gegenüber dem nächst schwächeren „Charisma 1,6“

bietet der Direkteinspritzer gut 18,4 % mehr Leistung bei 3,4 % reduziertem Kohlendioxid ausstoß.

- Das erste in Großserie produzierte Hybridauto bietet Toyota an. Der „Prius“ ist ein völlig eigenständiges Fahrzeug im Bereich Untere Mittelklasse/Mittelklasse und wird von einem Benzinmotor mit 53 KW Leistung sowie einem Elektromotor mit 33 KW angetrieben. Die Kraftübertragung übernimmt ein stufenloses Automatikgetriebe. Elektronisch gesteuert wechselt das Fahrzeug seine Betriebsart, sodass das Fahren keinerlei abweichende Bedienung erfordert. Die Emissionen im Normzyklus betragen 120 g CO<sub>2</sub>/km und liegen somit rund 26 % unterhalb eines grob vergleichbaren Toyotas („Corolla 1,4“ mit 71 KW). Der Neupreis des Prius ist um einige tausend Euro höher als der des Vergleichsmodells.

Die für das Jahr 2004 geplante Vorstellung der zweiten Generation des Toyota Prius wird über einen stärkeren Elektromotor verfügen und lediglich gut 100 g CO<sub>2</sub>/km emittieren.

**Abbildung 12: Emissionswerte optimierter Serienmodelle und ihrer Ausgangsmodelle**



Quelle: Herstellerangaben

### 3.1.6 Langfristige Entwicklung

Die lange Zeit der Forschung und Entwicklung am Verbrennungsmotor des Otto-Prinzips hat bisher nicht dazu geführt, dass seine Potenziale ausgereizt wurden. Vielmehr hat dieses Motorsystem einen sehr hohen Reifegrad erlangt und bietet im Detail, auch aufgrund der langjährigen Erfahrung, weitere Verbesserungsmöglichkeiten. Daher ist nach einer umfangreichen Recherche und Analyse von Fachpublikationen anzunehmen, dass der Viertakt-Verbrennungsmotor bei Automobilherstellern und Forschungsinstituten auch über das Jahr 2010 hinaus im Zentrum der Aktivitäten bleibt. Lediglich sehr drastische äußere Einflüsse werden das bewährte Motorenprinzip bis zum Jahr 2020 aus dem Angebot der Hersteller verschwinden lassen. Die Grenzen zwischen den verschiedenen Konzepten Benzin und Diesel werden verschwimmen.

Durch eine Vernetzung aller Aggregate im Auto wird vor allem das effiziente Zusammenspiel aller Komponenten zur weiteren Verbrauchsreduktion beitragen. Die X-by Wire Technologie wird durch elektronische Impulse mechanische Übertragungswege wie Seilzüge und Gestän-

ge weitgehend ersetzen und dadurch zur Gewichtsreduktion und optimierten Steuerung der Funktionen beitragen.

Obwohl der bekannte Verbrennungsmotor noch längere Zeit seine vorherrschende Stellung behalten wird, sind alternative Antriebe ein wichtiger Bestandteil der Fahrzeugforschung. Vielversprechende Konzepte werden mit großem Engagement vorangetrieben, insbesondere kleinere Forschungseinrichtungen erscheinen auf diesem Feld sehr aktiv. Neuartige Motoren und Konzepte müssen sich allerdings immer an Viertakt-Ottomotoren messen lassen, was zu einer sehr ungleichen Konkurrenzsituation führt, da die herkömmlichen Motoren von den Automobilherstellern seit Jahrzehnten mit hohem Aufwand weiter optimiert werden.

#### Wasserstoffbetriebene Ottomotoren

Ein wesentlicher Vorteil des Betriebs eines herkömmlichen Verbrennungsmotors mit Wasserstoff ist die Möglichkeit der Biomodalität, d.h. der Motor kann auch Benzin als Kraftstoff verwenden. Damit sind gute Voraussetzungen für eine Übergangszeit der Infrastruktur mit nicht ausreichender Wasserstoffversorgung gegeben. Problematisch ist jedoch die generelle Frage des Aufbaus der Infrastruktur für Wasserstoff und dessen Herstellung. Außerdem kann der Verbrennungsmotor immer nur auf einen Kraftstoff optimal abgestimmt werden und im Fahrzeug sind zwei Kraftstoffbehälter unterzubringen. In der Außendarstellung tritt lediglich BMW mit wesentlichem Engagement bzgl. dieser Technik auf.

#### Zweitaktmotoren

Hohe Anforderungen bezüglich Verbrauch, Lebensdauer, Schadstoffemission und Geräuschverhalten führten dazu, dass der Zweitaktmotor heute keine Rolle mehr auf dem Neuwagenmarkt spielt. Ein Verbrauchsreduzierungs potenzial von 15 % gegenüber dem Viertaktmotor bei zumindest gleichem Schadstoffausstoß wird jedoch für möglich gehalten, ebenso wie die Tauglichkeit für Hybridkonzepte.<sup>35</sup> Als Grundlage wird jedoch ein dem Viertakter ebenbürtiger Entwicklungsstand angesehen, der die Bereitstellung wesentlicher Entwicklungsressourcen voraussetzt.

#### Batteriebetriebene Elektroautos

Elektroautos, die ihre Energie aus Batterien beziehen, werden seit vielen Jahren untersucht, weil sie keine direkten Abgase verursachen, fast geräuschlos sind und auf einfache Weise die Bremsenergie wieder zurückgewonnen werden kann. Die Frage der Emissionen verlagert sich auf die Energieerzeugung in den Kraftwerken.

Problem der Elektroautos ist trotz langjähriger Forschungsarbeit die Batterietechnik, d.h. die aus ihrer niedrigen Energiedichte resultierenden geringen Reichweite von kaum mehr als 150 km. Lösungsversuche über eine drastische Gewichtsreduktion waren wegen ihres minimalen Komfort- und Platzangebots bisher nicht erfolgreich. Ferner sind bisher noch keine ausreichenden Produktionszahlen erreicht worden, die die hohen Kosten für batteriebetriebene Elektrofahrzeuge senken konnten.

#### Brennstoffzellenfahrzeuge

Prinzipiell handelt es sich bei Brennstoffzellenautos um Elektrofahrzeuge, die ihre Energie nicht aus einer Batterie beziehen, sondern aus der Brennstoffzelleneinheit, genannt „Stack“, in der Wasserstoff in einem elektrochemischen Prozess unter Zugabe von Sauerstoff in elektrische Energie umgewandelt wird.

Wegen des ungelösten Speicher- und Versorgungsproblems des Wasserstoffs werden Fahrzeuge entwickelt, die zum Beispiel Methanol als Kraftstoff mitführen, diesen aber im Fahrzeug in Wasserstoff umwandeln müssen.

---

<sup>35</sup> Meinig 2001

Vorteile der Brennstoffzellentechnik liegen in ihrem hohen Wirkungsgrad, den nahezu nicht vorhandenen direkten Schadstoffemissionen, der Geräuscharmheit und den günstigen Verknüpfungsmöglichkeiten mit anderen elektrischen Komponenten des Fahrzeugs. Bei den Fahrleistungen sind langfristig keine Abstriche gegenüber Pkw mit Benzin- oder Dieselmotor zu machen.

Um einen Beitrag von Brennstoffzellenautos zum Klimaschutz zu ermitteln, genügt es nicht mehr den Kraftstoffverbrauch zu betrachten. Herstellung der Fahrzeuge, die Versorgung mit Kraftstoff sowie der Kraftstoffverbrauch finden unter völlig anderen Rahmenbedingungen statt. Somit müssten auch der gesamte Lebenszyklus eines konventionellen Autos der Betrachtung gegenüber gestellt werden. Eine Kernfrage dabei ist, ob der Kraftstoff für Brennstoffzellenfahrzeuge aus fossilen oder erneuerbaren Energieträgern stammt.

Ankündigungen über die Einführung von Serienfahrzeugen mit Brennstoffzellentechnologie stehen derzeit skeptischen Aussagen über die schnelle Verbreitung gegenüber. Die Initiative „Verkehrswirtschaftliche Energiestrategie“ (VES), der deutsche Automobilhersteller und Mineralölkonzerne angehören, ermittelte einen Investitionsbedarf für den Aufbau einer flächendeckenden Wasserstoffinfrastruktur für den Verkehr von rund 44 Mrd. Euro bis 2020.<sup>36</sup> Dabei wurde ein Wasserstoffanteil von 2,5 % (2010) bzw. 15 % (2020) am Gesamtkraftstoffbedarf angenommen und eine Produktion durch hälftigen Einsatz von erneuerbaren Energien. Die VES kommt zum Schluss, dass die unterstellte Marktanteilshypothese von 2,5 % für 2010 vor dem Hintergrund der noch bestehenden Hindernisse technischer, wirtschaftlicher und politischer Art nicht zu diesem Zeitpunkt, sondern erst später erreicht werden.

Das Center Automotiv Research der FH Gelsenkirchen hält für das Jahr 2015 einen weltweiten Absatz von 300.000 Brennstoffzellen-Pkws bei insgesamt 56 Millionen verkauften Fahrzeugen für möglich. Für Deutschland würde dies unter der Annahme eines Mehrpreises von 30 % einen Marktanteil von deutlich unter einem Prozent bedeuten. Erst in der Zeit danach setze die Markteroberung ein. Grund für den geringen Anteil sei unter anderem der hohe Wettbewerb durch die Marktpräsenz von Hybridautos und die weiter optimierten konventionellen Verbrennungsmotoren.

#### Veränderte Voraussetzungen zur Bewertung der Klimarelevanz

Weil sich die vorliegende Studie mehrheitlich auf konventionelle Pkw mit Verbrennungsmotoren im kurzfristigen Zeithorizont bis 2010 beschränkt, ist die Betrachtung und der Vergleich der direkten Kohlendioxidemissionen sinnvoll. Lediglich die Vorkette kraftstoffseitig ist aufgrund der unterschiedlichen CO<sub>2</sub>-Emission bei der Herstellung von Diesel und Benzin relevant. Unterschiede beim Energieaufwand zur Herstellung des Fahrzeugs bleiben relativ unbedeutend. Erst nennenswerte Stückzahlen bspw. von Fahrzeugen mit Aluminium- oder Kunststoffkarosserie würden dies erforderlich machen.

Schließt man einen größeren zukünftigen Zeitraum in die Analyse ein, in dem alternative Konzepte dann zum Tragen kämen, ist eine weitreichendere Betrachtung zur Beurteilung der Klimarelevanz unausweichlich. Sie würde abhängen von den Energieaufwendungen bei Herstellung, Entsorgung und der Instandhaltung der Fahrzeuge sowie deren Kraftstoffverbrauch. Herstellung und Verteilung des Kraftstoffes müssen ebenso mit einbezogen werden.

---

<sup>36</sup> Nierhauve 2001 (Stellungnahme als Sachverständiger bei Anhörung der Enquete Kommission „Nachhaltige Energieversorgung“ des Deutschen Bundestags)

## 3.2 Trenderstellung zur Umsetzung der Potenziale

### 3.2.1 Entstehungsprozess von Personenkraftwagen

Manch viel versprechender Prototyp eines Ingenieurbüros oder einer Umweltorganisation suggeriert, dass das 2 oder 3 Liter Auto bereits existiert und es nur noch in Großserie produziert werden müsste. Um einschätzen zu können, in welchem Zeitraum neue Antriebs- oder Fahrzeugkonzepte tatsächlich umgesetzt werden können, wird an dieser Stelle ein kurzer Blick auf den Entstehungsprozess eines Großserienautos geworfen.

Üblicherweise dauert die Entwicklung eines heutigen Pkws mehrere Jahre. Am Anfang stehen ausgedehnte Analysen über den Ist-Zustand sowie die Entwicklung verschiedener Zukunftsperspektiven. Auf der Angebotsseite sind die Hersteller und ihre Produktangebote zu betrachten und aus der Nachfrageperspektive mögliche Zielgruppen, ihre Kaufkriterien und die daraus resultierenden Produkthanforderungen. In der Konsequenz konkurrieren verschiedene Konzepte miteinander, von denen eines ausgewählt wird, womit die strategischen Ziele und die Marktpositionierung des geplanten Fahrzeugs unter Beachtung der übergeordneten Herstellerstrategien festgelegt sind. Dieser Prozess kann rund ein Jahr dauern.

Nach der Entscheidung für ein Konzept erfolgt die Erstellung des sog. Lastenhefts, in dem alle Anforderungen an das Auto genau aufgeführt sind. Mindestens zwei Jahre werden für die Entwicklung und Konstruktion von Prototypen in verschiedenen Baustufen verwendet, meist beginnend mit Erprobungsfahrzeugen, bei denen alte Modelle als Versuchsträger für Komponenten des neuen Modells dienen. Sukzessive werden einzelne Baugruppen dann für die weitere Planung freigegeben. Ein weiteres Jahr benötigen intensive Versuche mit dem seriennahen Produkt und die Umstellung der Produktionsstätten. Einige Monate vor Markteinführung läuft schließlich die Serienproduktion an. Die üblichen Produktionszeiten eines Modells lagen vor zehn bis zwanzig Jahren teilweise weit auseinander, von vier Jahren bei japanischen Marken bis zu zehn Jahren bei deutschen Fabrikaten. Heute tendieren die Laufzeiten dazu, sich in der Mitte anzugleichen.

Insgesamt sind rund fünf Jahre Entwicklungszeit für eine komplette Neukonstruktion einzuplanen, wobei kontinuierliche Forschungsarbeiten an grundsätzlich neuen Konzepten hierbei nicht berücksichtigt sind. Einschließlich der Umbauten in den Produktionswerken können sich die Kosten für einen neuen Fahrzeugtyp auf 2 Milliarden Euro aufsummieren, wie bei aktuellen Neuerscheinungen von Mercedes-Benz und Opel<sup>37</sup> angegeben wird.

Obwohl innerhalb von fünf Jahren ein vollständig neues Auto entwickelt werden kann, ist aus dieser allgemeinen Betrachtung nur schwierig der Schluss zu ziehen, dass die Automobilhersteller mit etwas mehr Zeit auch ein völlig neuartiges und innovatives Fahrzeugkonzept zur Verbrauchsreduktion realisieren können. Denn bisherige Neuentwicklungen haben sich fast immer im gewohnten, von den Herstellern beherrschten technischen Rahmen bewegt. Eine Neuorientierung der Ziele im Fahrzeugbau würde nicht nur technische Risiken bergen, sondern durch die längere Entwicklungszeit auch bezüglich des Kundeninteresses zum Verkaufsstart schwierig sein. Es träfen erhöhte Investitionen in der Entwicklung mit einer noch schwierigeren Prognose der Kundenwünsche zusammen.

Es bleibt festzuhalten, dass innerhalb des Betrachtungszeitraums dieser Studie im Bereich der Motorentchnik und des Gesamtfahrzeugs in heute gültigen Maßstäben durchaus wesentliche Fortschritte erzielt werden können, wie in den vorangegangenen Abschnitten grob skizziert wurde. Die Umstellung auf völlig neue, heutige Konventionen brechende Konzepte kann in dieser Zeitspanne aber nicht stattfinden, wenn nicht gravierende Einflüsse von außen wirken.

---

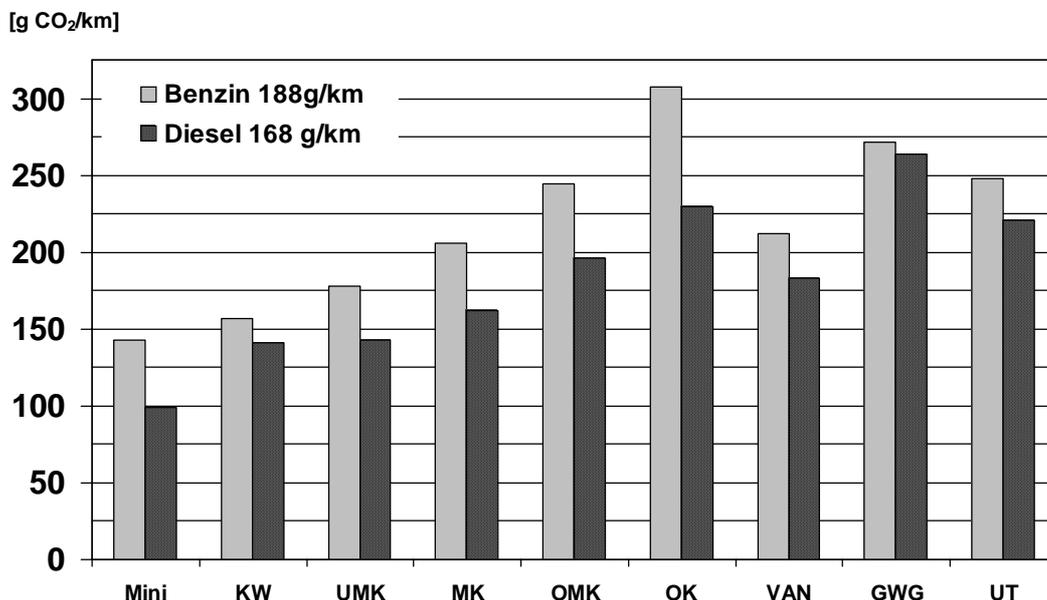
<sup>37</sup> Spiegel 2002; Stern 2002

### 3.2.2 Trendentwicklung der CO<sub>2</sub>- Emissionen je Segment

Zur Abschätzung der künftigen durchschnittlichen Flottenemission, ist es notwendig, die Technologien im Hinblick auf den Zeitraum von zehn Jahren und die unterschiedlichen Fahrzeugsegmente zu spezifizieren. Hierbei liegt der Schwerpunkt nicht auf der Benennung konkreter einzelner Techniken und ihrem zugehörigen Reduktionswert, sondern auf Annahmen, welche Minderungen im jeweiligen Segment insgesamt realistisch erscheinen.

Ausgangspunkt für die Entwicklung der Emissionen sind Angaben des Kraftfahrt-Bundesamtes zu den einzelnen Segmenten. Deren Definition wurde dahingehend überarbeitet, dass sie mit den Segmenten zur Abschätzung der künftigen Zulassungsstruktur übereinstimmen. Die Segmente „Cabriolets“ und „Sonstige“ tauchen daher nicht mehr auf<sup>38</sup>. Der Durchschnittswert für 2000 verändert sich durch die Anpassung gegenüber dem offiziellen KBA-Wert um 0,2 g/km nach unten auf 182,1 g/km. Für die einzelnen Segmente ergeben sich die in Abbildung 13 dargestellten Durchschnittswerte:

Abbildung 13: Mittlere Emission je Segment im Jahr 2000



Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt, eigene Berechnungen

Bei der weiteren Entwicklung der Emissionswerte wurde im Trend die Einhaltung der Selbstverpflichtung der europäischen Automobilindustrie unterstellt, einschließlich der weiteren Minderung bis 2010 gemäß der noch nicht festgelegten Fortführung der Selbstverpflichtung (120 g/km im Jahr 2012). Somit wird von einem mittleren Emissionswert im Jahr 2010 von 130 g/km ausgegangen, was gegenüber dem Jahr 2000 eine Minderung von rund 29 % bedeutet. Zu berücksichtigen ist hierbei der vermutlich ansteigende Dieselanteil, der mit zur Einhaltung des selbst gesetzten Zieles der Automobilindustrie beitragen wird. Daher ist nicht beiden Antriebsarten die gleiche Reduktion zuzuweisen.

Für die Benzinmodelle wurde der Reduktionswert der gesamten Flotte von 29 % verwendet, während den Dieselmotoren der Reduktionswert zugeordnet wurde, der sich aus dem geschätzten Anteil von 40 % ableitet (siehe Kapitel 4.4.4). Es verbleiben rund 26 % Minderung beim Diesel, womit auch Voraussagen über die Verringerung des Verbrauchsvorteils des Diesels gegenüber dem Benzinern Rechnung getragen wird.

<sup>38</sup> Siehe Kapitel 4.2: Segmentierung der Fahrzeugtypen

Auf differenzierte Reduktionswerte je nach Segment wird im Trend zunächst noch verzichtet, da Aussagen hierüber mit zu vielen Unwägbarkeiten behaftet sind. Es ergeben sich im Trend die in der Tabelle 3 enthaltenen Emissionswerte.

**Tabelle 3: Emissionen je Segment im Trend 2010**

	Mini	KW	UMK	MK	OMK	OK	Vans	GW	UT
Benzin [g CO <sub>2</sub> /km]	101,9	111,9	126,6	147,1	174,2	219,4	151,1	193,7	176,8
Diesel [g CO <sub>2</sub> /km]	72,6	103,6	105,1	118,9	144,3	169,0	134,5	194,2	162,6

Es wird angenommen, dass zur Erfüllung der Trendentwicklung folgende technischen Maßnahmen ergriffen werden:

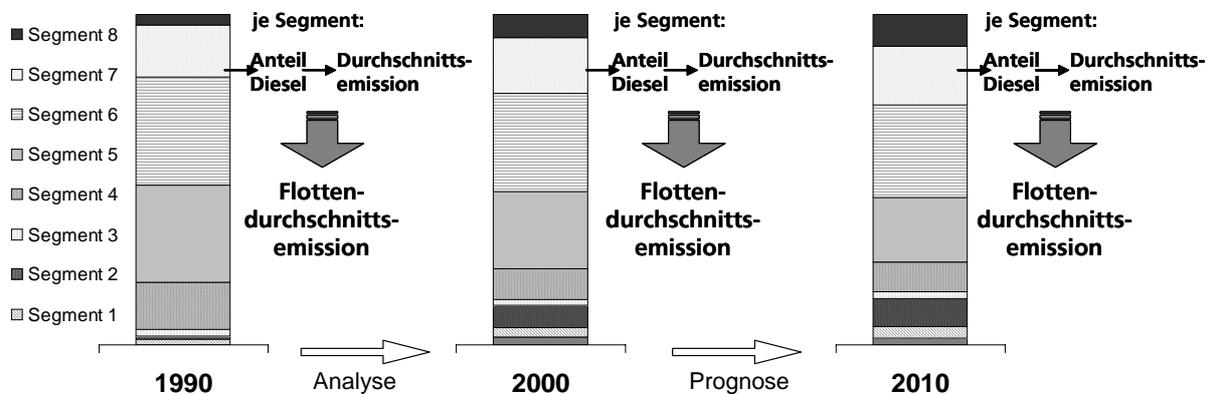
- Der Benzindirekteinspritzer und die variable Ventilsteuerung setzen sich in allen Segmenten sukzessive durch und werden bis 2010 über die Hälfte der neu zugelassenen Benzinfahrzeuge antreiben, gleichzeitig erfolgt eine weitere Leistungssteigerung der Motoren.
- Im Dieselanangebot werden die letzten Lücken geschlossen, in denen es bisher noch keine Direkteinspritzer gab; mit verbesserter Einspritztechnik (erhöhte Drücke) werden weitere Verbrauchsabsenkungen erzielt.
- Das automatisierte Schaltgetriebe verbreitet sich in den kleineren bis mittleren Segmenten. In der Mittelklasse bewirkt es dadurch einen Verbrauchsvorteil, weil es Anteile der klassischen Automatik übernimmt; der zunehmende Anteil an Minis und Kleinwagen mit automatisiertem Schaltgetriebe bewirkt nur eine marginale Verbrauchseinsparung, weil diese bisher nur sehr selten mit Automatikgetriebe verkauft wurden.
- In den oberen Segmenten trägt das stufenlose Automatikgetriebe durch einen Verkaufsanteil von bis zu 20 % zur Verbrauchsreduktion bei; die konventionelle Automatik bleibt aber in der Mehrheit.
- In den oberen Segmenten beginnt der Serieneinsatz des Starter-Generators, der von Anfang an die automatische Motorabschaltung mit einschließt; es handelt sich meist noch um eine Lösung, die auf das 12-Volt Bordnetz aufgesetzt ist.
- Die in den kommenden Jahren auf dem Markt erscheinenden Autos werden im Gewicht noch zunehmen; gegen Ende des Betrachtungszeitraums dieser Studie wird eine Stagnation des Gewichts einsetzen. Detailoptimierungen an der Aerodynamik der Fahrzeuge durchgeführt.

## 4 Marktbezogene Strukturierung der neuzugelassenen Pkw

### 4.1 Einleitung

Neben der Technologie und den daraus resultierenden Emissionswerten der einzelnen Fahrzeugtypen ist zur Bestimmung des Flottendurchschnitts die Struktur der Neuzulassungen entscheidend, d.h. die Anteile der neuzugelassenen Fahrzeuge unterschiedlichen Emissionsniveaus. Hierzu gehört auch die Unterscheidung nach Antriebsarten. Diese Struktur der Neuwagenflotte aus Fahrzeugen unterschiedlich hohen CO<sub>2</sub>-Ausstosses ist neben der technologischen Entwicklung das zweite zentrale Element zur Abschätzung der künftigen Durchschnittsemissionen, sowohl im Trendverlauf als auch in den erstellten Szenarien.

Abbildung 14: Ermittlung der Flottendurchschnittsemission anhand von Segmenten



Das Pkw-Angebot in Deutschland ist sehr breit gefächert; Fahrzeuggrößen, Motorleistungen und Verbrauchswerte decken ein weites Spektrum ab. Während in jüngster Vergangenheit einerseits vermehrt große, leistungsstarke und somit verbrauchsintensive Geländewagen auf den Markt gekommen sind, finden sich mittlerweile auch Fahrzeuge mit einem durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch von weniger als 3,5 Liter Diesel je 100 km regulär im Angebot. Zur Ermittlung des Flottendurchschnitts und seiner künftigen Entwicklung ist eine analytische Gesamtbetrachtung anhand der Zulassungszahlen notwendig.

In den folgenden Abschnitten ist die verwendete Klassifizierung bzw. Segmentierung der neuzugelassenen Pkw erläutert und die Entwicklung der Neuzulassungen der vergangenen zehn Jahre beschrieben. Hieraus wird anschließend die künftige Trendentwicklung der Struktur der Neuzulassungen abgeleitet, die dann die Basis für die Szenarienerstellung bildet.

### 4.2 Segmentierung der Fahrzeugtypen

Für eine Strukturierung der Pkw-Neuzulassungen ist es bei Studien über den Kraftstoffkonsum zunächst nahe liegend, mit Verbrauchsklassen zu arbeiten. Weil die Verbrauchswerte in den zurückliegenden Jahren in der Statistik des KBA nicht geführt wurden und eine manuelle Zuordnung von Typschlüsselnummern und Herstellerangaben zu aufwändig wäre (siehe hierzu auch Kapitel 2.1.2), muss auf eine direkte Gliederung anhand der Verbrauchs-, bzw. Emissionswerte jedoch verzichtet werden.

Neben der Strukturierung der Neuwagen hinsichtlich des Emissionsniveaus, sollte die Beschreibung ohnehin auch dem Verhalten der Neuwagenkäufer gerecht werden, insbesondere im Hinblick auf die künftige Entwicklung. Denn die Fahrzeugwahl der Neuwagenkäufer

stellt die bestimmende Einflussgröße auf die Struktur der Neuzulassungen dar. Daher wurde in Betracht gezogen, eine Klassifikation gemäß den Daten des KBA vorzunehmen, die eine Differenzierung nach Hubraum, Motorleistung, Leergewicht und Höchstgeschwindigkeit ermöglichen. Diese Möglichkeit wurde jedoch ebenfalls wieder verworfen, weil es selbst bei Kombinationen der technischen Merkmale fraglich ist, ob die angestrebte Charakterisierung im Hinblick auf den Durchschnittsverbrauch und die Stellung der Fahrzeuge am Markt ausreichend aussagekräftig ist.

Schließlich erschien die vom KBA für das Jahr 1999 erstmals vorgenommene Eingruppierung der Neuwagen in definierte Segmente wie zum Beispiel „Kleinwagen“ und „Mittelklasse“ sowie nach Benzin- und Dieselantrieb als die geeignetste Lösung, den Markt und die Relevanz einzelner Fahrzeuge zu beschreiben. Dabei hat das KBA mit den Verbänden der Automobilindustrie und Importeuren die Personenkraftwagen bestimmten Segmenten zugeordnet. Laut KBA<sup>39</sup> waren die Abgrenzungskriterien für die Zuordnung nicht immer eindeutig und in einigen Fällen musste auf „überwiegende Eigenschaften oder auf das äußere Erscheinungsbild“ zurückgegriffen werden.

Der Zuordnung zu den Segmenten lag in erster Linie die Größe der Fahrzeuge und die Marktpositionierung zugrunde. Bei einigen wenigen Modellen ist die Eingruppierung der Typen zwar nachvollziehbar, erscheint trotzdem aber nicht unbedingt sinnvoll.<sup>40</sup> Insgesamt rechtfertigt die Anzahl der Widersprüche und die dazugehörigen Zulassungszahlen jedoch keine Änderungen der Zuordnung einzelner Fahrzeugtypen. Zum Zwecke dieser Studie wurde jedoch auf das Segment „Cabriolets“ verzichtet, denn diese basieren konstruktiv meist auf Limousinenmodellen, die unterschiedlichsten Segmenten zuzurechnen sind. Einerseits gibt es offene Kleinwagen wie das Fiat Punto Cabriolet, andererseits Modelle von Mercedes-Benz und Porsche, die eindeutig den Charakter und Emissionswerte eines Pkws der Oberklasse besitzen. Entsprechend ihrer geschlossenen Varianten wurden diese Fahrzeuge den übrigen Segmenten zugeteilt. Mangels näherer Angaben wurde ferner auf das Segment „Sonstige“ verzichtet.

Der Pkw-Markt wird für die Studie Flottenverbrauch 2010 somit in folgende Segmente, jeweils nach Antriebsart Benzin oder Diesel, eingeteilt:

**Tabelle 4: Segmentierung der Neuzulassungen**

Segmentbezeichnung	Zulassungsstärkster Typ im Jahr 2000	Segmentbezeichnung	Zulassungsstärkster Typ im Jahr 2000
Mini	VW Lupo	Oberklasse (OK)	Mercedes S-Klasse
Kleinwagen (KW)	Opel Corsa	Vans	Opel Zafira
Untere Mittelklasse (UMK)	VW Golf	Geländewagen	Mercedes ML-Klasse
Mittelklasse (MK)	BMW 3er	Utilities (UT)	VW Transporter/Caravelle
Obere Mittelklasse (OMK)	Mercedes E-Klasse		

<sup>39</sup> Kraftfahrt-Bundesamt 2001: Presseinformation Nr. 2

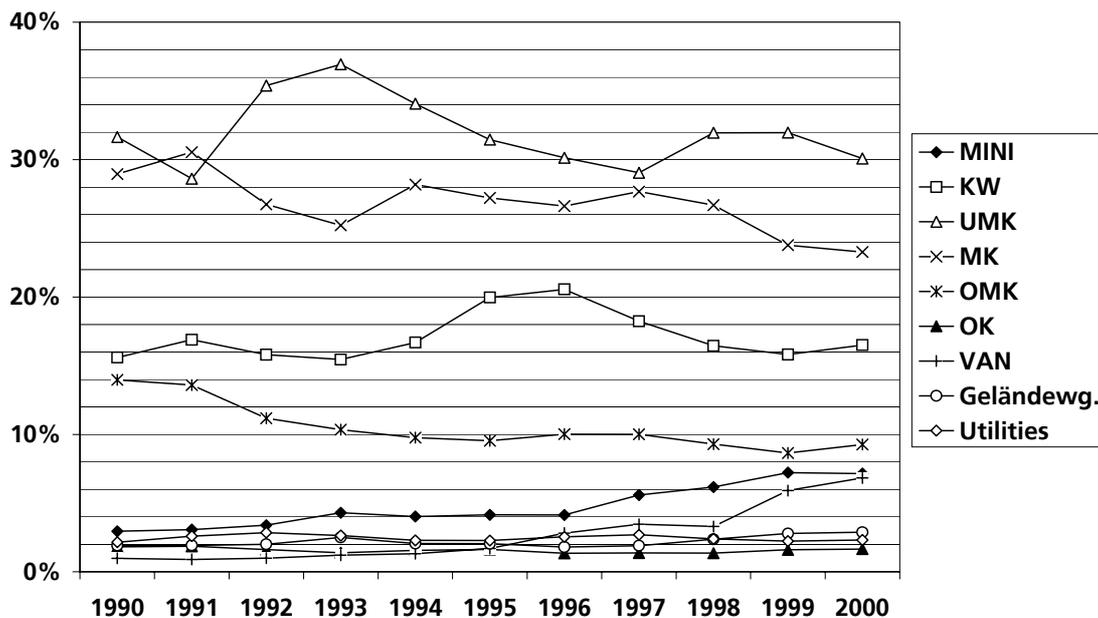
<sup>40</sup> Zur Verdeutlichung zwei Beispiele: Skoda Octavia und Seat Toledo basieren konstruktiv auf dem VW Golf (Untere Mittelklasse) und sind vom KBA ebenso zugeordnet; aufgrund der Fahrzeuggröße und der Marktstellung wäre jedoch eine Zuordnung zur Mittelklasse naheliegender. Die Einordnung des Audi A2 in das Segment der Kleinwagen kann kaum nachvollzogen werden, denn preislich und konzeptionell ist der A2 direkter Konkurrent von Fahrzeugen der Unteren Mittelklasse, wie der A-Klasse von Mercedes-Benz.

### 4.3 Entwicklung der Segmente und Antriebsarten von 1990 bis 2000

Voraussetzung für eine Abschätzung, wie sich die Anteile der einzelnen Fahrzeugsegmente bis 2010 entwickeln und welche Auswirkungen daraus auf den Flottendurchschnitt der CO<sub>2</sub>-Emissionen resultieren, ist die Analyse der zurückliegenden Jahre. Aus der zeitlichen Entwicklung der einzelnen Segmentanteile lassen sich aus der Literatur Annahmen für deren Entwicklung in der Zukunft ableiten und aktuelle Aussagen zum Trend bewerten.

Gemäß der Vorgehensweise des KBA und den hier vorgenommenen Abänderungen konnten für die Jahre 1990 bis 2000 zwischen 97,1 und 99,7 % der Pkw-Neuzulassungen segmentiert werden<sup>41</sup>. Dabei ist festzustellen, dass Pkw der Unteren Mittelklasse den Neuwagenmarkt dominieren und zusammen mit der Mittelklasse während des gesamten Analysezeitraums über die Hälfte der Neuzulassungen ausmachen. Insgesamt ist allerdings ein rückläufiger Anteil dieser Segmente festzustellen. Im Gegensatz zur ersten Hälfte des Jahrzehnts blieb der Zulassungsanteil in der zweiten unter 60 %. In den Verläufen der Marktanteile deutlich zu erkennen sind die Einföhrungstermine des in Deutschland meistverkauften Pkws, dem VW Golf. 1992 und 1998 sind jeweils neue Modellgenerationen auf den Markt gekommen, die das Interesse der Käufer stark auf sich gezogen haben und bei den benachbarten Segmenten entsprechende Verkaufsrückgänge bewirkten.

Abbildung 15: Segmentaufteilung der Pkw – Neuzulassungen



(1990 und 1991: Nur alte Bundesländer)

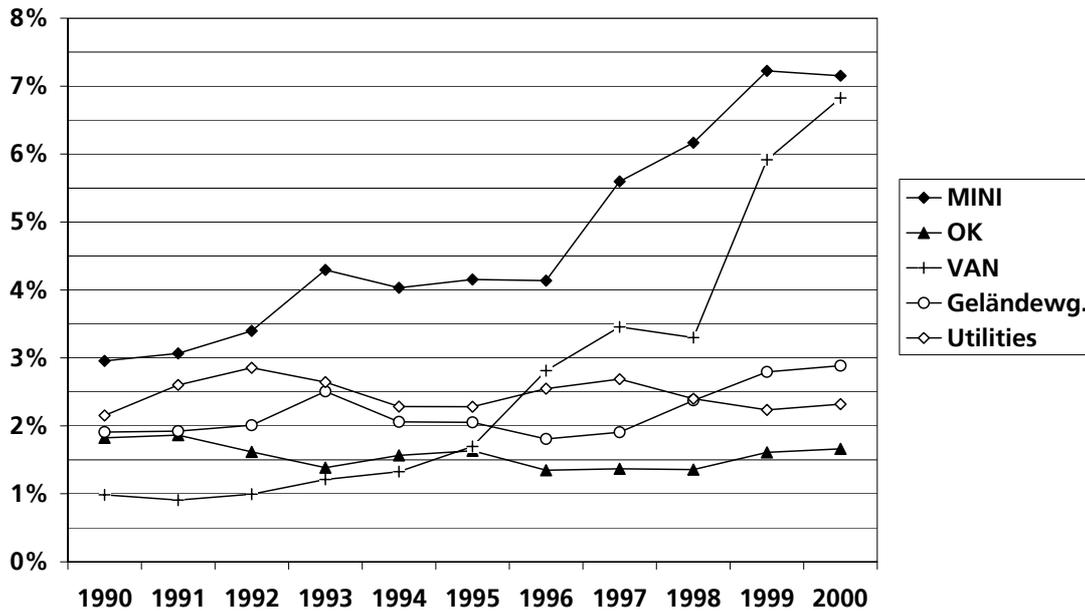
Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt, eigene Berechnungen

Außer der Unteren Mittelklasse und der Mittelklasse weisen seit 1996 bzw. 1997 auch Kleinwagen und die Obere Mittelklasse sinkende Anteile an den Gesamtzulassungen auf.

Die gegenteilige Entwicklung ist bei den Minis und den Vans festzustellen. Beide Segmente wuchsen insbesondere zwischen 1996 und 2000 auf jeweils rund 7 % an. Weniger stark ist der Anstieg bei den Geländewagen.

<sup>41</sup> 1990 und 1991 alte Bundesländer, 1992 bis 2000 Gesamtdeutschland

**Abbildung 16: Segmentaufteilung der Pkw – Neuzulassungen mit geringem Anteil**



(1990 und 1991: Nur alte Bundesländer)

Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt, eigene Berechnungen

Für die Veränderungen der Segmentaufteilung, und damit des Käuferverhaltens, lassen sich unterschiedliche Gründe anführen. Neben der grundsätzlichen Tendenz zu mehr „lifestyle“ orientierten Fahrzeugen wie den Vans und Geländewagen beeinflusst auch die Zunahme des Anteils an Zweitwagen die Verkaufsanteile der unterschiedlichen Neuwagensegmente. Insbesondere die Minis haben hiervon profitiert. Ein weiterer Grund für die Veränderungen liegt in der Angebotssituation der Hersteller. Zum einen ist durch völlig neue Produkte das Interesse der Käufer verlagert worden, zum anderen wandelten sich die Charaktere der Fahrzeuge in der betrachteten Dekade teilweise erheblich. So entsprechen bspw. viele Kleinwagen von 2000 in ihrer Größe und Funktionalität einem Fahrzeug der Unteren Mittelklasse von 1990. Als Konsequenz wurden neue, tiefer positionierte Modellreihen auf dem Markt gebracht, die sich nun als „Minis“ verstehen. Im Segment der Vans finden sich 2000 zahlreiche Modelle, die es zehn Jahre früher überhaupt nicht gab. Vor allem der Trend zu preiswerteren und kleineren Vans bewirkt hier den gestiegenen Verkaufsanteil.

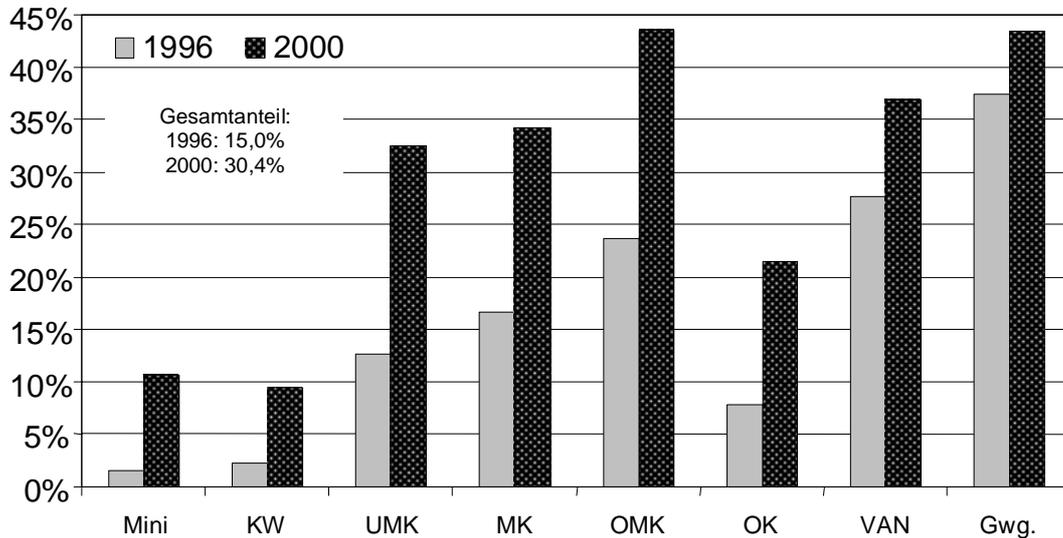
Generell wird die Zuordnung der Fahrzeuge zu den einzelnen Segmenten immer schwieriger, weil die Segmentgrenzen verwischen und sich zunehmend „Zwitter“ in den Angebotspaletten der Hersteller finden. Im Gegensatz zum Kraftfahrt-Bundesamt subsumieren andere Quellen kleinere Vans zum Beispiel gemäß ihrer technischen Basis oder der Außenlänge unter anderen Segmenten. Ob die Einteilung nach Segmenten langfristig sinnvoll bleibt, kann noch nicht beantwortet werden, für die Betrachtung der Jahre 1990 bis 2010 ist sie jedoch gut geeignet, da noch keine wesentlichen Brüche erwartet werden.

Sehr bemerkenswert ist die Zunahme des Anteils der Diesel-Pkw an den jährlichen Neuzulassungen im Betrachtungszeitraum. Während ihr Anteil 1990 bis 1992 von 11 auf 15 % anstieg, dann bis 1997 relativ konstant blieb, setzte in jüngster Zeit ein rasanter Zuwachs ein. Die Dieselmotoren erreichten 1998 einen Zulassungsanteil von 17,6 %, 2000 bereits 30,4 % und 2001 wurden 34,7 % aller Neuwagen von einem Dieselmotor angetrieben. Über die Hälfte des Zuwachses steuerten die Autos der Unteren Mittelklasse und der Mittelklasse bei.

In der aktuellen Produktpalette finden sich Diesel-Pkw in nahezu allen Leistungsstufen einschließlich der Oberklassemodelle. Lediglich bei Kleinwagen hat sich das Angebot an Die-

selmodellen nur langsam vergrößert. Dies ist auf eine geringere Nachfrage zurückzuführen, da die Laufleistungen in dieser Klasse relativ niedrig sind und sich daher der Unterschied bei den Kraftstoffkosten weniger bemerkbar macht, so dass der höhere Kaufpreis nicht kompensiert wird.

**Abbildung 17: Anteil der Dieselmotore**



(Utilities 1996: 80 %, 2000: 93,2 %)

Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt

Die Ursache für den enormen Anstieg des Dieselanteils ist gut erklärbar: Wesentlich technische Fortschritte haben aus dem Dieselmotor eine sehr dynamische und komfortable Antriebsquelle gemacht, während der Verbrauchsvorteil gegenüber den Benzinmodellen noch größer geworden ist. Die hohe Kfz-Steuer, durch die die Dieselvarianten letztlich nicht immer kostengünstiger sind, scheint die Entwicklung nicht zu behindern. Als weitere Einflüsse sind die stark gestiegene Angebotsvielfalt an Dieselaufos zu nennen sowie teilweise sehr geringe Aufpreise gegenüber den Benzinausführungen.

#### 4.4 Trenderstellung der zukünftigen Segmentanteile

##### 4.4.1 Methode und Annahmen

Für die Trendfortschreibung des Pkw - Marktes wird die im April 2001 abgeschlossene Verkehrsprognose 2015 des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen zugrunde gelegt. In allen dort betrachteten Szenarien wird vom gleichen Bestand mit 49,8 Millionen Pkw im Jahre 2015 ausgegangen. Für 2010 lässt sich daraus ein Pkw-Bestand von ca. 47,5 Millionen Stück berechnen. Ausgehend von dieser Zielgröße wird im Rahmen der Ermittlung weiterer verkehrlicher Kenngrößen im Simulationsprogramm ESCOT die Zahl der Neuzulassungen für jedes Jahr bestimmt (siehe Kapitel 7.1.1). Auf sie wird die hier dargestellte Segmententwicklung angewendet.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Automobilindustrie als einer der wichtigsten Wirtschaftszweige in Deutschland intensive Überlegungen zur künftigen Entwicklung des Pkw-Marktes anstellt, um zum richtigen Zeitpunkt die passenden Produkte anbieten zu können. Allerdings sind diese Expertisen aus Konkurrenzgründen im Allgemeinen nicht öffentlich zugänglich, sodass im Rahmen dieser Studie eigene Abschätzungen vorgenommen werden mussten.

Die in Kapitel 4.4.3 aufgezeigte Trendentwicklung der einzelnen Fahrzeugsegmente basiert in erster Linie auf der Studie „Eurocar“ der Marketing Systems GmbH, Düsseldorf.<sup>42</sup> In ihr wurden die Segmentanteile bis 2005 ermittelt. Entsprechend den abweichenden Zuordnungen einzelner Modelle wurde Eurocar an die Segmentierung des Kraftfahrt-Bundesamts angepasst. Wesentliche Einflussparameter bei Eurocar sind die künftigen Pkw-Kosten, die Modellpolitik, der Ersatzbedarf und Sondereinflüsse. Diese Systematik wurde im Rahmen der Studie Flottenverbrauch 2010 entsprechend fortgeführt und um soziodemographische Randbedingungen bzw. allgemeine Tendenzen der Entscheidungskriterien beim Neuwagenkauf (siehe Kapitel 4.4.2) erweitert. Es erfolgte eine qualitative Abschätzung, der im Wesentlichen folgende Annahmen zugrunde liegen:

Das zu erwartende Modellangebot der Hersteller eines Segments hat starken Einfluss auf den Zulassungsanteil. Dabei spielen verschiedene Karosserievarianten ebenso eine Rolle wie das Motorenangebot.

- Das Wachstum der Fahrzeuggröße in der Unteren Mittelklasse und bei den Kleinwagen hält weiter an.
- Die bereits vorhandene Expansion des Angebots hochwertiger Autos setzt sich auch in den unteren Segmenten fort.
- Der Zweit- und Drittwagenanteils wächst weiter an.
- Der Anteil an Neuwagenkäuferinnen nimmt zu.

Der Trendentwicklung des Dieselanteils werden derzeit beobachtbare Entwicklungen am Pkw-Markt zugrunde gelegt. Es wird angenommen, dass das bestehende Angebot um weitere Leistungsstufen erweitert wird, insbesondere aber Segmente mit bislang generell geringem Dieselanangebot weiter ausgebaut werden. Weiterhin wird angenommen, dass die Vorteile des Diesels durch die bei größeren Fahrzeugen bald notwendige Abgasreinigung nur wenig geschmälert werden.

#### **4.4.2 Entscheidungskriterien beim Neuwagenkauf**

Beim Neuwagenkauf spielen für den Käufer mehrere Entscheidungskriterien eine Rolle. Die Bedeutung dieser Kriterien können für jeden Käufer individuell verschieden sein und wurden in Rahmen verschiedener Studien abgefragt.<sup>43</sup> Sämtliche Aussagen beziehen sich hierbei auf private Käufer.

Der Anteil der gewerblichen Neuzulassungen an der Gesamtzulassungszahl betrug im Jahr 2000 46 %. Bei den weiteren Überlegungen werden diese nicht näher betrachtet, da angenommen wird, dass deren Kaufkriterien noch stärker auf Preis und Funktionalität ausgerichtet sind als bei Privatkäufern und daher im Nachfragemodell, Kapitel 5.4 gut abgebildet sind<sup>44</sup>.

##### Grundlegende Entscheidungskriterien

Die Kaufentscheidung gliedert sich in der Regel in mehrere Schritte. Die analysierten Studien ergeben, dass an erster Stelle bei der Wahl des Fahrzeugs Funktionalität (Größe des Autos und vorwiegender Verwendungszweck) und damit zusammenhängend der Preis steht. So kann als erster Schritt die Wahl eines Fahrzeugsegments gesehen werden.

---

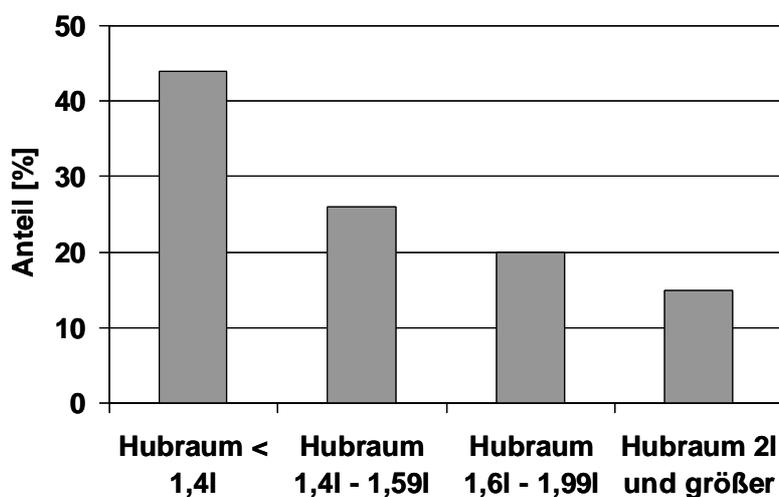
<sup>42</sup> Marketing Systems GmbH 2001

<sup>43</sup> STERN 2001: MarkenProfile 9; BILD 2000: PKW-Studie 2000; Motor Presse Stuttgart 2001: Autofahren in Deutschland 2001

<sup>44</sup> Darüber hinaus ist anzumerken, dass viele gewerblich zugelassene Fahrzeuge in großen Flotten nach relativ kurzer Nutzung auf dem Privatmarkt wiederverkauft werden und bei deren Anschaffung somit auch den Kriterien von Privatkunden Rechnung zu tragen ist.

Das Geschlecht der Käufer spielen bei der Wahl der Fahrzeuggröße auch eine Rolle. Bezogen auf die Kaufbereitschaft für einzelne Segmente ist festzustellen, dass Frauen eine überdurchschnittliche Kaufbereitschaft für Kleinwagen, Kleinwagen und die untere Mittelklasse zeigen. Die absolute Bedeutung dieser Kaufbereitschaft nimmt von den Kleinwagen zur unteren Mittelklasse hin ab, und ab der Mittelklasse ist eine größere Kaufbereitschaft von Männern festzustellen, mit steigender Tendenz hin zu den teureren Segmenten. Dies lässt sich (mit der Einschränkung der Bezugsgröße Hubraum) durch die Anteile an den Neuzulassungen 2000, dargestellt in Abbildung 18, unterstützen<sup>45</sup>. In der Klasse bis 1,4l Hubraum sind knapp 44 % der Käufer weiblich. Dieser Anteil nimmt in den Klassen 1,4l bis 1,59l und 1,6l bis 1,99l drastisch ab (26 % beziehungsweise 20 %). In der Klasse der Fahrzeuge mit mehr als 2l Hubraum ist der Anteil noch geringer und liegt bei knapp 15 %.

**Abbildung 18: Neuzulassungen 2000: Frauenanteil**



Quelle: KBA 2001, eigene Darstellung

### Weitere Entscheidungskriterien

Nach der grundlegenden Entscheidung für die Art des Fahrzeugs spielen vor allem die Faktoren Sicherheit und Qualität eine Rolle. Die Recherche ergab, dass Sicherheit mit am wichtigsten angesehen wird und überwiegend zwischen erster und vierter Stelle angesetzt wird bei einer Rangfolgenbildung der Kriterien. Qualität wird als wichtiges Kaufkriterium nahezu genauso oft genannt. Unter dem Merkmal Qualität können Aspekte wie Service<sup>46</sup>, technisches Niveau oder Zuverlässigkeit subsummiert werden.

Einen hohen Stellenwert nimmt auch das Kriterium „Umweltaspekte“ ein, was jedoch einer genaueren Differenzierung bedarf. „Umweltaspekte“ beinhalten in den ausgewerteten Studien meist den Teilindikator „geringer Kraftstoffverbrauch“, der eine herausragende Bedeutung innerhalb des Kriteriums „Umweltaspekte“ einnimmt. Werden „Umweltaspekte“ und „niedriger Kraftstoffverbrauch“ als gleichwertige Aspekte abgefragt, wird etwa bei der Studie „autofahren in deutschland 2001“ der niedrige Kraftstoffverbrauch an zweiter Stelle genannt, „Umwelt“ rangiert jedoch lediglich im Mittelfeld. Daher lässt sich vermuten, dass für die Käufer beim Merkmal „niedriger Kraftstoffverbrauch“ der finanzielle Aspekte im Vordergrund steht, die Umweltaspekte werden diesbezüglich als zweitrangig betrachtet.

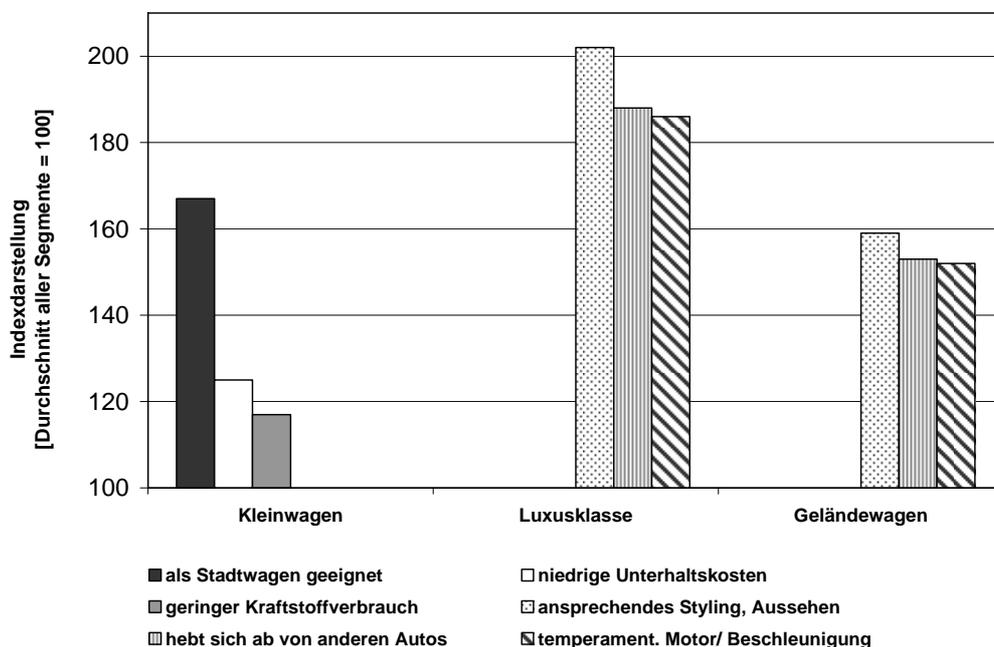
<sup>45</sup> Kraftfahrt-Bundesamt 2000: Statistische Mitteilungen; eigene Berechnung auf Grundlage dieser Zahlen

<sup>46</sup> Indikatoren für Service sind etwa: „Guter Kundendienst“, „Überall erreichbare Vertragswerkstätten“ oder „guter Service“.

Zusätzlich zu den bislang genannten Kriterien bezüglich Preis, Sicherheit und Funktionalität werden weitere herangezogen, etwa „Image“, oder „Ausstattung“. Die individuelle Gewichtung ist jedoch bei jedem Käufer unterschiedlich und gewinnt im allgemeinen nicht die Bedeutung der oben genannten Punkte.

Betrachtet man die Bedeutung der Kriterien „Image“ oder „Aussehen, Form, Design“ etwas differenzierter, lässt sich feststellen, dass dieses Kriterium im Gesamtvergleich nicht zu den erstgenannten gehört, jedoch durchaus eine Bedeutung hat, wie Abbildung 19 zeigt. Dieses Merkmal gewinnt bei Neuwagenkäufern, welche etwa Wagen der Ober-/ Luxusklasse oder Geländewagen erwerben möchten, deutlich an Bedeutung.<sup>47</sup> Bei Käufern von Kleinwagen spielen eher Kriterien wie „Niedrige Unterhaltskosten“, „als Stadtwagen geeignet“ oder „geringer Kraftstoffverbrauch“ eine entscheidende Rolle.

**Abbildung 19: Bedeutung von Kriterien beim Neuwagenkauf nach Segmenten**



Quelle: STERN Markenprofile 2001, eigene Darstellung

Im Vergleich zu der durchschnittlichen Nennung der wichtigen Entscheidungskriterien<sup>48</sup> weichen die Aussagen der Kleinwagenkäufer<sup>49</sup> in den drei oben genannten Kriterien wesentlich ab. Die erwähnten Kriterien „ansprechendes Styling, Aussehen“, „hebt sich ab von anderen Autos“ und „temperamentvoller Motor“ sind den Kleinwagenkäufern weniger wichtig spielen nur eine unterdurchschnittliche Rolle. Ein völlig anderes Bild ergibt sich bei der Betrachtung der Kaufinteressenten der Luxusklasse und von Geländewagen. Unter den entscheidenden Kriterien dieser Kaufinteressenten werden „als Stadtauto geeignet“, „niedrige Unterhaltskosten“ und „geringer Kraftstoffverbrauch“ nicht genannt. Die Kriterien bezüglich der Image, Motorleistung- und Designkomponenten spielen in diesen Segmenten eine herausragende Rolle.

Es ist damit zu rechnen, dass die Kriterien „Image“ und „Aussehen, Form, Design“ in Zukunft an Bedeutung zunehmen werden. In mehreren Studien wird konstatiert,<sup>50</sup> dass die techni-

<sup>47</sup> STERN 2001

<sup>48</sup> Auf der Basis der Selbstfahrer

<sup>49</sup> Kaufbereitschaft Kleinwagenkäufer

<sup>50</sup> Motor Presse Stuttgart 2001; FOCUS 2000: Marktanalysen

schen Unterschiede der einzelnen Modelle schon heute sehr gering sind und immer geringer werden, sodass eine individuelle Abgrenzung über technische Aspekte noch weniger möglich sein wird als heute.

Eine ähnliche Entwicklung lässt sich bezüglich der Ausstattung von Pkw feststellen.<sup>51</sup> Eine immer umfangreichere Serienausstattung wird vorausgesetzt, jedoch werden in den letzten Jahren auch verstärkt Extras „standardmäßig“ bestellt. Bei der Art der Ausstattung handelt es sich vor allem um Sicherheitskomponenten, jedoch „sind auch Komfortelemente inzwischen bedeutend“.<sup>52</sup> Dieses zunehmende Interesse an Ausstattungsdetails wird ersichtlich beim Vergleich des Ausstattungsgrades von Neuwagen mit dem Bestand. 20 Ausstattungsdetails wurden in einer Studie der Deutsche Automobil Treuhand GmbH (DAT)<sup>53</sup> analysiert. Nur bei 2 dieser Kategorien („Radio“ und „Schiebedach“) ist der Besatz im Bestand größer als bei den Neuwagen. In den restlichen Kategorien ist der Besatz in Neuwagen höher, teilweise sogar erheblich. So sind in 76 % der Neuwagen mittlerweile elektrische Fensterheber vorhanden, jedoch nur in 58 % der Wagen im Bestand. Klimaanlage finden sich mittlerweile in 57 % der Neuwagen, im Bestand liegt der Anteil nur bei 44 %.

#### **4.4.3 Trendentwicklung der einzelnen Segmente bis 2010**

Durch die zurückliegende Entwicklung und die von den Herstellern angekündigten neuen Fahrzeugtypen ist abzusehen, dass sich die Fahrzeugpalette immer mehr diversifiziert und eine Aufsplitterung der heutigen Segmente eintritt. Bezüglich Abmessungen, Motorleistung und Preis wird es immer mehr nicht eindeutig zuzuordnende Modelle geben. Als Beispiel sei hier die A-Klasse von Mercedes genannt, die von den Abmessungen her eindeutig ein Kleinwagen ist, vom Raumkonzept bzw. der Variabilität ein kleiner Van und vom Preis und Anspruch her aber fast ein Fahrzeug der Mittelklasse.

Hintergrund dieser Entwicklung ist die Tatsache, dass in vielen Bereichen der Fahrzeugtechnik in den vergangenen Jahren bereits sehr hohe Standards erreicht worden sind. Deshalb erfolgt eine immer stärkere Markenabgrenzung durch Individualisierung der Fahrzeuge, die auch neue, segmentübergreifende Konzepte beinhaltet. Weiterhin hat der Trend zum Zweifahrerwagen einen Einfluss auf die strukturelle Entwicklung, weil nicht mehr ein einziges Fahrzeug alle Funktionen für den Haushalt des Halters erfüllen muss.

Nachfolgend werden die wesentlichen Annahmen zur Trendentwicklung im Pkw-Markt differenziert nach Fahrzeugsegmenten dargestellt.

##### Mini

Das kleinste Pkw-Segment vereinigt preisgünstige Minimalautos, technologisch anspruchsvolle 3-Liter Fahrzeuge sowie Lifestyle-Autos in sich. Minis sind teilweise verkürzte Ausführungen von Kleinwagen und nur in wenigen Varianten lieferbar. Bis 2004 ist ein abnehmender Marktanteil der Minis zu erwarten, weil verkaufsstarke Modelle eingestellt werden und die Vielzahl neuer Modelle und Varianten im Segment der Kleinwagen eine starke Konkurrenz darstellt. Die modellpolitisch klar vernachlässigten Minis werden ihren Anteil nur langsam wieder steigern können und erreichen 2010 7,5 % der Neuzulassungen.

##### Kleinwagen

Der Charakter von Kleinwagen hat sich in der Vergangenheit erheblich gewandelt: Aus spartanischen Einstiegsautos sind vollwertige und komfortable Fahrzeuge geworden, die immer häufiger als Erstwagen genutzt werden und auch mit sehr starker Motorisierung gekauft werden können. Diese Entwicklung wird sich weiter fortsetzen und positiv auf die Verkäufe wir-

---

<sup>51</sup> Motor Presse Stuttgart 2001

<sup>52</sup> Motor Presse Stuttgart 2001: S. 156

<sup>53</sup> KFZ-Betrieb Dossier 2001

ken. Vor allem profitieren die Kleinwagen aber vom Trend zum Zweitwagen und dem zunehmenden Frauenanteil der Neuwagenkäufer.

Das Dieselanangebot ist derzeit noch recht gering und der Preisunterschied zu den Benzinmodellen fällt deutlich höher ins Gewicht als bei den anderen Segmenten. Dieses Handicap wird künftig kleiner werden und so zum wachsenden Anteil der Kleinwagen beitragen. Es ist mit einem Anstieg des Verkaufsanteils auf über 22 % zu rechnen.

### Untere Mittelklasse

Die Untere Mittelklasse ist geprägt durch den VW Golf, der seit Jahrzehnten das meistverkaufte Fahrzeug in Deutschland überhaupt ist. Er hielt knapp ein Drittel der Zulassungen der Unteren Mittelklasse und gleichzeitig knapp 10 % des gesamten Neuwagenmarktes im Jahr 2000. Mit der Erneuerung des Golfs sowie des Opel Astras wird das Segment in der Mitte der Dekade ein Maximum an Neuzulassungen erreichen, insgesamt aber um rund 30 % Gesamtanteil schwanken.

Der potenzielle Anteilsrückgang in diesem Segment durch die größer werdenden Kleinwagen und das zunehmende Angebot an kleinen Vans wird durch das verstärkte Angebot hochwertiger Marken (z.B. BMW 1er Reihe) und den weiteren Ausbau der Dieselpalette kompensiert.

### Mittelklasse

Ein sehr großes Angebots- und Leistungsspektrum kennzeichnet die Mittelklasse. Ein weiterer Ausbau der Produktpalette erscheint kaum mehr möglich. Auch die Vielzahl von Dieselvarianten lässt nur eine geringe Ausweitung zu. Fast alle zu erwartenden Trends gehen zu Lasten dieses Segments, wie die Tendenz zu Vans und Geländewagen einerseits und die zunehmende Familientauglichkeit der Segmente unterhalb der Mittelklasse andererseits. Daher wird damit gerechnet, dass der Marktanteil kontinuierlich auf 16 % in 2010 absinkt.

### Obere Mittelklasse

Im Jahr 2000 waren vier Fünftel der Zulassungen im Segment der Oberen Mittelklasse Produkte der Marken Audi, BMW und Mercedes-Benz. In manchen Modellreihen liegt der Anteil der Dieselmotoren über 60 %, was an der häufigen gewerblichen Nutzung dieser Fahrzeuge für Langstrecken liegen dürfte und ferner an einem Preisniveau, bei dem der Aufpreis für die Dieselvarianten nur noch eine untergeordnete Rolle spielen dürfte. Durch den wachsenden Konkurrenzdruck der Vans und Geländewagen wird auch die Obere Mittelklasse in Zukunft Marktanteile verlieren. Ein spürbares Eindringen von ausländischen Anbietern in den Markt der Oberen Mittelklasse ist nicht abzusehen. Für 2010 wird von 7 % der Neuzulassungen ausgegangen.

### Oberklasse

Die zunehmende Verfügbarkeit von Dieselvarianten auch in der Oberklasse wird einige „Aufsteiger“ aus der Oberen Mittelklasse anziehen. Gleichzeitig lässt das erhöhte Angebot (u.a. durch den neuen VW „Phaeton“) weiteres Interesse an Oberklasse-Limousinen erwarten. Andererseits werden diese Zuwächse von luxuriösen Geländewagen und großen Vans beschnitten, sodass der Anteil der Oberklasse bis 2010 nicht über 2,5 % hinaus wachsen wird.

### Vans

Das Segment der Vans ist recht heterogen. Neben den lange Zeit typischen, bis zu achtsitzigen Großraumlimousinen, sind in den vergangenen Jahren verstärkt kleinere Modelle auf den Markt gekommen, die meist nur fünf Sitzplätze bieten und unter einer Außenlänge von 4,4 Meter bleiben. Dieser Trend wird sich fortsetzen und schon 2004/2005 seinen Höhepunkt erreichen, wenn einige der verkaufstarken Typen in erneuerter Form erscheinen. Über 9 % Marktanteil werden die Vans bis 2010 aber voraussichtlich nicht erreichen.

### Geländewagen

Die Palette der angebotenen Geländewagenmodelle ist sehr groß und umfasst ein breites Größen- und Leistungsspektrum. Dennoch werden zusätzliche Typen auf den Markt kommen, die sich vor allem in den gehobeneren Segmenten als Alternative anbieten. Am unteren Preis- und Größenspektrum erscheinen ebenfalls neue Fahrzeuge mit erhöhtem Komfort und limousinenähnlichen Eigenschaften. Daher wird den Geländewagen ein wachsender Anteil an den Neuzulassungen von 4,5 % in 2010 vorausgesagt.

### Utilities

Die als Utilities bezeichneten Fahrzeuge werden oftmals als leichte Nutzfahrzeuge oder Kleinbusse eingesetzt, sind aber trotzdem als Pkw M1 zugelassen. Das Segment beinhaltet sehr unterschiedliche Typen, teilweise Kleintransporter, die konstruktiv auf Kleinwagen basieren, teilweise sehr großvolumige Fahrzeuge, die auch als Nutzfahrzeuge mit zulässigen Gesamtgewichten von über 3,5 Tonnen angeboten werden. Letztere dominieren das Segment der Utilities eindeutig.

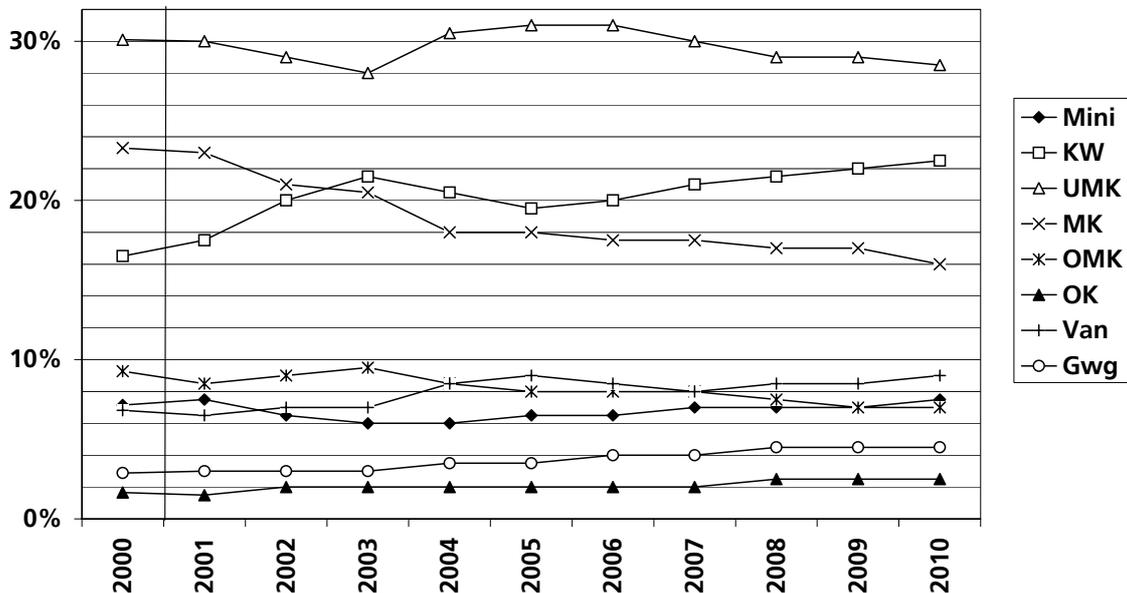
Die starke Zunahme von Kurier-, Express- und Paket-Diensten in der Vergangenheit, die veränderten gesetzlichen Bestimmungen für viele Utility-Typen, wie auch die Alternative zu den Utilities in Gestalt der Vans haben den Zulassungsanteil der Utilities bisher nicht erkennbar beeinflusst. Da die Einflüsse in Zukunft aller Voraussicht nach nicht größer sein werden, wird mit einem weiter konstanten Anteil von 2,5 % der Neuzulassungen bei den Utilities ausgegangen.

### Zusammenfassung

Bis 2010 wird vor allem eine Abnahme des Anteils von Mittelklasse Fahrzeugen erwartet. Die Obere Mittelklasse verliert ebenfalls Zulassungsanteile. Demgegenüber steht ein starker anteilsmäßiger Anstieg von Kleinwagen und in geringerem Maße von Vans und Geländewagen.

In Abbildung 20 sind zusammenfassend die zu erwartenden Segmentanteile bis zum Jahr 2010 dargestellt.

Abbildung 20: Trendentwicklung der Segmentanteile



#### 4.4.4 Trendentwicklung der Antriebsarten bis 2010

Wie bereits in Kapitel 3 dargelegt, stehen auch im Jahr 2010 herkömmliche Verbrennungsmotoren im Mittelpunkt des Pkw-Angebots und der Neuzulassungen. Alternative Antriebe werden im Jahr 2010 noch keinen nennenswerten Anteil haben, sodass sie hier nicht weiter berücksichtigt werden. Inwieweit sich die Tendenz zu einem höheren Anteil der Dieselmotore fortsetzt, wird nun folgend geklärt.

Nach Aussagen von Vertretern der Automobilindustrie wird der in jüngster Vergangenheit enorm angewachsene Dieselanteil künftig weiter zunehmen. Laut VDA betrug der Produktionsanteil von Dieselfahrzeugen in der ersten Jahreshälfte 2001 bereits knapp 37,4 %<sup>54</sup> gegenüber knapp 21 % im Jahr 1995. Bei Volkswagen liegt der Produktionsanteil von Dieselfahrzeugen schon jetzt bei über 50 %.<sup>55</sup> Ford rechnet damit, dass 2004/2005 die Hälfte seiner Fahrzeuge mit Dieselmotor abgesetzt werden.<sup>56</sup> Der Herstellerverband hält es nicht für ausgeschlossen, dass in wenigen Jahren die Hälfte des Absatzes in Deutschland mit Dieselfahrzeugen erzielt wird. Aus der Expertenbefragung, die im Rahmen dieser Studie durchgeführt wurde (siehe Kapitel 5.3), lässt sich keine eindeutige Aussage zur Frage ableiten, ob der künftige Anteil des Diesels bei den Neuzulassungen über 40 % steigt. Knapp die Hälfte der Experten vermuten das eher nicht, fast ebenso viele halten das Überspringen der 40 % Marke jedoch für wahrscheinlich. Zu letzterer Gruppe gehörten insbesondere die Befragten der Automobilindustrie an.

In diversen Forschungsberichten zur Entwicklung der einzelnen Motorkonzepte werden für die Zukunft teilweise deutlich niedrigere Dieselanteile erwartet. Oftmals sind die Annahmen bereits von der aktuellen Entwicklung übertroffen worden.

Unter der Berücksichtigung, dass mit zunehmendem Einsatz von Benzindirekteinspritzern der Vorsprung der Dieselmotortechnologie gegen Ende der Dekade etwas schrumpft, wird für die Trendabschätzung ein Dieselanteil von 40 % im Jahr 2010 angesetzt. Besonders groß wird

<sup>54</sup> VDA 2001: Auto-Jahresbericht 2001

<sup>55</sup> Auto Motor und Sport 11/2001

<sup>56</sup> Auto Motor und Sport 16/2001

die Zunahme in den Segmenten Mini und Kleinwagen sein, weil dort Lücken in der Angebotspalette sukzessive geschlossen werden, bspw. durch eine Kooperation von Ford und PSA (Peugeot/Citroen). So beträgt der Anteil der Dieselmodelle je Segment im Jahr 2010 voraussichtlich zwischen 25 und 55 %, ausgenommen die Utilities die weiterhin fast ausschließlich mit Dieselantrieben ausgestattet sind.

## 5 Beeinflussungsmöglichkeiten von Technologien und Markt

### 5.1 Einleitung

Der in dieser Studie untersuchte Flottenverbrauch hängt im Wesentlichen von zwei Determinanten ab: Der Struktur der Neuzulassungen (Zusammensetzung hinsichtlich der Fahrzeugsegmente) und dem spezifischen Normverbrauch der Neufahrzeuge. Ziel dieses Kapitels ist es, verkehrs- und umweltpolitische Maßnahmen zu beschreiben, die Einfluss auf diese beiden Determinanten haben. Darunter fallen alle Maßnahmen, die eine Umsetzung technischer Reduktionspotenziale und deren Durchdringung des Neuwagenmarktes fördern sowie Maßnahmen, die den Kauf sparsamer Fahrzeuge und eine Verschiebung der Neuzulassungen zugunsten kleiner, sparsamer Fahrzeuge bewirken. Adressaten der Maßnahmen sind im Wesentlichen die Akteursgruppen der Automobilhersteller und der Neuwagenkäufer.

Da sich die Studie auf die Betrachtung des Flottenverbrauchs gemessen nach dem NEFZ beschränkt, werden Maßnahmen, die primär Einfluss auf die Fahrleistung sowie die Verkehrsmittelwahl haben und zur Reduktion des Realverbrauchs beitragen (z.B. Verkehrsleitsysteme und Mautgebühren) in der Szenarienentwicklung nicht berücksichtigt. Dadurch reduziert sich das Spektrum der hier betrachteten Maßnahmen. Im Rahmen der Studie wurden elf Instrumente auf ihre Wirksamkeit, zur Reduzierung des Flottenverbrauchs beizutragen, überprüft. In Kapitel 5.2 werden die grundsätzlich in Frage kommenden Instrumente vorgestellt. Da wenig über die Verhaltenswirksamkeit von Maßnahmen auf den Parameter Flottenverbrauch bekannt ist, wurde zum einen eine Expertenbefragung durchgeführt. Diese dient der Absicherung und Fundierung der für die Berechnung der Szenarien zu treffenden Annahmen. Die Ergebnisse der Expertenbefragung sind Thema des Kapitels 5.3. Zum anderen wurden in einer Vergangenheitsanalyse die Auswirkungen von Preisen auf das Verhalten von Neuwagenkäufern über den Zeitraum von 1990 bis 2000 ermittelt. Die Ergebnisse waren Grundlage für die Bildung eines Modells für das Käuferverhalten, das in Kapitel 5.4 vorgestellt wird.

### 5.2 Umweltpolitische Instrumente zur Reduzierung des Flottenverbrauchs

Umweltpolitische Instrumente<sup>57</sup>, die zur Senkung des Flottenverbrauchs beitragen können, lassen sich folgenden drei Kategorien zuordnen:

- Ordnungsrechtliche Instrumente
- Ökonomische Instrumente sowie
- Instrumente der Information und Aufklärung.

Darüber hinaus gibt es das Instrument der Freiwilligen Selbstverpflichtung (siehe Kapitel 2.2).

Die Instrumente unterscheiden sich hinsichtlich der Intensität der Regierungsintervention und dem ihnen zugrunde liegenden Prinzip. Ordnungsrechtliche Instrumente basieren auf dem Vorsorgeprinzip. Ziel ist es, negative externe Effekte zu vermindern bzw. erst gar nicht auftreten zu lassen. Im Vergleich mit den beiden anderen Instrumenten zeichnen sich ordnungsrechtliche Instrumente durch die höchste politische Einflussnahme aus.<sup>58</sup> Sie operieren mit

---

<sup>57</sup> Formal bezeichnet der Begriff Instrumente als übergeordnete Kategorie die Eingriffsmöglichkeiten, die Politikträgern zur Verfügung stehen. Bei einer konkreten Ausgestaltung eines Instrumentes in einer bestimmten Situation, handelt es sich um eine Maßnahme (Diekmann 1998). In der Praxis werden die Begriffe meist parallel verwendet, da eine klare Abgrenzung der Ebenen nicht immer möglich ist bzw. oft beide Ebenen zugleich angesprochen sind.

<sup>58</sup> INFRAS, IWW 1994

dem Erlass von Verboten, Auflagen, Vorschriften und Zulassungsbescheiden etc., die z. T. zu sehr detaillierten Verhaltensanweisungen führen.<sup>59</sup>

Ökonomische Instrumente hingegen versuchen, externe Effekte verursachergerecht zu internalisieren. Hinter dem Verursacherprinzip steht die Grundidee, dass Wirtschaftssubjekte (Personen, Haushalte oder Firmen) die externen Effekte, die auf die Produktion und den Konsum von Marktgütern zurückzuführen sind, in ihr Entscheidungskalkül einbeziehen sollen.<sup>60</sup> Maßnahmen können einerseits Steuern, Abgaben oder – bei gewünschtem Verhalten – monetäre Kompensationen (Steuerbegünstigung, Subventionen) sein, die staatlicherseits erhoben oder gewährt werden. Andererseits kann es sich um marktwirtschaftliche Maßnahmen handeln, bei denen der Preismechanismus zur Steuerung des Verbrauchs einer knappen Umweltressource bzw. zur Steuerung der Produktion eines Schadstoffes wie z.B. CO<sub>2</sub> genutzt wird.<sup>61</sup>

Instrumente der Information und Aufklärung stellen die schwächste Form der Intervention dar. Sie beruhen auf der Annahme, dass durch einen verbesserten Wissensstand das Verhalten der Nutzer beeinflusst werden kann. Sie haben vor allem unterstützende Funktion. Der freiwilligen Selbstverpflichtung liegt das Prinzip der Eigenverantwortung der Industrie zugrunde. Erreicht die Industrie die mit der Regierung ausgehandelten und in der Selbstverpflichtung festgeschriebenen Ziele, verzichtet der Staat im Gegenzug auf regelnde Eingriffe, insbesondere gesetzlicher Art.

Um ein angestrebtes Ziel unter gesamtwirtschaftlich vertretbaren Bedingungen zu erreichen, wird in der Regel ein Bündel an Maßnahmen angewendet. Durch die Synergiewirkung eines Instrumenten-Mix können z.B. Preiserhöhungen moderater ausfallen und eine unnötige Belastung bestimmter gesellschaftlicher Gruppen vermieden werden.<sup>62</sup> Die Dosierung der Maßnahmen muss je nach Instrument unter mehr oder weniger großer Unsicherheit erfolgen, da die Anpassungsreaktionen der Wirtschaftssubjekte im Voraus meist nicht bekannt sind.

Ökonomische Maßnahmen haben einen erheblichen Stellenwert und werden gegenüber ordnungsrechtlichen Maßnahmen zumeist bevorzugt. "Es ist unmittelbar einsichtig, dass Auflagen und Vorschriften bestenfalls zufällig zu gleichen Grenzkosten der CO<sub>2</sub>-Minderung bei allen Entscheidungsträgern führen, denn dafür müsste die Regulierungsbehörde sämtliche Grenzkostenverläufe kennen und die optimale Anpassung für jeden Einzelfall vorschreiben. Ökonomisch sinnvolle Anpassungen unterbleiben daher, während an anderer Stelle die CO<sub>2</sub>-Minderung zu teuer erkaufte wird. Auch werden Fortschritte beim Stand der Technik erst mit erheblicher Verspätung im Ordnungsrecht berücksichtigt."<sup>63</sup> Die Bedeutung ordnungsrechtlicher Maßnahmen liegt daher vor allem in der Kombination mit ökonomischen Maßnahmen und in der Funktion, ein bestimmtes Mindestniveau zu garantieren. Darüber hinaus können ordnungsrechtliche Maßnahmen in Situationen, in denen die Preismechanismen des Marktes nicht greifen, notwendig sein.

In der Studie wurden im Wesentlichen die elf in Tabelle 5 aufgeführten Instrumente untersucht. Die ökonomischen und ordnungsrechtlichen Maßnahmen bewirken in erster Linie eine Veränderung der Preise. Beim Autofahrer können für den Besitz und die Nutzung eines Pkw drei Kostenarten unterschieden werden: die Anschaffungskosten, die fixen Kosten, die an die Zulassung eines Pkw gekoppelt sind (Versicherung, Kfz-Steuer), sowie die variablen Kosten, die durch die Autonutzung entstehen (z.B. Treibstoffkosten, Reparaturen). Die meisten ökonomischen Instrumente führen direkt zur Erhöhung einer der genannten Kostenarten bzw. zu deren Senkung, wenn gewünschtes Verhalten durch Subvention gefördert wird.

---

<sup>59</sup> Heister 1992

<sup>60</sup> INFRAS, IWW 1994

<sup>61</sup> Heister 1992

<sup>62</sup> Kuhfeld, Schlör, Voigt 2000

<sup>63</sup> Heister 1992

**Tabelle 5: Untersuchte Instrumente zur Beeinflussung des Flottenverbrauchs**

Ökonomische Instrumente	Ordnungsrechtliche Instrumente	Instrumente der Information und Aufklärung
Mineralölsteuer	CO <sub>2</sub> -Grenzwerte	Bewusstseinsbildende Kampagnen
Kfz-Steuer	Tempolimit auf Autobahnen	Öko-Label
Kaufsteuer		
CO <sub>2</sub> -Steuer		
Handelbare CO <sub>2</sub> -Zertifikate		
Abwrackprämien		
Abbau u. Umgestaltung von Steuervergünstigungen		

Andere Maßnahmen richten sich primär an die Angebotsseite. Durch die Festlegung von CO<sub>2</sub>-Grenzwerten oder die Einführung von CO<sub>2</sub>-Zertifikaten entsteht bei Fahrzeugherstellern die Notwendigkeit, die spezifischen Emissionen von Pkw zu verringern und die Produktpalette auf sparsame Fahrzeuge auszurichten. Darüber hinaus kann der Anreiz entstehen, den Verbrauch von Fahrzeugen zu einem wichtigen Bestandteil der Kundeninformation und Werbung werden zu lassen. Unter der Annahme, dass die Industrie für die geforderte Umsetzung von Spartechniken den Etat für Forschung und Entwicklung steigern muss und diese Kosten auf den Kunden umlegt, kommt es auch hier zu einer Erhöhung der Anschaffungskosten.

Das zur Verfügung stehende Instrumentarium arbeitet damit zu einem großen Teil mit Preissignalen, um die angestrebten Ziele der technologischen Weiterentwicklung und der Veränderung der Fahrzeugpalette zugunsten verbrauchsarmer Pkw sowie eines veränderten Kaufverhaltens von Neuwagenkäufern zu erreichen.

### 5.2.1 Ökonomische Instrumente

#### Mineralölsteuer

Die Mineralölsteuer wurde 1930 eingeführt und macht heute den größten Anteil der Kraftstoffkosten aus, die sich aus den drei Komponenten Produktpreis auf dem internationalen Markt, Abgaben (Mineralölsteuer, Mehrwertsteuer) und Beitrag an den Erdölbevorratungsverband zusammensetzen. "Die Mineralölsteuer wird als eines der wichtigsten Instrumente zur Beeinflussung der Umweltauswirkungen des Personenverkehrs angesehen."<sup>64</sup> Sie wird vor allem als Instrument zur Beeinflussung der Fahrleistungen diskutiert, da der Effekt der steigenden Kosten unmittelbar bei jedem Tankvorgang zu spüren ist. Eine Erhöhung der Mineralölsteuer hat jedoch auch Einfluss auf den in weitaus größeren Abständen durchgeführten Kauf eines Pkw. Die Nachfrage nach verbrauchsgünstigen Pkw wird v.a. dann gesteigert, wenn eine langfristige Erhöhung der Mineralölsteuer absehbar ist.

Die technische Weiterentwicklung von Pkw führt zur Reduzierung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs. Bei gleich bleibenden Kraftstoffkosten würde dies zu einer Abnahme der variablen Kosten führen. Soll über die Mineralölsteuer eine Verhaltenswirksamkeit erzielt werden, bedarf es daher eine Erhöhung, die über die Kompensation des sinkenden Kraftstoffverbrauchs hinausgeht.

Der Unterschied in der Mineralölsteuer zwischen Dieselmotorkraftstoff und Benzin beträgt derzeit 18 Cent. Der Grund für die Einführung der ungleichen Besteuerung war die Schonung des gewerblichen Straßengüterverkehrs. Um den Unterschied im Pkw-Bereich auszugleichen, wurde die Kfz-Steuer für Dieselfahrzeuge angehoben. Da die CO<sub>2</sub>-Emission je Liter Dieselmotorkraftstoff um 15% höher liegt als bei Benzin, ist aus Umweltgesichtspunkten die Angleichung

<sup>64</sup> Umweltbundesamt (UBA), IWW 2000

der Mineralölsteuersätze bzw. eine um 15% höhere Besteuerung von Dieselmotoren sinnvoll.

### Kraftfahrzeugsteuer

Die Kraftfahrzeugsteuer (Kfz-Steuer) ist eine vom Kraftfahrzeughalter zu zahlende Jahressteuer. Ursprünglich wurde die Kfz-Steuer in Abhängigkeit des Hubraums bemessen. Mit der Einführung des Katalysators kamen die Emissionen von Stickoxiden (NO<sub>x</sub>), Kohlenmonoxid (CO) und Kohlenwasserstoffen (HC) als zusätzliche Bemessungsgrundlage für die Festlegung der Höhe der Kfz-Steuer hinzu. Derzeit gilt die dritte Stufe der 1992 in der Europäischen Union in Kraft getretenen Schadstoffverordnung. Ab dem Jahr 2005 gilt als Minimalanforderung die Abgasnorm Euro 4. Diese vierte und vorerst letzte Stufe der Schadstoffverordnung wird die derzeit geltenden Grenzwerte um weitere 50% senken. Bei einem Großteil der Emissionen konnte auf diese Weise eine eindrucksvolle Minderung der Schadstoffe erreicht werden.<sup>65</sup>

Der CO<sub>2</sub>-Ausstoß von Pkw ist dagegen gesetzlich nicht geregelt und spielt bei der Ermittlung der Höhe der Kfz-Steuer keine Rolle. Lediglich für Pkw, deren Kohlendioxidemissionen 90 g/km nicht übersteigen („3-Liter-Autos“) besteht durch eine steuerliche Vergünstigung von bis zu 511,29 Euro [1.000 DM] ein Kaufanreiz. Bis Ende 1999 wurden auch „5-Liter-Autos“ durch einen Steuererlass von 255,65 Euro [500 DM] gefördert.

In Anlehnung an den Erfolg des Instrumentes Kfz-Steuer bei der Einführung emissionsarmer Pkw gemäß Euro Abgasnormen könnte die Kfz-Steuer auch zur Förderung von kraftstoffsparenden Fahrzeugen genutzt werden. Dabei sind unterschiedliche Varianten einer CO<sub>2</sub> – abhängigen Kfz-Steuer denkbar:

- Staffelung der Kfz-Steuer rein nach CO<sub>2</sub>-Emissionen: Je weniger ein Fahrzeug emittiert, desto weniger muss gezahlt werden
- Staffelung der Kfz-Steuer nach den CO<sub>2</sub>-Emissionen bezogen auf die Fahrzeuggröße
- Staffelung der Kfz-Steuer nach den CO<sub>2</sub>-Emissionen bezogen auf das Leergewicht des Fahrzeugs

Die beiden letztgenannten Varianten haben den Vorteil, dass auch die Fahrzeuge der Mittel- und Oberklasse günstig abschneiden können. Unter Umständen ist der Anreiz so größer, technisches Potenzial umzusetzen, als bei ohnehin von diesen Fahrzeugklassen nicht zu erreichenden niedrigen CO<sub>2</sub>-Emissionswerten. Auf diese Weise könnten innerhalb eines Fahrzeugsegments größere Verbrauchsspannbreiten entstehen. Die beiden Varianten können auch als Übergang zu einer rein verbrauchsabhängigen Kfz-Steuer genutzt werden.

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit der völligen Abschaffung und Umlegung der Kfz-Steuer auf den Treibstoffpreis. Auf diese Weise würde ein Teil der fixen Unterhaltskosten zu variablen Kosten, die sowohl von der Höhe des Treibstoffverbrauchs als auch von der Fahrleistung abhängen.

### Neuwagenabgabe (Kaufsteuer)

Bei der Kauf- bzw. Luxussteuer oder Neuwagenabgabe handelt es sich um eine einmalig bei Erwerb eines Fahrzeugs zu zahlende Steuer. In Deutschland sind neben der bei einem Neuwagenkauf erhobenen Mehrwertsteuer in Höhe von 16% keine weiteren direkten Steuern oder Abgaben zu entrichten. Im Vergleich zu anderen Europäischen Ländern ist dies eine recht niedrige Steuerbelastung. Die höchste Kaufsteuer fällt in Dänemark an. Steuern machen dort mehr als die Hälfte des Neuwagenpreises aus.

---

<sup>65</sup> FH Karlsruhe 2001; Landesanstalt für Umweltschutz – Baden-Württemberg 2002

Wird die Kaufsteuer an Verbrauchsmerkmalen von Neuwagen ausgerichtet, wird sie zu einem Instrument, das gezielt die Anschaffungskosten verbrauchsintensiver Pkw erhöht und damit lenkend in den Markt eingreift. Denkbar wäre die Festsetzung eines kontinuierlich sinkenden Grenzwertes. Neuwagen, die diesen Grenzwert überschreiten, könnten z.B. mit einem (linear steigenden) Aufschlag belegt werden.

### CO<sub>2</sub>-Zertifikate

Bei der Einführung von CO<sub>2</sub>-Zertifikaten wird eine zulässige Emissionsmenge festgesetzt und in Teilbeträge (Zertifikate) aufgeteilt. Jeder Emittent bekommt eine bestimmte Menge von Zertifikaten zugewiesen, die ihn zur Emission eines Bruchteils der Gesamtemission berechtigen. Wenn ein Emittent die ihm zugeteilten Zertifikate nicht in voller Höhe nutzt, kann er sie an andere Emittenten verkaufen. Reichen seine Zertifikate nicht aus, kann er entweder zusätzliche Zertifikate erwerben oder in die technische Entwicklung seines Produktes investieren, um dessen CO<sub>2</sub>-Emission zu reduzieren. Auf diese Weise entsteht ein Marktpreis für das verbriefte Emissionsrecht.<sup>66</sup>

CO<sub>2</sub>-Zertifikate haben zum einen den Vorteil, dass ein vorgegebenes Emissionsziel erreicht wird, da die festgesetzte Menge nicht überschritten werden darf. Zum anderen braucht der Staat nicht eingreifen, die Begrenzung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes regelt sich über den Markt. Da sich ein kostenminimales Gleichgewicht einstellen wird, sind CO<sub>2</sub>-Zertifikate zudem nicht nur ökologisch, sondern auch ökonomisch effizient. Als Nachteil erweist sich die Tatsache, dass bisher wenig Erfahrungen mit Zertifikaten vorliegen, die Erstaussgabe schwer zu regeln ist und wenig Planungssicherheit besteht, da sich schwer abschätzen lässt, wie sich der Marktpreis von CO<sub>2</sub>-Zertifikaten entwickeln wird.<sup>67</sup> Darüber hinaus sind nur schwer Kontrollmechanismen zu installieren.

Die Einführung von CO<sub>2</sub>-Zertifikaten stellt ein geeignetes Instrument dar, um die CO<sub>2</sub>-Emission im Verkehrssektor zu begrenzen. Der Handel mit CO<sub>2</sub>-Zertifikaten sollte sich allerdings nicht auf den Verkehrsbereich beschränken, sondern sektorübergreifend eingeführt werden.

### CO<sub>2</sub>-Steuer

Die Grundidee der CO<sub>2</sub>-Steuer ist die Besteuerung der tatsächlich von einem Wirtschaftssubjekt verursachten CO<sub>2</sub>-Emission. Ziel ist es, staatlicherseits einen Preis für CO<sub>2</sub>-Emissionen festzusetzen, der von allen mittelbaren und unmittelbaren CO<sub>2</sub>-Verursachern zu zahlen ist. Auf diese Weise haben alle Betroffenen die Möglichkeit, "ihre Grenzkosten der CO<sub>2</sub>-Minderung an den einheitlichen Preis für CO<sub>2</sub>-Emissionen" anzupassen.<sup>68</sup> Wie bei CO<sub>2</sub>-Zertifikaten bietet sich auch bei der CO<sub>2</sub>-Steuer eine sektorübergreifende Einführung an.

Auf den Verkehrsbereich bezogen bedeutet dies, dass alle externen Kosten, die den CO<sub>2</sub>-Emissionen von Fahrzeugen angelastet werden können, von den Verursachern zu zahlen sind. Die CO<sub>2</sub>-Steuer wird somit verbrauchsabhängig beim Endnutzer erhoben und erhöht bei Fahrzeughaltern den Anreiz zum Kauf möglichst verbrauchsgünstiger Pkw.

### Abwrackprämien

Die Zahlung einer Abwrackprämie zielt darauf ab, Anreize für die frühere Stilllegung von Altfahrzeugen mit überholtem Umweltstandard zu schaffen und dadurch technische Neuerungen schneller in den Pkw-Bestand einzubringen. Ford Deutschland hat zeitweilig Abwrackprämien von bis zu 1.530 Euro [3.000 DM] pro Fahrzeug gezahlt.<sup>69</sup> In Frankreich gab es be-

<sup>66</sup> Heister 1992; Klemm, Schmidt, Wollny 1999

<sup>67</sup> Klemm, Schmidt, Wollny 1999

<sup>68</sup> Heister 1992

<sup>69</sup> UBA 1997

fristet bis Juli 1995 eine Abwrackprämie für Fahrzeuge, die älter als 10 Jahre waren. Bei kleinen Fahrzeugen betrug die Prämie 5.000 Franc, bei großen 7.000 Franc.<sup>70</sup>

Zu einem Instrument, das einen Beitrag zur Reduzierung des Flottenverbrauchs leistet, wird die Abwrackprämie aber erst, wenn die Zahlung in Abhängigkeit der Höhe der Verbrauchswerte von neu angeschafften Fahrzeugen gestaffelt wird. In dieser Form ist die Zahlung einer Abwrackprämie bisher nicht zum Tragen gekommen.

Die Diskussion um den Nutzen einer Abwrackprämie wird sehr kontrovers geführt. Gerade für die Herstellung eines Pkw ist ein sehr hoher Energieaufwand nötig. Nicht in jedem Fall ergibt sich eine positive Ökobilanz für den gesamten Produktlebenszyklus durch das frühzeitige Ersetzen eines Pkw durch einen neuen. Außerdem handelt es sich bei der Abwrackprämie um eine Subvention, die nur temporär zu einer Nachfragesteigerung zu Lasten nachfolgender Perioden führt. Später umgesetzte technische Neuerungen sind damit entsprechend schwieriger in den Markt einzuführen.

### Abbau und Umgestaltung von Steuervergünstigungen für Pkw nach Umweltkriterien

Es gibt eine Reihe von Steuervergünstigungen, die die Nutzung von Pkw fördern und keinen Anreiz beinhalten, möglichst verbrauchsgünstige Pkw anzuschaffen. Exemplarisch wird hier auf die Abschreibung von gewerblich genutzten Pkw eingegangen.

Seit Januar 2001 können Geschäftswagen zur (Re-)Finanzierung über einen Zeitraum von 6 Jahren (vormals 5 Jahren) abgeschrieben werden. Um die Steuergesetzgebung für die Förderung verbrauchsarmer Fahrzeuge zu nutzen, sind folgende Veränderungen der Abschreibungsmöglichkeiten denkbar:

- Durch die Festsetzung einer Betragsobergrenze könnten Unternehmen Luxusfahrzeuge nicht mehr in voller Höhe absetzen. Auf diese Weise würde ein Anreiz entstehen, diese Betragsgrenze nicht zu überschreiten und damit kleinere, sparsamere Pkw zu kaufen.
- Des Weiteren könnte die Abschreibungshöhe von Geschäftswagen an das Erfüllen von Umweltkriterien wie den Verbrauch des Pkw gekoppelt werden.<sup>71</sup>

## **5.2.2 Ordnungrechtliche Instrumente**

### CO<sub>2</sub>-Grenzwert

CO<sub>2</sub>-Grenzwerte sind ein Instrument, mit dem die maximal zulässige Emission von Neuwagen oder Neuwagen-Flotten festgeschrieben werden kann. Im Gegensatz zu anderen Schadstoffgruppen existieren für CO<sub>2</sub>-Emissionen weder in den USA noch in Europa gesetzlich geregelte Grenzwertvorschriften.

CO<sub>2</sub>-Grenzwerte können in Abhängigkeit von den gewählten Bezugsgrößen unterschiedlich ausgestaltet werden. Neben der Einführung eines festen (absoluten) Grenzwertes, der von allen auf den Markt kommenden Neuwagen erfüllt werden muss, besteht die Möglichkeit einer flexiblen Grenzwertsetzung. In diesem Fall wird ein Verbrauchswert festgelegt, der von einzelnen Fahrzeugtypen überschritten werden kann. Ausschlaggebend ist, dass der Wert gemittelt über alle in einem Bezugsjahr von einem Hersteller verkauften Neuwagen eingehalten wird. Die letztgenannte Variante kann auch herstellerübergreifend zum Einsatz kommen. Darüber hinaus kann der Grenzwert auch in Bezug zum Fahrzeuggewicht (g CO<sub>2</sub>/ km pro t Leergewicht), zur Fahrzeuggröße (g CO<sub>2</sub>/ km pro m<sup>2</sup>) oder zur Motorleistung festgesetzt werden (relativer Grenzwert).

---

<sup>70</sup> Michaelowa 1998

<sup>71</sup> UBA 1997

Die Einführung eines festen Grenzwertes für alle Pkw hat den Nachteil, dass dieser ausschließlich zu Lasten großer Pkw mit hoher Motorleistung geht. Entsteht für kleine Pkw kein Anreiz zur weiteren Verbrauchsminderung, da sie den Grenzwert größtenteils schon erfüllen, müssen bei großen Pkw hingegen erhebliche Anstrengungen unternommen werden. Im Gegensatz dazu lassen flexible oder relative Grenzwerte den Automobilherstellern mehr Spielraum. Sie stellen quer durch die ganze Fahrzeugpalette einen Anreiz dar, den spezifischen Verbrauch zu senken und eignen sich insbesondere auch für eine Übergangsphase vor Festsetzung eines festen Grenzwertes.

Der Einführung von CO<sub>2</sub>-Grenzwerten steht gegenwärtig die Selbstverpflichtung der Automobilindustrie auf deutscher und europäischer Ebene entgegen, die eine Anwendung ordnungsrechtlicher Instrumente während der Laufzeit der Selbstverpflichtung ausschließt.<sup>72</sup>

### Tempolimit auf Autobahnen

Die Einführung eines Tempolimits auf Autobahnen hat nur indirekt Auswirkungen auf den Normverbrauch. In der Vergangenheit wurden die technische Fortschritte zu einem großen Teil dafür verwendet, höhere Motorleistungen und höhere Geschwindigkeiten zu realisieren. Ein Tempolimit kann dazu beitragen, dass die Entwicklung der Motorleistung von Neuwagen nicht mehr auf Höchstgeschwindigkeiten, sondern optimal auf die Geschwindigkeitsbereiche ausgerichtet wird, in denen Pkw überwiegend gefahren werden.<sup>73</sup>

## **5.2.3 Instrumente der Information und Aufklärung**

### Bewusstseinsbildende Kampagnen

Bewusstseinsbildende Kampagnen haben zum Ziel, Einfluss auf die Einstellungen von Menschen und die Meinungsbildung der Gesellschaft zu nehmen. Wie alle Instrumente der Information und Kommunikation haben auch bewusstseinsbildende Kampagnen keinen direkten Einfluss auf das Kaufverhalten von Neuwagenkäufern. Ihre Bedeutung liegt v.a. in ihrem flankierenden und andere Maßnahmen unterstützenden Charakter, indem sie z.B. das Verständnis und die Akzeptanz von ordnungs- und preispolitischen Maßnahmen erhöhen. Aufgrund des indirekten Einflusses lässt sich ihre Verhaltenswirksamkeit noch schwerer messen als bei anderen Instrumenten.

Anhand von verhaltenspsychologischen Modellen wird klar, warum auf Wissen basierte Instrumente nur indirekten Einfluss auf das Verhalten haben.<sup>74</sup> Das Wissen eines Menschen wirkt sich auf dessen Werte und Einstellungen aus. Diese wiederum beeinflussen das Verhalten eines Menschen. Erst über den "Umweg" der Veränderung von Einstellungen und Werten wird Wissen damit verhaltensrelevant. Nun führt aber weder Wissen zwangsläufig zur Veränderung von Einstellungen, noch müssen bestimmte Einstellungen – aufgrund der Konkurrenz unterschiedlicher Einstellungen untereinander – zwangsläufig zu verändertem Verhalten führen. Zusammengefasst kann daher gesagt werden: Wissen ist keine hinreichende, jedoch notwendige Voraussetzung, um Verhaltensänderungen zu bewirken.

---

<sup>72</sup> siehe Kapitel 2.2

<sup>73</sup> Petersen, Diaz-Bone 1998

<sup>74</sup> Eine Erklärung hierfür liefert beispielsweise das verhaltenspsychologische Modell von Fietkau und Kessel (1981), zitiert in Schahn, Giesinger (1993).

## Öko-Label

Bei der Einführung eines Labels handelt es sich im Grunde um ein ordnungsrechtliches Instrument. Da die zugrunde liegende Idee die Information des Kunden ist, wird es hier unter den Instrumenten der Information und Aufklärung aufgeführt.

Die Einführung eines Labels geht über die in der EU-Richtlinie 1999/94/EG<sup>75</sup> vorgeschriebene Verbraucherinformation zum Kraftstoffverbrauch von Pkw hinaus. Seine Aufgabe ist es, über den spezifischen Treibstoffverbrauch eines Neuwagens zu informieren. Dabei gibt es unterschiedliche Möglichkeiten, welche Informationen ein Label bereitstellt:

- Angabe des spezifischen Verbrauchs eines Neuwagens ohne Vergleich mit anderen Pkw
- Angabe des spezifischen Verbrauchs eines Neuwagens im Vergleich zum durchschnittlichen Verbrauch von allen anderen Neuwagen (absoluter Vergleich)
- Angabe des durchschnittlichen Verbrauchs eines Neuwagens im Vergleich zu ähnlichen Pkw bezüglich Größe oder Segment (relativer Vergleich)

Eine vom Österreichischen Verkehrsministerium und der Europäischen Union finanzierte Studie der Energie Verwertungsagentur zum Thema "Labelling and its impacts on fuel efficiency and CO<sub>2</sub>-reduction" kam zu folgendem Ergebnis:

Da die Autokäufer i.d.R. bereits eine klare Vorstellung von dem Auto, das sie kaufen möchten, haben, wird einem Label, das den spezifischen Verbrauch eines Pkw mit dem Verbrauch ähnlicher Pkw vergleicht, die höchste Effektivität zugesprochen. Der Nachfrageeffekt nach energieeffizienten und sparsamen Pkw würde nach Angabe der Studie die Reduktion des Flottenverbrauchs bis zum Jahr 2010 um 4 bis 5% gegenüber dem business-as-usual Szenario ohne Einführung eines Labels steigern.

### **5.3 Expertenbefragung**

Für die Definition und Berechnung der Szenarien sollten Aussagen über die Verhaltenswirksamkeit von Maßnahmen und Maßnahmenbündeln getroffen werden. Als problematisch erweist sich die Tatsache, dass es kaum Studien gibt, die "überzeugende empirische Belege für die Verhaltenswirksamkeit verkehrspolitischer Maßnahmen liefern".<sup>76</sup> Darüber hinaus kann sich die Wirkung eines Maßnahmenbündels erheblich von der Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen unterscheiden.<sup>77</sup>

Angesichts dieser Problematik wurde im Rahmen der Studie eine Expertenbefragung durchgeführt, die der Fundierung und Absicherung der für die Berechnung der Szenarien zu treffenden Annahmen diene. Expertenbefragungen liegt die Überzeugung zugrunde, dass Personen, die sich bereits intensiv mit dem zu untersuchenden Themenfeld beschäftigt haben, in der Lage sind, valide und zuverlässige Aussagen über diesen Sachverhalt zu treffen. Die Methode der Expertenbefragung ist in der wissenschaftlichen Evaluationsforschung nicht unumstritten. Bei einer entsprechend vorsichtigen Interpretation der Ergebnisse und als zusätzliche Informationsquelle haben Expertenbefragungen jedoch durchaus ihre Berechtigung und stellen eine vergleichsweise schnelle und kostengünstige Möglichkeit dar, zu Ergebnissen zu kommen.<sup>78</sup> Aufschlussreich ist insbesondere, wie weit die Meinungen der Experten bei den Fragen übereinstimmen.

Da eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse im Rahmen des Studienberichts nicht möglich ist, werden exemplarisch einige wichtige Ergebnisse herausgestellt. Der Fragebogen

---

<sup>75</sup> Siehe hierzu auch Kapitel 2.2.2

<sup>76</sup> Bamberg, Niestroj, Weber 2000

<sup>77</sup> Stein, Strobel 1998

<sup>78</sup> Bamberg, Niestroj, Weber 2000

sowie eine Auflistung aller Befragungsergebnisse in Form von Häufigkeitstabellen befinden sich im Anhang.

### **5.3.1 Fragestellung und methodisches Vorgehen**

Die Leitfragen, die mit Hilfe von Expertenmeinungen beantwortet werden sollten, können folgendermaßen zusammengefasst werden:

- Welche Instrumente haben das Potenzial und sind im Hinblick auf die Akzeptanz von Nutzern und Industrie besonders geeignet, einen wesentlichen Beitrag zur Reduzierung des Flottenverbrauchs zu leisten?
- Wie müssen diese Instrumente kombiniert und als konkrete Maßnahmen ausgestaltet werden, um eine hohe Verhaltenswirksamkeit zu erzielen?
- Von welchen Faktoren wird das Kaufverhalten der Neuwagenkäufer beeinflusst? Wie wirken sich Preisänderungen auf das Kaufverhalten der Nutzer aus?
- Welche technischen Einsparpotenziale könnten bis zum Jahr 2010 umgesetzt werden und zur Reduktion des Flottenverbrauchs beitragen?

Die Expertenbefragung wurde in schriftlicher Form mittels standardisiertem Fragebogen, der im August 2001 an 150 Experten aus Industrie, Politik, Umweltverbänden sowie Wissenschaft und Forschung verschickt wurde, durchgeführt. An das DLR wurden 63 vollständig ausgefüllte Fragebogen zurückgesandt. Damit konnte eine sehr zufriedenstellende Rücklaufquote von 42% erzielt werden.

Das Erhebungsinstrument besteht zum überwiegenden Teil aus geschlossenen Fragen, deren Beurteilung über drei- bis sechsstufige Antwortskalen erfolgt. Inhaltlich widmet sich der Fragebogen folgenden Themen:

- Kaufverhalten, Entwicklung des Neuwagenmarktes und der Fahrzeugtechnik
- Instrumente und Maßnahmenvarianten
- Auswirkungen der Umsetzung von Spartechniken auf den Neuwagenpreis
- Reaktion der Neuwagenkäufer auf Preisänderungen
- Bildung von Maßnahmenbündeln

### **5.3.2 Ergebnisse der Expertenbefragung**

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt anhand von Leitfragen der Untersuchung. Darüber hinaus wird auf Unterschiede der Expertenurteile in Abhängigkeit von der Berufsgruppe eingegangen.

Von welchen Faktoren wird das Kaufverhalten der Neuwagenkäufer beeinflusst? Wie wirken sich Preisänderungen auf das Kaufverhalten der Nutzer aus?

Wie in Kapitel 5.2 dargelegt, arbeitet das zur Verfügung stehende Instrumentarium zur Beeinflussung des Neuwagenmarktes zu einem großen Teil mit Preissignalen. Eine wichtige Frage ist daher, wie stark das Kaufverhalten tatsächlich über Preise beeinflusst werden kann, wie hoch Preisveränderungen ausfallen müssen, um die gewünschte Wirkung zu erzielen, und in wie weit andere Faktoren die Wirkung von Preissignalen abschwächen können. Die Experten sollten daher den Einfluss von Preisänderungen, Komfort- und Prestigeansprüchen sowie von günstigen Verbrauchswerten und damit verbundenen niedrigen Unterhaltskosten auf das Kaufverhalten abschätzen.

Knapp zwei Drittel der Experten halten den Verbrauch eines Fahrzeugs für ein wichtiges Kaufkriterium. Sie sind aber auch mehrheitlich der Meinung, dass Komfort- und Prestigeansprüche für Neuwagenkäufer entscheidender sind als die Höhe des Treibstoffverbrauchs und dass die Unterhaltskosten eines neuen Fahrzeugs, und damit auch die Kosten für Treibstoff, von den Neuwagenkäufern nicht genau kalkuliert werden. Insofern relativiert sich die Bedeutung des Verbrauchs als Kaufkriterium. In der konkreten Entscheidungssituation ist der Verbrauch nur eines von vielen Kriterien, dessen Einfluss ohne genaue Kenntnis der verbrauchsabhängigen Kosten an Bedeutung verliert (siehe hierzu korrespondierende Ergebnisse der Literaturanalyse Kapitel 4.4.2).

**Tabelle 6: Items zum Kaufverhalten der Neuwagenkäufer**

Items zum Kaufverhalten der Neuwagenkäufer	Angaben in Prozent				Gesamt
	trifft voll zu	trifft eher zu	trifft eher nicht zu	trifft gar nicht zu	
Der Verbrauch eines Fahrzeugs ist für Neuwagenkäufer eines der wichtigsten Kaufkriterien. (n=62)	15%	48%	37%	0%	100,0%
Käufer kleiner Pkw sind preissensibler als Käufer großer Pkw. (n=62)	52%	45%	3%	0%	100,0%
Steigende Neuwagenpreise bewirken die Wahl eines schwächer motorisierten Modells. (n=60)	3%	33%	58%	5%	100,0%
Komfort- und Prestigeansprüche sind für Neuwagenkäufer entscheidender als die Höhe des Treibstoffverbrauchs. (n=62)	18%	65%	15%	3%	100,0%
Neuwagenkäufer kalkulieren beim Kauf eines Pkws die Unterhaltskosten sehr genau. (n=61)	3%	28%	59%	10%	100,0%

Höhere Preise haben v.a. dann eine normverbrauchsreduzierende Wirkung, wenn sie zum Kauf schwächer motorisierter Modelle und zur Wahl eines kleineren Fahrzeugs führen. Um abschätzen zu können, inwiefern über spürbar steigende Neuwagenpreise diese gewünschten Reaktionen zu erzielen sind, wurden den Experten neun Ausweichreaktionen, über die Kunden steigenden Anschaffungskosten entgegen wirken können, vorgegeben. Nach den drei wichtigsten Ausweichreaktionen gefragt, gaben die Experten mit Abstand am häufigsten an, dass Neuwagenkunden in diesem Fall auf einen günstigeren Anbieter der gleichen Größen- und Leistungsklasse umsteigen würden. Damit steht an erster Stelle eine Ausweichreaktion, die dazu führt, dass kein Verzicht bezüglich der Leistungsmerkmale eines Neuwagens geübt werden muss. Dieses Ergebnis ist insofern überraschend, da allgemein von einer recht hohen Markentreue bei Neuwagenkunden ausgegangen wird. Im DAT-Veedol-Report 2000 wird angegeben, dass im Jahr 1999 53% der Neuwagenkäufer wieder die Marke ihres Vorwagens gewählt haben. Nach Meinung der Experten fällt der Verzicht auf Komfort und Sicherheit jedoch deutlich schwerer als ein Wechsel der Marke bei gleich bleibenden Leistungsmerkmalen. Am seltensten wurde der Verzicht auf eine Klimaanlage sowie auf zusätzliche Seiten- und Kopfairbags als Ausweichreaktion gewählt.

Die Wahl eines kleineren Fahrzeugs wird am vierthäufigsten und nur noch halb so oft wie der Umstieg auf einen günstigeren Anbieter genannt. Die Wahl einer Variante mit geringerer Motorleistung folgt auf Rang 5 der Ausweichreaktionen. Dies korrespondiert mit der Aussage von 63% der Experten, dass steigende Neuwagenpreise nicht die Wahl eines schwächer motorisierten Modells bewirken (siehe Tabelle 7). Da nach Meinung der Experten zunächst andere Ausweichreaktionen gewählt werden, wird davon ausgegangen, dass Preissignale entsprechend „hoch dosiert“ sein müssen, um das Potenzial dieser gewünschten, nachrangigen Ausweichreaktionen zu aktivieren.

**Tabelle 7: Ausweichreaktionen der Neuwagenkäufer nach Anzahl der Nennungen**

Rang	Ausweichreaktionen der Neuwagenkäufer auf steigende Neuwagenpreise	Anzahl der Nennungen
1	Umstieg auf günstigeren Anbieter der gleichen Größen- und Leistungsklasse	48
2	Verzicht auf optische Aufwertung wie z.B. Sonderlackierung, Leichtmetallfelgen	29
3	Verzicht auf Komfortausstattung wie z.B. Schiebedach, elektrische Fensterheber, Sitzheizung	26
4	Wahl eines kleineren Fahrzeugs	24
5	Wahl einer Variante mit geringerer Motorleistung	19
6	Wahl einer Dieselvariante	16
7	Verzicht auf Elektronisches Stabilitätsprogramm Anti-Schleuder-Hilfe)	13
8	Verzicht auf Seiten- und Kopfairbags (neben vorhandenem Frontairbags)	7
9	Verzicht auf Klimaanlage	6

In einem weiteren Schritt wurden die Experten gefragt, wie stark die Anschaffungskosten, die Kraftstoffkosten und die Fixkosten jeweils für sich genommen steigen müssen, damit die Neuwagenkunden in der gewünschten Weise reagieren und sich für einen sparsamer motorisierten Pkw entscheiden. Da die Frage in Abhängigkeit vom Fahrzeugsegment beantwortet werden sollte, waren pro Kostenart vier Urteile abzugeben.

**Tabelle 8: Erforderlicher Anstieg des Anschaffungspreises zur Förderung der Wahl eines sparsamer motorisierten Pkw**

Fahrzeugsegment <i>Neupreis eines jeweils typischen Modells</i>	Erhöhung des Neuwagenpreises um						Gesamt
	10%	20%	30%	40%	50%	>50%	
<b>Untere Mittelklasse</b> (n=45) <i>16.361 Euro [32.000 DM]</i>	36%	62%	0%	0%	0%	2%	100%
<b>Mittelklasse</b> (n=45) <i>23.519 Euro [46.000 DM]</i>	7%	67%	22%	2%	0%	2%	100%
<b>Obere Mittelklasse</b> (n=44) <i>34.768 Euro [68.000 DM]</i>	5%	30%	34%	23%	5%	5%	100%
<b>Van</b> (n=44) <i>24.542 Euro [48.000 DM]</i>	9%	55%	21%	9%	5%	2%	100%

Entsprechend der klaren Aussage, dass Käufer kleiner Pkw preissensibler sind als Käufer großer Fahrzeuge (siehe Tabelle 8), steigt die für notwendig erachtete Preiserhöhung bei allen drei Kostenarten von der Unteren zur Oberen Mittelklasse hin an. Bei der Unteren Mittelklasse gehen knappe zwei Drittel davon aus, dass eine 20-prozentige Preiserhöhung notwendig ist, damit eine schwächere Motorisierung gewählt wird. Ein gutes Drittel ist der Meinung, dass eine 10-prozentige Erhöhung dafür bereits ausreicht. Höhere Preissteigerungen spielen hier so gut wie keine Rolle. In den beiden nächsten Fahrzeugsegmenten zeigt sich eine Verschiebung hin zu einer stärkeren Preiserhöhung. Spricht sich auch bei der Mittelklasse die Mehrheit für eine 20-prozentige Erhöhung aus, so hält bereits ein nennenswerter Anteil der Experten eine 30-prozentige Erhöhung für notwendig. Ein ebensolcher Anteil (23%) spricht sich bei der Oberen Mittelklasse sogar für eine 40-prozentige Preiserhöhung

aus. Grundsätzlich fällt sowohl bei der Oberen Mittelklasse als auch beim Van eine im Vergleich zu den beiden unteren Fahrzeugsegmenten breitere Antwortstreuung auf. Die Experten sind sich damit weniger einig, wie die Kundenreaktion in diesen beiden Segmenten bei steigenden Preisen ausfällt.

Die Angaben zur notwendigen Preissteigerung bei den Kraftstoff- und fixen Unterhaltskosten nehmen bezogen auf die Fahrzeugsegmente einen ähnlichen Verlauf (siehe Tabelle 9). Nach Meinung der Experten müssen diese beiden Kostenarten jedoch stärker als die Neuwagenpreise steigen, um sich auf das Kaufverhalten zugunsten kleiner motorisierter Pkw auszuwirken. Die Werte der nachfolgenden Tabelle machen dies deutlich. Da aufgrund der gewählten Antwortskala mit der Kategorie „> 50%“ kein durchschnittlicher Prozentwert für die notwendige Preissteigerung ermittelt werden kann, wurde auf die Skalenwerte 1 (Kategorie „10%“) bis 6 (Kategorie „> 50%“) zurückgegriffen und nach Anzahl der Nennungen der Mittelwert berechnet.

**Tabelle 9: Erforderlicher Anstieg des Anschaffungspreises, der Kraftstoff- und fixen Unterhaltskosten damit eine sparsamere Motorisierung gewählt wird**  
 Durchschnittlich erreichte Skalenwerte (Skalenwert 1 entspricht einer Preiserhöhung von 10%, Skalenwert 6 einer Preiserhöhung > 50%)

Fahrzeugsegment	Neuwagenpreis	Kraftstoffkosten	Fixe Unterhaltskosten
Untere Mittelklasse	1,7	2,3	2,5
Mittelklasse	2,3	3,0	3,0
Obere Mittelklasse	3,1	3,8	3,8
Van	2,5	3,2	3,2

Bei der Betrachtung der Bedeutung von Unterhaltskosten und Anschaffungskosten zeigt sich, dass die Experten tendenziell einer Preissteigerung der Unterhaltskosten einen höheren Einfluss auf den Neuwagenkauf beimessen (siehe Tabelle 10). Allerdings fällt die Mehrheit, die sich für die höhere Bedeutung der Unterhaltskosten ausspricht mit 54% sehr gering aus. Außerdem ist die Gruppe der Experten, die das Item als gar nicht zutreffend bezeichnen größer als der Anteil der Experten, die dem Item voll zustimmen. Hohe Einigkeit unter den Experten besteht dagegen bei der Zustimmung zu den beiden Aussagen, dass durch eine absehbare kontinuierliche Erhöhung der verbrauchsabhängigen Pkw-Kosten ein klarer Anreiz entsteht, verbrauchsarme Fahrzeuge zu kaufen und dass höhere Anschaffungskosten für verbrauchsarme Pkw sich innerhalb von zwei bis drei Jahren amortisiert haben sollten.

**Tabelle 10: Items zu Kosten**

Items zu Kosten	Angaben in Prozent				Gesamt
	trifft voll zu	trifft eher zu	trifft eher nicht zu	trifft gar nicht zu	
Preissteigerungen bei den laufenden Unterhaltskosten beeinflussen den Neuwagenkauf mehr als Preissteigerungen bei den Anschaffungskosten. (n=57)	5%	49%	37%	9%	100,0%
Höhere Anschaffungskosten sollten sich für verbrauchsarme Pkw innerhalb von zwei bis drei Jahren amortisieren. (n=59)	27%	66%	5%	2%	100,0%
Durch eine absehbare kontinuierliche Erhöhung der verbrauchsabhängigen Pkw-Kosten entstehen für den Neuwagenkäufer klare Anreize verbrauchsarme Fahrzeuge zu kaufen. (n=63)	30%	64%	6%	0%	100,0%

Welche Instrumente haben das Potenzial und sind im Hinblick auf die Akzeptanz besonders geeignet, einen wesentlichen Beitrag zur Reduzierung des Flottenverbrauchs zu leisten? Wie müssen diese Instrumente kombiniert werden, um eine hohe Verhaltenswirksamkeit zu erzielen?

Im zweiten Teil der Ergebnisdarstellung geht es um die Einschätzung der Experten von Instrumenten und Maßnahmenvarianten sowie die Bildung von Maßnahmenbündeln zur Beeinflussung des Normverbrauchs von verkauften Neuwagen.

Bevor die Instrumente und Maßnahmenvarianten näher beleuchtet wurden, sollten die Experten von den elf in Kapitel 5.2 dargelegten Instrumenten, die drei auswählen, die ihrer Meinung nach besonders geeignet sind, die Produktion und den Verkauf von sparsamen Fahrzeugen zu fördern. Am häufigsten geben die Experten die Mineralölsteuer an. An zweiter und dritter Stelle folgen die CO<sub>2</sub>-Steuer und die Kraftfahrzeugsteuer. An der Spitze der Häufigkeitstabelle stehen damit drei fiskalische Instrumente.

**Tabelle 11: Instrumente zur Reduktion des Flottenverbrauchs nach Rangfolge der Nennungen (absolute Zahlen)**

Rang	Maßnahme (n=62)	Anzahl der Nennungen
1	Mineralölsteuer	37
2	CO <sub>2</sub> -Steuer	31
3	Kraftfahrzeugsteuer	23
4.1 4.2	Bewusstseinsbildende Kampagnen CO <sub>2</sub> -Grenzwert	21
5	Tempolimit auf Autobahnen	18
6	Handelbare CO <sub>2</sub> -Zertifikate	10
7	Kaufsteuer, Luxussteuer	9
8.1 8.2	Abwrackprämie Abbau Steuervergünstigungen	5
9	Öko-Label	4

Auf Rang 4 und 5 folgen mit Bewusstseinsbildenden Kampagnen, der Einführung eines CO<sub>2</sub>-Grenzwertes und eines Tempolimits auf Autobahnen ein Instrument der Information und Aufklärung sowie zwei ordnungsrechtliche Instrumente. Die Einführung eines Tempolimits erhält nur noch knapp die Hälfte der Stimmen der Mineralölsteuer. Die Auswertung der Antworten bezüglich des Items zum Tempolimit (siehe Tabelle 12) zeigt, dass sich bei der Möglichkeit, über die Einführung einer Geschwindigkeitsbeschränkung Einfluss auf den Normverbrauch zu nehmen, die Meinungen der Experten auseinander gehen. Das Item, über die Einführung eines Tempolimits könne die Produktion und der Kauf von Pkw mit niedrigerer Motorleistung gefördert werden, wird von der gleichen Zahl von Experten einmal als voll zutreffend und einmal als gar nicht zutreffend bezeichnet. Der Anteil der Experten, der das Item als eher zutreffend bezeichnet, fällt lediglich um 1,5% höher aus als der Prozentsatz der Experten, die es als eher nicht zutreffend bezeichnen. Die Antworten halten sich damit mehr oder weniger die Waage.

Das Instrument Öko-Label wird lediglich von vier der 63 Experten als eines von drei wichtigen Instrumenten ausgewählt. Dies steht in scheinbarem Widerspruch zu der deutlich häufigeren Nennung Bewusstseinsbildender Kampagnen, da auch das Öko-Label darauf abzielt, das Bewusstsein von Kunden bezüglich dem Verbrauch von Neuwagen zu schärfen und darüber Einfluss auf die Kaufentscheidung zu nehmen. Es wird davon ausgegangen, dass dieses Phänomen dadurch zustande kommt, dass allgemeinere Formulierungen (Bewusstseinsbildende Kampagnen) i.d.R. eine höhere Zustimmung erhalten als konkrete und damit

inhaltlich einschränkende Formulierungen (Öko-Label). Wird die Einschätzung der Experten bezüglich des Items zum Öko-Label hinzugezogen, wird deutlich, dass die unterstützende Funktion eines Labels zur Reduktion des Normverbrauchs mehrheitlich positiv gesehen wird.

**Tabelle 12: Items zu Maßnahmen**

Items zu Maßnahmen	Angaben in Prozent				Gesamt
	trifft voll zu	trifft eher zu	trifft eher nicht zu	trifft gar nicht zu	
Die Einführung eines Tempolimits fördert die Produktion und den Kauf von Pkw mit niedrigeren Motorleistungen. (n=63)	10%	41%	40%	10%	100,0%
Bewusstseinsbildende Werbekampagnen wirken erst dann, wenn sie mit ähnlichem Aufwand wie die Werbung von Herstellern betrieben werden. (n=60)	28%	55%	15%	2%	100,0%
Ein Label, das den Treibstoffverbrauch und die CO <sub>2</sub> -Emission eines Neuwagens mit dem anderer vergleicht, ist ein wirksames Instrument, den Kauf sparsamer Pkw zu unterstützen. (n=63)	10%	51%	37%	3%	100,0%

Für fünf Instrumente wurden konkrete Maßnahmenvarianten ausformuliert. Die Experten wurden gebeten, die jeweils effektivste pro Instrument zu benennen und jede Maßnahmenvariante hinsichtlich ihrer gesellschaftlichen Akzeptanz und Wirkung auf den Flottenverbrauch zu beurteilen. Hier wird exemplarisch auf die Mineralölsteuer und die Kfz-Steuer eingegangen.

Bei der Wahl, welche der fünf aufgeführten Gestaltungsvarianten der Kfz-Steuer die effizienteste im Sinne der Förderung von Produktion und Kauf von sparsamen Pkw ist, entscheiden sich die Experten am häufigsten für die ausschließliche Besteuerung nach der CO<sub>2</sub>-Emission. Dies ist allerdings auch die Maßnahmenvariante, die bei der Einschätzung der gesellschaftlichen Akzeptanz schlechter als alle anderen Varianten abschneidet. Was die Wirkung der Maßnahmenvarianten der Kfz-Steuer auf den Flottenverbrauch betrifft, gehen die Experten z.T. zu weit über 50% von einer mittleren bis hohen Wirkung aus. Der geringste Effekt wird bei einer Kfz-Steuer erwartet, die auf eine höhere steuerliche Vergünstigung für Drei- und Vier-Liter Autos setzt, der höchste Effekt wird der Kombination zugeschrieben, bei der in einer Übergangsphase zunächst nach der CO<sub>2</sub>-Emission in Abhängigkeit der Fahrzeuggewichts besteuert und später eine reine CO<sub>2</sub>-Emissionssteuer erhoben wird.

Es zeigt sich, dass generell keine der im Fragebogen für fünf Instrumente aufgeführten Maßnahmenvarianten in der Lage ist, gleichzeitig einen hohen Wirkungsgrad und eine hohe gesellschaftliche Akzeptanz auf sich zu vereinen. Besonders deutlich wird dies bei den Gestaltungsvarianten der Mineralölsteuer. Die Mineralölsteuer wird – wie bereits dargelegt – als eines der wichtigsten Instrumente angesehen, wenn es um die Beeinflussung des Normverbrauchs von Neuwagen geht. Eben diese drei Maßnahmenvarianten erhalten die geringsten Werte bei der Einschätzung der gesellschaftlichen Akzeptanz. Werden die Werte für eine hohe und mittlere Akzeptanz der Maßnahmenvarianten addiert, erreichen bis auf zwei Ausnahmen alle der insgesamt 15 aufgeführten Gestaltungsvarianten zum CO<sub>2</sub>-Grenzwert, zur Kfz-Steuer, Abwrackprämie und Kauf-/ Luxussteuer Werte von über 50%, z.T. über 90%. Bei den Ausnahmen handelt es sich um die Einführung eines festen CO<sub>2</sub>-Grenzwertes für alle Pkw und die Erhebung einer Kaufsteuer auf alle neuzugelassenen Fahrzeuge. Lediglich bei der Mineralölsteuer gehen nur 10 bis 36% der Experten von einer mittleren bis hohen Akzeptanz aller Gestaltungsvarianten aus. Der Zielkonflikt macht deutlich, dass Veränderungen behutsam vorgenommen werden müssen und unterstreicht die Bedeutung und notwendige unterstützende Funktion von Bewusstseinsbildenden Kampagnen bei der praktischen Umsetzung von Maßnahmen.

**Tabelle 13: Maßnahmenvarianten der Instrumente Mineralölsteuer und Kfz-Steuer: Einschätzung der gesellschaftlichen Akzeptanz und der Wirkung auf den Flottenverbrauch**

Kfz-Steuer	Effizien- teste Maßn.	Gesellschaftliche Akzeptanz			Wirkung Flottenverbrauch		
		hoch	Mittel	gering	hoch	mittel	gering
höhere steuerliche Vergünstigungen für Drei- und Vier-Liter Autos	19%	72%	22%	7%	13%	46%	41%
Umlegung der Kfz-Steuer auf die Mineralölsteuer.	19%	20%	52%	28%	25%	43%	32%
Besteuerung der CO <sub>2</sub> -Emission in Abhängigkeit vom Gewicht des Fahrzeugs	2%	19%	63%	19%	17%	38%	45%
Besteuerung ausschließlich nach der Höhe der CO <sub>2</sub> -Emission	52%	17%	38%	45%	21%	43%	36%
Kombination aus Besteuerung nach CO <sub>2</sub> -Emission in Abhängigkeit des Fahrzeuggewichts und reine CO <sub>2</sub> -Emissionssteuer.	7%	19%	45%	36%	20%	63%	17%
Mineralölsteuer	Effizien- teste Maßn.	Gesellschaftliche Akzeptanz			Wirkung Flottenverbrauch		
		hoch	Mittel	gering	hoch	mittel	gering.
Kompensation des sinkenden Kraftstoffverbrauchs von Pkw durch höhere Mineralölsteuer. Die Höhe der Mineralölsteuer pro Kilometer bleibt gleich.	8%	5%	31%	64%	7%	41%	54%
Deutliche Anhebung der Mineralölsteuer über das heutige Niveau hinaus	39%	0%	10%	90%	38%	48%	15%
stufenweise Anhebung der Mineralölsteuer im Rahmen der Ökosteuern.	53%	0%	32%	68%	26%	50%	24%

Die Fortschreibung der stufenweise Anhebung der Mineralölsteuer im Rahmen der Ökosteuern wird am häufigsten als effizienteste Maßnahme bezeichnet. Bis auf die Variante, bei der die Erhöhung der Mineralölsteuer lediglich den sinkenden Kraftstoffverbrauch von Pkw kompensiert und die mineralölsteuerbedingten Kosten pro Kilometer damit gleich bleiben, wird den Varianten einmal von 76% und einmal von 85% der Experten eine mittlere bis hohe Wirkung auf den Flottenverbrauch bescheinigt.

Da über eine einzelne Maßnahme die gewünschte Wirkung auf den Flottenverbrauch nicht zu erzielen ist, sollten die Experten auf Grundlage der zuvor im Rahmen des Fragebogens gemachten Überlegungen entscheiden, welche Maßnahmen sie in einem Maßnahmenbündel zusammenführen würden, um eine hohe lenkende Wirkung im Hinblick auf die Produktion und den Kauf sparsamer Modelle zu bewirken.

Die Experten kombinieren durchschnittlich 3,6 Maßnahmen in einem Maßnahmenbündel. Die am häufigsten für die Bildung eines Maßnahmenbündels vorgeschlagenen Instrumente sind Bewusstseinsbildende Kampagnen und wie bei der Frage nach den drei wichtigsten Instrumenten (siehe Tabelle 11) die Mineralölsteuer, die CO<sub>2</sub>-Steuer und die Kfz-Steuer. Angesichts der Vielzahl an Kombinationsmöglichkeiten und der freien Entscheidung, wie viele Maßnahmen miteinander kombiniert werden, gibt es lediglich zwei Maßnahmenbündel, die von jeweils drei Experten identisch zusammengestellt wurden. Sechs weitere Maßnahmenbündel wurden von jeweils zwei Experten gebildet. Die meisten Maßnahmenbündel (71%) kommen nur ein einziges Mal vor. Bei genauer Betrachtung zeigt sich jedoch, dass die Bündel im Kern vorwiegend aus den vier am häufigsten genannten Maßnahmen bestehen und sich lediglich darin unterscheiden, mit wie vielen und welchen weiteren Maßnahmen sie verknüpft wurden. 75% aller Maßnahmenbündel enthalten mindestens zwei der am häufigsten genannten Maßnahmen, 30% setzen sich aus mindestens drei der Maßnahmen zusammen.

Beim Vergleich der Häufigkeiten, wie oft die einzelnen Maßnahmen als Teil eines Maßnahmenbündels verwendet und wie oft sie bei der eingangs gestellten Frage nach den drei wichtigsten Maßnahmen genannt wurden, gibt es zwei Auffälligkeiten. Nach der Anzahl der Nennungen sortiert, verändern die meisten Maßnahmen nur geringfügig ihre Position. Lediglich die Bewusstseinsbildenden Kampagnen und das Öko-Label werden bei der Bildung von Maßnahmenbündeln deutlich häufiger – fast doppelt und dreifach so oft – genannt. Im Ergebnis kommt in über zwei Drittel aller gebildeten Maßnahmenbündel eine oder beide dieser Maßnahmen vor. Die Experten räumen dem Instrument der Information und Aufklärung mit seiner akzeptanzfördernden und andere Maßnahmen unterstützenden Funktion damit einen sehr hohen Stellenwert bei der Bildung der Maßnahmenbündel ein. Sie gehen allerdings auch mehrheitlich davon aus, dass Bewusstseinsbildende Kampagnen erst wirken, wenn sie mit einem ähnlichen Aufwand wie die Werbung von Herstellern betrieben werden (siehe Tabelle 11).

### Unterschiede im Antwortverhalten der Berufsgruppen

Der Fragebogen wurde von 63 Personen beantwortet. Ihrer beruflichen Zugehörigkeit nach verteilen sie sich wie folgt: Industrie 11 Personen, Politik 10 Personen, Umweltverbände 5 Personen, Verbraucherverbände 3 Personen, Fachjournalismus 1 Person sowie Wissenschaft und Forschung 33 Personen. Angesichts der z.T. geringen Fallzahl kann nicht verallgemeinernd vom Antwortverhalten bestimmter Berufsgruppe gesprochen werden. Es lassen sich jedoch Antworttendenzen ablesen. Der Vergleich des Antwortverhaltens in Abhängigkeit der Angaben zum Beruf wurde für Personen aus Industrie, Politik, Umweltverbänden sowie Wissenschaft und Forschung durchgeführt.

Grundsätzlich zeichnen sich keine sehr großen Unterschiede oder gar extreme Gegenpositionen im Antwortverhalten ab. Die Personen aus Industrie und Politik gehen z.B. zu einem höheren Prozentsatz davon aus, dass der Verbrauch eines Fahrzeugs ein wichtiges Kaufkriterium ist. Gleichzeitig ist der Anteil der Personen aus der Industrie, der Komfort- und Prestigeansprüche beim Autokauf für entscheidender hält als den Verbrauch eines Pkw, etwas niedriger, auch wenn die Aussage mit 70% immer noch deutlich bejaht wird. Was eine notwendige Erhöhung von Preisen betrifft, schätzt die Industrie den notwendigen Anstieg der Anschaffungs-, Kraftstoff- und fixen Unterhaltskosten, um eine Veränderung des Kaufverhaltens zu bewirken, etwas niedriger ein.

Wirkliche – allerdings gering ausgeprägte – gegensätzliche Positionen treten auf, wenn auf den gesamten Datensatz bezogen die Stimmen der Aussagen bejahenden und verneinenden Personen ungefähr gleich hoch ausfallen. Dies ist z.B. beim Tempolimit der Fall. Der Anteil der Personen, der zustimmt, dass ein Tempolimit die Produktion und den Kauf von Pkw mit niedriger Motorleistung fördert, überwiegt bei der Berufsgruppe Wissenschaft und Forschung knapp, bei den Umweltverbänden deutlich. Bei Politik und Industrie überwiegt dagegen der Anteil der Personen, die dieser Aussage nicht zustimmen.

Die Frage nach der Präferenz einzelner Maßnahmenvarianten und der Einschätzung ihrer gesellschaftlichen Akzeptanz und ihrer Wirkung auf den Flottenverbrauch wurde nicht von allen Experten beantwortet. Um einzelnen Antworten kein zu hohes Gewicht zukommen zu lassen, werden die Unterschiede nicht herausgearbeitet.

An der Bildung von Maßnahmenbündeln haben sich alle Experten beteiligt. Die vier wichtigsten Maßnahmen sind mit einer Ausnahme in allen untersuchten Berufsgruppen die Bewusstseinsbildenden Kampagnen, die Mineralölsteuer, die CO<sub>2</sub>-Steuer sowie die Kfz-Steuer, wenn auch in unterschiedlicher Reihenfolge. Lediglich die Umweltverbände stufen die Bedeutung der Kfz-Steuer niedriger ein. Dort erhalten Maßnahmen wie die Einführung eines CO<sub>2</sub>-Grenzwertes und eines Tempolimits größere Bedeutung, die von Industrie hingegen recht selten als Teil eines Maßnahmenbündels aufgenommen werden.

## Zusammenfassung

Bewusstseinsbildende Kampagnen, die Mineralölsteuer, die CO<sub>2</sub>-Steuer und die Kfz-Steuer sind nach Meinung der Experten die wichtigsten Maßnahmen, die in einem Maßnahmenbündel zur Reduktion des Flottenverbrauchs Anwendung finden sollten. Insbesondere Bewusstseinsbildenden Kampagnen kommt angesichts der Tatsache, dass keine der abgefragten Maßnahmenvarianten in der Lage ist, gleichzeitig eine hohe gesellschaftliche Akzeptanz und eine hohe Wirkung auf den Flottenverbrauch auf sich zu vereinen, eine hohe Bedeutung zu. Damit Bewusstseinsbildende Kampagnen ihre akzeptanzfördernde und andere Maßnahmen unterstützende Funktion wirklich erfüllen können, bedarf es nach Meinung der Experten hohe Investitionen. Bewusstseinsbildende Werbekampagnen wirken demnach erst, wenn sie in einem ähnlich hohen Aufwand wie die Werbung von Automobilherstellern betrieben wird.

Damit steigende Preise die Wahl eines Pkw mit geringerer Motorisierung bewirken, bedarf es nach Meinung der Experten ungefähr einer Preissteigerung zwischen 20 und 40%. Die notwendige Preiserhöhung steigt mit der Größe des Fahrzeugsegments. Die Kraftstoff- und fixen Unterhaltskosten müssen nach Meinung der Experten stärker zunehmen als die Anschaffungskosten, um das gewünschte Verhalten zu bewirken. Bevor Neuwagenkunden aufgrund steigender Preise kleinere oder geringer motorisierte Pkw kaufen, würden sie eher zu anderen Ausweichreaktionen tendieren, wie dem Umstieg auf einen günstigeren Anbieter bei gleicher Größen- und Fahrzeugklasse oder den Verzicht auf optische Aufwertungen und Komfortausstattungen.

### **5.4 Entwicklung eines Nachfragemodells zur Abbildung der Wirksamkeit von Maßnahmen auf das Verhalten von Neuwagenkäufern**

Ökonomische und zum Teil auch ordnungsrechtliche Maßnahmen führen zu Veränderungen der Kosten, die mit dem Autobesitz und der Autonutzung verbunden sind. Gleichzeitig begünstigen sie bei entsprechender Gestaltung technologische Entwicklungen bezüglich kraftstoffsparender Techniken. Zur Abschätzung der Reaktion von Neuwagenkäufern auf Kostensteigerungen und –senkungen wurde im Rahmen der Studie ein Modell zum Käuferverhalten entwickelt, das verschiedene Maßnahmen und ihre Bemessung im Hinblick auf die Antriebs- und Segmentzusammensetzung des Neuwagenmarktes abbildet. Dieses Käufermodell kommt in Kapitel 6 zur Anwendung, wo in Szenarien verschiedene Maßnahmenbündel und Bemessungsstärken auf ihre Auswirkungen auf das Käuferverhalten und dadurch auf die durchschnittlichen Kohlendioxidemissionen aller Neuzulassungen getestet werden.

Die in Betracht zu ziehenden Maßnahmen sind in Abbildung 21 in ihrer grundsätzlichen Wirkung auf die Kosten für den Erwerb eines PKW, die jährlichen Fixkosten und die variablen Kosten dargestellt.

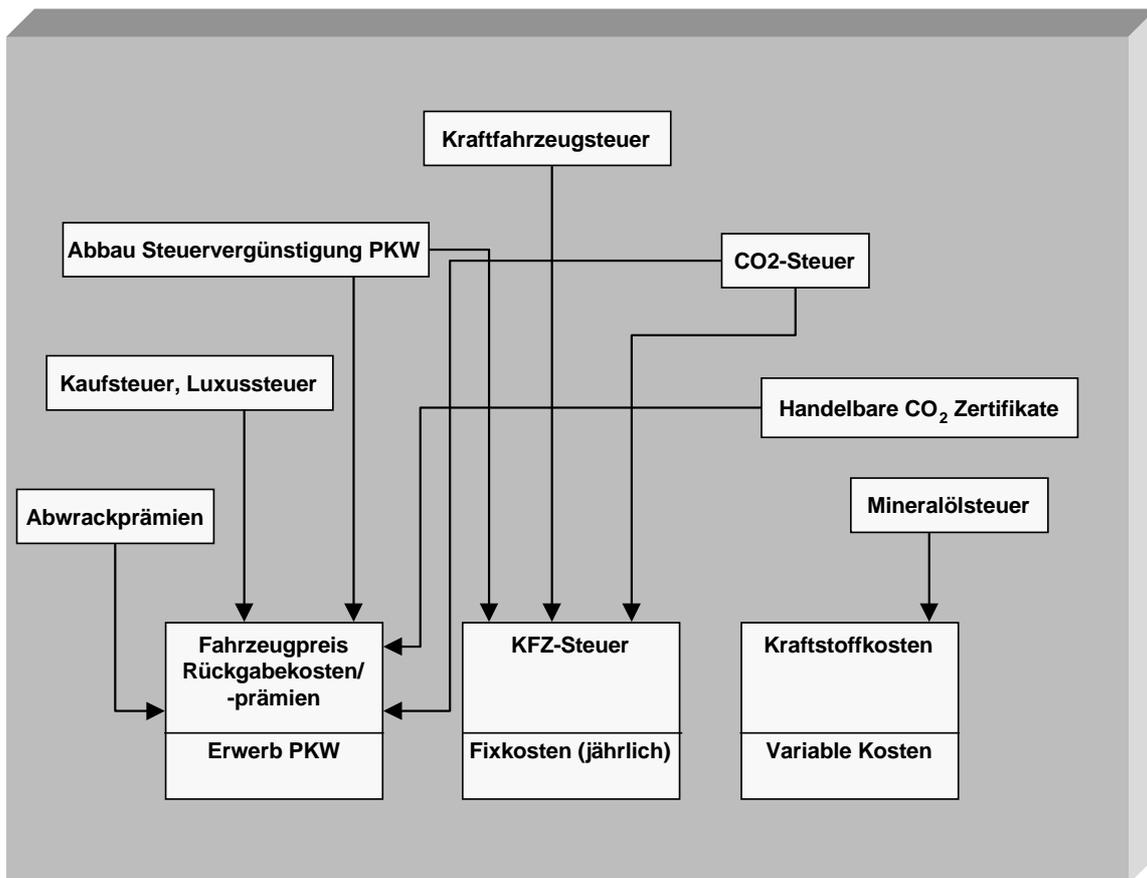
Das Kaufverhalten wird im Modell in zwei Schritte aufgeteilt: Im ersten wählen die Konsumenten ein Fahrzeug eines bestimmten Segments, im zweiten Schritt wählen sie zwischen Benzin und Dieselantrieb.

Die Modellbildung erfolgte im Wesentlichen auf Basis einer Vergangenheitsanalyse über den Zeitraum von 1990 bis 2000. Weiterhin wurden die Ergebnisse aus der Expertenbefragung und der Literaturanalyse berücksichtigt. Die Ergebnisse der Modellrechnungen wurden anhand vergleichbarer Forschungsstudien analysiert.<sup>79</sup> Das Segment der Utilities wird als konstante exogene Größe mitgeführt, weil diese Fahrzeuge aufgrund ihres überwiegenden Nutzfahrzeugcharakters nicht innerhalb des Modells für Personenkraftwagen berücksichtigt werden können.

---

<sup>79</sup> Hensher 1992, Hayashi 2001

**Abbildung 21: Maßnahmen und ihre Wirkung auf die relevanten Kostenarten**



#### 5.4.1 Wahl des Fahrzeugsegments

Entsprechend der in Frage kommenden Maßnahmen wurde die Analyse der Jahre 1990 bis 2000 anhand folgender Faktoren durchgeführt:

Neuwagenkomplettpreises (Listenpreis plus Überführungs- und Zulassungskosten sowie Kosten für zusätzliche Ausstattung),

- Kfz-Steuer,
- Kraftstoffkosten (bei einer jährlichen Fahrleistung von 20.000 km),
- Drehmoment des Motors (Indikator für technischen Entwicklungsstand).

Analysiert wurden repräsentative Fahrzeuge eines jeden Segments einschließlich Modellwechsel. Die Datengrundlage lieferten Veröffentlichungen des ADAC<sup>80</sup>. Zusätzlich wurde der Faktor "Lifestyle" erstellt, um die Veränderungen in den Segmenten Mini, Van und Geländewagen adäquat abzubilden, weil sich diese nicht aus den anderen vier Faktoren allein beschreiben lassen. Außerdem wurden zunächst auch die Kosten für Versicherung miteinbezogen, was jedoch zu keinem signifikanten Ergebnis führte, weshalb sie im Modell nicht weiter berücksichtigt sind.

Die Wahl des Fahrzeugsegments wurde anhand der Daten für benzinbetriebene Fahrzeuge abgebildet, wobei eine einheitlich Fahrleistung von 20.000 km pro Jahr angenommen wurde. Unterschiedliche Fahrleistungen der Segmente hätten überproportionale Kostenunterschiede verursacht, die in ihrer scharfen Abgrenzung von Segment zu Segment nicht der Realität

<sup>80</sup> Juchum, Weich, Wichote 1990

entsprechen würden. Fahrleistungsdifferenzen werden jedoch bei der Wahl der Antriebsart innerhalb eines Segments relevant (siehe Kapitel 5.4.2). Tabelle 14 enthält für ausgewählte Segmente die relevanten Daten der Jahre 1990 und 2000 zur Wahl des Fahrzeugsegments, entsprechende Werte über den gesamten Zeitverlauf und für alle Segmente finden sich im Anhang.

**Tabelle 14: Kosten in ausgewählten Segmenten der Jahre 1990 und 2000 [DM]**

1990	Mini	Untere Mittel- klasse	Obere Mittel- klasse	Geländewagen
Referenzmodell	Peugeot 106, Seat Arosa	VW Golf	Mercedes W124 / E-Klasse	Mitsubishi Pajero
Steuern*	132	237	304	396
Verbrauchskosten*	1.550	1.915	2.380	3.420
Komplettpreis	13.540	21.400	46.751	38.650
Drehmoment [Nm]	74	118	205	225

2000	Mini	Untere Mittel- klasse	Obere Mittel- klasse	Geländewagen
Referenzmodell	Peugeot 106, Seat Arosa	VW Golf	Mercedes W124 / E-Klasse	Mitsubishi Pajero
Steuern*	120	160	240	420
Verbrauchskosten*	2.328	2.871	4.060	4.384
Komplettpreis	19.150	31.450	69.248	67.261
Drehmoment [Nm]	93	145	225	236

\* jährliche Kosten

Auf Basis dieser Daten wurde die in Kapitel 4 beschriebene Segmententwicklung auf die Veränderung der Kosten, technischen Daten und den Lifestyle-Faktor zurückgeführt. Dabei wurde für jedes Segment eine logarithmierte Nutzenfunktion gebildet:

$$\ln U_s = \alpha_s + \beta_1 * PP_s + \beta_2 * KT_s + \beta_3 * KS_s + \beta_4 * DM_s + \gamma_s * LS_s \quad (1)$$

mit:  $U_s$ : Nutzen eines Fahrzeugs des Segments  $s$

$\alpha_s, \beta_i, \gamma_s$ : Nutzenkoeffizienten

PPs: Normierter Preis eines PKWs

KTs: Normierte Kfz-Steuer

KSs: Normierte Kraftstoffkosten

DMS: Normiertes Drehmoment

LSs: Life-Style

s: Segment

Aus den Nutzenfunktionen lässt sich eine Wahrscheinlichkeit für die Wahl eines Fahrzeuges eines Segments  $i$  bestimmen mit:

$$P_i = e^{U_i} / \sum_k e^{U_k} \quad (2)$$

mit:  $U_{i,k}$ : Nutzen eines Fahrzeugs des Segments  $i, k$

$i, k$ : Segment

Als Ergebnis aus der Analyse ergeben sich die Parameter der Nutzenfunktion für jedes Segment:

Segment	Mini	KW	UMK	MK	OMK	OK	Van	Gwg.
$\alpha$	1,76	3,28	4,92	4,41	2,61	1,63	1,51	1,64
$\gamma$	0,06	0	0	0	0	0	0,05	0,01

Da die Alpha-Faktoren den konstanten Anteil in der Nutzenfunktion darstellen, weist deren Absolutbetrag auf den Marktanteil hin. Aus dem Gamma-Faktor lässt sich erkennen, dass die Segmente Mini und Van einen von den vier Größen unabhängigen starken Marktanteilsanstieg verzeichnen ("Lifestyle"-Einfluss), der in dem Segment Geländewagen deutlich schwächer ausfällt. Die Beta-Faktoren ergeben sich aus der Analyse wie folgt:

Faktoren	Komplettpreis	Kfz-Steuer	Kraftstoffkosten	Drehmoment
$\beta$	-0,28	-0,69	-0,77	0,32

Aus dem Vorzeichen der Beta-Faktoren lässt sich ersehen, dass eine Erhöhung der Kosten zu einem jeweiligen Absinken der Marktanteile eines Segments führen, während eine Erhöhung des Drehmoments die Attraktivität des Segments verbessern. Der Absolutbetrag der Faktoren weist darauf hin, dass von der Kfz-Steuer und den Kraftstoffkosten der höchste Einfluss auf das Käuferverhalten ausgeht.

Von Nachteil bei der Beeinflussung durch die Kraftstoffkosten ist, dass die Mineralölsteuer für alle Segmente nur einheitlich erhoben werden kann. Dadurch wird der Einfluss auf ein einzelnes Segment deutlich gemindert, da z.B. eine 10 %ige Erhöhung der Kraftstoffkosten für das Segment Mittelklasse durch eine ebensolche Erhöhung im Segment Obere Mittelklasse teilweise ausgeglichen werden kann. Da die Mineralölsteuer nicht segmentbezogen variiert werden kann, können sich die jeweiligen Wirkungen kompensieren.

Die Kfz-Steuer hat hier den eindeutigen Vorteil, dass sie sowohl nach Segment als auch nach Antriebsart verändert werden kann. Eine Erhöhung der Kfz-Steuer um 10 % für die Mittelklasse kann durch eine Reduktion der Kfz-Steuer in der Unteren Mittelklasse verstärkt werden.

Da für die Analyse nur ein relativ kurzer Zeitraum von 10 Jahren verwendet wurde, und aufgrund der Tatsache, dass für die Segmente Mini, Van und Geländewagen die drei Kostenfaktoren und der technischer Indikator zur Erklärung nicht ausreichte, machen es nötig, die Ergebnisse mit anderen Analysen zu vergleichen. Vergleichbare Studien lagen lediglich für das Kaufverhalten in Australien und in Deutschland in den achtziger Jahren vor.

Die in dieser Studie ermittelten Beta-Faktoren lassen sich von einer Studie über das Kaufverhalten im PKW-Markt in den achtziger Jahren in Deutschland untermauern<sup>81</sup>. Dort wurde zwar der PKW-Markt nur in drei Hubraumklassen eingeteilt, aber es wurden die drei gleichen Kostengrößen analysiert. Im Ergebnis zeigt sich ebenfalls, dass der Einfluss des Neupreises deutlich geringer als der Einfluss von Kfz-Steuer und Kraftstoffkosten ist, und auch die Marktanteilsänderungen liegen in einer vergleichbaren Größenordnung.

Als weiteren Vergleich kann die Studie über den australischen Pkw-Markt herangezogen werden<sup>82</sup>. Hier haben wir mit Mini, Small, Sports, Medium, Upper, Upper Luxury eine sehr ähnliche Unterteilung der Segmente. Unterschiede bestehen darin, dass Geländewagen und Vans auf die anderen Segmente verteilt wurden und dafür der Sportwagenbereich separat ausgewiesen wird. Die Oberklasse enthält in der australischen Studie pauschal alle Fahrzeuge der Hersteller BMW und Mercedes-Benz.

In der Studie von Hensher wurden zwei Varianten von Referenz-Szenarien gebildet, wobei sich die Varianten nur in der technischen Entwicklung und damit im Kraftstoffverbrauch der

<sup>81</sup> Hayashi 2001

<sup>82</sup> Hensher 1992

angebotenen Fahrzeuge unterscheiden. Diese Referenz-Szenarien werden mit Szenarien verglichen, in denen die Mineralölsteuer und die Kaufsteuer variiert wurden. Dabei zeigt z.B. eine Erhöhung der Mineralölsteuer um 12 australische Cent (ca. 10 %) eine vergleichbare Änderung der Marktanteile wie eine Erhöhung um 10 % der Kraftstoffkosten in Deutschland nach sich ziehen würde. In beiden Fällen ergibt sich ein Rückgang der teureren Segmente ab Obere Mittelklasse (Medium) um 2 % Marktanteil, der von den kleineren Segmenten erobert wird.

Die beiden Vergleichsstudien, die zwar wegen der Unterschiede in der Segmentbildung und dem Untersuchungsraum nicht exakt übernommen werden können, unterstützen von ihren Ergebnissen her die Analyse, die in dieser Studie vorgenommen wurde.

#### 5.4.2 Wahl der Antriebsart

Von großer Bedeutung ist neben den Marktanteilen der Segmente auch die Aufteilung der Segmente nach Antrieben. Zur Bestimmung der Antriebswahl beim PKW-Neukauf wurden die bisherigen Daten für die Fahrzeuge erweitert um den Bereich Dieselfahrzeuge. Bei der Bestimmung der Kraftstoffkosten wurde eine unterschiedliche Jahresfahrleistung je nach Segment angesetzt: Mini, Kleinwagen und Untere Mittelklasse mit 20.000 km, Mittelklasse, Van und Geländewagen mit 25.000 km, sowie Obere Mittelklasse mit 30.000 km und Oberklasse mit 40.000 km. Entsprechend wurden für die Modellierung des Käuferverhaltens auch für die Benzinmodelle die Kraftstoffkosten anhand der abweichenden Fahrleistungen bestimmt, wodurch bei der Antriebswahl innerhalb eines Segments die in der Realität vorhandenen Unterschiede in den Fahrleistungen dargestellt sind.

**Tabelle 15: Kostenvergleich Benzin- und Dieselfahrzeuge mit abweichenden Fahrleistungen [DM]**

<b>1990</b>	<b>Mini</b>		<b>Untere Mittelklasse</b>		<b>Obere Mittelklasse</b>		<b>Geländewagen</b>	
Referenzmodell	Peugeot 106, Seat Arosa		VW Golf		Mercedes W124 / E-Klasse		Mitsubishi Pajero	
	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel
Steuern*	132	-	237	346	304	540	396	540
Verbrauchskosten*	1.550	-	1.915	1.244	3.570	2.356	4.275	3.035
Komplettpreis	13.540	-	21.400	23.505	46.751	46.694	38.650	37.550
Drehmoment [Nm]	74	-	118	133	205	158	225	235
<b>2000</b>	<b>Mini</b>		<b>Untere Mittelklasse</b>		<b>Obere Mittelklasse</b>		<b>Geländewagen</b>	
Referenzmodell	Peugeot 106, Seat Arosa		VW Golf		Mercedes W124 / E-Klasse		Mitsubishi Pajero	
	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel
Steuern*	120	486	160	435	240	594	420	1075
Verbrauchskosten*	2.328	1.162	2.871	1.664	6.089	3.248	5.481	3.886
Komplettpreis	19.150	23.340	31.450	34.000	69.248	65.652	67.261	62.520
Drehmoment [Nm]	93	115	145	210	225	315	236	292

\*jährliche Kosten

Für jedes Segment und jede Antriebsart wird auch hier eine Nutzenfunktion gebildet:

$$UB_s = \delta_s + \beta_5 * PP_s + \beta_6 * KT_s + \beta_7 * KS_s + \beta_8 * DM_s \quad (3)$$

$$UD_s = \varphi_s + \beta_5 * PP_s + \beta_6 * KT_s + \beta_7 * KS_s + \beta_8 * DM_s \quad (4)$$

mit:  $UB_s$ : Nutzen eines Fahrzeugs mit Benzinmotor des Segments  $s$   
 $UD_s$ : Nutzen eines Fahrzeugs mit Dieselmotor des Segments  $s$   
 $\delta_s, \beta_i, \varphi_s$ : Nutzenkoeffizienten  
 $PP_s$ : Normierter Preis eines PKWs  
 $KT_s$ : Normierte Kfz-Steuer  
 $KS_s$ : Normierte Kraftstoffkosten  
 $DM_s$ : Normiertes Drehmoment  
 $s$ : Segment

Aus den Nutzenfunktionen lässt sich eine Wahrscheinlichkeit für die Wahl eines Fahrzeuges eines Segments  $i$  mit einem bestimmten Antrieb bestimmen mit

$$PB_s = e^{UB_s} / (e^{UB_s} + e^{UD_s}) \quad (5)$$

mit:  $PB_s$ : Wahrscheinlichkeit für die Wahl eines Fahrzeugs mit Ottomotor aus dem Segments  $s$   
 $UB_s$ : Nutzen eines Fahrzeugs mit Ottomotor des Segments  $s$   
 $UD_s$ : Nutzen eines Fahrzeugs mit Dieselmotor des Segments  $s$   
 $s$ : Segment

Als Ergebnis aus der Analyse ergeben sich die Parameter der Nutzenfunktion für jedes Segment:

Segment	Mini	KW	UMK	MK	OMK	OK	Van	Gwg.
$\delta$ (Benzin)	-0,76	0,79	-0,69	-0,87	-0,06	-0,55	0,61	1,04
$\varphi$ (Diesel)	-4,49	-2,68	-3,69	-3,46	-2,18	-2,91	-1,11	-3,46

Die Delta- und Phi-Faktoren stellen dabei den konstanten Anteil der Nutzenfunktionen dar. Aus der Tatsache, daß die Delta-Faktoren immer größer als die Phi-Faktoren sind, kann man ersehen, dass der Nutzen für Fahrzeuge mit Benzinmotor höher als der Nutzen für Dieselfahrzeuge ist, und sich daher eine höhere Wahrscheinlichkeit zum Kauf eines Fahrzeuges mit Benzinmotor ergibt.

Faktoren	Komplettpreis	Kfz-Steuer	Kraftstoffkosten	Drehmoment
$\beta$	-0,01	-0,20	-1,60	2,18

Aus dem Vorzeichen der Beta-Faktoren lässt sich ableiten, dass eine Erhöhung des Komplettpreises, der Kfz-Steuer und der Kraftstoffkosten für Fahrzeuge eines bestimmten Antriebes zu einem jeweiligen Absinken der Marktanteile der Fahrzeuge mit diesem Antrieb führt, während eine Erhöhung des Drehmoments die Attraktivität der Fahrzeuge mit diesem Antrieb verbessert. Der Absolutbetrag der Faktoren weist daraufhin, dass von dem technischen Indikator Drehmoment und von den Kraftstoffkosten der höchste Einfluss auf das Käuferverhalten ausgeht.

Neben den direkten Wirkungen von ökonomischen Maßnahmen auf das Käuferverhalten muss man auch die indirekten Wirkungen auf die Angebotspalette berücksichtigen. Hier ist zu erwarten, dass bei entsprechender Ausgestaltung von Kostensteigerungen die Automobilindustrie Maßnahmen zur Verbrauchsreduktion ihrer aktuellen Fahrzeuge ergreift oder die Angebotspalette um energieeffizientere Fahrzeuge erweitert, wie in Kapitel 3.2.2 beschrieben. In der Literatur werden für die Reaktion von Erhöhung der Mineralölsteuer Elastizitäten von -0,35 bis -0,45 und für andere Steuersätze außer der Mineralölsteuer von -0,1 bis -0,15 auf den durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch angegeben<sup>83</sup>. Dabei muss man berücksichti-

<sup>83</sup> Litman 1998

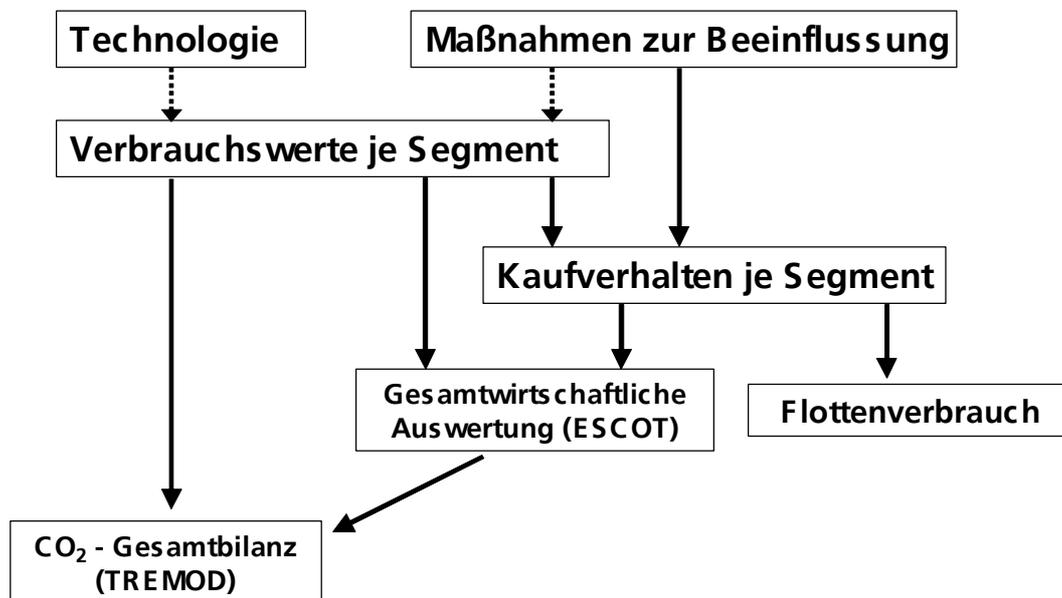
gen, dass diese Reduktionen nicht ausschließlich aus einer Reduktion des Kraftstoffverbrauchs durch die Hersteller, sondern auch von einem bewussteren Kaufverhaltens herühren.

## 6 Szenarienentwicklung und Berechnung

Die Berechnung von Szenarien zur Abbildung des Einflusses möglicher Maßnahmen auf den Flottenverbrauch stellt ein wesentliches Kernstück der Studie dar. In Kapitel 6.3 werden als erster Bestandteil umweltpolitische Maßnahmenbündel entwickelt, anhand derer die Szenarien berechnet werden. Als zweite Komponente fließen in die Szenarien die technologischen Entwicklungen ein, die in 6.4 beschrieben sind. Die Szenarienberechnung ermittelt jeweils die Abweichung zum Trend, der zusammengeführt aus den vorangegangenen Kapiteln in 6.1 dargestellt ist.

In Abbildung 22 ist das methodische Vorgehen, welches innerhalb der Studie bei der Definition und Analyse der Szenarien angewendet wird, veranschaulicht. Darin enthalten sind auch die Elemente der Kapitel 7 und 8 (gesamtwirtschaftliche Auswirkungen und Einfluss auf CO<sub>2</sub>-Gesamtbilanz des Straßenverkehrs).

Abbildung 22: Gesamtablauf der Studie

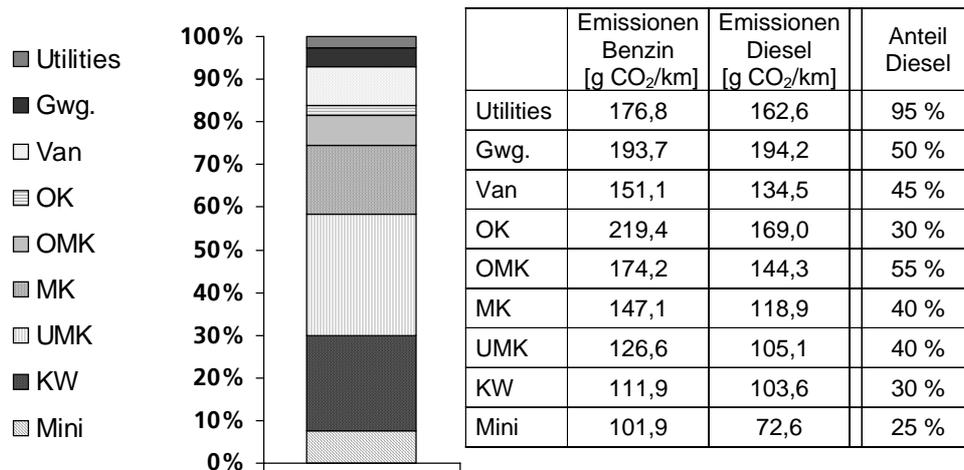


### 6.1 Trendentwicklung der durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen der neu zugelassenen Pkw

Grundlage für die Abschätzung der durchschnittlichen Flottenemission in der Zukunft ist die Trendentwicklung. Auf ihr bauen die Szenarien auf, die verschiedene Maßnahmen und ihre Auswirkungen auf die Durchschnittsemission abbilden.

Zur Bestimmung der Trendentwicklung der durchschnittlichen Flottenemission werden die Teilaspekte der Trendentwicklung in den Kapiteln zum technologischen Reduktionspotenzial und zur Marktstruktur miteinander verknüpft.

**Abbildung 23: Bestandteile der Flottendurchschnittsemission im Trend 2010**



2010



**Flottendurchschnittsemission: 128,9 g CO<sub>2</sub>/km**

Durch die leichte Verschiebung der Segmentanteile gegenüber dem Stand von 2000 verringert sich die Flottendurchschnittsemission geringfügig von den allgemein angenommenen 130 g CO<sub>2</sub>/km auf 128,9 g CO<sub>2</sub>/km im Jahr 2010. Hiervon ausgehend werden in den nun folgenden Abschnitten die Szenarien erstellt.

## 6.2 Die Szenarien auf dem Weg zur Halbierung des Flottenverbrauchs

Ziel dieser Studie ist es, Wege zu einer deutlichen Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Neuzulassungen aufzuzeigen, wobei die Halbierung im Jahr 2010 gegenüber 1990 angestrebt wird. Wie aus der Trendentwicklung ersichtlich, sind bis zur Erreichung des Zielwerts im Durchschnitt weitere 24 g/km zu reduzieren. Daher wurde eine Reihe von alternativen Szenarien entwickelt. Es handelt sich um drei verschiedene Szenarien einschließlich ihrer Varianten, die um ein MittelfristszENARIO ergänzt werden:

- Kontinuität
- Neuausrichtung
- Grenzwert
- Mittelfrist (2015)

Die Grundidee des Kontinuitätsszenarios ist es, die gegenwärtigen, in Kraft befindlichen politischen Maßnahmen zu verschärfen, aber keine neuen preis- und ordnungspolitischen Instrumente hinzuzufügen. Lediglich in den Varianten zum Kontinuitätsszenario kommen neue Instrumente zur Anwendung, bspw. um den Anteil an Dieselfahrzeugen zu erhöhen, was aufgrund der niedrigeren CO<sub>2</sub>-Emissionswerte sinnvoll erscheint.

Im Neuausrichtungsszenario werden neue Maßnahmen entworfen bzw. vorhandene neu ausgestaltet mit dem Ziel einer CO<sub>2</sub>-Gerechtigkeit. Die Steuer- und Abgabenhöhe der preispolitischen Maßnahmen werden in Abhängigkeit der CO<sub>2</sub>-Emissionswerte der Fahrzeuge erhoben.

Im Grenzwertszenario wird versucht, über das Setzen von Grenzwerten für die CO<sub>2</sub>-Emissionen Verbesserungen zu erzielen. Dieses Szenario wurde nur exemplarisch entwi-

ckelt, da die Grenzwertsetzung mit vielen Unsicherheiten behaftet ist und in politisch fraglichem Zusammenhang mit der Selbstverpflichtung der Automobilindustrie stünde.

Neben diesen drei Szenarien, deren Zeithorizont bis 2010 geht, wurde das Mittelfristscenario entwickelt, das den Zeithorizont bis zum Jahr 2015 erweitert. Dieses Mittelfristscenario basiert hauptsächlich auf dem Neuausrichtungsszenario, allerdings werden die Maßnahmen hier etwas abgeändert.

Für alle Szenarien wird betrachtet, wie sich das Käuferverhalten und der Kraftstoffverbrauch der angebotenen Fahrzeugpalette ändert. Es werden preispolitische Maßnahmen bestimmt, die zu den entsprechenden Veränderungen und Umschichtungen beim PKW-Neukauf führen sollen. Weiterhin wird jeweils berücksichtigt, in welchem Ausmaß diese preispolitischen Maßnahmen, die noch durch ordnungsrechtliche und sonstige Maßnahmen unterstützt werden, den durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch senken.

Das von der EU unterstützte Öko-Labeling wird in erweiterter Form in allen Szenarien eingeführt, begleitet von umfangreichen Werbekampagnen.

Weil das Segment der Utilities aufgrund der Fahrzeugeigenschaften und der Nutzung eine Sonderrolle einnimmt, wird es als konstante Größe angenommen und taucht hier nicht weiter auf.

Auf Grundlage der Analyse in Kapitel 5 wurde die Auswahl folgender Maßnahmen für die Szenarienerstellung getroffen:

**Tabelle 16: Maßnahmenübersicht**

Maßnahme Szenario	Mineralölsteuer <sup>84</sup>		Kfz-Steuer		Abgabe bzw. Förderung bei NW-Kauf	Grenzwertsetzung verbunden mit NW-Preisanstieg	Öko-Labeling
	Erhöhung	Diesel-Benzin Angleichung	Erhöhung	Umstellung auf CO <sub>2</sub> Basis			
Kontinuität	X		X		X*		X
Neuausrichtung	X	X		X	X		X
Grenzwert		X		X		X	X
Mittelfrist (2015)	X	X		X			X

\* In einer Variante enthalten

Um die Vergleichbarkeit der Szenarien zu gewährleisten, wurden erhöhte (niedrigere) Steuereinnahmen gegenüber dem Trendszenario in allen anderen Szenarien in den Ausbau der Straßen- und Schienenverkehr investiert (deinvestiert). Ziel dieses Verfahrens ist es, die ungleichen Steuereinnahmen der verschiedenen Szenarien durch Investitionen anzugleichen.

### 6.2.1 Kontinuitätsszenario

Im Kontinuitätsszenario wird die gegenwärtige Höhe der Mineralölsteuer ab 2004 jährlich um 10 Cent pro Liter Kraftstoff angehoben, was sich bis 2010 auf eine Erhöhung von 70 Cent real summiert. Es bleibt damit beim unterschiedlichen Gesamtpreisniveau für Benzin und Diesel. Dies gilt für alle Varianten des Kontinuitätsszenarios.

<sup>84</sup> Die Veränderung der Mineralölsteuer bezieht sich in der gesamten Studie ausschließlich auf den Pkw-Verkehr, d.h. der Lkw-Verkehr wird nicht zusätzlich belastet.

Die Kfz-Steuerbeträge werden ausgehend vom Basisjahr 2000 zunächst pauschal je Segment mit Zuschlagsfaktoren multipliziert, die einen prozentualen Anstieg der Kfz-Steuersätze abbilden sollen. Damit wird eine stärkere Differenzierung über die Neuwagenpalette simuliert, die offen lässt, ob als Bemessungsgröße weiterhin der Hubraum des Motors oder eine andere Größe, zum Beispiel mit Gewichtsbezug, verwendet wird.

Die Kfz-Steuer wird so gestaltet, dass Fahrzeuge aus den niedrigeren Segmenten nur eine geringfügige Steuererhöhung in Kauf nehmen müssen, dagegen die Segmente der oberen Klassen ab Mittelklasse deutlich stärkere Erhöhungen hinzunehmen haben. So liegt zum Beispiel die Kfz-Steuer für Benzinfahrzeuge im Segment Mini im Jahr 2010 bei 67 Euro, für Benzinfahrzeuge der Oberklasse bei 845 Euro. Hier wie auch in den folgenden Varianten werden Vans aufgrund ihrer technischen und finanziellen Daten wie Fahrzeuge aus der Mittelklasse, Geländewagen wie Fahrzeuge aus der Oberen Mittelklasse und Oberklasse behandelt.

**Tabelle 17: Gestaltung der Kfz-Steuer im Kontinuitätsszenario**

	Ausgangswert <sup>85</sup> 2000		2002	2004	2006	2008	2010
	Benzin / Diesel [Euro]						
Mini	45	133	0,8	1	1,2	1,4	1,5
KW	53	210	0,8	1	1,2	1,4	1,5
UMK	66	210	1,1	1,5	1,9	2,2	2,5
MK	82	233	1,3	1,8	2,5	3	3,5
OMK	107	277	1,8	2,4	3,4	4,2	5
OK	169	366	1,8	2,4	3,4	4,2	5
Van	78	222	1,3	1,8	2,5	3	3,5
Gwg.	115	311	1,8	2,4	3,4	4,2	5

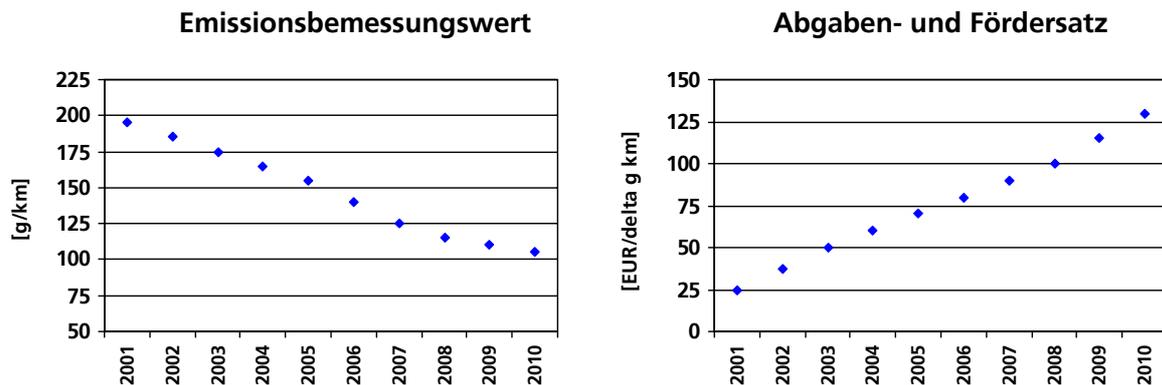
Es wird in allen Varianten davon ausgegangen, dass diese Maßnahmen mit Unterstützung des Öko-Labelings aufgrund der wesentlichen Erhöhung und politischen Signalwirkung zu einer rein technischen Reduktion des Kraftstoffverbrauches zwischen 5 und 15 % je nach Segment gegenüber dem Trend führen, verbunden mit einem Anstieg der Neupreise von 10 % (siehe Kapitel 6.3) in allen Segmenten.

In Variante A des Kontinuitätsszenarios wird die Kfz-Steuer noch stärker angehoben und weiter differenziert. Sie erreicht im Maximum den Faktor 10.

In Variante B des Kontinuitätsszenarios werden die Kfz-Steuersätze weniger stark erhöht, jedoch eine Neuwagenabgabe bzw. eine -förderung eingeführt. Ausgehend von einem Emissionsbemessungswert wird für die Differenz zur Emission des Fahrzeugs eine Abgabe erhoben oder eine Förderung gewährt. Der Bemessungswert und der Abgaben-/Fördersatz werden jährlich derart angepasst, dass im Bereich der Unteren Mittelklasse und der Mittelklasse eine Abgabe von ca. 840 Euro zu entrichten ist, welche in etwa der heutigen Belastung entspricht. Darauf basierend wird eine Abgabenspanne definiert, deren Maximalwerte von einer Förderung beim Diesel-Mini von 3750 Euro bis zu einer Abgabe in der Benzin-Oberklasse von 8500 Euro reichen (siehe Abbildung 24).

<sup>85</sup> Reale Werte im Jahr 2000 auf Preisbasis 1990 repräsentativer Fahrzeuge aus Kapitel 5.3.2

**Abbildung 24: Gestaltung der Maßnahme Neuwagenabgabe/-förderung (Variante B)**



Variante C verfolgt schließlich den Ansatz, die angestrebten CO<sub>2</sub>-Ziele zu erreichen, indem der Marktanteil der Dieselfahrzeuge erhöht wird, was wegen deren niedrigeren CO<sub>2</sub>-Emissionswerten erwägenswert erscheint. Die Maßnahme Neuwagenabgabe/-förderung bleibt erhalten, die Kfz-Steuer wird allerdings so ausgestaltet, dass sich das bereits vorhandene unterschiedliche Niveau zwischen Benzin- und Dieselfahrzeugen weiter vergrößert.

**Tabelle 18: Gestaltung der Kfz-Steuer in Variante C des Kontinuitätsszenarios**

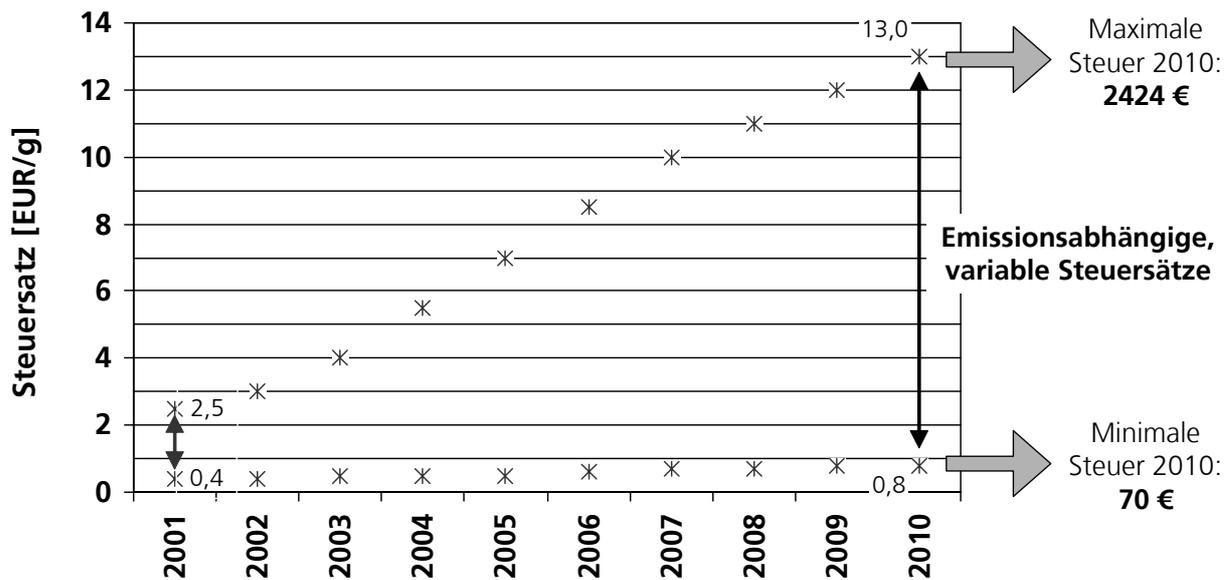
	Benzin		Diesel	
	Ausgangswert 2000 [Euro]	Faktorwert 2010	Ausgangswert 2000 [Euro]	Faktorwert 2010
Mini	45	1,5	133	0,5
KW	53	1,5	210	0,5
UMK	66	1,7	210	0,7
MK	82	2,0	233	1,0
OMK	107	3,0	277	1,5
OK	169	3,0	366	1,5
Van	78	2,0	222	1,0
Gwg.	115	3,0	311	1,5

### 6.2.2 Neuausrichtungsszenario

Im Neuausrichtungsszenario wird versucht, die angestrebten CO<sub>2</sub>-Ziele mit einer weitestgehenden CO<sub>2</sub>-Gerechtigkeit zu erreichen. Daher wird bei allen Maßnahmen versucht, auf den CO<sub>2</sub>-Emissionswert Bezug zu nehmen. Dies wirkt sich als erstes auf die Mineralölsteuer aus, bei der eine dreistufige Angleichung vorgenommen wird, bis die Mineralölsteuer für Dieselfkraftstoff um rund 11 % über dem Betrag von Benzin liegt, was der höheren CO<sub>2</sub>-Emission des Dieselfkraftstoffes im Verhältnis zu Benzin entspricht. Darüber hinaus wird die Mineralölsteuer ab 2004 jährlich um 5 Cent pro Liter Kraftstoff erhöht, was in der Summe eine Erhöhung von real 35 Cent bis 2010 ergibt.

Die Kfz-Steuer wird auf Abhängigkeit des CO<sub>2</sub>-Emissionswertes umgestellt. Unabhängig von Fahrzeuggröße und Antrieb ist ein linear ansteigender Steuersatz zu bezahlen, der jährlich erhöht wird und im Jahr 2010 je nach Emission des Pkws zwischen 0,8 und 13,0 Euro pro Gramm CO<sub>2</sub> liegt. Die Steuersätze sind so gestaltet, dass Fahrzeuge im Bereich der Unteren Mittelklasse und Mittelklasse eine jährliche Steuer von ca. 350 Euro erreichen.

Abbildung 25: Gestaltung der Kfz-Steuersätze im Szenario Neuausrichtung



Die Neuwagenabgabe/-förderung wird in der gleichen Ausgestaltung von der Variante C des Kontinuitätsszenarios auch für das Neuausrichtungsszenario übernommen, da sie bereits auf Basis der jeweiligen CO<sub>2</sub>-Emission ermittelt wurde, und somit der Grundidee des Neuausrichtungsszenarios entspricht.

Wie im Kontinuitätsszenario wird auch hier davon ausgegangen, dass die angesetzten Maßnahmen gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Druck auf die Hersteller ausüben. Zwar wird auf der einen Seite die Mineralölsteuer nur um 35 Cent angehoben, aber die Angleichung der Mineralölsteuersätze und die zum Teil deutlich höheren Kfz-Steuern, führen auch hier zu Minderverbäuchen (5 bis 15 %), die nicht ohne eine Anhebung der Neuwagenpreise realisiert werden können (plus 10 %).

### 6.2.3 Grenzwertszenario

In diesem Szenario werden im Gegensatz zu den anderen Szenarien Grenzwerte für die Kohlendioxidemissionen festgesetzt. Sie sind zu Beginn aufgrund der ungleichen Ausgangsbedingungen nicht für alle Segmente gleich hoch; die Obere Mittelklasse, die Oberklasse und die Geländewagen werden gesondert behandelt. Erst gegen Ende des betrachteten Zeitraums gilt für alle Fahrzeuge derselbe Grenzwert. Damit soll eine verträgliche Einführung simuliert werden, die größeren Autos zunächst noch etwas Freiraum gewährt. Durch den Ansatz über Grenzwerte je Segment wird auf eine definitive Bezugsgröße wie Motorleistung, Gewicht oder eine Kombination zunächst bewusst verzichtet.

Tabelle 19: CO<sub>2</sub>-Grenzwerte

	2000-02	2003-04	2005-06	2007-08	2009-10
Mini, Kleinwagen, UMK, MK, Van	Kein Grenzwert	Kein Grenzwert	165 g	145 g	140 g
OMK, OK, Geländewagen	Kein Grenzwert	220 g	200 g	170 g	

Die Szenarienberechnung unterstellt, dass die Grenzwerte eingehalten werden. Dem gegenübergestellt ist eine Erhöhung der Neupreise. Diese hängt ab vom zusätzlichen technischen Aufwand, den die Hersteller betreiben müssen und ist daher je nach Differenz zum Emissionswert der Trendentwicklung mit 5 bis 20 % angesetzt.

Im Grenzwertszenario wird die Mineralölsteuer für Benzin nicht verändert, aber die Steuer für Diesel wird auf dasselbe Niveau angehoben. Des Weiteren soll die Kfz-Steuer nicht mehr hubraumbezogen, sondern auf vergleichbare Weise wie im Neuausrichtungsszenario auf Basis der CO<sub>2</sub>-Emissionen berechnet werden. Damit liegen die Kfz-Steuer für die Untere Mittelklasse Benzin und Mittelklasse Diesel bei 180 Euro. Die maximale Kfz-Steuer beträgt 1.400 Euro.

#### **6.2.4 MittelfristszENARIO 2015**

Das MittelfristszENARIO basiert auf dem Szenario Neuausrichtung und erweitert den Zeithorizont bis zum Jahr 2015. Fragestellung war dabei, ob mit weniger restriktiven Maßnahmen das gesetzte Emissionsziel zu einem etwas späteren Zeitpunkt erreichen kann, sodass mögliche negative Auswirkungen auf Pkw-Verkauf und Gesamtwirtschaft abgeschwächt werden. Weiterhin sollte der Einfluss alternativer Antriebe auf die Gesamtemissionen ermittelt werden.

Die Mineralölsteuer steigt nicht wie bisher auf 35 Cent, sondern wird bis zum Jahr 2010 lediglich auf 15 Cent und bis zum Jahr 2015 auf 25 Cent erhöht. Der Mineralölsteuersatz von Diesel wird entsprechend der Kohlendioxidemission dem von Benzin angeglichen.

Die Ausgestaltung der Kfz-Steuer wird insofern verändert, als dass die Maßnahme auf den Zeithorizont bis 2015 erweitert ist. Die am Ende erreichten Steuerhöhen bleiben in etwa unverändert, so dass z.B. Fahrzeuge des Segments Oberklasse im Jahr 2015 auf einen Betrag von 2.800 Euro kommen. Die Maßnahme Neuwagenabgabe/-förderung entfällt.

Ausgangsbasis für die bisherigen Szenarien war die in den vorangegangenen Kapiteln beschriebene Trendentwicklung. Da diese nur bis 2010 betrachtet worden war, musste sie für das MittelfristszENARIO fortgeschrieben werden. Dabei wird als Trendexploration (sowie vor dem Hintergrund des EU-Ziels von 120 g/km im Jahr 2012) angenommen, dass sich die durchschnittliche Flottenemission bis 2015 weiter auf 115 g/km verringert. Im MittelfristszENARIO wird unterstellt, dass die Automobilhersteller aufgrund der angenommenen Maßnahmen die Emissionen je nach Fahrzeuggröße nochmals um bis zu 10 % durch Ausschöpfung technologischer Potenziale senken können. Die Entwicklung der Segmentanteile über das Jahr 2010 hinaus zu bestimmen ist nur noch grob möglich, weil zunehmend Pkw konzipiert werden, die nicht mehr eindeutig zuzuordnen sind. Daher erfolgte eine Abschätzung, der zufolge sich der Markt stärker als bisher auf mittelgroße Fahrzeuge konzentriert, wofür einerseits das stetige Wachstum der Kleinwagen spricht und andererseits die Tendenz weg von sehr großen Autos und hin zu mittleren, jedoch in ihrer Ausrichtung höchst individuellen Fahrzeugen.

### **6.3 Ausschöpfen der technologischen Potenziale in den Szenarien**

Ausgehend von den durch die umweltpolitischen Instrumenten verursachten veränderten Rahmenbedingungen, wird den Automobilherstellern eine veränderte Schwerpunktsetzung in ihrer Forschungs- und Entwicklungstätigkeit unterstellt, wodurch gegenüber dem Trend in den Szenarien weitere Potenziale zur Reduktion des Kraftstoffkonsums erschlossen werden. Folgende technische Entwicklungen könnten hierzu realisiert werden:

- Vollständige Marktdurchdringung der neuen Konzepte für Benzinmotoren (Direkteinspritzung und vollvariable Ventilsteuerung) bei gleichzeitig konsequenter Auslegung auf

Sparsamkeit, d.h. Verzicht auf weitere Leistungssteigerung; Weiterentwicklung der Systeme zur Aufladung (Turbo, Kompressor).

- Schrittweise Annäherung an das Downsizingkonzept, jedoch keine einschneidende Umstellung.
- Der Dieseldirekteinspritzer wird konsequent weiterentwickelt, wobei die Potenziale ausschließlich zur Verbrauchsreduktion genutzt werden; wesentliche Verbesserungen im Geräuschverhalten und die rückläufige Gewichtsentwicklung ermöglichen es, kleinere Motoren auch in größeren Fahrzeugen einzusetzen.
- Ein Großteil der kleinen und mittelgroßen Pkws verfügt über eine automatische Motorabschaltung, vor allem im Zusammenhang mit automatischen Getrieben.
- Hybridfahrzeuge können sich aufgrund ihrer hohen Kosten nur langsam am Markt etablieren und werden kaum über 5 % Marktanteil erreichen, übernehmen aber eine Rolle als besondere Benzin-, bzw. Dieselsparmodelle.
- Die Entwicklung des automatisierten Schaltgetriebes wird weiter hinsichtlich der Verwendung in komfortbetonten Autos vorangetrieben und deckt zusammen mit dem stufenlosen Automatikgetriebe fast die gesamte Angebotspalette ab, sodass die Mehrverbräuche durch herkömmliche Automatik eliminiert werden können.
- Die Starter Generator-Technologie verbreitet sich in mindestens der Hälfte der verbrauchsintensiven Segmente und kommt auch bei großen Dieselmotoren zum Einsatz. Die Möglichkeit einer Booster-Funktion wird zur kurzzeitigen Leistungssteigerung genutzt, der Verbrennungsmotor aber entsprechend in seiner Leistung reduziert.
- Die Fahrzeuggewichte steigen nicht mehr an und es kommt gegen Ende des betrachteten Jahrzehnts durchgängig zu einer leichten Gewichtsabnahme durch partiellen Leichtbau; vollständige Karosserien aus Leichtbaumaterialien bleiben die Ausnahme.

Außerdem führen die Steuerungsmaßnahmen des Staates dazu, dass sich die Neuwagenkäufer innerhalb eines Segments öfters für weniger stark motorisierten und damit verbrauchsgünstigeren Varianten entscheiden bzw. für verbrauchsgünstigere Angebote der Konkurrenz. Hierzu trägt die Einführung eines Öko-Labels bei, das alle angebotenen Pkw systematisch in Emissionsklassen unterteilt und vergleichende Angaben macht.<sup>86</sup>

Während im Trend vereinfachend noch von den gleichen Minderungsraten für jedes Segment ausgegangen wurde (siehe Kapitel 3.2.2), ist bei der Überlegung, inwieweit die Emissionsreduktionen darüber hinaus gehen können, nach Segmenten zu differenzieren, weil die technische Ausgangssituation unterschiedlich ist. Grundsätzlich besteht ein gewisser Entwicklungsvorsprung beim Dieselmotor, weshalb die zusätzliche Minderung dort niedriger ausfällt. In den oberen Segmenten ist das Einsparpotenzial größer als im Durchschnitt, weil die heutigen Pkws dort sehr großzügig motorisiert sind, mehr Potenzial zur Gewichtsreduktion haben und außerdem der finanzielle Spielraum zur Umsetzung neuer Techniken größer ist. Bei den Minis hat bereits eine weitgehende Optimierung stattgefunden, sodass sie nur unterdurchschnittliches zusätzliches Reduktionspotenzial bieten. Unter Einbezug einer Kundenorientierung hin zu den emissionsärmeren Modellen eines Segments, wird eine um 5 bis 15 % über den Trend hinausgehende Verbrauchsreduktion pro Segment durch die oben beschriebenen Technologien in den Szenarien angenommen.

---

<sup>86</sup> siehe hierzu auch Kapitel 5.2.3

**Tabelle 20: Zusätzliche CO<sub>2</sub>-Reduktion in den Szenarien gegenüber Trendentwicklung**

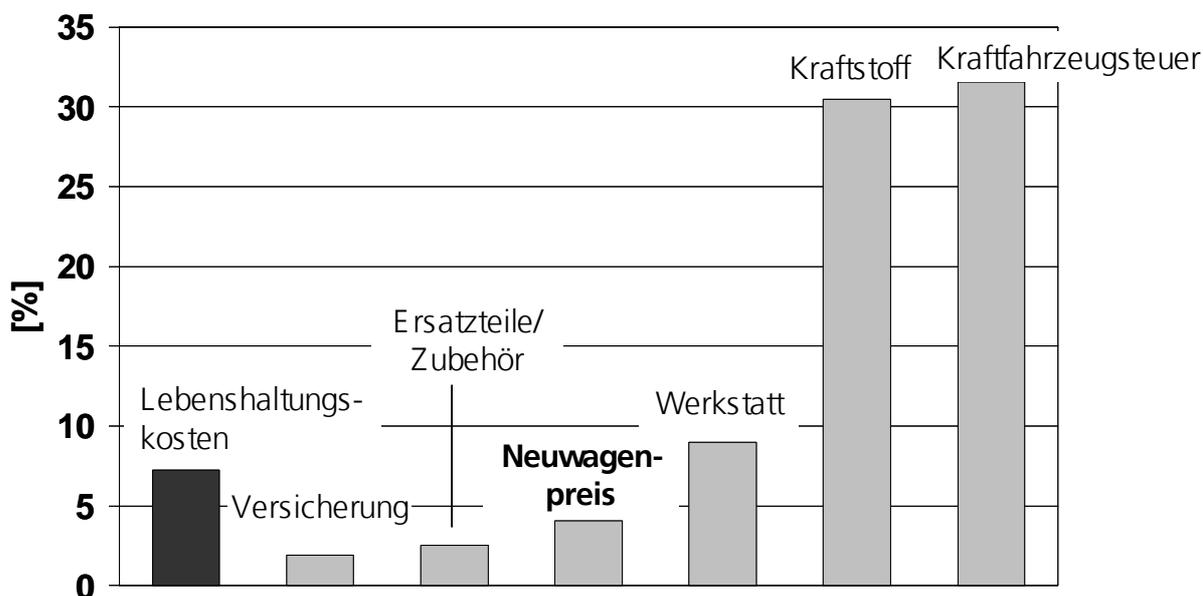
	Mini	KW	UMK	MK	OMK	OK	Vans	Gwg.	Utilities
Zusätzliche Reduktion (Benzin/Diesel)	8% / 5%	12% / 8%	12% / 8%	12% / 8%	15% / 12%	15% / 12%	12% / 8%	15% / 12%	15% / 12%
Benzin [g CO <sub>2</sub> /km]	93,7	98,4	111,4	129,4	148,1	186,5	133,0	164,7	150,3
Diesel [g CO <sub>2</sub> /km]	69,0	95,3	96,7	109,4	127,0	148,7	123,8	170,9	143,1

Auswirkungen auf Neuwagenpreise

Die unter den veränderten Rahmenbedingungen in den Szenarien realisierten rein technischen Verbrauchsreduktionen können aufgrund ihrer Stärke nicht ohne Berücksichtigung der Auswirkungen auf die Neuwagenpreise bleiben. Dafür wird zunächst die zurückliegende Preisentwicklung und die generelle Preisgestaltung der Automobilhersteller grob dargestellt.

Bei Betrachtung der Preisentwicklung von Neuwagen lässt sich feststellen, dass der Preisanstieg in den vergangenen Jahren im Vergleich zu den allgemeinen Lebenshaltungskosten und auch zu anderen Autokosten unterdurchschnittlich ausfiel (siehe Abbildung 26). Insbesondere gegenüber den Kosten für Kraftstoff und Kfz-Steuer verlief der Preisanstieg für Neuwagen sehr moderat.

**Abbildung 26: Anstieg von Pkw-Kosten 1995 - 2000**



Quelle: Statistisches Bundesamt; Motor Presse Stuttgart

Es ist anzumerken, dass die in Abbildung 26 dargestellte Neupreisentwicklung nicht mit den tatsächlich bezahlten durchschnittlichen Neuwagenpreisen gleichzusetzen ist. Die Deutsche Automobil Treuhand<sup>87</sup> (DAT) weist ausdrücklich darauf hin, dass die von 34.900 DM (1995) auf 39.200 DM (2000) gestiegenen Durchschnittspreise nur zu einem geringen Teil auf Preiserhöhungen zurückzuführen sind und in hohem Maße die gestiegenen Ansprüche der Kunden widerspiegeln.

<sup>87</sup> Kfz-Betrieb Dossier 2001

In den Jahren 1995 bis 2000 lässt sich somit keine generelle Preissteigerung identifizieren, die eindeutig mit der Einführung einer neuen Technik verbunden ist. Selbst der extrem zunehmende Anteil an Fahrzeugen, die serienmäßig mit einer Klimaanlage und Airbags ausgerüstet sind bewirkte bisher offenbar keine allgemeine Preissteigerung. Gründe hierfür könnten die stärkere Rationalisierung der Produktion oder eine konsequente Gleichteile- und Plattformstrategie für unterschiedliche Modelle eines Herstellers sein, die immer häufiger angewendet wird.

Um dennoch Anhaltspunkte für Preissteigerungen durch neue Technologien zu erhalten wurden Herstellerpreise einschließlich Aufpreise für bestimmte technische Komponenten näher betrachtet sowie Kostenschätzungen aus Forschungsberichten.

Dabei ist zu beachten, dass die in den Preislisten der Hersteller enthaltenen Beträge nicht allein das Ergebnis der Produktkosten einschließlich einer Gewinnmarge widerspiegeln. Die Festsetzung der Preise orientiert sich auch an der Preisakzeptanz des Vorgängermodells und dem Nutzenzuwachs des neuen Fahrzeugs sowie an der Wettbewerbssituation und der Positionierung der Marke insgesamt. Insbesondere der Preisunterschied verschiedener Varianten eines Modells entspricht nicht dem tatsächlichen Kostenunterschied. Die Einführung neuer Techniken in Serienfahrzeuge wird zwar in vielen Fällen mit einer Preissteigerung verbunden, oftmals ist eine bestimmte technische Neuerung aber mit Modifikationen am Gesamtfahrzeug oder mit einer Neuordnung der Angebotspalette verknüpft, sodass eine klare Zuordnung des Mehrpreises kaum möglich ist.<sup>88</sup> In der Vergangenheit wurden insbesondere zusätzliche Sicherheits- und Komfortkomponenten für Preiserhöhungen verantwortlich gemacht.

Die Einführung der Benzin-Direkteinspritzer ging bisher oftmals mit einem Preisanstieg von rund 1.000 Euro einher. Das gleiche gilt für die Motorkonzepte mit variabler Ventilsteuerung. In vielen Fällen war jedoch eine Leistungssteigerung „inbegriffen“, was den Preisaufschlag relativiert. Die derzeitigen Aufpreise für automatisierte Schaltgetriebe liegen mit 550 bis 950 Euro deutlich unter den Aufpreisen von herkömmlichen Automatikgetrieben. Stufenlose Automatikgetriebe sind etwa gleich teuer wie die herkömmliche Automatikversion. Für die Einführung des Starter-Generators wurden Preiszuschläge von rund 1.000 Euro genannt.

Unter der weiteren Berücksichtigung der Aufpreise für heute aktuelle Sparmodelle (siehe Kapitel 3.1.5) wird für die zusätzlich in den Szenarien eingesetzte Emissionsminderung ein Neuwagenmehrpreis von 10 % angesetzt. Eine Differenzierung nach Segmenten ist hier entbehrlich, weil bereits die Reduktion des Verbrauchs nach Segmenten gestaffelt wurde und dadurch der Umstand berücksichtigt ist, dass mit den gleichen Aufwendungen bei großen Fahrzeugen eine höhere Verbrauchsminderung erzielt werden kann.

## **6.4 Ergebnisse und Auswirkungen auf den Flottenverbrauch**

Die in den Szenarien angenommenen Maßnahmen wurden wie in den vorangegangenen Kapiteln angegeben operationalisiert. Mittels des Käufermodells (siehe Kapitel 5.4) wurden dann die Auswirkungen auf das Kaufverhalten von Neuwagenkäufern abgeschätzt. Durch Zusammenführung mit den Annahmen zur technologischen Entwicklung in den Szenarien konnte dann jeweils der Flottenverbrauch bestimmt werden. Nachfolgend sind die Ergebnisse für die Szenarien dargestellt.

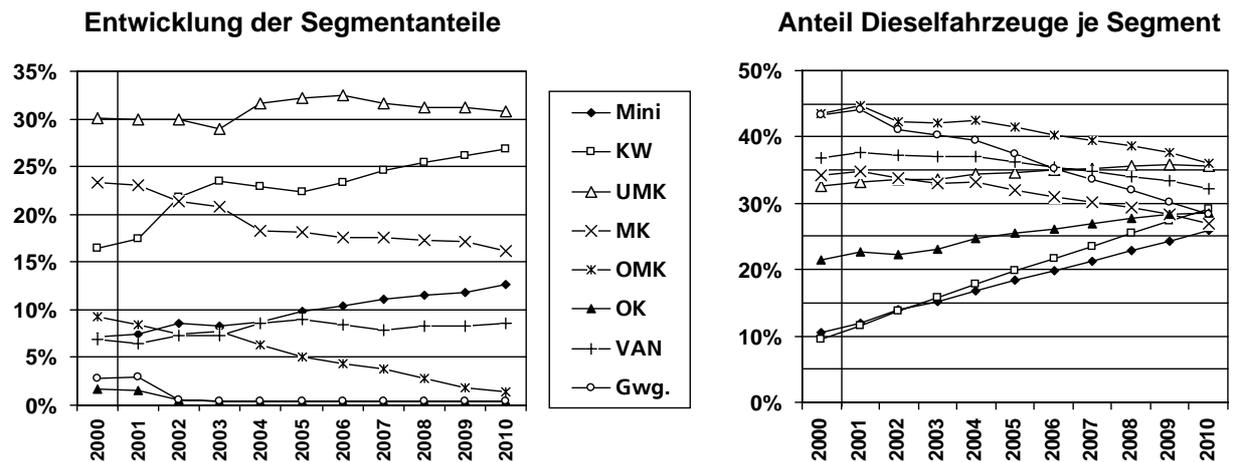
---

<sup>88</sup> Ebenso können bei Modellwechseln auch Preissenkungen stattfinden, wie zum Beispiel beim neuen VW Polo im September 2001.

## Kontinuitätsszenario

Bei den Segmenten des Kontinuitätsszenarios zeigt sich, dass eine sehr starke Umschichtung durch die Maßnahmen erzielbar ist. So steigt in den Segmenten Mini und Kleinwagen der Marktanteil um 5 % bzw. 4 %. Damit wird der zwischen 1990 und 2000 ansteigenden Trend von Minis im Kontinuitätsszenario fortgesetzt. Hingegen fällt er für OMK und OK um 5,5 % bzw. 2 %, so dass diese beiden Segmente zusammen nur noch einen relativ kleinen Marktanteil von 2 % besitzen.

Abbildung 27: Segmentverschiebung im Kontinuitätsszenario



Weiterhin zeigt sich ein starker Rückgang des Dieselanteils, der im Trend-Szenario knapp 40 % beträgt, auf 33 % im Kontinuitätsszenario. Dieser Rückgang erklärt sich aus den höheren Reduktionspotenzialen und den Verbesserungen des Kraftstoffverbrauchs für Fahrzeuge mit Ottomotor. Hier können die Benzinfahrzeuge durch benzinsparende Techniken die Kraftstoffkosten deutlich senken und in der Folge Marktanteile, die sie in den letzten Jahren zunehmend verloren haben, zurückgewinnen.

Dieser Effekt wirkt sich insgesamt kompensierend auf die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus. Während die Verschiebung der Segmentanteile einen positiven Effekt auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen hat, führt der Anstieg der Benzinfahrzeuge zu einer Steigerung. Im Ergebnis wird für die CO<sub>2</sub>-Emissionen ein Wert von 108,4 g CO<sub>2</sub>/km ausgewiesen und damit wird das gesetzte CO<sub>2</sub>-Ziel zunächst verfehlt. Daher wurden in mehreren Varianten die angenommenen Maßnahmen noch einmal angepasst bzw. erweitert.

Im Variante A des Kontinuitätsszenarios wurde die Kfz-Steuer noch weiter erhöht und differenziert, sodass sich im Extremfall für die Oberklasse eine Verdoppelung der Kfz-Steuer gegenüber der Ausgangsvariante ergibt. Im Ergebnis führt dies zu einer weiteren Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 1 g CO<sub>2</sub>/km.

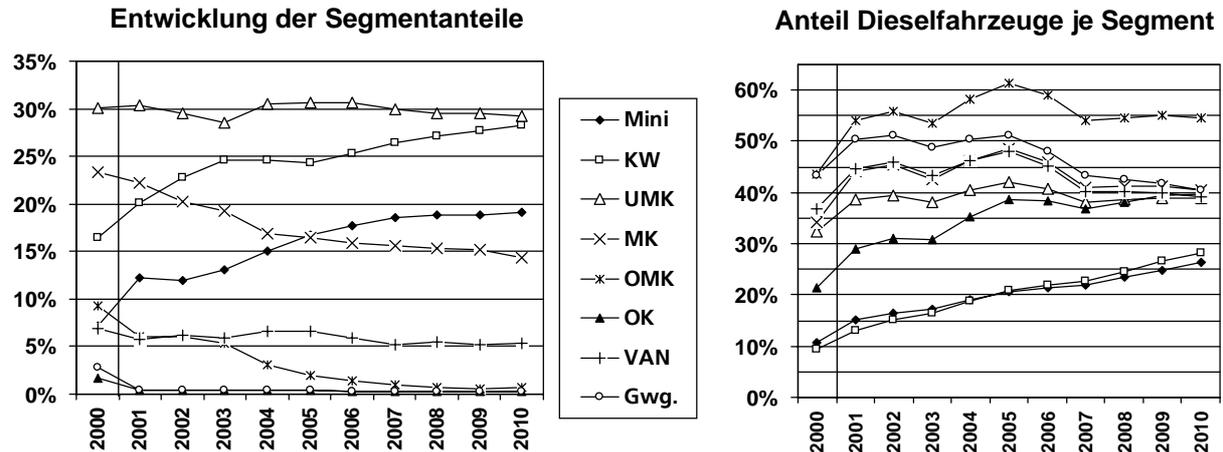
Bei Variante B, in der die Kfz-Steuer zugunsten der zusätzlichen Neuwagenabgabe/-förderung etwas reduziert wurde, steigen für die niedrigeren Segmente Mini und Kleinwagen die Anteile ähnlich der Ausgangsvariante und verlieren die Obere Mittelklasse und die Mittelklasse Zulassungsanteile. Die Flottendurchschnittsemission liegt in Variante B bei 108,6 g/km.

Die Bevorzugung der Dieselfahrzeuge in Variante C führt zwar dazu, dass sich ihr Anteil knapp oberhalb von 40 % hält. Allerdings verbleiben die emissionsstarken Segmente bei höheren Marktanteilen, wodurch in dieser Variante gegenüber dem Ausgangsszenario ebenfalls keine Verbesserung im Gesamtergebnis erzielt werden konnte.

## Neuausrichtungsszenario

Der Einfluss der Maßnahmen auf das Käuferverhalten ist in diesem Szenario am stärksten. Entsprechend fallen auch die Segmentverschiebungen am kräftigsten aus. Gewinner der Umschichtung sind die Segmente Mini mit 11 % und Kleinwagen mit 6 %. Die anderen Segmente verlieren Marktanteile.

Abbildung 28: Segmentverschiebung im Neuausrichtungsszenario



Der Dieselantrieb bleibt in diesem Szenario bei über 35 % Zulassungsanteil. Trotzdem kann man auch hier ersehen, dass die technischen Reduktionspotenziale bei den Benzinfahrzeugen zu einer Rückgewinnung der Marktanteile führen. Nur die Minus und Kleinwagen verzeichnen weiter steigende Dieselantrieile.

Weil die Segmentverschiebung sehr groß ist und die emissionsstarken Segmente ab der oberen Mittelklasse nur noch marginale Anteile haben, wird in diesem Szenario ein Flottenemissionswert von 104,9 g CO<sub>2</sub>/km erreicht. Die Strategie, die Maßnahmen jeweils auf die CO<sub>2</sub>-Emissionswerte der jeweiligen Fahrzeuge abzustimmen, scheint also erfolgreich.

## Grenzwertszenario

Für das Grenzwertszenario fällt die Segmentverschiebung am stärksten aus. Auf die Segmente Mini, Kleinwagen und UMK entfallen 85 % Marktanteil. Die Marktanteilsgewinne fallen mit 15 % im Segment Mini am höchsten aus. Die starke Segmentverschiebung beruht hier auf den Wirkungen der recht hohen Kfz-Steuer und den in den oberen Segmenten drastischen Erhöhungen der Neuwagenpreise zur Erreichung der Grenzwertvorgabe.

Der durchschnittliche CO<sub>2</sub>-Emissionswert der Neufahrzeuge liegt aufgrund der starken Segmentverschiebung und der hohen Kraftstoffverbrauchsreduktionen bei 102,4 g CO<sub>2</sub>/km. Dieses Ergebnis beruht allerdings auf Annahmen, die mit deutlich größeren Unsicherheiten behaftet sind, als dies bei den anderen Szenarien der Fall ist.

## Mittelfristsszenario

Für das Mittelfristsszenario fallen die Segmentverschiebungen geringfügig stärker aus als im Neuausrichtungsszenario. Für das Segment Mini entsteht ein Marktanteilsgewinn im Bereich von 16% und für die Kleinwagen von 6%.

Betrachtet man die Entwicklung des CO<sub>2</sub>-Emissionswertes so ergibt sich im Jahr 2010 ein Wert von 116,3 g CO<sub>2</sub>/km, was durch die niedrigeren Maßnahmen im Vergleich zum Neu-

ausrichtungsszenario erklärbar ist. Das gesetzte CO<sub>2</sub>-Ziel der Halbierung gegenüber 1990 wird im Jahr 2013 erreicht, also lediglich 3 Jahre nach dem in den anderen Szenarien betrachteten Zeitpunkt. Im Jahr 2015 liegt der durchschnittliche CO<sub>2</sub>-Emissionswert der Neufahrzeuge bei 97,2 g CO<sub>2</sub>/km. Weil Fahrzeuge mit alternativen Antrieben nicht in die konventionelle Betrachtung einbezogen werden können (evtl. Subventionsbedarf neuer Technologien, völlig andere Bemessungsgrundlage für Steuererhebung, etc.), sind diese hier noch nicht enthalten und werden gesondert in der Abschätzung des Einflusses auf die Gesamtemissionen des Verkehrs berücksichtigt (siehe Kapitel 8). Es wird vereinfacht angenommen, dass sich der Anteil an Fahrzeugen mit alternativen Antrieben gleichmäßig auf die Segmente verteilt.

## 7 Volkswirtschaftliche Bewertung

### 7.1 System Dynamics und das Modell ESCOT

Nach der Philosophie von System Dynamics wird das Verhalten eines Systems weitgehend durch seine Struktur bestimmt. Die Systemanalyse beschäftigt sich daher mit den inneren Zusammenhängen der Systemelemente, durch welche die äußeren Merkmale erklärt werden können. Bei der Konstruktion von "System Dynamics-Modellen" wird von der grundlegenden Hypothese ausgegangen, dass das Verhalten eines Systems primär von seinen Feedback-Mechanismen bestimmt wird. Die Veränderung der Mineralölsteuer bezieht sich in der gesamten Studie ausschließlich auf den Pkw-Verkehr, d.h. der Lkw-Verkehr wird nicht zusätzlich belastet.<sup>89</sup> Die Rückkoppelungsschleifen zwischen Variablen des Systems bilden daher die zentralen Systemkomponenten. Sie lassen sich zwei verschiedenen Klassen zuordnen:

Die negativen Feedbacksysteme sind zielsuchend. Sie reagieren auf Zielabweichungen und tendieren zu einem Gleichgewicht. Die Regelung der Raumtemperatur mit Hilfe eines Thermostats ist ein Beispiel für negative Rückkopplung. Weicht die Temperatur von der gewünschten Temperatur ab, ergibt sich eine Temperaturdifferenz, die eine Heizung so lange aktiviert, bis sich die gewünschte Temperatur eingestellt hat.

Die positiven Loops erzeugen Wachstums- oder Schrumpfungsprozesse. Die Elemente einer Rückkopplungsschleife beeinflussen sich so, dass sie sich gegenseitig aufschaukeln. Die Lohn-Preis-Spirale zum Beispiel, ist ein System mit positiver Rückkopplung. Höhere Löhne führen zu Inflation, die sich in Preissteigerungen und Forderung nach höheren Löhnen fortsetzen.

System Dynamics beruht auf vier Grundlagen: der oben beschriebenen Informations-Feedback-Theorie, der Entscheidungstheorie, der experimentellen Computersimulation und den mentalen Problemlösungsprozessen<sup>90</sup>. Die computerorientierte Methode soll ein besseres Verstehen und Planen sozialer Systeme ermöglichen.

Generell ist der Unterschied zwischen konventionellen Methoden und dem System Dynamics-Ansatz hervorzuheben. Gegenüber konventionellen Methoden wie der Trendprognose haben System Dynamics-Modelle den Vorteil, dass in ihnen spekulative und unsichere Entwicklungen, wie zum Beispiel Fahrzeugtechnologien der Zukunft, berücksichtigt werden können. Dagegen sind die Ergebnisse, die System Dynamics liefert, von einer geringeren Genauigkeit als eine vergleichbare Punkt-zu-Punkt Prognose. Der Schwerpunkt der Aussage eines System Dynamics Modells liegt nicht auf der Genauigkeit einer bestimmten zu prognostizierenden, singulären Variable, sondern auf der Prognose der Entwicklung einer Vielzahl von Variablen und des wechselseitigen Verhaltens von Schlüsselvariablen aus verschiedenartigen Bereichen.

Zur Bewertung der Szenarien wird das vom Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung (IWW) entwickelte systemdynamische Modell ESCOT (Economic Assessment of Sustainability poliCies Of Transport = ökonomische Bewertung einer nachhaltigen Verkehrspolitik) erweitert und angewendet.<sup>91</sup>

---

<sup>89</sup> Forrester 1968; Meadows 1972

<sup>90</sup> Milling 1974

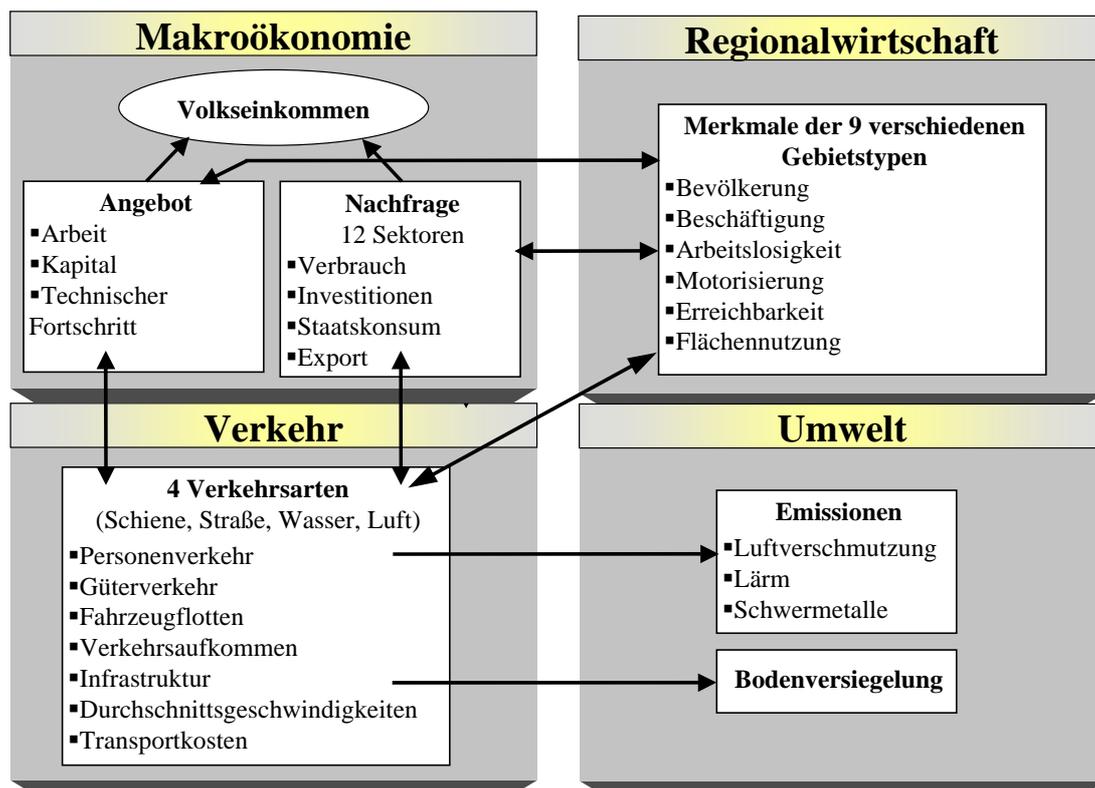
<sup>91</sup> UBA, IWW 2000

### 7.1.1 Struktur von ESCOT

Das Modell ESCOT basiert auf fünf verschiedenen Modellen, welche die vier wichtigsten Subsysteme für die Beschreibung der betroffenen Bereiche und die politische Handlungssphäre abbilden (siehe Abbildung 29).

Das makroökonomische Modell liefert auf der Angebotsseite Informationen auf einem aggregierten ökonomischen Level (z.B. Volkseinkommen) und auf der Nachfrageseite Kenndaten nach einer Unterteilung von 12 ökonomischen Sektoren. Das Regionalwirtschaftsmodell arbeitet ebenfalls mit diesen 12 ökonomischen Sektoren und den vorher beschriebenen funktionalen Gebietstypen. Diese Gebietstypen werden auch im Verkehrsmodell verwendet. Zusätzlich unterscheidet dieses Modell zwischen den verschiedenen Verkehrsmitteln (Straße, Schiene, Wasser, Luft) und verschiedenen Typen von Infrastrukturverbindungen (z.B. Hochgeschwindigkeitsverbindungen zwischen Ballungsräumen). Das Umweltmodell berechnet die Emissionsdaten für die Verkehrsleistungen und schätzt die direkten Wirkungen. Das politische Modell steuert das Szenario, das die anderen Modelle beeinflusst. Da die meisten politischen Maßnahmen einen direkten Einfluss auf das Verkehrsmodell haben, stellt dieses Modell in der Regel den Ausgangspunkt für die Simulation der Wirkungsmechanismen dar.

Abbildung 29: Struktur des System Dynamics Modell ESCOT<sup>92</sup>



### 7.1.2 Das Verkehrsmodell

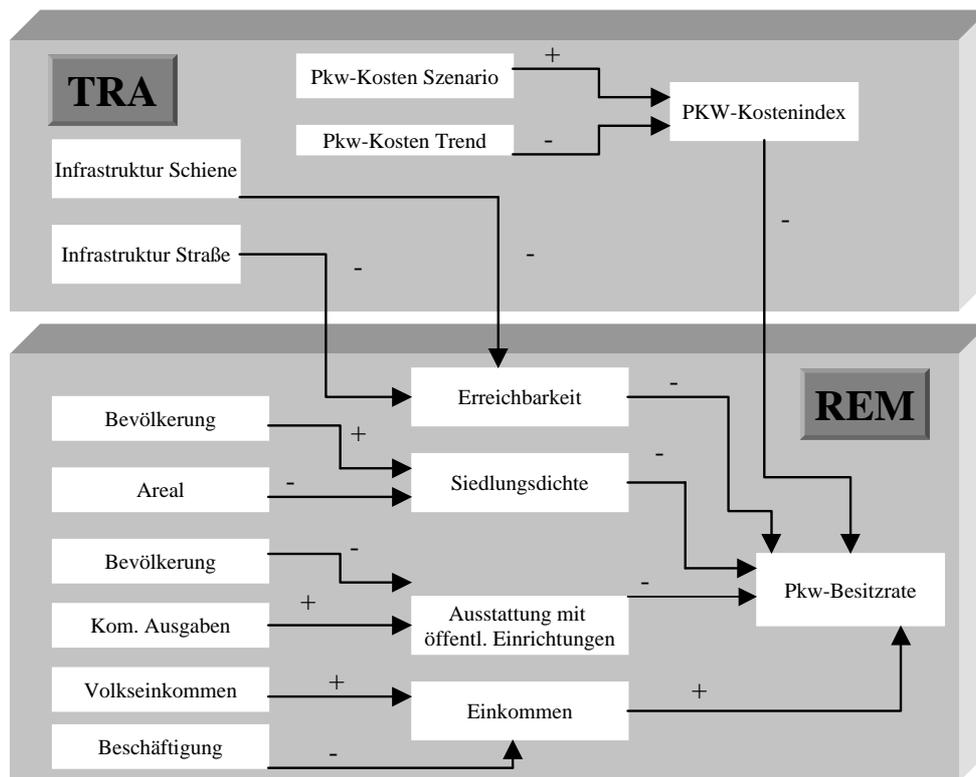
Das Verkehrsmodell (TRA) ist in fünf Bereiche mit unterschiedlich starkem Detaillierungsgrad eingeteilt. Ein Schwerpunkt des Verkehrsmodells innerhalb dieses Projektes bilden der PKW-Neukauf und PKW-Bestand, die detailliert mit ihren jeweiligen Rückkopplungen und Wirkungsbeziehungen abgebildet sind.

<sup>92</sup> Schade, Rothengatter, Schade 2002

Das regionalwirtschaftliche Modell (REM) bildet die gegenwärtige Bevölkerungsentwicklung ab, die 1998 auf einen Wert von 82 Mio. angewachsen ist. Prognosen zu Folge wird ein weiter steigender Verlauf angenommen, der im Jahr 2015 eine Bevölkerung von 83,5 Mio.<sup>93</sup> erreicht.

Mit Hilfe der Bevölkerungszahl und der PKW-Besitzrate lässt sich durch einfache Multiplikation der PKW-Bestand berechnen. Daher kommt der PKW-Besitzrate, die von den in Kapitel fünf bestimmten politischen Maßnahmen beeinflusst wird, eine zentrale Bedeutung zu. Sie hängt von der Entwicklung des PKW-Kostenindex und vier weiteren, sozioökonomischen Multiplikatoren ab (siehe Abbildung 30).

**Abbildung 30: Bestimmung der PKW-Besitzrate**



Für die in der Studie betrachtete Problematik ist nur der PKW-Kostenindex relevant. Er berechnet sich über die prozentuale Änderung der Kosten eines beliebigen Szenarios zur Kostenentwicklung des Trendszenarios. Im Trendszenario werden z.B. für die Mineralölsteuer nach Vollendung der Öko-Steuer keine weitere Erhöhung angenommen, so dass inflationsbereinigt die Kraftstoffkosten sinken. Die Reduktion des Kraftstoffverbrauchs durch die Selbstverpflichtung, die im Trend angenommen wird, verstärkt diesen Effekt. Berücksichtigt werden die drei Kostenarten Komplettpreis, Kfz-Steuer und Kraftstoffkosten:

$$PK_i = \frac{(PKSZ_i - PKT_i)}{PKT_i}$$

- mit: PK<sub>i</sub>: PKW-Kostenindex für Komplettpreis, Kfz-Steuer, Kraftstoffkosten  
 PKS<sub>Zi</sub>: PKW-Kosten eines Szenarios  
 PKT<sub>i</sub>: PKW-Kosten für das Trend Szenario  
 i: PKW-Komplettpreis, PKW-Kfz-Steuer, PKW-Kraftstoffkosten

<sup>93</sup> Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen 2001: Verkehrsprognose 2015

Die Elastizitäten, mit denen die Änderung multipliziert wird, betragen für den Komplettpreis und die Kfz-Steuer  $-0,06$  und für die Kraftstoffkosten  $-0,1$ .<sup>94</sup> Die anderen Einflüsse der Faktoren auf die Pkw-Besitzrate kann man an der folgenden Tabelle ersehen.

**Tabelle 21: Einflussfaktoren auf die Pkw-Besitzrate<sup>95</sup>**

Änderung der Pkw-Besitzrate [%] bei Änderung einer Ausgangsvariable um							
Ausgangsvariable	Szenario	-50%	-20%	-10%	10%	20%	50%
Siedlungsdichte	Alle	-	32	25	-4	-4	-
Ausstattung mit öffentlichen Einrichtungen	Alle	2	2	1	-1.4	-2.2	-2.8
Erreichbarkeit	Alle	9	3	1.5	-2	-4	-9
Einkommen	Alle	-12	-4.8	-2.4	12.8	25.6	64

Durch Multiplikation der PKW-Besitzrate mit der Bevölkerung wird der PKW-Bestand berechnet. Die Bestandszahlen ermöglichen eine genaue Bestimmung der PKW-Flotte in Bezug auf ihr Alter, ihre Antriebstechnik und ihr zugehöriges Segment.<sup>96</sup>

**Tabelle 22: Variablen der PKW-Flotte**

Variablen der PKW-Flotte	Werte der Variablen
Antrieb	Benzin, Diesel
Segment	Mini, Kleinwagen, Untere Mittelklasse, Mittelklasse, Obere Mittelklasse, Oberklasse, Van, Geländewagen, Utilities
Altersklassen	1-20

Die jährlich neuzugelassenen PKW ergeben sich aus der Änderung des PKW-Bestandes und der jährlichen Abmeldung von Fahrzeugen. Für alle Fahrzeuge wird von einer maximalen Lebensdauer von 20 Jahren ausgegangen. Vereinfacht werden im System deshalb nur 20 Altersklassen angenommen. Jeder Jahrgang der PKW-Flotte hat eine spezielle Wahrscheinlichkeit mit der Fahrzeuge abgemeldet werden. Die Emissionsklasse eines Fahrzeuges ist so festgelegt, dass zwei bis drei Jahre vor der vorgeschriebenen Einführung einer Emission schon ein gewisser Anteil mit der neuen Emissionsklasse gekauft wird.

Nach der Bestimmung der jährlichen neuzugelassenen Fahrzeuge ist die Bestimmung der Segmentanteile und der jeweiligen Antriebe von großer Bedeutung.

Die Segmentanteile berechnen sich unter Berücksichtigung der prozentualen Veränderung der Kosten zum Trend Szenario. Die resultierenden Kostenänderung werden mit den Marktanteilsverschiebungen pro Änderung der Kosten multipliziert. Die Marktanteilsverschiebungen basieren auf den in Kapitel 5.3.2 beschriebenen Nutzenfunktionen.<sup>97</sup>

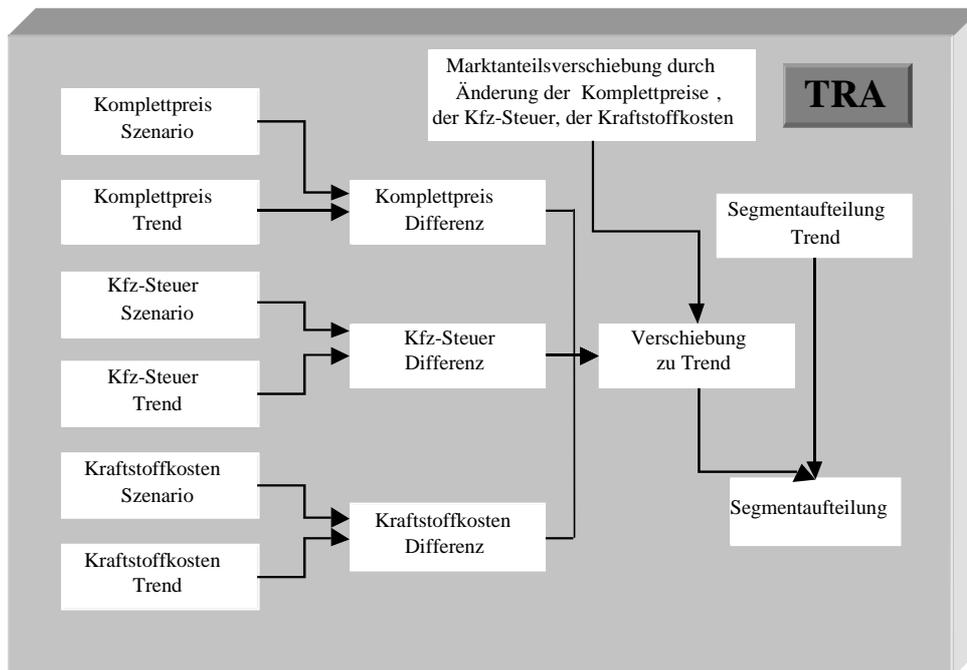
<sup>94</sup> Litman 1998

<sup>95</sup> Kuchenbecker 1999

<sup>96</sup> Eine grobe Klassifikation des Bestandes nach Emissionsklassen ist im Modell grundsätzlich ebenfalls vorgesehen, wird in diesem Projekt jedoch durch das speziell ausgerichtete Modell TREMOD durchgeführt.

<sup>97</sup> Speziell für die Marktanteilsverschiebung aufgrund höherer Kraftstoffpreise liegt der Wert für das Segment Mini zu hoch, so dass bei einer einheitlichen Erhöhung der Kraftstoffpreise der Marktanteil sinken würde. Daher wurde für das Segment Mini der Wert des Segments Kleinwagen angenommen.

**Abbildung 31: Segmentbestimmung in ESCOT**



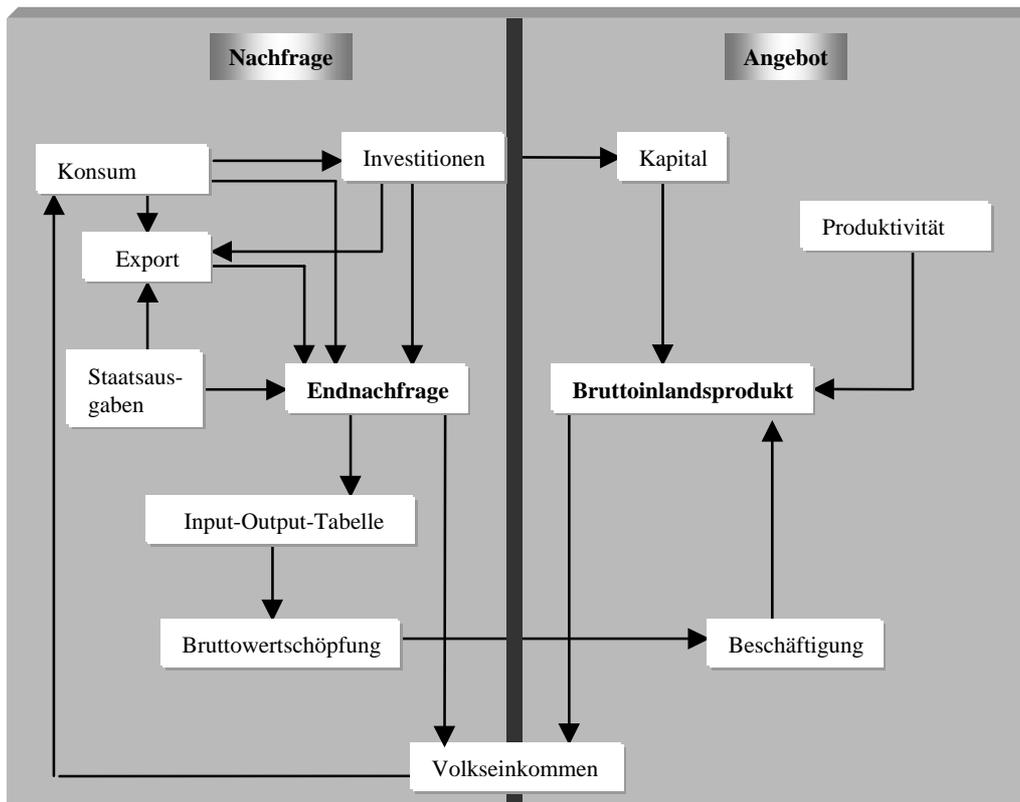
Multipliziert man die Kostenänderung mit den jeweiligen Marktanteilsverschiebungen, so erhält man in der Summe die gesamte Verschiebung der Segmente. Diese werden zu dem Trendverlauf addiert bzw. subtrahiert, um die Segmentaufteilung für ein Szenario zu erhalten.

Nach derselben Methodik werden auch die Antriebsanteile (Otto / Diesel) berechnet. Zunächst bildet man die Kostenänderungen, aus der sich dann die Verschiebung der Antriebsarten eines Segmente berechnen, die dann zu dem Trend der Antriebsaufteilung pro Segment addiert bzw. subtrahiert werden.

### 7.1.3 Das Makromodell

Die zentrale Aufgabe des Makromodells (MAC) besteht darin, ökonomische Auswirkungen, die durch Veränderungen im Verkehrsbereich initiiert werden, abzuschätzen. Zur Bestimmung dieser ökonomischen Auswirkungen werden die Kenngrößen der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung verwendet.

**Abbildung 32: Makromodell in ESCOT**



Aus dem Schaubild ergibt sich als wesentliches Merkmal des Makromodells die Einteilung in Nachfrage- und Angebotsseite, welche der Bestimmung der jeweiligen Kenngrößen dienen. Es wird auch deutlich, dass auf der Nachfrageseite als zentrale Größe die Endnachfrage bestimmt wird, während auf der Angebotsseite als wesentliche Größe das Bruttoinlandsprodukt berechnet wird. Ein wichtiges Bindeglied zwischen den Größen der Angebots- und der Nachfrageseite stellt das Volkseinkommen dar. Das Volkseinkommen wird aus den Werten des Bruttoinlandsprodukts (Angebotsseite) und der Endnachfrage (Nachfrageseite) gebildet:

$$VK = f \cdot (FD + BIP) / 2$$

mit:    FD: Endnachfrage (FinalDemand)  
           BIP: Bruttoinlandsprodukt (GrossDomesticProduct)  
           f: 0.77

Diese Konstruktion ermöglicht es, dass sowohl Angebots- als auch Nachfrageseite als Treiber oder Bremsen der ökonomischen Entwicklung wirken können. Diese Tatsache ist deshalb wichtig, da z. B. die ökologischen Szenarien auf der Nachfrageseite durch höhere Preise bremsen, während sie gleichzeitig durch das Forcieren des technischen Fortschritts auf der Angebotsseite die wirtschaftliche Entwicklung vorantreiben.

Da anzunehmen ist, dass sich Veränderungen im Verkehrsbereich nicht homogen auf alle Bereiche einer Volkswirtschaft auswirken, wird die Wirtschaft in 12 Sektoren entsprechend der Gliederung der Input-Output-Tabelle des Statistischen Bundesamts eingeteilt. Dabei kommen den drei eng mit dem Verkehr verbundenen Sektoren Energie (Sektor 2), Maschinen, Fahrzeuge (Sektor 5) und Dienstleistungen (Sektor 10) besondere Bedeutung zu.

Es ist wichtig zu erkennen, dass die Auswirkungen des Verkehrs auf das Makromodell nicht einseitig, sondern wechselseitig erfolgen, weil makroökonomische Größen wie das Volkseinkommen den Personenverkehr und den PKW-Bestand beeinflussen, von denen wiederum Einflüsse auf die Nachfrage und den Konsum ausgehen. Daher ist es geboten, die wesentli-

chen Schnittstellen zwischen Makroökonomie und Verkehr sowie zwischen Makroökonomie und Regionalwirtschaft zu analysieren.

### Nachfrageseite

Zentrale Aufgabe der Nachfrageseite ist die Beschreibung der Zusammenhänge zwischen der Endnachfrage und deren Inputs Konsum, Investitionen, Staatsverbrauch und Export. Die Größen der Nachfrageseite und ihre Zusammenhänge leiten sich aus dem Schema einer Input-Output-Tabelle ab.

**Abbildung 33: Input-Output-Tabelle**

Input-Output		Input				Endnachfrage					Pv
		1 ...	6 ...	12	$\Sigma$	Konsum	Invest.	Staat	Export	$\Sigma$	$\Sigma$
Output	1	IO <sub>1,6</sub>				C <sub>1</sub>	I <sub>1</sub>	G <sub>1</sub>	E <sub>1</sub>	FD <sub>1</sub>	Pv <sub>1</sub>
	...	...				...	...	...	...	...	...
	6	IO <sub>6,1</sub> ...	IO <sub>6,6</sub> ...	IO <sub>6,12</sub>	O <sub>6</sub>	C <sub>6</sub>	I <sub>6</sub>	G <sub>6</sub>	E <sub>6</sub>	FD <sub>6</sub>	Pv <sub>6</sub>
	...	...				...	...	...	...	...	...
	12	IO <sub>12,6</sub>				C <sub>12</sub>	I <sub>12</sub>	G <sub>12</sub>	E <sub>12</sub>	FD <sub>12</sub>	Pv <sub>12</sub>
	$\Sigma$	I <sub>6</sub>			IO	C	I	G	E	FD	Pv
Bruttowertschöpfung	Gewinn Einkom. Abschr.	De <sub>1</sub> ...	De <sub>6</sub> ...	De <sub>12</sub>	De						
		Ic <sub>1</sub> ...	Ic <sub>6</sub> ...	Ic <sub>12</sub>	Ic						
		P <sub>1</sub> ...	P <sub>6</sub> ...	P <sub>12</sub>	P						
	$\Sigma$	Gv <sub>1</sub> ...	Gv <sub>6</sub> ...	Gv <sub>12</sub>	Gv						
Pv	$\Sigma$	Pv <sub>1</sub> ...	Pv <sub>6</sub> ...	Pv <sub>12</sub>	Pv						

Im Folgenden werden zunächst die Werte des Quadranten II bestimmt. Anschließend erfolgt eine Beschreibung der Berechnungsmethodik für die Quadranten I und III.

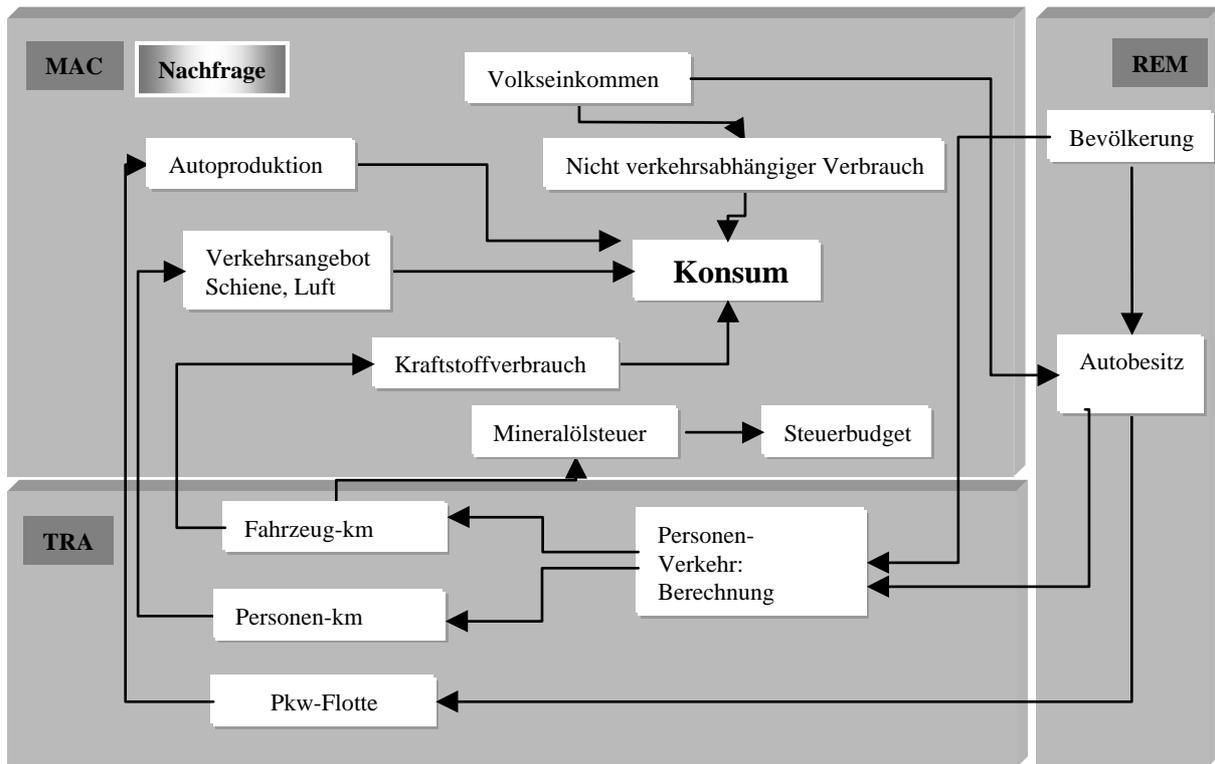
### Konsum

Unter Konsum versteht man die jährlichen Konsumausgaben der privaten Haushalte. Der Konsum wird aufgeteilt in Nicht-Verkehrssektoren und in Verkehrssektoren. Dabei leitet sich die Entwicklung des Konsums in den einzelnen Sektoren aus drei Effekten ab:

- einem allgemeinen Trend für die Nicht-Verkehrssektoren,
- den detaillierter bestimmbar Trends in den Verkehrsbereichen und
- einem Ausgleichsmechanismus für die Nicht-Verkehrssektoren.

Der allgemeine Trend für die Konsumausgaben folgt dem Volkseinkommen. Wächst das Volkseinkommen um 2 %, so wächst auch der Konsum um 2 %.

Abbildung 34: Konsum in ESCOT



Die Entwicklung der Verkehrsausgaben wird im Verkehrs-Modul auf Basis von Kosten und Verkehrsleistungen berechnet. Die Entwicklung dieser berechneten Werte folgen i.a. nicht exakt dem Trend des Volkseinkommens; so können die Verkehrsausgaben stärker oder schwächer wachsen als der Trend des Volkseinkommens.

Von der Differenz der exakt berechneten Verkehrsausgaben zu den auf Basis des Volkseinkommens möglichen Verkehrsausgaben wird ein Teil auf die Nicht-Verkehrssektoren verlagert. Wie hoch ist die Verlagerung? Geht man davon aus, dass im Verkehrsbereich durch die politische Maßnahmen zu wenig im Verkehr ausgegeben wird, entsteht ein positiver Differenzbetrag. Dieser Differenzbetrag verteilt sich auf die verschiedenen Nicht-Verkehrs-Sektoren und das Sparen linear, d.h. entsprechend der Beträge der sektoralen Konsumausgaben und des Sparens zueinander. Die Konsumausgaben der einzelnen Sektoren werden aus alten Daten der Konsumentwicklung bei unterschiedlichen Nationaleinkommen geschätzt. Im zweiten Schritt kann der Betrag, der auf den jeweiligen Konsumsektor entfällt, entsprechend alter Daten umgelegt werden.

### Investitionen

Unter Investitionen versteht man die staatlich und unternehmerisch getätigten Käufe für langlebige Wirtschaftsgüter in den 12 Sektoren. Die Bestimmung der Investitionen erfolgt wiederum getrennt nach Nicht-Verkehrs-Sektoren und Verkehrs-Sektoren. Die Änderung der Investitionen der Nicht-Verkehrs-Sektoren hängen von der Entwicklung des gesamten Konsums und des Konsums des jeweiligen Sektors ab, die einem Investitionsmultiplikator multipliziert werden:

$$\Delta I_s = (S_s * \Delta C + (1-S_s) * \Delta C_s) * IM * I_s$$

mit:  $\Delta C$ : Änderung des Konsums zur Vorperiode (FinalDemand)  
 $\Delta C_s$ : Änderung des Konsumsektors s zur Vorperiode (GrossDomesticProduct)  
 $S_s$ : Anteil des Einflusses zwischen individuellem und gesamten Konsum = 1,1,1,1,0.8,0.5,0.5,1,0.9,0.5,0.5,0.5  
 $IM$ : Investitionsmultiplikator = 0.5 (GrossDomesticProduct)  
 $I_s$ : Investitionen im Sektor s  
s: Sektor 1-12

Abweichend davon werden errechnen sich die Investitionen für die Infrastruktur aus den Baumaßnahmen im Bereich Straßen- und Schienenverkehr. Diese leiten sich zum Einen aus Entwicklungen aus dem Verkehrsbereich ab, zum Anderen kann in die Infrastruktur investiert werden.

Zur Bestimmung der Endnachfrage werden noch die Entwicklung der Staatsausgaben und die des Exports benötigt. Die Staatsausgaben umfassen hier nur diejenigen Verwaltungsleistungen der Gebietskörperschaften und der Sozialversicherung, die der Allgemeinheit ohne spezielles Entgelt zur Verfügung gestellt werden (Verkehrsinvestitionen des Staates wurden schon im vorherigen Abschnitt bestimmt). Es wird angenommen, dass deren Umfang jährlich um 2 % steigen ausgehend von einem Anfangswert von 257 Mrd. Euro im Jahr 1986.

Der Export lässt sich wegen der Grundannahme, dass die anderen Länder die gleichen politischen Maßnahmen durchführen und daher keine Arbitrage möglich ist, aus den inländischen Tendenzen ableiten. Es wird davon ausgegangen, dass im Ausland dieselben Entwicklungen und Veränderungen ablaufen, wie im Inland.

Daher wird der Export in Abhängigkeit der Entwicklung von Konsum, Investitionen und Staatsverbrauch jeden Sektors bestimmt:

$$\Delta E_s[t] = ((C_s[t] + I_s[t] + S_s[t]) - (C_s[t-1] + I_s[t-1] + S_s[t-1]) / (C_s[t-1] + I_s[t-1] + S_s[t-1]) * E_s[t-1]$$

mit:  $C_s$ : Konsum in Sektor s (ConsumptionPerSector)  
 $I_s$ : Investitionen in Sektor s (InvestmentPerSector)  
 $S_s$ : Staatsverbrauch in Sektors s (GovernmentSpendingPerSector)  
 $E_s$ : Export in Sektors s (ExportPerSector)  
s: Sektor 1-12

Die Endnachfrage ergibt sich durch einfache Addition der Bestandteile Konsum, Investitionen, Staatsverbrauch und Export:

$$EF_s = C_s + I_s + S_s + E_s$$

mit:  $C_s$ : Konsum in Sektor s (ConsumptionPerSector)  
 $I_s$ : Investitionen in Sektor s (InvestmentPerSector)  
 $S_s$ : Staatsverbrauch in Sektors s (GovernmentSpendingPerSector)  
 $E_s$ : Export in Sektors s (ExportPerSector)  
s: Sektor 1-12

### Angebotsseite

Die angebotsseitigen Parameter im Makromodul von ESCOT sind Kapital, Arbeit und technischer Fortschritt. Das Kapital wird weiter untergliedert in privates und öffentliches Kapital. Arbeit, Kapital und technischer Fortschritt bilden zugleich die Variablen der Cobb-Douglas-Produktionsfunktion, mit der das Bruttoinlandsprodukt errechnet wird.

Zentrale Bestimmungsgröße für die Beschäftigung ist die Bruttowertschöpfung, die sich bei der Aufstellung der Input-Output-Tabelle auf der Nachfrageseite des Makromodells ergibt. Dabei wird die Beschäftigung errechnet, indem die Bruttowertschöpfung mit einem Faktor Beschäftigte pro Million an Bruttowertschöpfung multipliziert wird. Der Faktor Beschäftigte

pro Million Bruttowertschöpfung errechnet sich aus Vergangenheitsdaten der Input-Output-Tabellen von 1986 bis 1993 des Statistischen Bundesamtes. Hierbei ist anzumerken, dass sozusagen eine feste Verbindung zwischen sektoraler Bruttowertschöpfung und Beschäftigung angenommen wird, und von anderen Anpassungsmöglichkeiten der Arbeitsmärkte wie Arbeits- und Lohnveränderungen abgesehen wird.

Der private Kapitalstock wird hier verstanden als das Bruttoanlagevermögen der Unternehmen ohne Land- und Forstwirtschaft. Im Jahre 1985 betrug das Bruttoanlagevermögen 4645 Mrd. Euro (davon entfallen 4223 Mrd. Euro auf die alten Länder).

Die Entwicklung des privaten Kapitalstocks setzt sich aus zwei Komponenten zusammen. Die sogenannte autonome Komponente wird als konstanter Anteil an den Investitionen bestimmt. Die zweite Komponente zieht den Teil des Bruttoanlagevermögens ab, der aufgrund von Überalterung bzw. Abschaffung dem Produktionsprozess nicht mehr zu Verfügung steht.

Für die Abschreibung wird in den ersten Jahren von einer durchschnittlichen Lebensdauer von 15 Jahren ausgegangen.<sup>98</sup> Anschließend wird die Abschreibungszeit in Abhängigkeit der getroffenen Politiken gebildet. Die Förderung effizienterer Kraftstoffverbrauchstechniken führen zu technologischem Fortschritt, der auch in eine schnellere Abschreibung der auf alter Technologie basierenden Anlagen mündet.

Ein weiterer Produktionsfaktor, der die Höhe des Bruttoinlandsprodukt beeinflusst, ist der technische Fortschritt. Der Technische Fortschritt treibt die Produktivitätsentwicklung an, die einen Gradmesser für das Verhältnis zwischen Input- und Outputfaktoren einer Wirtschaft widerspiegelt.

Die Bestimmung des technischen Fortschritts wird dadurch erschwert, dass keine exakte, messbare Größe dem technischen Fortschritt entspricht, so dass man aus Vergleichsdaten wie Forschung und Entwicklungsausgaben, Patentanmeldungen, Bruttoanlagevermögen den technischen Fortschritt eines Sektors abschätzen muss. In ESCOT wird versucht, die Bedeutung der einzelnen Wirtschaftssektoren über die Forschungs- und Entwicklungsausgaben unter Berücksichtigung deren Bruttoanlagevermögens abzuschätzen.

**Tabelle 23: Forschungs- und Entwicklungsausgaben per Wirtschaftssektor**

Wirtschaftssektor (Mrd. Euro im Jahr 1995)	FuE-Ausgaben	
	absolut	rel. zu gesamt
Fahrzeugbau	9487	0.32
dar. Kraftwagen und Teile	6711	0.22
dar. Luft und Raumfahrt.	2312	0.08
Energie- und Wasserversorgung	178	0.01
Gesamt	29962	1.00

Aus der Tabelle wird deutlich, dass der Bereich Kraftwagen und Teile mit 22 % an den gesamten Forschungs- und Entwicklungsausgaben einen hohen Anteil hat, und sich daher Veränderungen in den Szenarien in eine messbare Veränderung der Produktivität niederschlagen.

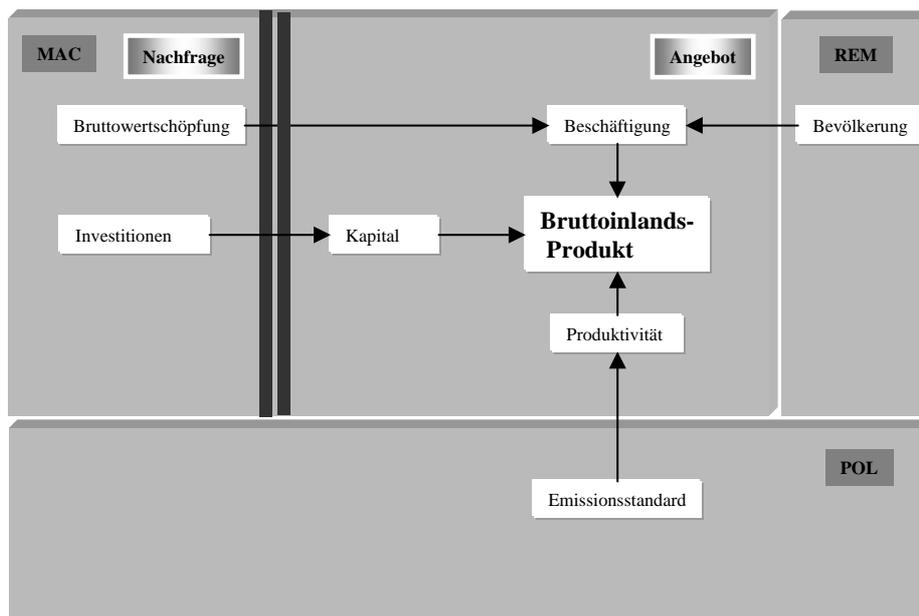
Mit der Variable ‚Natürliche Ressourcen‘ in der Bruttoproduktionsfunktion wird berücksichtigt, dass die Umwelt keineswegs ein freies Gut mit unerschöpflichen Ressourcen ohne Knappheitspreise ist. Als singulärer Umweltindikator wird hier die in der Bundesrepublik Deutsch-

<sup>98</sup> Statistisches Bundesamt 1997

land jährlich anfallende Abwassermenge verwendet.<sup>99</sup> Für die Entwicklung der Variable Natürliche Ressourcen wird ein autonomer Trend angenommen.

Die Produktionsfunktion wurde in einer Studie im Auftrag des Bundesverkehrsministeriums zur Entwicklung eines Verfahrens für dynamische Investitionsplanung<sup>100</sup> anhand statistischer Daten empirisch geschätzt. Die dort ermittelte Produktionsfunktion wird auch dem hier vorliegenden Modell zugrundegelegt. Dabei war es jedoch erforderlich, eine Niveauanpassung in den konstanten Gliedern der Funktion vorzunehmen. In einer Ex-Post-Zeitreihenanalyse der Jahre 1985 bis 1995 wurde sichergestellt, dass die angepasste Funktion den zeitlichen Verlauf des Bruttoinlandsprodukts der Bundesrepublik Deutschland in hinreichender Genauigkeit widerspiegelt.

**Abbildung 35: Bruttoinlandsprodukt in ESCOT**



Die Funktion des Bruttoinlandsprodukt hat die allgemeine Form

$$GDP[t + 1] = 1 + c * e^{RTF * t} * CA[t]^{\alpha} * L[t]^{\beta} * R[t]^{\gamma}$$

mit: GDP: Bruttoinlandsprodukt (GrossDomesticProduct)  
 CA: Kapitalstock (Capital[init] = 4991 Mrd. Euro)  
 L: Faktor Arbeit (Labour[init] = 46000 Mio. Stunden)  
 R: eingesetzte Menge der erschöpfbaren Ressource (Natural Resources[init] = 185.7 Mio. Kubikmeter Wasser pro Tag)

**I: Basis für GDP**

c: positiver konstanter Faktor  
 RTF: Rate des technischen Fortschritts  
 $\alpha$ : Produktionselastizität für Kapital  
 $\beta$ : Produktionselastizität für Arbeit

**$\gamma$ : Produktionselastizität für Natürliche Ressourcen**

<sup>99</sup> Bezüglich einer ausführlichen Diskussion des Umweltindikators "Abwassermenge" als Maß für die Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen vgl. Rothengatter 1984

<sup>100</sup> Rothengatter 1984

## **7.2 Ergebnisse der Szenarienberechnung**

Im Modell ESCOT wurden lediglich die politischen Maßnahmen, die für jedes Szenario beschrieben sind, geändert bzw. neu implementiert, sofern diese Maßnahme im Trend-Szenario noch nicht zur Verfügung stand. Außer den politischen Instrumenten und deren Variablen bleiben alle anderen Zusammenhänge und Variablen unverändert.

Für das Assessment der Szenarien stand vor allem die Veränderung des Käuferverhaltens, des Personenverkehrs auf der Straße und die ökonomische Auswertung im Vordergrund. Diesen Aspekten fällt daher auch ein größeres Gewicht zu als den Auswertungen des Güterverkehrs- und des Regionalmodells.

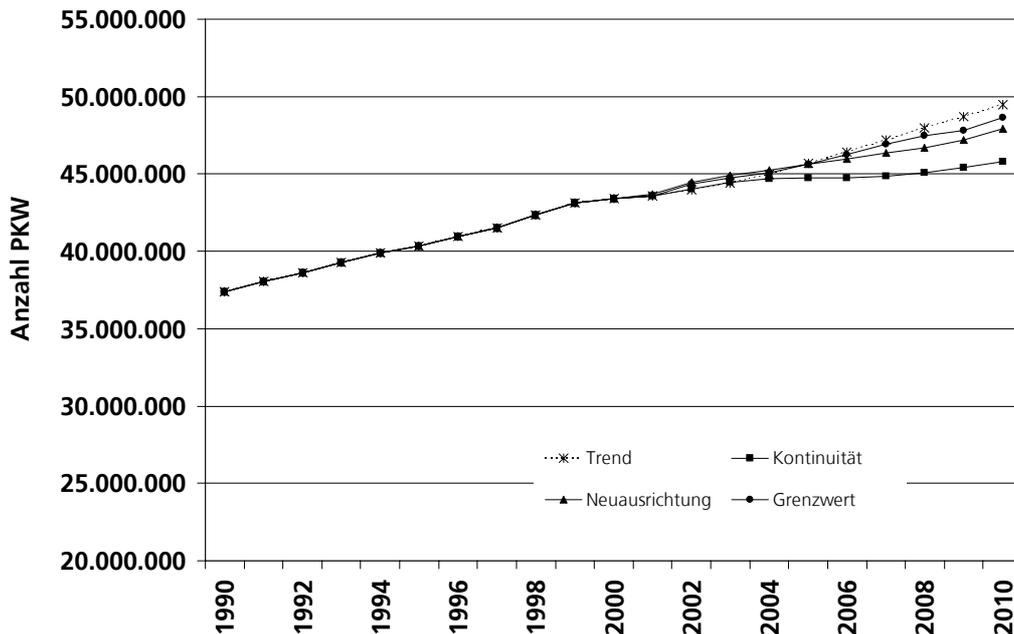
Der relevante Zeitabschnitt für die Modellierung der Szenarien beginnt 1990 und geht bis 2010, für ein Szenario bis zum Jahr 2015. Das Trendszenario basiert auf dem in Kapitel 3 und 4 beschriebenen Entwicklungen. Die in den anderen Szenarien unterstellten steuerpolitischen Maßnahmen werden frühestens im Jahr 2001/2 implementiert. Der Zeitabschnitt von 1990 bis 2000 wird zur Kalibration des Modells benutzt. Als wesentlicher Input, vor allem auch für das Verkehrsmodell, dienen die PKW-Vergangenheitsdaten aus Kapitel 3 und 4. In ESCOT verwenden alle Preisangaben als Basisjahr das Jahr 1990.

### **7.2.1 Ergebnisse in anderen Verkehrsbereichen**

Vergleicht man den gesamten Verkehrsbereich für die vier Szenarien, so stellt man zunächst fest, dass die politischen Maßnahmen Auswirkungen auf die gesamte Fahrzeugflotte im Straßenverkehr und die Anzahl der Neufahrzeuge haben. Hier haben die Preiserhöhungen auf Neupreis, Kfz-Steuer und Kraftstoffkosten einen negativen Einfluss auf die PKW-Besitzrate, was sich direkt auf den PKW-Bestand auswirkt.

Trotz der Maßnahmen steigt der Bestand an PKW in absoluten Zahlen in allen Szenarien. Im Vergleich zum Trendszenario liegt er bei den anderen Szenarien um 1,7 und 7,5 % niedriger. Für das Kontinuitätsszenario ist die Differenz am höchsten, da die Mineralölsteuer den stärksten Einfluss auf den PKW-Bestand hat (siehe Kapitel 7.1.2). Für das Grenzwertszenario ist sie deutlich geringer, da hier nur die Mineralölsteuererhöhung auf Diesel verändert wird.

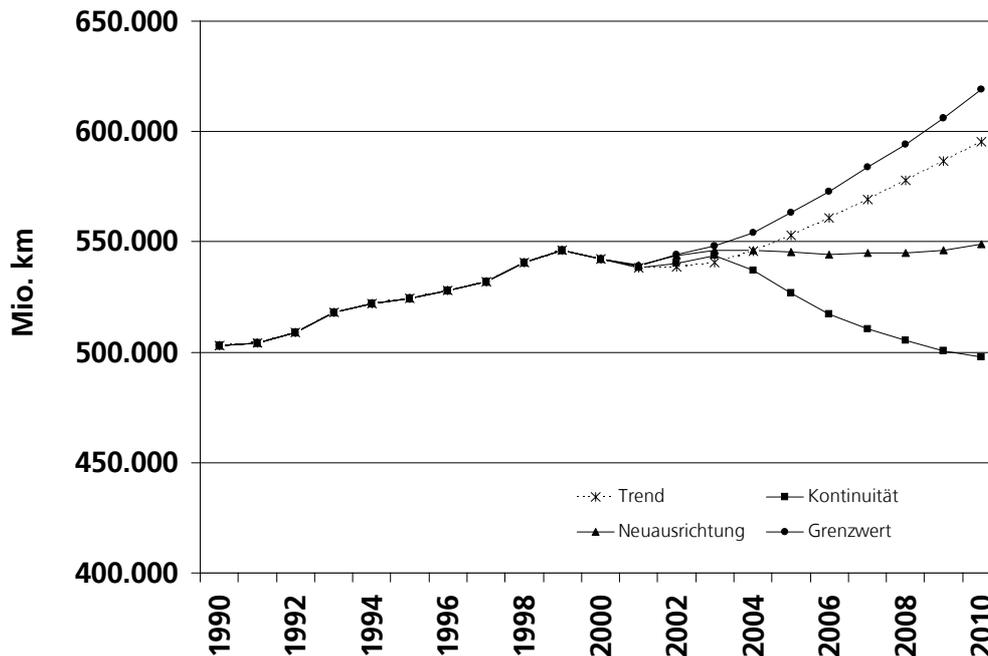
**Abbildung 36: PKW-Bestand für das Kontinuitäts-, Neuausrichtungs- und Grenzwert-szenario**



Der im Modell abgebildete Bestand der Fahrzeuge wirkt sich auch auf die Zahl der Neuzulassungen aus. Für das Kontinuitätsszenario liegt die Anzahl der neuzugelassenen PKW im Jahr 2010 um 470.000 Fahrzeuge unterhalb des Trends, was in etwa 11 % der Neuzulassungen entspricht. Diese Verringerung der Fahrzeuganzahl ist mit den gestiegenen Preisen erklärbar. Für das Neuausrichtungsszenario wird nur eine negative Differenz von 160.000 (3,8 %), für das Grenzwertszenario von 30.000 Fahrzeugen (0,6 %) und für das Mittelfristsszenario von 55.000 Fahrzeugen (1,3 %) gegenüber dem Trend verzeichnet.

Für die Fahrleistungen im Straßenverkehr wird der Einfluss der Mineralölsteuer noch deutlicher. Zwar wirken hier Reduktionen im Benzinverbrauch und damit Kostenreduktionen dämpfend auf die Kostenerhöhungen durch die Steuern und Abgaben. Doch letztlich steigen die variablen Kosten für den motorisierten Individualverkehr, was Auswirkungen auf die Anzahl der Fahrten und die Besetzungsgrade hat.

**Abbildung 37: Fahrleistungen des Straßenverkehrs in den Szenarien**



Die Fahrleistung im Straßenverkehr steigt im Trendszenario von 542 Mrd. km im Jahr 2000 auf 595 Mrd. km im Jahr 2010. Die berechneten Trend-Werte basieren auf den Daten der Verkehrsprognose 2015 des BMVBW. In Folge der System Dynamics Methodik, bei der sich die Werte für jedes Jahr aus dem vorhergehenden Jahr berechnen, liegen die ESCOT-Werte geringfügig über den Ergebnissen der Verkehrsprognose.

In den Szenarien weichen die Fahrleistungen zum Teil deutlich vom Trendwert im Jahr 2010 ab. In den Szenarien Kontinuität und Neuausrichtung liegen sie rund 16 % bzw. 8 % niedriger, im Grenzwertszenario dagegen 4 % über dem Trend. Für das Jahr 2015 errechnet sich im Szenario Mittelfrist eine Fahrleistung von 597 Mrd. km, was eine Reduktion von 6 % gegenüber dem Trend 2015 bedeutet.

**Tabelle 24: Veränderung der Verkehrsleistungen**

	Verkehrsleistung Straße [Mrd. pkm]	Prozentuale Änderung zu 1990	Verkehrsleistung Schiene [Mrd. pkm]	Prozentuale Änderung zu 1990
Trend 2010	871,8		77,4	
Kontinuität 2010	772,3	-11,4%	83,7	+7,8%
Neuausrichtung 2010	828,6	-5,0%	79,3	+2,5%
Grenzwert 2010	909,2	4,3%	75,1	-3,0%
Trend 2015	943,6		80,1	
Mittelfrist 2015	906,1	-4,0%	81,7	+2,0%

Betrachtet man die Verkehrsleistungen, so erkennt man für die eher preispolitischen Maßnahmen einen Rückgang der Verkehrsleistung auf der Straße von bis zu 11,4 %. Im Saldo der gesamten Verkehrsleistungen wird dieser Effekt durch einen Modal Shift hin zur Schiene in der Höhe von 2,0% bis 7,8 % ausgeglichen. Nur beim Grenzwertszenario ist ein Rückgang

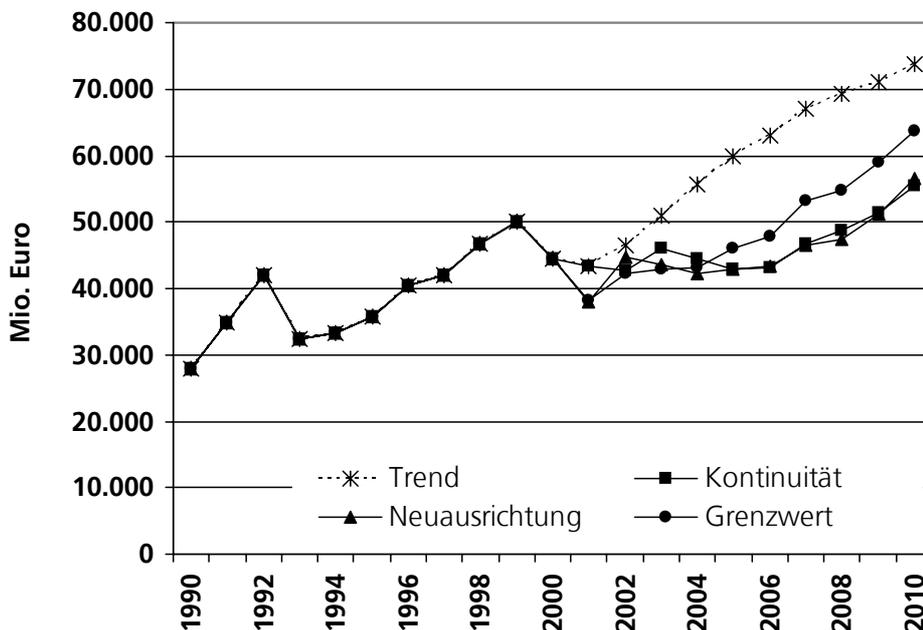
von 3,0 % zu verzeichnen, der durch den höheren Anteil sparsamer Pkw bei konstanten Kraftstoffkosten begründet werden kann.

### 7.2.2 Volkswirtschaftliche Auswirkungen

Die politischen Maßnahmen, die primär ihren Einfluss auf den Verkehr haben, wirken sich durch die enge Verflechtung mit der Wirtschaft auch auf die makroökonomische Entwicklung aus. Die Veränderung der Anzahl neuzugelassener Fahrzeuge, die Förderung neuer Fahrzeugtechnik, der geringerer Kraftstoffverbrauch, die Anhebung der Steuersätze und die niedrigere Fahrleistung beeinflussen die zentralen volkswirtschaftlichen Größen Konsum, Investitionen, Endnachfrage, Beschäftigung, Produktivität und Bruttosozialprodukt.

Die Auswirkungen sind zunächst in den verkehrsnahen wirtschaftlichen Sektoren am stärksten ausgeprägt. So ergibt sich für den Sektor Maschinen- und Fahrzeugbau (Sektor 5), der die Fahrzeugproduktion für Straßen-, Wasser-, Luft- und Raumfahrtfahrzeuge umfasst, eine deutliche Veränderung zwischen den Szenarien. Aufgrund der sinkenden Zahl neuzugelassener Fahrzeuge sinkt hier der private Konsum in allen Szenarien. Obgleich sich die Verteuerung der Fahrzeuge steigend auf den privaten Konsum in diesem Sektor auswirkt, überwiegt doch der Effekt durch die rückläufigen Fahrzeugverkäufe. Aus der Entwicklung der Kurve kann man ersehen, dass sich starke Änderungen in den Anfangsjahren ergeben, in denen die Maßnahmen eingeführt werden. Ab etwa 2005 verläuft die Entwicklung der Szenarien eher parallel zum Trend.

Abbildung 38: Privater Konsum im Fahrzeugbau



Betrachtet man den aggregierten Konsum, inklusive z.B. den Dienstleistungssektor oder den Schienen-Transport, über alle Wirtschaftssektoren, dann wirken sich die Entwicklungen in anderen Sektoren kompensierend aus. Daher sind in der Summe die Effekte auf den Konsum wesentlich geringer als für den einzelnen Wirtschaftssektor Fahrzeugbau. Für das Kontinuitäts-, das Neuausrichtungs- und das Mittelfristzenario ist in der Summe dennoch ein negativer Trend zu erkennen. Im Grenzwertszenario zeigt sich ein leichter Anstieg des Konsums.

**Tabelle 25: Auswirkung der Szenarien auf makroökonomische Größen der Nachfrage-seite**

Nachfrage	Konsum	Investitionen	Export	Endnachfrage	Konsum	Investitionen	Export	Endnachfrage
	[Mrd. Euro]				%			
Trend 2010	851,8	306,1	382,6	1832,5				
Kontinuität	834,4	315,9	360,6	1800,3	-2,04	3,20	-5,77	-1,76
Neuausrichtung	840,6	311,7	363,1	1803,3	-1,32	1,82	-5,11	-1,59
Grenzwert	855,9	311,7	372,4	1823,8	0,48	1,84	-2,69	-0,47
Trend 2015	933,1	321,3	412,6	2001,2				
Mittelfrist 2015	923,4	331,0	396,0	1981,3	-1,04	3,01	-4,03	-1,00

Die drei Szenarien Kontinuität, Neuausrichtung und Mittelfrist, die sich stark auf preispolitische Maßnahmen stützen, verhalten sich sehr ähnlich. Für die Investitionen überlagern sich zwei Effekte. Zum einen folgen die Investitionen dem Konsumtrend, d. h. Rückgänge (bzw. Anstiege) des sektoralen Konsums führen auch zu Rückgängen der sektoralen Investitionen. Zum Anderen führen die höheren Steuereinnahmen zu einer erhöhten Investitionen in dem Bausektor, so dass sich im Endergebnis in allen Szenarien ein positives Ergebnis für die Investitionen über alle Sektoren einstellt.

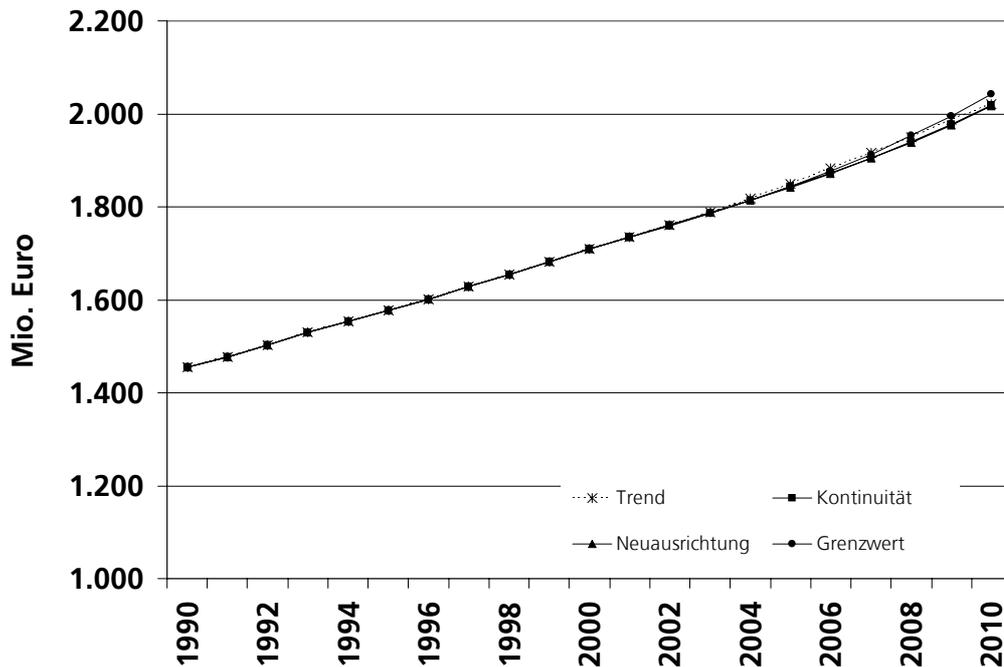
Im Export schlägt sich die Wirkung der Maßnahmen und der damit verbundenen Fahrzeugumsätze stärker durch, da der Fahrzeugbau ein bedeutender Exportfaktor ist. Daher sind hier die makroökonomischen Effekte stärker negativ als im Konsum. Für die Endnachfrage, welche als Summe von Konsum, Investitionen, Export und den in allen Szenarien unveränderten Staatsausgaben berechnet wird, ergibt sich ein Rückgang von etwa 1,0-1,8%. Dabei wurde angenommen, dass die Preissteigerungen für Neufahrzeuge auch im Export voll zum Tragen kommen.

Für das Grenzwertszenario sieht man für den Konsum eine Verbesserung, nicht jedoch für den Export, der aus den oben genannten Gründen ebenfalls geringer ausfällt. Im Endergebnis ergibt sich für den Endnachfrage lediglich ein Rückgang von weniger als 0,5%.

Zentrale Größen auf der **Angebotsseite** sind die Beschäftigung, die Produktivität, das Kapital, und das Bruttoinlandsprodukt. Für die Beschäftigung ergibt sich ein Rückgang in allen vier Szenarien, der sich in der Größenordnung von 0,5% bis 1,6% bewegt. Auch hier ist festzustellen, dass das eher technisch orientierte Grenzwertszenario den niedrigsten Rückgang aufweist.

Betrachtet man die Produktivität, zeigt sich ein Anstieg durch die neuen technischen Innovationen. Verstärkte Forschungen zur Reduktion des Kraftstoffverbrauchs wirken sich produktivitätssteigernd aus. Produktivitätserhöhungen haben meist ihre Auswirkungen erst nach einem größeren Zeitraum, so dass sich für die Szenarien mit einem Zeithorizont von 10-15 Jahren nur ein sehr geringer positiver Einfluss ergibt.

**Abbildung 39: Bruttoinlandsprodukt**



Dies ist auch an der Graphik für das Bruttoinlandsprodukt zu erkennen. In den Jahren der Maßnahmeneinführung gehen die Entwicklungen zwischen betrachteten Szenarien und dem Trend-Szenario auseinander. Im Zeitverlauf nähern sich die Kurven für das Bruttoinlandsprodukt wieder an, was auf eine Erholung der Wirtschaft schließen lässt. Für das Grenzwertszenario ergibt sich sogar ein um etwa 1% besseres Ergebnis als im Trend-Szenario, während sich die anderen Szenarien mit einem Minus von weniger als 0,3% nur geringfügig unterscheiden.

Für das Kapital, das durch Investitionen und Abschreibungen beeinflusst wird, ergibt sich durch die früheren Abschreibungen ein geringfügig niedrigeres Ergebnis, mit Ausnahme des Kontinuitätsszenarios. Hier führen die hohen Steuereinnahmen, die in die Infrastruktur reinvestiert werden, zu einem um 0,25% erhöhten Kapital.

**Tabelle 26: Auswirkung der Szenarien auf makroökonomische Größen der Angebotsseite**

Angebot	Beschäftigung	Produktivität	Kapital	Bruttoinlandsprodukt	Beschäftigung	Produktivität	Kapital	Bruttoinlandsprodukt
	[Mio.]		[Mrd. Euro]	[Mrd. Euro]	prozentual gegenüber Trend			
Trend 2010	35,06	0,0193	6194	2022				
Kontinuität	34,50	0,0196	6209	2018	-1,60	1,55	0,25	-0,18
Neuausrichtung	34,52	0,0196	6190	2017	-1,54	1,55	-0,06	-0,25
Grenzwert	34,87	0,0201	6191	2042	-0,54	4,15	-0,05	1,01
Trend 2015	35,03	0,0196	6340	2208				
Mittelfrist	34,67	0,0198	6364	2205	-1,03	1,02	-0,37	-0,16

### 7.3 Fazit

Aus den Ergebnissen des gesamtwirtschaftlichen Modells ESCOT lassen sich Rückschlüsse über die Szenarien ziehen. Es zeigt sich, dass mit den identifizierten Maßnahmen die gesetzten CO<sub>2</sub>-Ziele erreicht werden können. Lediglich beim Kontinuitätsszenario, das nur die gegenwärtig implementierten Maßnahmen verändert und keine neuen einführt, wird das CO<sub>2</sub>-Ziel verfehlt.

Betrachtet man die makroökonomischen Effekte, so ergibt sich zunächst, dass die teilweise einschneidenden Maßnahmen zur Förderung der Einführung kraftstoffeffizienter Fahrzeuge negative makroökonomische Wirkungen erzeugen. Diese liegen zwar zum großen Teil noch im Bereich beobachtbarer wirtschaftlicher Schwankungen, führen jedoch für einige Indikatoren wie Beschäftigung und Export zu merklichen Einbußen.

Die Effekte auf andere aggregierte Wirtschaftsindikatoren wie das BIP sind vergleichsweise gering, sektoral hingegen zeigen sich aber durchaus größere Unterschiede. Für den sektoralen Konsum erhält man eine eher schwächere Entwicklung für die Fahrzeugproduktion, was sich auch in den aggregierten Größen der Nachfrageseite niederschlägt. Die Spanne der Änderungen für die Exporte bewegen sich zwischen -2,7% bis -5,8% und für die Endnachfrage zwischen -0,5% und -1,8%.

Während sich auf der Nachfrageseite zunächst dämpfende Auswirkungen durch höhere Transportkosten auf der Straße feststellen lassen, zeigen sich auf der Angebotsseite nach einigen Jahren positive Effekte durch eine Beschleunigung des technischen Fortschritts. So bewegen sich die Resultate für das Bruttoinlandsprodukt in der Spanne von -0,3% bis +1%. Dennoch liegen die Ergebnisse vor allem für die Beschäftigung um 0,5% bis 1,6% niedriger als für das Trend-Szenario.

Unterscheidet man die Ergebnisse für die verschiedenen Szenarien, so ergibt sich für die meisten Indikatoren das beste Ergebnis für das Grenzwertszenario gefolgt vom Mittelfrist-, Neuausrichtung- und Kontinuitätsszenario. Dies legt den Schluss nahe, dass ein Übergang zu energieeffizienteren Fahrzeugen mittels eher technisch orientierter Maßnahmen makroökonomisch bessere Resultate erzielt als mittels preispolitisch orientierter.

Die preispolitischen Szenarien ähneln sich in ihrer Bewertung, lediglich die Gewichtung einzelner Auswirkungen verschiebt sich. Im Kontinuitätsszenario, dem Szenario mit der höchsten Mineralölsteuer, fallen die Effekte auf der Nachfrageseite am stärksten aus, aber auf der Angebotsseite führen die höheren Investitionen und das damit einhergehende höhere Kapital nur zu einer geringfügigen Abschwächung des Bruttoinlandsprodukts.

Aus dem Mittelfristsszenario kann ersehen werden, dass eine Erweiterung des Zeithorizont, und die damit verbundene Möglichkeit, preispolitische Maßnahmen abzuschwächen, ebenfalls zu besseren makroökonomischen Ergebnissen führt.

Dies legt den Schluss nahe, dass man eine moderate Mineralölsteuererhöhung, die notwendig erscheint, um Kraftstoffreduktionen zu erzielen, mit technisch orientierten Maßnahmen kombinieren sollte. Zwar ist der betrachtete Zeitraum mit 10 bis 15 Jahren sehr knapp, damit sich alle positiven Effekte aus einer Steigerung des technischen Fortschritts entfalten können, aber es zeigt sich, dass eine stärkere Gewichtung technisch orientierter Maßnahmen mit geringeren Rückgängen makroökonomischer Indikatoren verbunden ist.

Mit der Kfz-Steuer und der Einführung einer Neuwagenabgabe lässt sich das Kaufverhalten stark verändern. Dies liegt zum einen an ihrem hohen Einfluss (Kapitel 5), zum anderen an der Möglichkeit Steuer- und Abgabenhöhen segmentbezogen zu variieren. Durch diese Variationsmöglichkeiten lassen sich die Einflüsse der singulären Maßnahmen deutlich verstärken. Die Auswirkungen dieser Maßnahmen wirken sich auch deswegen geringer auf die Makroökonomie aus, weil die Konsumenten durch Wahl eines Fahrzeugs eines anderen Segments, also durch die Umschichtung des PKW-Markts, die Preiserhöhung umgehen können, was auch zur Erreichung des CO<sub>2</sub>-Ziels beiträgt.

Es zeigt sich also, dass eine geeignete Wahl und Kombination von preispolitischen und technisch orientierten Maßnahmen zur Erreichung des gesetzten CO<sub>2</sub>-Ziels unter Vermeidung größerer negativer makroökonomischer Effekte nötig ist.

## 8 Einfluss der Halbierung der Flottendurchschnittsemission auf die CO<sub>2</sub>- Gesamtemissionen des Straßenverkehrs

Auf der Basis der mit ESCOT ermittelten Minderungen des NEFZ-Verbrauchs der neuzugelassenen Pkw und der gesamten Pkw-Fahrleistungen werden in diesem Kapitel die Kohlendioxid-Gesamtemissionen des Pkw-Verkehrs bis 2010 und 2015 mit dem Emissionsmodell TREMOD berechnet.

Die Berechnungen werden für das Trendszenario und für die Szenarien „Neuausrichtung“ und „Mittelfrist“ durchgeführt. Bei der Berechnung des Trendszenarios wurde auf größtmögliche Kompatibilität mit dem aktuellen TREMOD-Basis-Szenario geachtet. Die Szenarien „Kontinuität“ und „Grenzwert“ werden in diesem Teil nicht berücksichtigt, weil in diesen beiden Szenarien eine Halbierung des Flottenverbrauchs nicht erreicht wird.

Zur Darstellung des Einflusses der ermittelten Emissions-Minderung der Pkw auf die Emissionen des gesamten Straßenverkehrs wurden die Emissionen aller Straßen-Fahrzeuge (d.h. inklusive Lkw, Busse, Leichte Nutzfahrzeuge, etc.) berechnet. Dabei wurden die Berechnungen der Emissionen aller anderen Kraftfahrzeuge für alle Szenarien immer auf Basis der von IFEU im Trendszenario entwickelten Annahmen durchgeführt.

### 8.1 Modellbeschreibung TREMOD

Das vom IFEU im Auftrage des Umweltbundesamtes entwickelte Emissionsmodell TREMOD (Transport Emission Estimation Model)<sup>101</sup> ermöglicht die detaillierte Berechnung des Energieverbrauch und der Emissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland in einer Zeitreihe ab 1960 und in Szenarien bis 2020. Die Berechnungen des Straßenverkehrs beruhen auf zahlreichen Datengrundlagen, u.a.:

- Bestandsstatistiken des Kraftfahrt-Bundesamtes (KBA),
- Fahrleistungsuntersuchungen der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Fahrleistungserhebungen von IVT und Fahrleistungsanalysen von Heusch-Boesefeldt,
- Energiebilanzen für Deutschland der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen und die Kraftstoffgesamtrechnung des Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) für den Straßenverkehr,
- Emissionsfaktoren aufgrund der umfangreichen Messprogramme des TÜV Rheinland, der Feldüberwachung des RWTÜV und anderer Institutionen, v.a. in der Schweiz und Österreich.

Grundlage der Berechnung sind Emissionsfaktoren und spezifische Energieverbräuche je Fahrzeugkilometer, die für einzelne Verkehrssituationen vorliegen. Verkehrssituationen charakterisieren ein bestimmtes Fahrverhalten in Abhängigkeit des Straßentyps und der Verkehrsstärke. Die so in TREMOD zugrundeliegenden Emissionswerte sind durch das „Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs“ allgemein verfügbar.

Emissionsfaktoren und Verbrauchswerte wurden im Rahmen der Messprogramme für sogenannte Fahrzeugschichten ermittelt. Die Fahrzeugschichten wurden im Abhängigkeit des Emissionsverhaltens, im Wesentlichen also der gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwertstufe, dem Fahrzeualter, der Größenklasse und der Antriebsart ermittelt. Für die Pkw sind das die Unterscheidungsmerkmale:

---

<sup>101</sup> TREMOD 2000

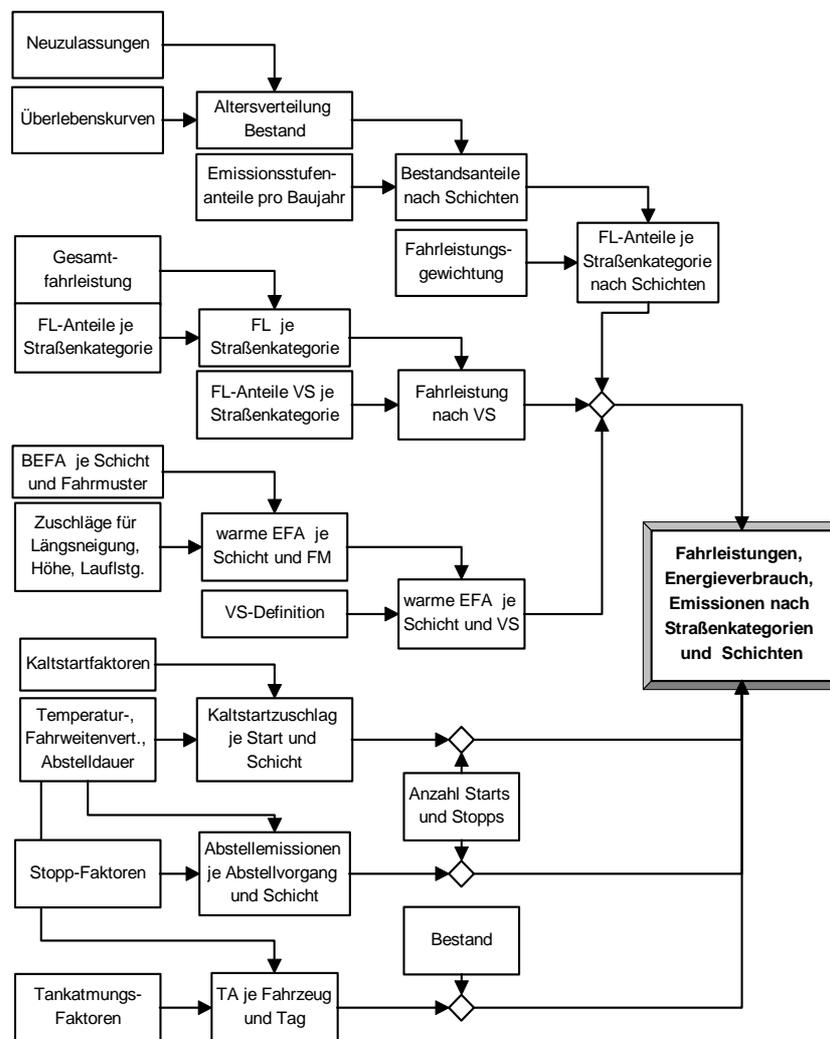
- Antriebsart (Diesel, Benzin)
- Größenklasse (Hubraumklassen <1,4 l, 1,4-2 l, >2 l)
- Emissionsstufe (z.B. EURO I, II, III, IV).

Die Unterscheidung der Pkw nach Fahrzeugsegmenten in den KBA-Statistiken ist relativ neu und wurde daher in TREMOD bisher nicht als Merkmal berücksichtigt. Es war daher notwendig, das TREMOD-Modell im Rahmen dieses Projekts speziell an die neue Struktur anzupassen.

### 8.1.1 Berechnung des zukünftigen Verbrauchs und der Emissionen

Die Fortschreibung der Fahrzeugbestände in die Zukunft erfolgte auf Basis von Annahmen zu den zukünftigen Neuzulassungen (Ergebnisse der ESCOT-Berechnungen, siehe Kapitel 7.2.1) und von Überlebenswahrscheinlichkeiten. Damit lässt sich die Zusammensetzung des zukünftigen Pkw-Bestandes nach gewünschten Kriterien (z.B. Antriebsarten, Größenklassen, Alter, Fahrzeugsegmenten) berechnen.

**Abbildung 40: Berechnungsschema „Pkw-Emissionen“**



Für die Berechnung zukünftiger Bestände wurde das Überlebensverhalten aus den Bestandsdaten 1994 bis 1999 abgeleitet. Bei allen Fahrzeugkategorien werden die Altersstufen in die Jahrgänge 0-19 sowie 20 Jahre und älter differenziert.

### 8.1.2 Fahrleistungsgewichtung nach Straßenkategorien

Die verfügbaren Fahrleistungsdaten für Pkw<sup>102</sup> zeigen, dass sich der Anteil der Diesel- und Benzin-Fahrzeuge, der Hubraumklassen als auch die Altersstruktur der Fahrzeuge im Innerortsbereich, im Außerortsbereich und auf den Autobahnen stark voneinander unterscheiden. Gründe dafür sind z.B. bei den Pkw, dass größere Fahrzeuge häufiger auf Autobahnen fahren als kleinere Fahrzeuge, dass Diesel-Fahrzeuge im Schnitt eine größere Jahresfahrleistung haben als Benzin-Fahrzeuge und dass ältere Fahrzeuge einen höheren Anteil ihrer Gesamtfahrleistung im Innerortsbereich erbringen als neue Fahrzeuge.

Je Fahrzeugkategorie und Bezugsjahr werden daher drei Gewichtungsvektoren (Autobahn, Außerorts, Innerorts) berechnet, die die Fahrleistungsanteile der Schichten innerhalb der Fahrzeugkategorie beschreiben und die jeweils für alle Verkehrssituationen der entsprechenden Straßenkategorie zur Berechnung der mittleren Emissionsfaktoren je Verkehrssituation verwendet werden.

Die aus den differenzierten Fahrleistungsanalysen (siehe oben) abgeleitete Fahrleistungsgewichtung beruht auf folgenden Parametern:

- die durchschnittliche Jahresfahrleistung je Segment (Antriebsart, Größenklasse)
- die Altersabhängigkeit der Fahrleistung je Segment
- eine Fahrleistungsverteilung nach Straßenkategorien je Segment und Altersstufe

Unter der Annahme, dass sich das so beschriebene Fahrverhalten eines Fahrzeuges bestimmter Größe, Antriebsart und Alters im Zeitverlauf über die Jahre nicht verändert, konnten damit die Gewichtungsvektoren für die Fahrleistungsanteile nach Fahrzeugschichten in einem hohen Differenzierungsgrad für jedes Jahr berechnet werden, indem diese Fahrleistungsmerkmale dem jährlich neu abgeleiteten Bestand (siehe oben) zugeordnet wurden.

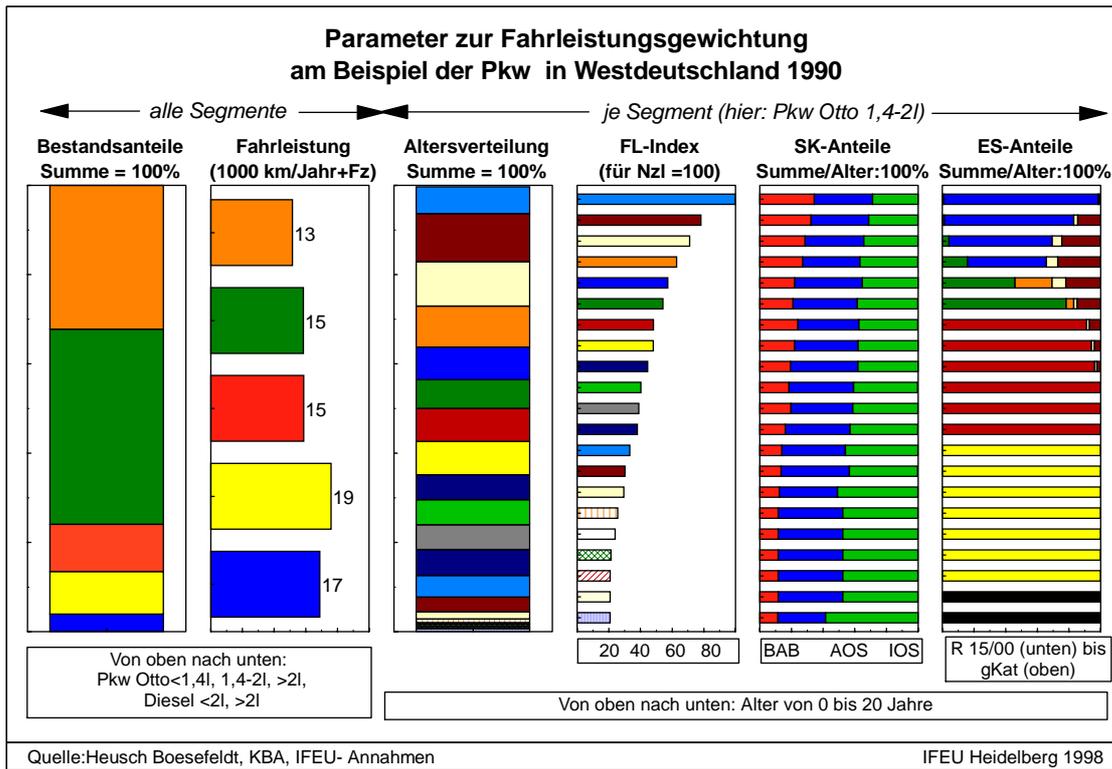
Grundlage für die Ableitung der Fahrleistungsgewichtung waren für den Pkw-Verkehr die Arbeiten von Heusch-Boesefeldt für Westdeutschland 1990 und 1993.<sup>103</sup> Die folgende Abbildung zeigt die zu Grunde liegenden Gewichtungsvektoren zur Fahrleistungsgewichtungsfaktoren am Beispiel Pkw, Westdeutschland 1990.

---

<sup>102</sup> Heusch-Boesefeldt 1994a, 1994b, 1996a

<sup>103</sup> Heusch-Boesefeldt 1994b, 1996a

**Abbildung 41: Fahrleistungsgewichtung für Pkw**



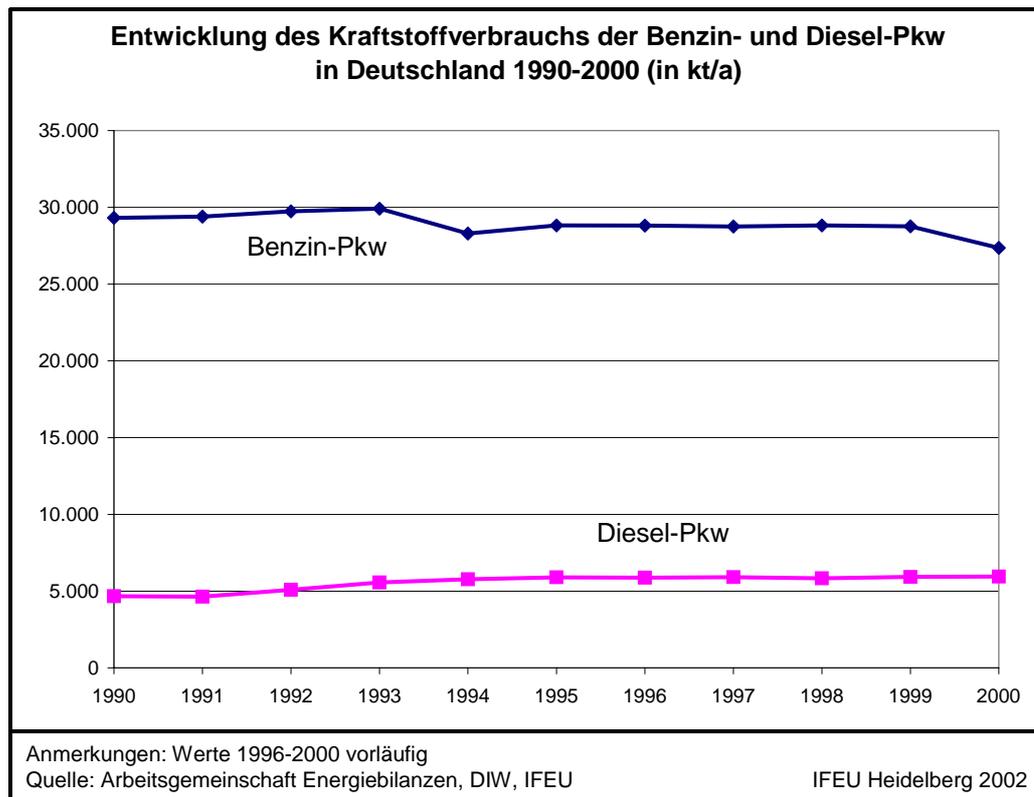
### 8.1.3 Berücksichtigung der Pkw-Segmente in TREMOD

In TREMOD wird der Energieverbrauch des Pkw-Verkehrs für jedes Bezugsjahr aus

- der nach Verkehrssituationen differenzierten Gesamtfahrleistung
- und den Verbrauchsfaktoren je Fahrzeugkilometer und Verkehrssituation für die einzelnen Fahrzeugschichten

berechnet. Als Ergebnis erhält man einen Gesamtverbrauch an Benzin- und Dieselmotorkraftstoff, der mehr oder weniger stark vom gesamten Kraftstoffabsatz entsprechend den Angaben der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen abweicht. Da der Kraftstoffabsatz die verlässlichste Stützstelle für den Energieverbrauch des Straßenverkehrs darstellt, werden die Ergebnisse von TREMOD mit Hilfe von Korrekturfaktoren auf die Energiebilanz abgeglichen. Grundlage für den Abgleich des Pkw-Verkehrs ist die Kraftstoffverbrauchsberechnung des DIW, die für jedes Bezugsjahr ein in sich konsistentes Gerüst aus Gesamtfahrleistung, durchschnittlichen Verbräuchen je Fahrzeugkilometer und Kraftstoffabsatz entsprechend der Energiebilanz erstellt. Der so für den Pkw-Verkehr ermittelte Kraftstoffverbrauch ist in der folgenden Abbildung für die Jahre 1990-2000 dargestellt.

**Abbildung 42: Entwicklung des Kraftstoffverbrauchs der Benzin- und Diesel-Pkw in Deutschland 1990-2000**



Unabhängig von der Entwicklung des durchschnittlichen Kraftstoffverbrauchs einzelner Fahrzeugschichten bzw. in der hier verwendeten Differenzierung nach Fahrzeugsegmenten ist der gesamte Kraftstoffverbrauch und damit auch die Höhe der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch die offizielle Energiestatistik vorgegeben. Ungenauigkeiten in der statistischen Erfassung, vor allem zeitliche Differenzen zwischen Kraftstoffabsatz und -verbrauch (z.B. bei angekündigten Preiserhöhungen zum Jahreswechsel) und räumliche Differenzen (z.B. wenn außerhalb Deutschlands getankt, jedoch im Inland gefahren wird oder umgekehrt) werden somit in das Modell übernommen und führen im Detail zu Schwierigkeiten bei der Interpretation zeitlicher Entwicklungen (z.B. Entwicklung des durchschnittlichen Kraftstoffverbrauchs der Pkw insgesamt oder einzelner Fahrzeugschichten).

Eine tiefergehende rückwirkende Analyse der Entwicklung des realen durchschnittlichen Kraftstoffverbrauchs der Pkw ist aufgrund der genannten Unschärfen in den Modellannahmen nicht möglich und sinnvoll. Dies gilt insbesondere für eine Nachberechnung des Energieverbrauchs des Pkw-Verkehrs in der hier erforderlichen Aufteilung nach Segmenten, denn diese müsste neben den bereits genannten Unsicherheiten zusätzlich auf geschätzten Zuordnungen der Pkw, die vor 1999 zugelassen wurden, auf die Segmente beruhen, denn das KBA hat diese Zuordnung erstmals für die Neuzulassungen ab 1999 vorgenommen.

Wir belassen daher die TREMOD-Berechnungen bis einschließlich 1999 unverändert. Die Berechnungen für die Jahre 2000 bis 2015 werden nach folgendem Verfahren vorgenommen:

- Für das Jahr 2000 werden Bestände, Fahrleistungen und durchschnittliche Kraftstoffverbräuche der Fahrzeuge, die bis einschließlich 1999 zugelassen wurden, in ihrer Struktur (nach Fahrzeugschichten und damit nach Antriebsarten und Hubraumklassen) und in den absoluten Daten unverändert übernommen.
- Die Neuzulassungen ab dem Jahr 2000 werden in der neuen Differenzierung nach Segmenten (z.B. untere Mittelklasse, obere Mittelklasse) und Antriebsarten eingeführt. Dabei

werden ihre Fahrleistungen und durchschnittlichen Kraftstoffverbräuche so angepasst, dass sie in der Summe (jeweils je Antriebsart) den entsprechenden Werten der bisher im TREMOD-Basiszenario verwendeten Neuzulassungen nach Fahrzeugschichten entsprechen.

- Die Durchschnittsverbräuche (Realverbrauch) der Segmente werden in TREMOD so angepasst, dass sich die Verbrauchsunterschiede zwischen den Segmenten im NEFZ, die das KBA für die neuzugelassenen Segmente 2000 angibt, auch im Realverbrauch in TREMOD wiederfinden.
- Die Bestände bis zum Jahr 2015 werden mit dem TREMOD Umschichtungsmodell aus den Neuzulassungen mit Hilfe von Überlebenskurven fortgeschrieben. Die Fortschreibung des „Altbestandes“ (d.h. Fahrzeuge der Zulassungsjahre vor 2000) entwickelt sich wie im TREMOD-Basiszenario.

Der hier betrachtete Bestand ist somit in den einzelnen Jahren folgendermaßen differenziert:

- 1990-1999: TREMOD-Fahrzeugschichten nach Hubraum und Antriebsart
- 2000-2015: TREMOD-Fahrzeugschichten nach Hubraum bis einschließlich Zulassungsjahr 1999 sowie KBA-Segmente ab Zulassungsjahr 2000, beide differenziert nach den Antriebsarten Benzin und Diesel.

## 8.2 Ergebnisse der Szenarienberechnung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der TREMOD-Berechnungen zum Verbrauch und den Kohlendioxidemissionen des gesamten Pkw-Verkehrs in Deutschland für die Szenarien

- Trend
- Neuausrichtung (Halbierung des Flottenverbrauchs bis 2010)
- Mittelfrist (2015)

für die Jahre 2010 und 2015 dargestellt. Um die Auswirkungen der in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Maßnahmen zu zeigen, werden die Ergebnisse der Szenarienberechnungen dem Basisjahr 1990 gegenübergestellt. Dabei wird zuerst auf folgende Teilergebnisse für den Pkw eingegangen:

- Die Entwicklung der Fahrleistung
- Die Entwicklung der Anteile der Antriebsarten am Bestand
- Die Entwicklung der spezifischen Realemissionen der Pkw des Bestandes

Auf Basis dieser Teilergebnisse wird die Entwicklung der gesamten Kohlendioxidemissionen des Pkw-Verkehrs berechnet. Dabei wird unterschieden zwischen den direkten Emissionen (Abgasemissionen direkt am Fahrzeug anfallend) und den Emissionen, die bis zur Bereitstellung des Kraftstoffes an der Tankstelle (das sind z.B. Emissionen bei der Förderung, dem Transport und der Verarbeitung in der Raffinerie) entstehen.

Die Ergebnisse der Emissionsberechnung für Pkw werden den Ergebnissen für den gesamten Straßenverkehr gegenübergestellt und diskutiert<sup>104</sup>.

---

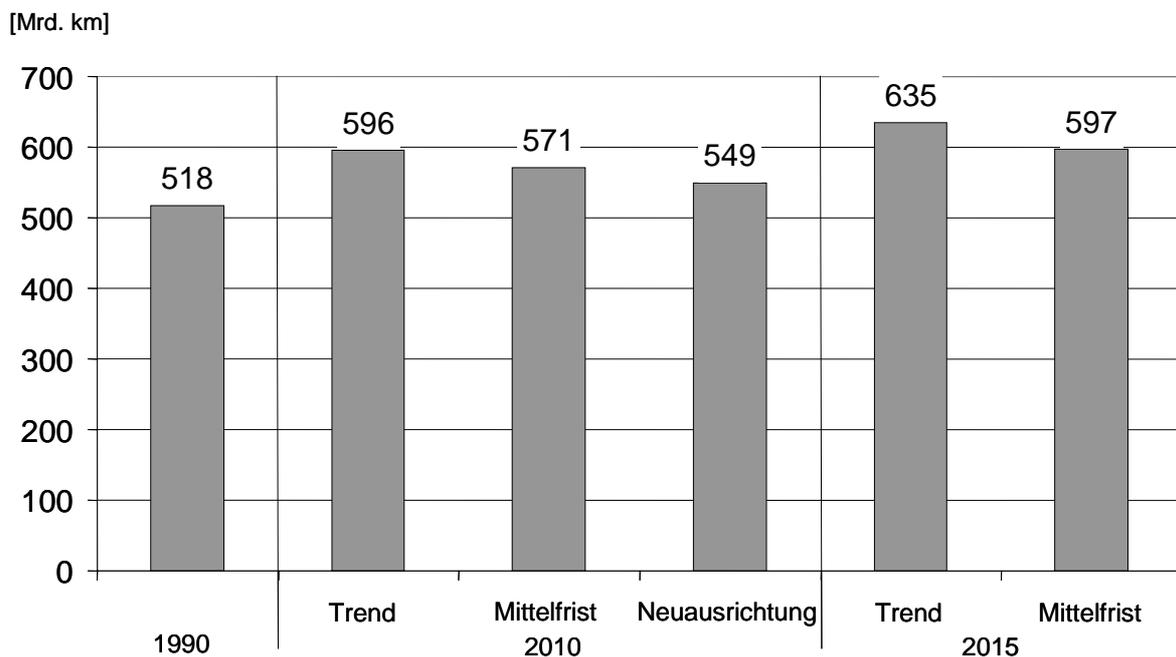
<sup>104</sup> In diesem Projekt wurden nur Maßnahmen, die den Pkw-Verkehr betreffen, berücksichtigt. In keinem der Szenarien wird eine Änderung der Verkehrs- bzw. Fahrleistungen anderer Fahrzeuge (z.B. Lkw, Bus, Zweiräder) angenommen. Aus diesem Grunde können die Emissionen der anderen Straßenverkehrsmittel direkt auf der Grundlage der Annahmen des TREMOD-Basis-Szenarios ermittelt werden.

### 8.2.1 Entwicklung der Pkw-Fahrleistung

Die Fahrleistung der Pkw in Deutschland steigt zwischen 1990 und 2010 (Trend) um etwa 15 % auf 596 Mrd. km (siehe Abbildung 43), durch die in den Szenarien unterstellten Maßnahmen fällt die Zunahme im im Szenario „Neuausrichtung“ (+6 %) und im Szenario „Mittelfrist“ (+10 %) geringer aus. Somit liegen die Fahrleistungen im Jahre 2010 im Szenario Mittelfrist 4 % unter dem Trend, im Szenario Neuausrichtung 8 % unter dem Trend.

Bis zum Jahre 2015 steigt die Fahrleistung der Pkw im Trendszenario auf 635 Mrd. km, was gegenüber 1990 eine Zunahme von 23 % bedeutet, im Szenario Mittelfrist beläuft sich der Anstieg dagegen auf lediglich 15 %. Damit liegen die Fahrleistungen im Szenario Mittelfrist 6 % unter dem Trend.

Abbildung 43: Fahrleistung der Pkw in Deutschland 1990, 2010, 2015

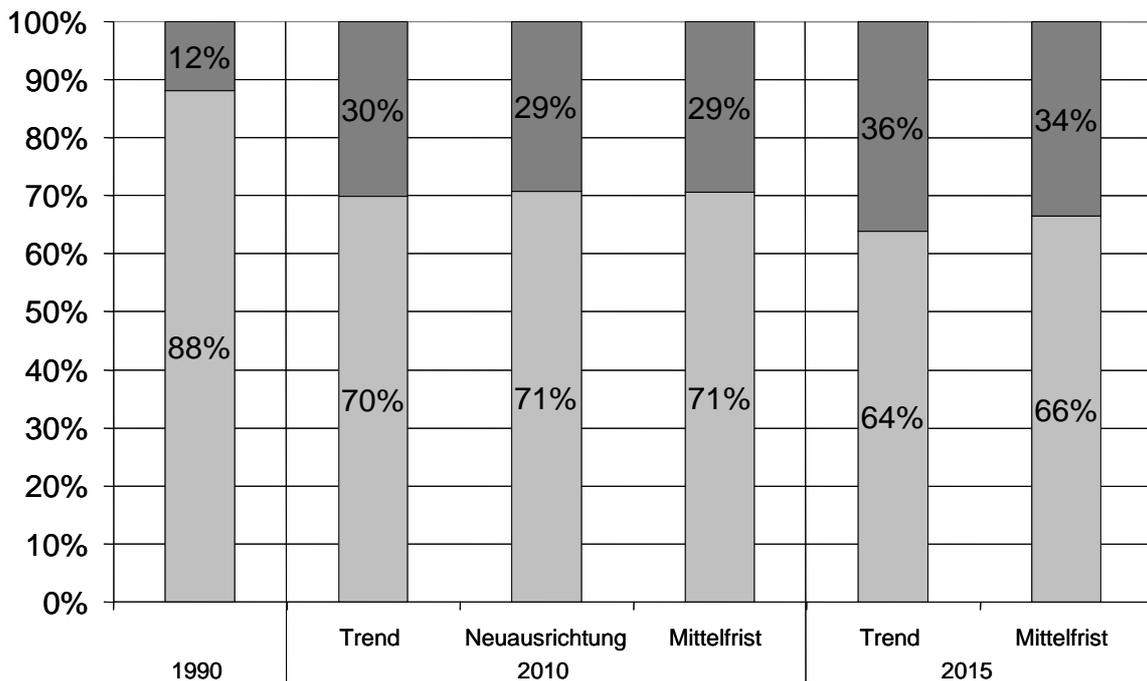


### 8.2.2 Entwicklung des Anteile der Antriebsarten am Pkw-Bestand

Der Bestand der Pkw in Deutschland nimmt in allen Szenarien zu (siehe Kapitel 7.2.1). Im Trendszenario wächst die Anzahl der Pkw bis 2010 um 32 % gegenüber 1990, im Szenario Neuausrichtung um 28 %. Bis 2015 beläuft sich die Zunahme auf 42 % und 38 % für das Trendszenario bzw. das Szenario Mittelfrist bezogen auf 1990.

Für diese Pkw-Bestände wurden mit dem in TREMOD enthaltenen Umschichtungsmodell die Anteile der beiden Antriebsarten Benzin und Diesel ermittelt. Der Anteil der Diesel-Fahrzeuge am Pkw-Bestand nimmt in allen Szenarien gegenüber 1990 stark zu (Abbildung 44). Während im Ausgangsjahr 1990 der Anteil der Diesel-Fahrzeug am Pkw-Bestand in Deutschland noch bei 12 % lag, steigt dieser Anteil - bedingt durch die hohen Neuzulassungszahlen der Diesel-Pkw - im Jahr 2010 auf ca. 30 % und im Jahr 2015 auf 36 % (Trend) und 34 % (Mittelfrist).

**Abbildung 44: Anteile der Benzin- und Diesel-Pkw am Pkw-Bestand 1990, 2010, 2015**

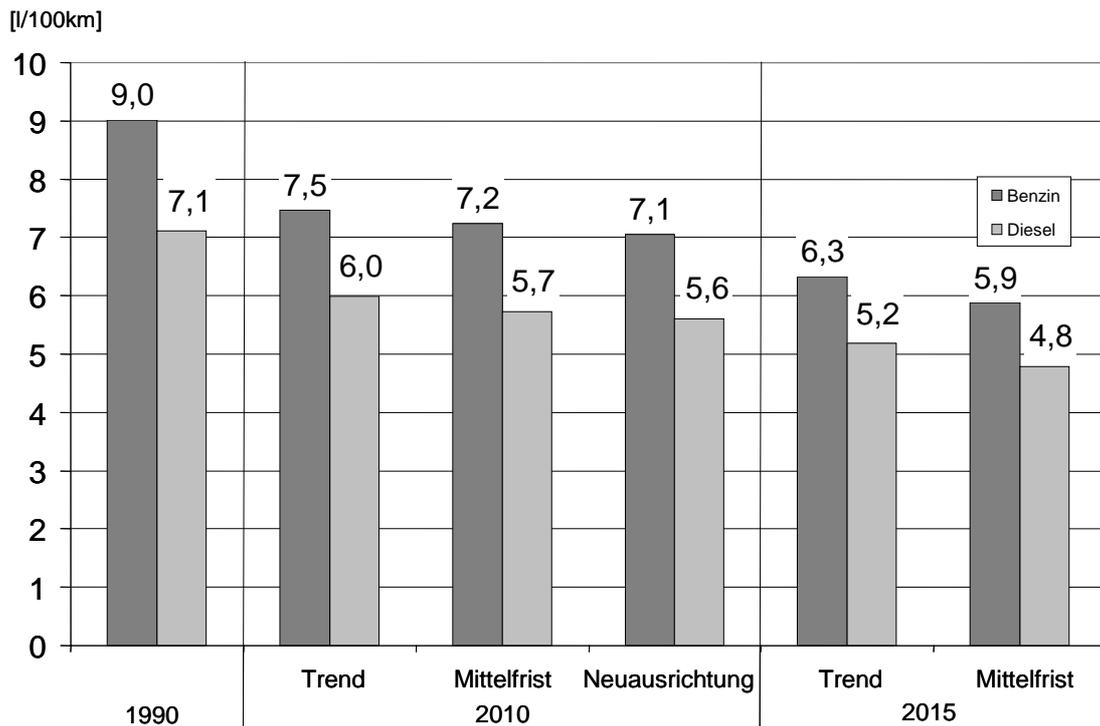


### 8.2.3 Entwicklung des spezifischen Realverbrauchs und der spezifischen Kohlendioxidemissionen der Pkw des Gesamtbestandes

Der mittlere spezifische Realverbrauch aller in Deutschland fahrenden Benzin-Pkw – also nicht nur der Neuzulassungen und einschließlich aller über die Norm hinaus gehenden Mehrverbräuche - geht zwischen 1990 von 9 l/100km bis zum Jahr 2010 auf 7,5 l im Trendszenario und 7,1 l im Szenario Neuausrichtung zurück. Bei den Diesel-Pkw geht der Verbrauch von 7,1 l/100km im Jahr 1990 auf 6 l im Trendszenario und 5,6 l im Szenario Neuausrichtung zurück.

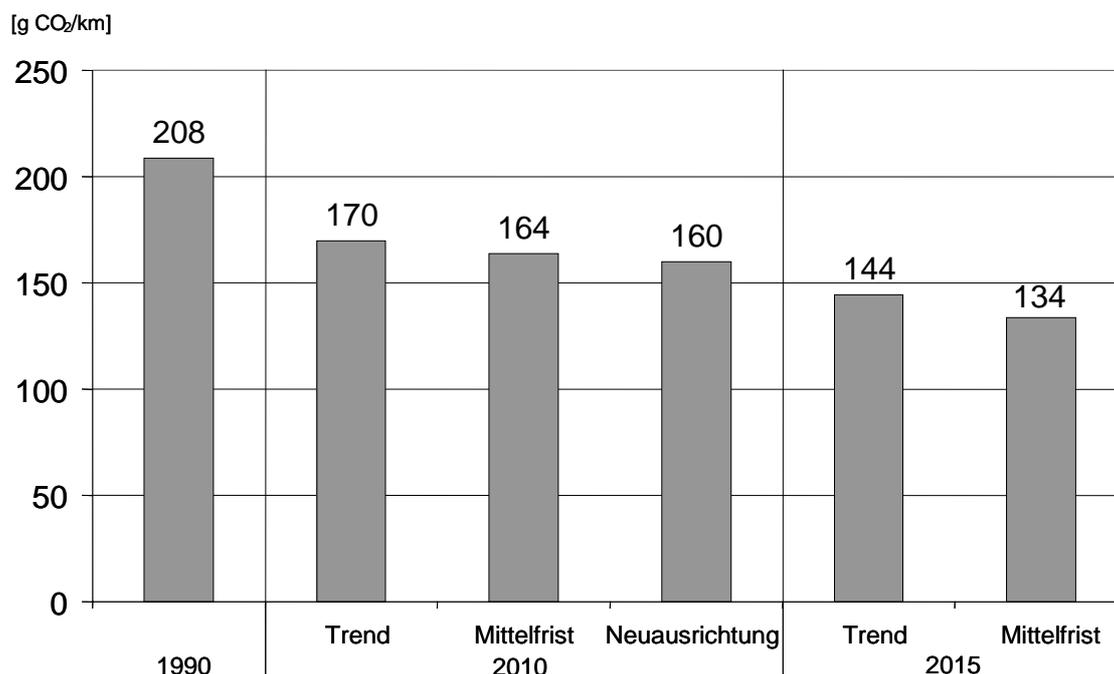
Im Jahr 2015 beträgt der mittlere Verbrauch aller in Deutschland zugelassenen Diesel-Pkw im Trendszenario 5,2 l/100 km, bei den Benzin-Pkw sind es 6,3 l/100 km. Durch die im Szenario Mittelfrist angenommenen Änderungen des Verbrauchs der Neuzulassungen geht der mittlere Verbrauch aller Fahrzeuge bei Diesel auf 4,8 l/100 km, bei Benzin auf 5,9 l/100 km zurück.

**Abbildung 45: Mittlerer Verbrauch der in Deutschland zugelassenen Diesel- und Benzin-Pkw 1990, 2010 und 2015**



Entsprechend dieser mittleren Verbrauchswerte sowie der Anteile der Fahrleistung der einzelnen Antriebsarten entwickeln sich die spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des Pkw-Bestandes. Diese sind Anfang der 1990er Jahre leicht zurückgegangen, Mitte des Jahrzehnts aber wieder - bedingt durch größere Fahrzeuge sowie die Einführung des Katalysators - leicht angestiegen. Seither gehen die mittleren Emissionen aller Pkw des Bestandes (g/km) kontinuierlich zurück und erreichen im Trendszenario im Jahr 2010 170 g/km, was gegenüber 1990 (208 g/km) eine Reduktion von 18 % bedeutet. Im Szenario Neuausrichtung liegen die mittleren CO<sub>2</sub>-Emissionen der Pkw im Jahr 2010 bei 160 g und damit 23 % unter den durchschnittlichen Emissionen des Jahres 1990. Durch die weitere kontinuierliche Einführung von immer verbrauchsärmeren Fahrzeugen sinken die mittleren CO<sub>2</sub>-Emissionen der Pkw bis zum Jahr 2015 nochmals.

**Abbildung 46: Spezifische Kohlendioxidemissionen der Pkw 1990 – 2015 (direkte Emissionen)**



#### 8.2.4 Entwicklung des gesamten Kraftstoffverbrauchs und der Kohlendioxidemissionen

Die Entwicklung des gesamten Kraftstoffverbrauchs und der daraus resultierenden direkten Kohlendioxidemissionen ergibt sich aus den Änderungen der Flottenzusammensetzung, des spezifischen Kraftstoffverbrauchs der Fahrzeuge sowie der Fahrleistungsentwicklung.

**Tabelle 27: Änderungen der Fahrleistung sowie der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen und der gesamten direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen der Pkw**

	Änderung 2010 zu 1990			Änderung 2015 zu 1990		
	Fahrleistung	Spez. Emissionen	Gesamtemissionen	Fahrleistung	Spez. Emissionen	Gesamtemissionen
<b>Trend</b>	15%	- 18%	- 6%	23%	- 31%	- 15%
<b>Mittelfrist</b>	10%	- 21%	- 13%	15%	- 36%	- 26%
<b>Neuausrichtung</b>	6%	- 23%	- 19%	-	-	-

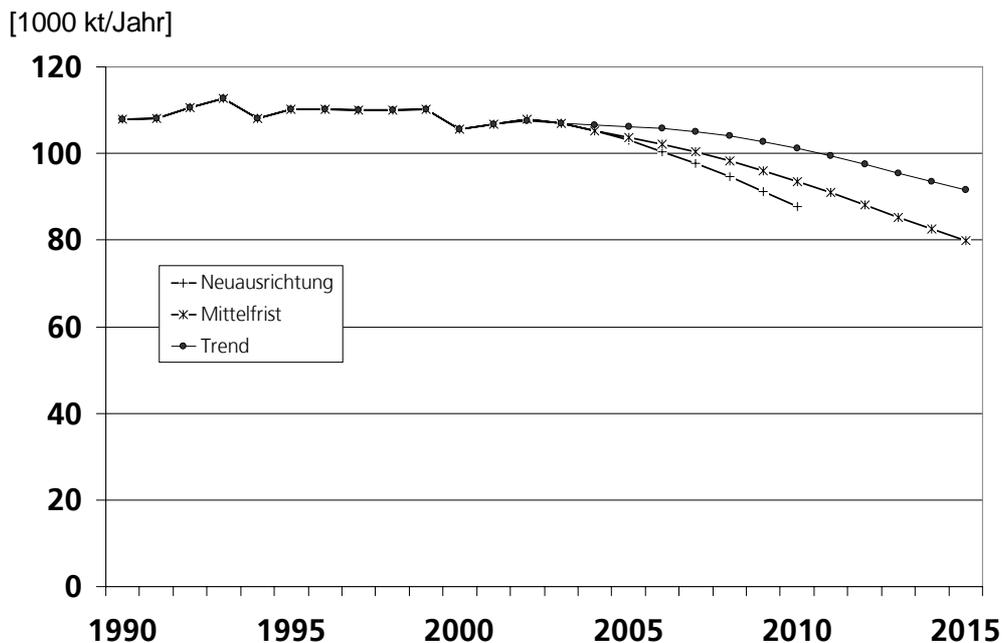
Im Szenario Neuausrichtung wird im Jahr 2010 die größte Minderungen der Gesamtemissionen gegenüber dem Jahr 1990 erzielt (- 19%). Im MittelfristszENARIO liegt die Minderung bei 13 % und im Trendszenario bei 6 %. Die höhere Minderung im Szenario Neuausrichtung resultiert aus einer Abnahme der spezifischen Emissionen um 23 % sowie einer Fahrleistungszunahme von nur 6 % gegenüber 15 % im Trendszenario.

Auch im Szenario Mittelfrist liegt die Fahrleistungszunahme nur bei etwa 75 % der Fahrleistungszunahme im Trendszenario. Die Minderung der spezifischen Emissionen entspricht in etwa der im Szenario Neuausrichtung.

Im Trendszenario führt die zu Grunde gelegte Zunahme der Fahrleistung um 15 % bei einer Reduktion der spezifischen Emissionen um 18 % zu einer Abnahme der Gesamtemissionen um 6 %.

Die Minderungen der Gesamtemissionen im Trendszenario im Jahre 2015 liegen bei 15 % gegenüber dem Jahre 1990, im Szenario Mittelfrist sind es 26 %. Dabei resultiert die höhere Minderung der Emissionen auf einer niedrigeren Fahrleistungszunahme und einer höheren Reduktion des spezifischen Verbrauchs.

**Abbildung 47: Kohlendioxidemissionen der Pkw in Deutschland (direkte Emissionen)**

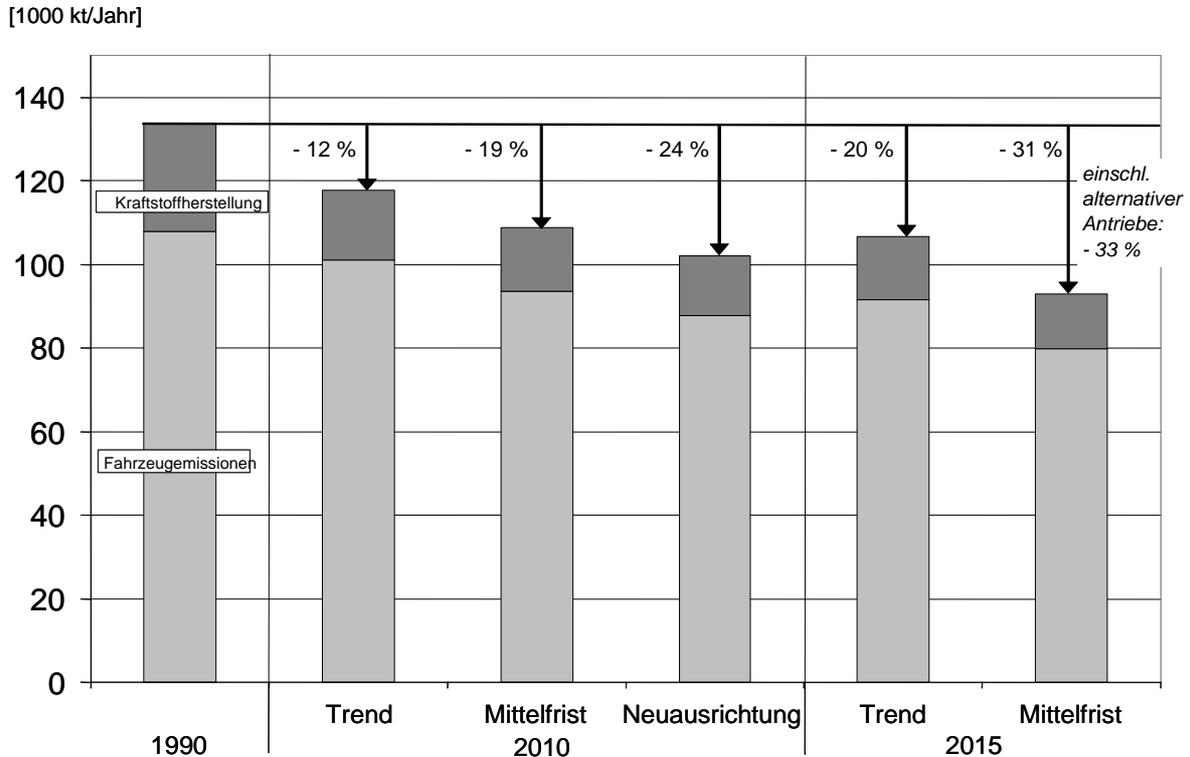


Neben den direkten Emissionen der Fahrzeuge während des Fahrbetriebes entstehen auch noch Emissionen bei der Herstellung und dem Transport der Kraftstoffe. Der Energieaufwand - und damit die Kohlendioxidemissionen - sind bei der Herstellung von Dieselmotorkraftstoff geringer als bei der Herstellung von Benzinmotorkraftstoff. Wegen des gestiegenen Anteils von Dieselmotorkraftstoff am Verbrauch des Pkw-Verkehrs sinken damit die Gesamtemissionen (direkte und indirekte Emissionen) des Pkw-Verkehrs stärker als die direkten Emissionen der Fahrzeuge.

In den hier dargestellten Szenarien werden - wie im TREMOD „Basis-Szenario“ für das Umweltbundesamt - keine alternativen Kraftstoffe (z.B. Erdgas, Biokraftstoffe, Wasserstoff) berücksichtigt. Der Anteil dieser Kraftstoffe ist aus heutiger Sicht gering und kann nur mit großen Unsicherheiten abgeschätzt werden. Für eine erste Abschätzung des Minderungspotenzials im Rahmen dieser Studie wurden stellvertretend für alternative Kraftstoffe bzw. alternative Antriebsarten in einer Variante zum Szenario Mittelfrist Brennstoffzellenfahrzeuge berücksichtigt, die mit rein regenerativ hergestelltem Wasserstoff (z.B. aus Windkraft) betrieben werden. Dabei wurde angenommen, dass der Anteil dieser Fahrzeuge an den Neuzulassungen im Jahre 2012 2 % beträgt und bis zum Jahr 2015 auf 8 % ansteigt.

Mit diesen Annahmen wurde ein Fahrleistungsanteil dieser Fahrzeuge im Jahre 2015 von 1,9 % ermittelt. Die Kohlendioxid-Emissionen des Pkw-Verkehrs gehen damit - da bei der Substitution neue, verbrauchsgünstige Fahrzeuge betroffen sind - um 1,6 % gegenüber dem Szenario Mittelfrist zurück. Auf Grund dieses geringen Rückgangs und der mit der Ableitung verbundenen Unsicherheiten werden alternative Kraftstoffe nicht weiter berücksichtigt.

**Abbildung 48: Kohlendioxidemissionen (direkt und Vorkette) des Pkw-Verkehrs 1990 und in den Szenarien 2010 und 2015**



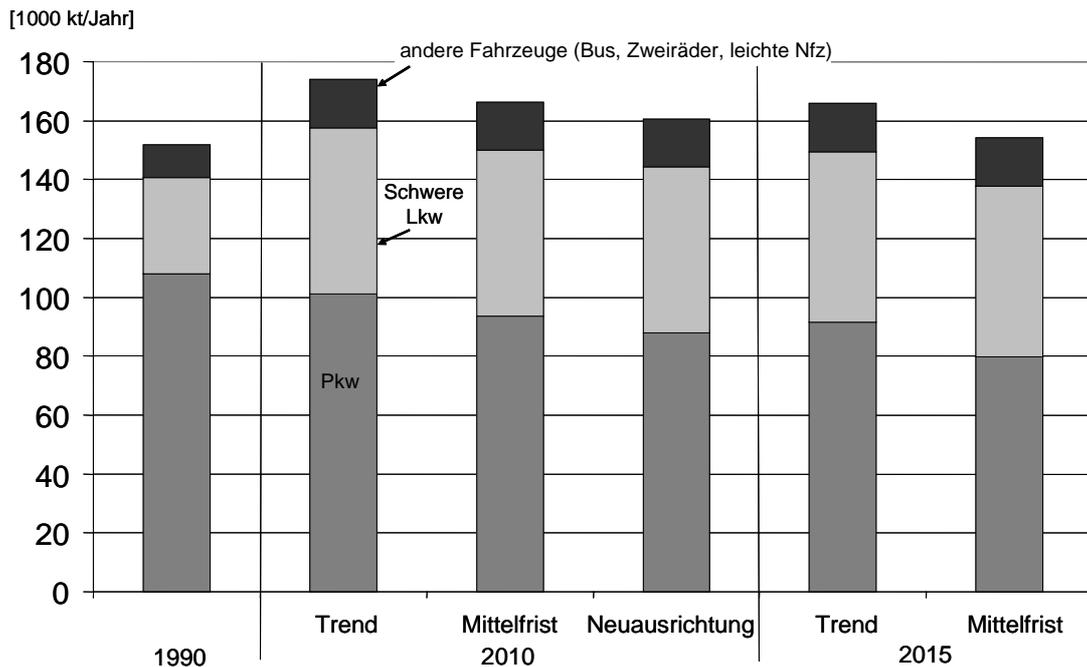
### 8.2.5 Entwicklung der Kohlendioxidemissionen des gesamten Straßenverkehrs

Die Kohlendioxid-Emissionen des gesamten Straßenverkehrs - inklusive der Emissionen zur Herstellung und dem Transport der Kraftstoffe - wurden für die Jahre 1990 - 2015 ermittelt.

Durch den Rückgang der Emissionen des Pkw-Verkehrs bei weiterer Zunahme der Emissionen der schweren Lkw (+72 % zwischen 1990 und 2010<sup>105</sup>) geht der Anteil Pkw an den direkten Emissionen des Straßenverkehrs im Trend-Szenario von 71 % im Jahr 1990 auf 58 % im Jahr 2010 und 55% im Jahr 2015 zurück. Im Szenario Neuausrichtung beträgt der Anteil der Pkw 55 % (2010), im Szenario Mittelfrist 56 % (2010) sowie 52 % (2015).

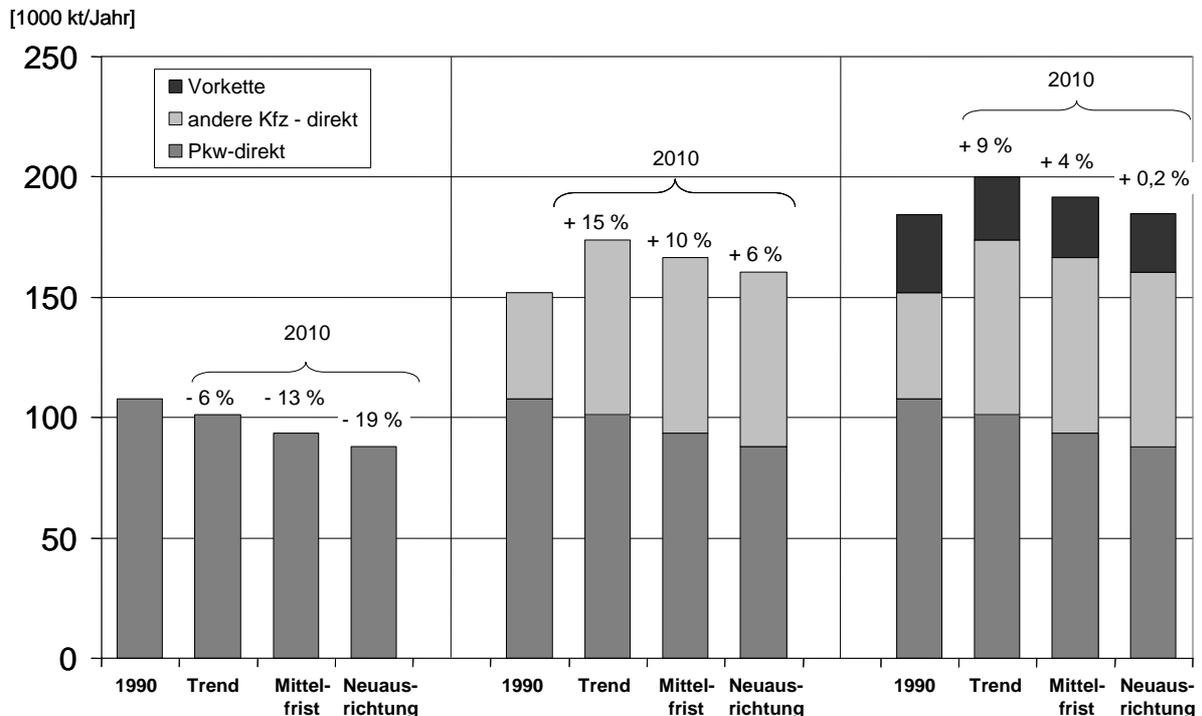
<sup>105</sup> Für alle Szenarien gleichbleibender Wert aus dem TREMOD-Basisszenario

**Abbildung 49: Kohlendioxidemissionen des Straßenverkehrs nach Fahrzeugarten**



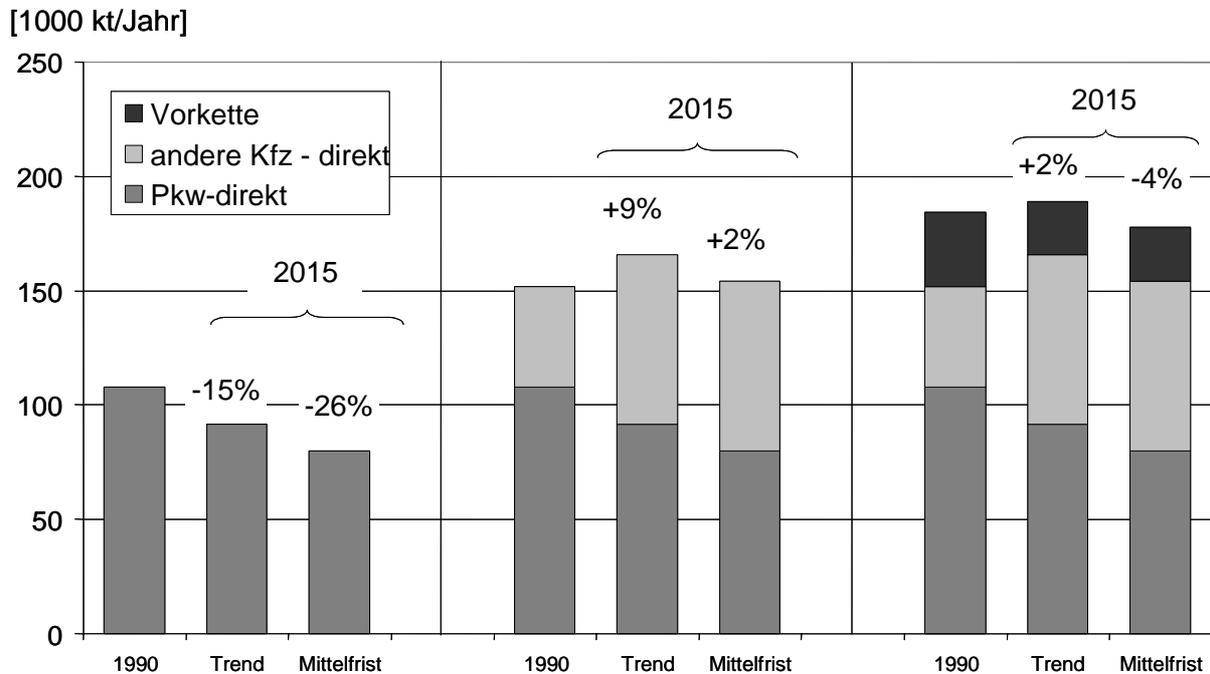
Die im Jahre 2010 gegenüber 1990 durch die Verringerung des spezifischen Verbrauchs resultierenden Reduktionen der Kohlendioxidemissionen des Pkw-Verkehrs werden durch die Erhöhung der Emissionen des Güterverkehrs überkompensiert. In allen Szenarien - die jeweils nur die Parameter für den Pkw-Verkehr ändern - kommt es zu einer Erhöhung der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs (siehe Abbildung 50).

**Abbildung 50: Kohlendioxidemissionen des Straßenverkehrs 1990 und 2010**



Die gesamten Kohlendioxidemissionen des Straßenverkehrs (inkl. Bereitstellung der Kraftstoffe) steigen im Trendszenario bis zum Jahre 2015 gegenüber 1990 um 2 % an. Aus den im Szenario Mittelfrist angenommenen Maßnahmen resultiert eine Reduktion der Emissionen um 6 % gegenüber dem Trend-Szenario. Damit ergibt sich eine Minderung gegenüber dem Basisjahr 1990 um 4 %.

**Abbildung 51: Kohlendioxidemissionen des Straßenverkehrs 1990 und 2015**



### 8.2.6 Fazit

Die Kohlendioxid-Emissionen (direkte Emissionen und Kraftstoffbereitstellung) des Straßenverkehrs in Deutschland nehmen im Trendszenario zwischen 1990 und 2010 etwa um 9 % zu. Diese Zunahme resultiert hauptsächlich auf einer Steigerung der Emissionen der schweren Nutzfahrzeuge, während die Emissionen der Pkw - trotz einer Fahrleistungszunahme - auf Grund der Annahmen der Erfüllung der ACEA-Selbstverpflichtung - um 12% zurückgehen werden.

Da der Pkw-Verkehr auch in Zukunft einen hohen Anteil an den Emissionen des Straßenverkehrs haben wird (im Trend 2010: 58 % an den direkten Emissionen) ist hier ein Potenzial vorhanden, die Kohlendioxid-Emissionen des Straßenverkehrs zu reduzieren.

In dem Szenario Neuausrichtung wurden deshalb unter der Annahme einer Halbierung des spezifischen Testzyklus-Verbrauchs der neuzugelassenen Pkw die gesamten Emissionen des Straßenverkehrs zwischen 1990 und 2010 ermittelt. Mit dieser Minderung des Verbrauchs der Neuwagen wurde eine Reduktion der direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen des gesamten Pkw-Bestandes in Deutschland von 19 % (2010 zu 1990) gegenüber 6 % im Trend ermittelt. Diese im Vergleich zu der Minderung der Emissionen der Neufahrzeuge niedrigere Reduktion folgt aus dem kurzen Zeitrahmen bis 2010 und der erst allmählichen Substitution von alten Fahrzeugen durch verbrauchsärmeren Fahrzeugen.

In einem weiteren Szenario bis 2015 - welches geringere Anforderungen an den Verbrauch der Neuzulassungen stellt - wurde gezeigt, wie sich der Durchschnittsverbrauch aller in Deutschland gemeldeten Pkw bei der Betrachtung eines größeren Zeitrahmens entwickelt.

So reduzieren sich die spezifischen Kohlendioxidemissionen aller Pkw des Bestandes im Trend von 170 g CO<sub>2</sub>/km im Jahr 2010 auf 144 g CO<sub>2</sub>/km im Jahr 2015.

Durch die Halbierung der Flottendurchschnittsemission der neuzugelassenen Pkw und einer weniger starken Steigerung der Fahrleistung (Szenario Neuausrichtung) erhöhen sich die Emissionen des gesamten Straßenverkehrs nur um 2 %, während sie im Trend-Szenario um 9 % zunehmen.

Bis zum Jahre 2015 könnte - unter den Annahmen des Szenario Mittelfrist sogar eine Reduktion um 4 % erfolgen, wohingegen für den Trend eine Zunahme von 2 % berechnet wurde.

## 9 Zusammenfassung und Ausblick

Unter dem Druck steigender Verkehrsaufkommen ist es für das Erreichen der Klimaschutzziele notwendig, mittelfristig eine Energiewende im Verkehr zu initiieren, indem neue technologische Lösungen für einen energieeffizienten Verkehr angestoßen werden und die Umsetzung vorhandener Lösungen beschleunigt wird. In der vorliegenden Studie wurden im Rahmen von Szenarien Potenziale und Handlungsoptionen untersucht, um den spezifischen Kraftstoffverbrauch und damit die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs wesentlich zu reduzieren. Hierzu wurden sowohl technologische Reduktionspotenziale für energieeffizientere Fahrzeuge als auch Instrumente zur Beeinflussung des Käuferverhaltens in Richtung sparsamerer Fahrzeuge untersucht.

Es ist abzusehen, dass die Automobilhersteller in Europa ihr selbst gestecktes Ziel, den Flottendurchschnitt bis zum Jahr 2008 auf 140 g CO<sub>2</sub>/km zu senken, durch Ausschöpfung technologischer Reduktionspotenziale und Platzierung neuer attraktiver Angebote am Markt erreichen werden. Die Voraussetzung hierfür bilden vor allem Verbesserungen und Neuentwicklungen in der Motorsteuerung, im Getriebebereich und bei den Nebenaggregaten.

Eine wesentliche Reduktion des Fahrzeuggewichts, eine echte Hybridisierung oder der Einsatz von Brennstoffzellen zur Stromversorgung der Nebenaggregate ist in diesem Jahrzehnt nicht mehr in nennenswerten Stückzahlen zu erwarten. Allerdings werden diese Entwicklungen voraussichtlich in den darauffolgenden Jahren verstärkt in die Serienproduktion einfließen und dadurch den Verbrennungsmotor noch verbrauchsärmer machen. Die Einführung völlig neuer, alternativer Antriebskonzepte wird hierdurch aber nicht begünstigt und lässt mittelfristig nur marginale Marktanteile erwarten. Die Verbreitung neuartiger Antriebskonzepte wird wesentlich von der Preisentwicklung der neuen Technologien und der flächendeckenden Verfügbarkeit alternativer Kraftstoffe abhängen. Hierzu wird es notwendig sein, eine europäische Lösung zu finden, um den Ansprüchen des grenzüberschreitenden Verkehrs gerecht zu werden.

Aufgrund der vorliegenden Informationen über die technologischen Entwicklungen der Automobilindustrie sind unseres Erachtens gegenüber dem Trend, der für 2010 mit 130 g CO<sub>2</sub>/km angenommen wird, weitere Einsparpotenziale vorhanden. Diese liegen je nach Fahrzeuggröße und Antriebsart zwischen 5 und 15 % unterhalb des ermittelten Emissionswertes der Trendentwicklung. Hierzu müssen vorhandene Möglichkeiten in ihrer Effizienz gesteigert und die Entwicklung neuer Technologien intensiviert werden, sodass sie früher in Großserienfahrzeugen zum Einsatz kommen als ursprünglich vorgesehen. Es ist absehbar, dass sich die Benzin-Direkteinspritzung bzw. die variable Ventilsteuerung noch in diesem Jahrzehnt durchsetzt, jedoch müssen die Motoren noch mehr in Richtung Sparsamkeit als in Richtung Leistungssteigerung ausgelegt werden. Die erste Serieneinführung des integrierten Anlasser-Generators mit automatischer Motorabschaltung ist zwar in der Mitte dieses Jahrzehnts zu erwarten, eine Marktdurchdringung bis 2010 erfordert allerdings zusätzliche Anstrengungen. Ebenso lassen sich mittels beschleunigter Einführung von automatisierten Schaltgetrieben oder stufenlosen Automatikgetrieben zusätzliche Einsparpotenziale im Kraftstoffverbrauch realisieren. Ein verstärktes Engagement im Leichtbau eröffnet weitere Reduktionsmöglichkeiten.

Vor dem Hintergrund der europaweit gesetzten Ziele zum Flottenverbrauch wurde in der Studie auch untersucht, welche Handlungsoptionen bestehen, diese weiteren Einsparpotenziale am Markt zu realisieren. Um Möglichkeiten und Grenzen der Beeinflussung des Parameters spezifischer Kraftstoffverbrauch zu diskutieren, wurden bewusst Extremwertenszenarien mit der theoretischen Zielvorgabe „Halbierung des Flottenverbrauchs bis 2010 gegenüber 1990“ aufgestellt. Gleichzeitig wurden jedoch die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen der Szenarien auf alle Sektoren und der Beitrag zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen des gesamten Straßenverkehrs bewertet, um sowohl die Effizienz der Maßnahmen als auch ihre volkswirtschaftlichen Konsequenzen zu bestimmen.

Das Szenario „Kontinuität“ steht für Kontinuität der Instrumente, d.h. Fortführung der bestehenden Steuerarten, während das Szenario „Neuorientierung“ auf die konsequente Umstellung der bisherigen steuerlichen Instrumente auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen abzielt, einschließlich neu geschaffenerer Maßnahmen. Darüber hinaus wird zu Vergleichszwecken im Grenzwert-Szenario die Einführung von Verbrauchsgrenzwerten untersucht. Diese Szenarien sind auf das Ziel der Halbierung des Flottenverbrauchs bis 2010 ausgerichtet, wobei sie dieses in unterschiedlichem Maße erreichen. Um die teilweise erheblichen Eingriffe abzumildern und Effekte der Einführung alternativer Antriebe zu berücksichtigen, wurde darüber hinaus ein Mittelfrist-Szenario mit dem Zeithorizont 2015 definiert.

Die Auswahl von Maßnahmenbündeln für die Szenarien wurde gestützt durch eine Expertenbefragung, da wenig über die Verhaltenswirksamkeit von Maßnahmen auf den Parameter Flottenverbrauch bekannt ist. Diese Befragung diente so der Absicherung und Fundierung der für die Berechnung der Szenarien zu treffenden Annahmen.

Den Szenarien (außer Mittelfrist) liegen Emissionswerte zugrunde, die gegenüber dem Trend reduziert wurden, um die technischen Anstrengungen der Hersteller zu berücksichtigen, die sie aufgrund des Drucks durch die in den Szenarien angenommenen drastischen Maßnahmen unternehmen. Hierdurch allein sinkt der Flottenemissionswert um 11 % gegenüber dem Trend (von 130 auf 115 g CO<sub>2</sub>/km). Der Zielwert von 105 g CO<sub>2</sub>/km für die Halbierung des Flottenverbrauchs kann nur erreicht werden, wenn die vorgesehenen Maßnahmen zusätzlich zu den technischen Verbesserungen eine Segmentverschiebung bewirken. So ergibt sich beispielsweise im Szenario Neuorientierung, dass ca. 60 % der Reduktion rein technisch erreicht werden und 40 % durch die Segmentverschiebung.

Hierfür wurde, basierend auf den angenommenen Maßnahmen, die Kostenentwicklung für Pkw-Kauf, -Haltung und -Nutzung in den Szenarien abgeschätzt und die daraus resultierenden Verschiebungen im Pkw-Bestand gesamt und zwischen den Segmenten modelliert. Zu diesem Zweck entstand ein Käufermodell, das sich auf eine Analyse des Pkw-Marktes – erstellt durch eine Zusammenführung verschiedenster Datenbasen – stützt. Die hiermit durchgeführten Szenarienrechnungen lassen erkennen, dass die Halbierung des Flottenverbrauchs auf 105 g CO<sub>2</sub>/km in dem kurzen Zeitraum bis zum Jahr 2010 nicht ohne einen wesentlichen Eingriff in den Pkw-Markt erzielt werden kann. Die Ergebnisse aus der gesamtwirtschaftlichen Bewertung verdeutlichen, dass insbesondere die Erhöhung der Nutzerkosten im betrachteten Zeithorizont zu wirtschaftlichen Einbußen mit entsprechenden negativen Beschäftigungseffekten führt. Langfristig sind zwar durch eine Steigerung des technischen Fortschrittes positive Effekte zu erwarten, es zeigt sich jedoch, dass eine stärkere Gewichtung technisch orientierter Maßnahmen mit geringeren Rückgängen makroökonomischer Indikatoren verbunden wäre.

In einem weiteren Schritt zur Berechnung der Auswirkungen auf die gesamten Kohlendioxidemissionen stellt sich heraus, dass die Halbierung des Flottenverbrauchs bis 2010 dazu führt, dass die gesamten auf den Straßenverkehr zurückzuführenden CO<sub>2</sub>-Emissionen zumindest auf dem Wert des Basisjahres 1990 stabilisiert werden. Dieses – im Vergleich zu der Minderung der Emissionen der Neufahrzeuge – ernüchternde Ergebnis folgt aus dem kurzen Zeitraum bis 2010 und der erst allmählichen Substitution von alten Fahrzeugen durch verbrauchsärmere Fahrzeuge im Bestand, so dass die eigentliche Wirksamkeit der Maßnahmen erst nach einem längeren Zeitraum zu beobachten ist. Ferner sind trotz der Erhöhung der Nutzerkosten weiter steigende Pkw-Fahrleistungen zu verzeichnen, die kontraproduktiv auf die gesamten Emissionen wirken. Ein weiterer wesentlicher Hinderungsgrund für ein positiveres Ergebnis stellt der wachsende Lkw-Verkehr dar.

Im Mittelfrist-Szenario mit dem erweiterten Zeithorizont 2015 wurden geringere Anforderungen an den Verbrauch der Neuzulassungen gestellt und daher auch weniger einschneidende Maßnahmen angenommen. Hierdurch käme es konsequenterweise zu geringeren negativen makroökonomischen Wirkungen. Durch den längeren Zeithorizont zeigen sich gleichzeitig die Effekte der Durchsetzung verbrauchsarmer Fahrzeuge im Bestand, so dass trotz steigender Fahrleistungen und des späteren Erreichens des Flottenverbrauch-Zielwertes im Un-

terschied zur Trendentwicklung bis 2015 eine Reduktion der gesamten Kohlendioxidemissionen erfolgen könnte.

Im Hinblick auf die in Kapitel 1 genannten Ziele zur Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen zeigt sich jedoch, dass es nicht ausreicht, den Normverbrauch der Fahrzeuge zu senken. Stattdessen muss der Energiebedarf des gesamten Fahrzeugs inklusive aller Nebenaggregate betrachtet werden. Und über die rein fahrzeugbezogenen Maßnahmen hinaus müssen Reduktionspotenziale durch eine Optimierung der Fahrweise der Fahrzeuglenker untersucht und ausgeschöpft werden, die einen erheblichen Einfluss auf den Realverbrauch besitzen. Ebenfalls in Betracht zu ziehen sind Maßnahmen, die sich auf die Fahrleistungen auswirken. Dabei muss in einer sektorübergreifenden Analyse abgewogen werden, inwieweit der Verkehrsbereich die CO<sub>2</sub>-Minderungsraten anderer Wirtschaftssektoren erreichen muss oder aufgrund möglicherweise höherer Kosten für die Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes im Sinne eines Zertifikatshandels z.B. finanzielle Ausgleichsleistungen erbringen muss.

Die Ergebnisse dieser Studie verdeutlichen, dass es wesentlich darauf ankommt, die Wirksamkeit technischer Reduktionsmaßnahmen zu überprüfen, zu optimieren und in wirtschaftlich effiziente Strategien mit begleitenden planerischen und steuernden Maßnahmen einzubinden. Hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang der interdisziplinäre und somit praxisbezogene Ansatz der Studie, bei dem nicht einzelne Fachbereiche in größtmöglicher Tiefe analysiert wurden, sondern die Zusammenführung verschiedener relevanter Teilaspekte im Sinne der praktischen Aussagekraft bzw. Anwendung im Vordergrund standen.

Wissenschaftlich besonders interessante Ergebnisse sind die Analyse des Pkw-Marktes, die Weiterentwicklung des dynamischen gesamtwirtschaftlichen Bewertungsmodells ESCOT des IWW und die neuartige Strukturierung des Emissionsmodells TREMOD für den Pkw-Verkehr durch IFEU. Diese innerhalb der Studie entwickelten Modelle stehen zukünftig als zusätzliches Instrument für die Entwicklung und Bewertung von Szenarien nachhaltiger Verkehrsentwicklung in der Verkehrsplanung und Verkehrspolitik zur Verfügung. In bisherigen Ansätzen zur Szenarientwicklung wird der Flottenverbrauch häufig selbst als Parameter gesetzt, ohne Berücksichtigung, wie diese Größe mit anderen angenommenen Maßnahmen zur Erreichung der Klimaschutzziele in Wechselwirkung steht. Das vorliegende Modellsystem stellt so ein neues Instrument für eine wesentliche Verbesserung und Vereinfachung für die Abschätzung des zukünftigen Kraftstoffverbrauchs und den damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen des Pkw-Verkehrs dar.

## Abkürzungsverzeichnis

ACEA	Association des Constructeurs Européens d' Automobiles (Verband der europäischen Automobilhersteller)
BASt	Bundesanstalt für Straßenwesen
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMF	Bundesministerium der Finanzen
BMVBW	Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen
CVT	Continuously Variable Transmission (Stufenloses Automatikgetriebe)
DAT	Deutsche Automobil Treuhand GmbH
ESCOT	Economic Assessment of Sustainability poliCies Of Transport
IPCC	International Panel on Climate Change
KBA	Kraftfahrt-Bundesamt
NEFZ	Neuer Europäischer Fahrzyklus
TREMOD	Transport Emission Estimation Model
UBA	Umweltbundesamt
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
VDA	Verband der deutschen Automobilindustrie
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VDIK	Verband der Importeure von Kraftfahrzeugen
VES	Verkehrswirtschaftliche Energiestrategie

### Fahrzeugsegmente:

KW	Kleinwagen
UMK	Untere Mittelklasse
MK	Mittelklasse
OMK	Obere Mittelklasse
OK	Oberklasse
Gwg	Geländewagen

## Literaturverzeichnis

- AUTO, MOTOR UND SPORT (2001): „Der Fiesta wird ein Spaßauto“ – Verliert Ford nicht zwangsläufig an Attraktivität?, in: Auto, Motor und Sport, Nr. 16, S. 150 – 151.
- AUTO, MOTOR UND SPORT (2001): „Die Marke gibt das her“ – Darf ein Volkswagen über 100.000 Mark kosten?, in: Auto, Motor und Sport, Nr. 11, S. 236 – 240.
- BAMBERG, S., NIESTROJ, M., WEBER, C. (2000): Wie schätzen Verkehrsexperten die Effektivität von Maßnahmen zur Vermeidung und Verlagerung von Pkw-Fahrten ein?, in: Internationales Verkehrswesen 11/2000, S. 502 – 506
- BAUR, P.; KRAXNER, D. (1998): „CVTip“: Das innovative Automatikgetriebe, in: VDI – Berichte 1418: Innovative Fahrzeugantriebe, Dresden, S. 569 - 591.
- BILD (2000): PKW-Studie 2000, Hamburg.
- BOLZENIUS, B.-H. (2001): Energiemanagement und Startergenerator für das Bordnetz der Zukunft, Vortrag zum 55. Internationalen Motorenkolloquium 2001 der Robert Bosch GmbH, Stuttgart.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR, BAU VERKEHR - UND WOHNUNGSWESEN (2001): Verkehrsprognose 2015 für die Bundesverkehrswegeplanung, München; Freiburg; Essen.
- EBERLE, R. (1999): Die ökologischen und ökonomischen Grenzen des Leichtbaus, in: VDI – Berichte 1505: Technologien um das 3 – Liter – Auto, Braunschweig, S. 55 – 79.
- ELLINGER, R.; KAPUS, P.; SCHWEINZER, F.; PRENNINGER, P. (2000): Potenziale zur Reduzierung des CO<sub>2</sub>- Flottenverbrauchs mittels Downsizing – Konzepte für konventionelle VKM, in: VDI – Berichte 1565: Innovative Fahrzeugantriebe, Dresden, S. 41 – 64.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (1995): Eine Strategie der Gemeinschaft zur Minderung der CO<sub>2</sub> – Emissionen von Personenkraftwagen und zur Senkung des durchschnittlichen Kraftstoffverbrauchs [KOM(1995) 689], Brüssel.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (1998): Umsetzung der Strategie der Gemeinschaft zur Minderung der CO<sub>2</sub> – Emissionen von Personenkraftwagen: Eine Umweltvereinbarung mit der europäischen Automobilindustrie [KOM(1998) 495], Brüssel.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (2000): Grünbuch, Hin zu einer europäischen Strategie für Energieversorgungssicherheit [KOM(2000) 769], Brüssel.
- EUROPEAN COMMISSION (2001): Implementing the community strategy to reduce CO<sub>2</sub> emissions from cars [COM(2001) 643]. Second annual report on the effectiveness of the strategy (reporting year 2000), Brüssel.
- FH KARLSRUHE (2001): Mobile Vernunft: Abgastechnik, <http://www.home.fh-karlsruhe.de/~mukl0014/Texte/Abgastechnik.pdf>
- FOCUS (2001): FOCUS Marktanalysen: Automobile, <http://medialine.focus.de> [Stand: 02.05.01]
- FORRESTER, J. W. (1968): Principles of Systems, Massachusetts, Cambridge.
- FORRESTER, J. W. (1972): Grundzüge der Systemtheorie, Wiesbaden.
- FRANCK, M. (1999): Auswirkungen von Verkehrssystemen, Mensch und Technik auf den Verbrauch, in: VDI – Berichte 1505: Technologien um das 3 – Liter – Auto, Braunschweig, S. 485 – 505.
- HAYASHI, Y.; KATO H.; TEODORO R. (2001): An analysis on the effects of car and fuel taxes on CO<sub>2</sub> emissions in developed countries, Nagoya University, Nagoya.
- HEIL, B. (2001): Ausgesuchte Konzepte zur nachhaltigen Verbrauchsreduzierung beim Ottomotor – Problemstellungen und Lösungsansätze, in: DaimlerChrysler: Sonderdruck zum 22. Internationalen Motorensymposium 2001, Stuttgart 2001, S. 3 – 43.
- HEISTER, J. (1992): Umweltpolitische Instrumente zur Steuerung der CO<sub>2</sub> -Minderung, in: VDI-Gesellschaft Energietechnik: CO<sub>2</sub> -Minderung durch staatliche Maßnahmen?: Instrumente, Wettbewerb, Akzeptanz, Düsseldorf, S. 11 - 24.
- HENSHER, D. A. (1992): Dimensions of automobile demand. A longitudinal study of household automobile ownership and use. North-Holland, Amsterdam.
- HERZOG, P.L.; CICHOCKI, R.; MARQUARD, R; SAUERWEIN, U. (2001): Die Zukunft des Pkw – Dieselmotors, in: RWTH Aachen: 10. Aachener Kolloquium: Fahrzeug- und Motorentechnik, S. 699 – 720.

- HEUSCH-BOESEFELDT (1994A) PALM, I., REGNIET, G., SCHMIDT, G., HEUSCH-BOESEFELDT: Nutz-fahr-zeug-Jahresfahrleistungen 1990 (1986) auf den Straßen in der Bundesrepublik Deutschland, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Aachen.
- HEUSCH-BOESEFELDT (1994B) PALM, I., REGNIET, G., SCHMIDT, G., HEUSCH-BOESEFELDT: Ermittlung der Pkw-Jahresfahrleistungen 1990 und 1986 auf allen Straßen in der Bundesrepublik Deutschland, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Aachen.
- HEUSCH-BOESEFELDT (1996A) PALM, I., REGNIET, G., SCHMIDT, G., HEUSCH-BOESEFELDT: Ermittlung der Pkw- und Nfz-Jahresfahrleistungen 1993 auf allen Straßen in der Bundesrepublik Deutschland, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Aachen.
- HOFMANN, L.; PETERSEN, R.; ADAMIS, P.; BRUNNER, H. (1998): Optimierungspotenzial von CVT-Getrieben für Sparkonzepte. Verbrauchseinsparung kontra Fahrspaß – ein lösbarer Konflikt?, in: VDI – Berichte 1418: Innovative Fahrzeugantriebe, Dresden, S. 549 - 568.
- INFRAS AG; INSTITUT FÜR WIRTSCHAFTSPOLITIK UND WIRTSCHAFTSFORSCHUNG DER UNIVERSITÄT KARLSRUHE (1994): Externe Effekte des Verkehrs, Projekt für die UIC Paris, Zürich.
- IPCC (2001): Climate Change 2001 - Third Assessment Report, Report of Working Group: The Scientific Basis, Cambridge.
- JOSEFOWITZ, W.; KÖHLE, S. (2002): Aktivitäten bei Hybrid Antriebssystemen in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft und deren Beschreibung von Schlüsselkomponenten und deren Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch, in: Fortschritt - Berichte VDI Reihe 12, Nr. 484, Braunschweig, S. 40 – 56.
- JUCHUM G.; WEICH G.; WICHOTE, H.-J. (1990): AutoKosten und Steuern 1990, ADAC, Bände 1990-1998, München.
- KALLENBACH, R. (2001): Kraftstoffersparnis und Komfortsteigerung zugleich – Thermomanagement für den PKW-Motor, Vortrag zum 55. Internationalen Motorenkolloquium 2001 der Robert Bosch GmbH, Stuttgart.
- KALLENBACH, R.; KIND, W.; BICKENDORF, F.; JÜNEMANN, T. (2002): CARTRONIC Antriebsstrang- und Energiemanagement, in: Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 12, Nr. 484, S. 191 – 201.
- KFZ-BETRIEB DOSSIER (2000): DAT-Veedol-Report 2000, Sonderbeilage zum „KFZ-Betrieb“ Wochenjournal Ausgabe 14, Würzburg.
- KFZ-BETRIEB DOSSIER (2001): DAT-Veedol-Report 2001, Sonderbeilage zum „KFZ-Betrieb“ Wochenjournal Ausgabe 16, Würzburg.
- KLEMM, T.; SCHMIDT, S.; WOLLNY, M. (1999): Kyoto und die Folgen  
[http://www.uni-karlsruhe.de/~Tobias.Klemm/klima/kap4\\_1.htm](http://www.uni-karlsruhe.de/~Tobias.Klemm/klima/kap4_1.htm) Stand: 15.07.02.
- KRAFTFAHRT-BUNDESAMT (2000): Statistische Mitteilungen, Reihe 3, Sonderheft 1/ Jahres-ergebnisse 2000, S. 116ff.
- KRAFTFAHRT-BUNDESAMT (2001): Neuzulassungsstatistik noch attraktiver, Presseinformation 2/2001, <http://www.kba.de> [Stand: 23.03.01].
- KUCHENBECKER, K. (1999): Strategische Prognose und Bewertung von Verkehrsentwicklungen mit System Dynamics, Dissertation, IWW, Universität Karlsruhe, Karlsruhe.
- KUHFELD, H., SCHLÖR, H., VOIGT, U. (2000): Zu Wirksamkeit und Folgen von preispolitischen Maßnahmen im Verkehrsbereich. TA-Datenbank-Nachrichten, Nr. 4, S. 30 - 42.
- LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ (2002): Verkehrsemissionen,  
<http://www.lfu.badenwuerttemberg.de/lfu/abt3/luft/verkehr/verkehrsemissionen/kraftfahrzeugverkehr/content.html>
- LEONHARD, R. (2001): Verbrauchs- und Abgaskonzepte für zukünftige Ottomotoren, Vortrag zum 55. Internationalen Motorenkolloquium 2001 der Robert Bosch GmbH, Stuttgart.
- LITMAN, T. (1998): Transportation Cost Analysis: Techniques, Estimates and Implications, Victoria Transport Policy Institute, Victoria, Kanada.
- MARKETING SYSTEMS GMBH (2001): EUROCAR – Mittelfristbericht III 2001, Essen.
- MEADOWS, D.H.; MEADOWS, D.L.; RANDERS, J.; BEHRENS W.W. (1972): The Limits to Growth, Deutsche Verlagsanstalt, Stuttgart.
- MEINIG, U. (2001): Standortbestimmung des Zweitaktmotors als Pkw-Antrieb. Teil 4: Zweitaktmotor, in: Motortechnische Zeitschrift (MTZ), Nr. 11/2001, S. 924 – 932.
- MICHAELOWA, A. (1998): Klimapolitik in Frankreich. HWWA-Diskussionspapier Nr. 71, HWWA-Institut für Wirtschaftsforschung-Hamburg, Hamburg.

- MILLING, P. (1984): Leitmotive des System-Dynamics-Ansatzes, in: Wirtschaftswissenschaftliches Studium, Heft 10
- MOTOR PRESSE STUTTGART (2001): Autofahren in Deutschland 2001, Stuttgart.
- NIERHAUVE, B. (2001): Stellungnahme von Bernd Nierhauve zu Aspekten zukünftiger Kraftstoffe und Antriebe aus der Initiative „Verkehrswirtschaftliche Energiestrategie“, in: Anhörung „Mobilität und Verkehr“, Kommissionsdrucksache 14/114-1 der Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“ des Deutschen Bundestages, Berlin.
- NOREIKAT, E. (2002): Hybride Fahrzeugantriebe – ein Mehrwert für den Kunden?, in: Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 12, Nr. 484, S. 19 – 39.
- PETERSEN, R.; DIAZ-BONE, H. (1998): Das Drei-Liter-Auto, Berlin, Basel, Boston.
- ROTHENGATTER, W. (1984): Entwicklung eines Verfahrens für Dynamische Investitionsplanung und Ermittlung des bei der Fortschreibung der BVWP Anzuwendenden Zinssatzes Projektabschnitt I, Universität Ulm, Ulm.
- SALBER, W.; KEMPER, H.; VAN DER STAAY, F.; ESCH, T. (2001): Der elektromechanische Ventiltrieb – Systembaustein für zukünftige Antriebskonzepte, FAV, Sonderdruck aus Motor-technische Zeitschrift 62 (2001) Heft/ Vol. 1.
- SATTLER, M.; PAULUS – NEUES, M. (2001): Kurbelwellen – Startergeneratoren im 14V – Bordnetz, in: RWTH Aachen: 10. Aachener Kolloquium: Fahrzeug- und Motorentchnik, S. 1227 – 1238, Aachen.
- SCHADE, B.; ROTHENGATTER, W.; SCHADE, W. (2002): Strategien, Maßnahmen und ökonomische Bewertung einer dauerhaft umweltgerechten Verkehrsentwicklung. Bewertung der dauerhaft umweltgerechten Verkehrsentwicklung mit dem systemdynamischen Modell ESCOT (Economic assessment of Sustainability policies Of Transport). F + E Vorhaben im Auftrag des Umweltbundesamtes FKZ 298 96 108, Berlin.
- SCHAHN, J., GIESINGER, T. (HRSG., 1993): Psychologie für den Umweltschutz, Weinheim.
- SCHMIDT, A.; STEHR, H. (2001): Der 1,9-l-110-kW-Motor mit Pumpe-Düse-Einspritzung – Wege zur Weiterentwicklung, in: MTZ extra: 25 Jahre Dieselmotoren von Volkswagen, S. 20 – 29.
- SPIEGEL (2002): Gründlich und glatt, <http://www.spiegel.de/auto/fahrberichte/0,1518,182098,00.html> [Stand 06.04.02].
- STATISTISCHES BUNDESAMT (1997): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung 1993, Statistisches Bundesamt: Fachserie 18.2, Wiesbaden.
- STEIN, G., STROBEL, B. (HRSG., 1998): Politikszenerarien für den Klimaschutz: Untersuchungen im Auftrag des Umweltbundesamtes, Band 3: Methodik-Leitfaden für die Wirkungsabschätzung von Maßnahmen zur Emissionsminderung, Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich.
- STERN (2001): Markenprofile 9: PKW- Markt, <http://www.gujmedia.de> [Stand: Oktober 2001]
- STERN (2002): Schwäbische Luftkur, [http://www.stern.de/sport-motor/auto/hintergrund/artikel\\_46774.html](http://www.stern.de/sport-motor/auto/hintergrund/artikel_46774.html) [Stand: 06.04.02]
- TREMODO (2001): Daten- und Rechenmodell: Schadstoffemissionen aus dem motorisierten Verkehr in Deutschland 1980 - 2020, Erstellung der Software TREMOD – Transport Emission Estimation Model; im Auftrag des UBA (UFOPLAN-Nr. 105 06 057); ab 1993; dazu Kooperationsabkommen mit dem Verband der Automobilindustrie, Frankfurt, mit dem Mineralölwirtschaftsverband, Hamburg; mit der Deutschen Bahn AG, mit der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) u. a.
- UMWELTBUNDESAMT (1997): Maßnahmenplan Umwelt und Verkehr, Ein Konzept für eine nachhaltig umweltverträgliche Verkehrsentwicklung in der Bundesrepublik Deutschland, Berlin.
- UMWELTBUNDESAMT (2000): Daten zur Umwelt 2000, <http://www.umweltbundesamt.org/dzu/default.html> [Stand: 23.02.01]
- UMWELTBUNDESAMT / INSTITUT FÜR WIRTSCHAFTSPOLITIK UND WIRTSCHAFTSFORSCHUNG DER UNIVERSITÄT KARLSRUHE (2000): OECD Projekt: Environmentally Sustainable Transport (EST), Phase 3, Deutsche Fallstudie, Berlin.
- UNFCCC (2000): Emissions Data: Greenhouse gas inventory data from 1990 to 1998 (tables),

- <http://www.unfccc.com/resource/ghg/tempemis2.html> [Stand: 14.11.2001].
- VEREIN DER AUTOMOBILINDUSTRIE E.V. (VDA) (1995): Freiwillige Zusage der deutschen Automobilindustrie zur Kraftstoffverbrauchsminderung, VDA Pressedienst, Frankfurt.
- VEREIN DER AUTOMOBILINDUSTRIE E.V. (VDA) (2001): Auto-Jahresbericht 2001, Frankfurt am Main.
- VEREIN DER AUTOMOBILINDUSTRIE E.V. (VDA) (2001): Kraftstoffverbrauchstabellen, Vorbemerkungen und Erläuterungen, <http://www.vda.de> [Stand: 05.04.01].
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (2001): VDI Nachrichten: Brennstoffzelle statt Lichtmaschine, in: VDI Nachrichten, Nr. 28, 2001
- WAGNER, G. (2001): Einsatz von Getriebesystemen für unterschiedliche Triebstrangkfigurationen in Personenkraftwagen, in: VDI – Berichte 1565: Innovative Fahrzeugantriebe, Braunschweig, S. 155 – 194.
- WAGNER, G. (2001): Kraftstoffeinsparung bei Personenkraftwagen durch neue Getriebe-konzepte, in: RWTH Aachen: 10. Aachener Kolloquium: Fahrzeug- und Motorentchnik, S. 1173 - 1186.
- WUPPERTAL INSTITUT FÜR KLIMA UMWELT ENERGIE (1999): Countdown für den Klimaschutz – Wohin steuert der Verkehr?, Im Auftrag von Greenpeace Deutschland e. V., Wuppertal.

### Weiterführende Literatur

- ADAC MOTORWELT (2001): Schön sauber bleiben!, in ADAC Motorwelt, Nr. 9, S. 38.
- ALLGEMEINER DEUTSCHER AUTOMOBIL-CLUB E.V. (2000): ADAC Special, Auto 2001, München.
- AUTO, MOTOR UND SPORT (1988): Testjahrbuch 1989, Stuttgart.
- AUTO, MOTOR UND SPORT (1999): Marktbericht, Jahresrückblick 1998, in: Auto, Motor und Sport, Nr.4, S. 10.
- AUTO, MOTOR UND SPORT (2001): Weltpartag, Konzeptvergleich, in: Auto, Motor und Sport, Nr.5, S. 36.
- AUTOUNIVERSUM (2001): VDA: Absatzzahlen für 2001 korrigiert, <http://www.autouniversum.de> [Stand: 16.07.2001]
- BADY, R.; BIERMANN, J.-W. (2000): Hybrid-Elektrofahrzeuge – Strukturen und zukünftige ENTWICKLUNGEN, Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH, Aachen.
- BARGENDE, M.; WIEDEMANN, J. (2001): Kraftfahrwesen und Verbrennungsmotoren, 4. Internationales Stuttgarter Symposium.
- BUNDESMINISTERIUM DER FINANZEN (2000): Steuern von A bis Z, Ausgabe 2000.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU- UND WOHNUNGSWESEN (1992): Gesamtwirtschaftliche Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen - Bewertungsverfahren für den Bundesverkehrswegeplan 1992. Schriftenreihe, Heft 72. Essen, Bonn
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU- UND WOHNUNGSWESEN (2000): Klimaschutzprogramm der Bundesregierung: Bericht des Arbeitskreises II Verkehr zum fünften Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe „CO<sub>2</sub> - Reduktion“, Berlin.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU- UND WOHNUNGSWESEN (2000): Verkehr in Zahlen 2000, Berlin.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU- UND WOHNUNGSWESEN (2000): Verkehrsbericht 2000, Integrierte Verkehrspolitik: Unser Konzept für eine mobile Zukunft, Berlin.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU- UND WOHNUNGSWESEN (2001): Kraftstoff der Zukunft: Verkehrswirtschaftliche Energiestrategie, <http://www.bmvbw.de> [Stand: 08.02.01].
- BÜRO FÜR TECHNIKFOLGEN-ABSCHÄTZUNG BEIM DEUTSCHEN BUNDESTAG (TAB) (2000): Arbeitsbericht Nr.67 „Brennstoffzellen-Technologie“, <http://www.tab.fzk.de> [Stand: 02.03.01].
- DaimlerChrysler (2000): Umweltbericht 1999, <http://www.daimlerchrysler.com> [Stand: 04.01.01].
- DEUTSCHE FORSCHUNGSANSTALT FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT (1994): TA-Vorstudie zur Ent-

- wicklung und Analyse von Optionen zur Entlastung des Verkehrsnetzes sowie zur Verlagerung des Straßenverkehrs auf umweltfreundlichere Verkehrsträger, im Auftrag des Deutschen Bundestags, Köln.
- DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT E.V. (1999): Die Umweltbilanz des Verkehrs, Bisherige Entwicklung und künftige technische Reduktionspotentiale, Studie im Auftrag des Deutschen Verkehrsforums, Köln.
- DIEZ, WILLI: Herausforderungen und Perspektiven im Premiummarkt für Automobile, Institut für Automobilwirtschaft, Geislingen/ Steige.
- E.V.A. ENERGIEVERWERTUNGSAGENTUR (1999): Energy Efficiency of passenger cars – Labelling and its impacts on fuel efficiency and CO<sub>2</sub> -reduction, Study for the Directorate General for Energy (DGXVII) of the Commission of the European Communities, Final report, Wien.
- ESSO AG (1998): Energieprognose 1998, Hamburg.
- ESSO DEUTSCHLAND GMBH (2000): Energieprognose 2000, Hamburg.
- EUROPEAN COMMISSION (2001): EU strategy on CO<sub>2</sub> emissions from passenger cars, [http://europa.eu.int/comm/environment/co2/co2\\_home.htm](http://europa.eu.int/comm/environment/co2/co2_home.htm) [Stand: 10.03.01].
- EUROPEAN CONFERENCE OF MINISTERS OF TRANSPORT (2000): Monitoring of CO<sub>2</sub> Emissions from New Cars, Paris.
- FEV-SPECTRUM (2001): Technologie-Highlights aus dem FEV-Arbeitsspektrum, Ausgabe 17, April 2001, Aachen.
- FEV-SPECTRUM (2001): Technologie-Highlights aus dem FEV-Arbeitsspektrum, Ausgabe 18, September 2001, Aachen.
- FICKL, S.; RAIMUND, W. (1999): Report: Labelling and its impacts on fuel efficiency and CO<sub>2</sub> – reduction, Energieverwertungsagentur.
- FISCHER, M. (1998): Die Zukunft des Ottomotors als PKW-Antrieb – Entwicklungschancen unter Verbrauchsaspekten, Schriftenreihe B – Fahrzeugtechnik – des Instituts für Straßen- und Schienenverkehr der technischen Universität Berlin, Berlin.
- GREENPEACE (1999): Entwicklung und Präsentation des Twingo SmILE, <http://www.greenpeace.de> [Stand: 05.04.01].
- HENSHER, D. A. (2001): Travel behaviour research, The leading edge, Pergamon, Amsterdam.
- INFRAS (1999): Finanzielle Anreize zur Förderung energieeffizienter Personenwagen, <http://www.infras.ch> [Stand: 05.04.01].
- INSTITUT FÜR ENERGIE- UND UMWELTFORSCHUNG HEIDELBERG GMBH (IFEU) (1999): Hintergrundpapier zum Vergleich des Krebsrisikos zwischen Diesel- und Ottomotoremissionen, <http://www.ifeu.de> [Stand: 05.04.01].
- INSTITUT FÜR ENERGIE- UND UMWELTFORSCHUNG HEIDELBERG GMBH (IFEU) (2001): Bus, Bahn und PKW auf dem Umweltprüfstand, Vergleich von Umweltbelastungen verschiedener Stadtverkehrsmittel, <http://www.ifeu.de> [Stand: 05.04.01].
- INSTITUT FÜR ENERGIE- UND UMWELTFORSCHUNG HEIDELBERG GMBH (IFEU) (1997): Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1980 – 2020 (TREMODO), Endbericht.
- KRAFTFAHRT-BUNDESAMT (2001): Jahrespressebericht 2001, Flensburg.
- KRAFTFAHRT-BUNDESAMT (2001): Statistische Mitteilungen des Kraftfahrt-Bundesamtes, Reihe 1, verschiedene Jahrgänge 1991 – 2000, Flensburg.
- NEUNZIG, D. (1998): Neue technische Entwicklungen und deren Potentiale zur Verringerung der Emissionen (Luftschadstoffe, Kohlendioxid bzw. Geräusch) von Landverkehrsmitteln, im Auftrag der Enquete-Kommission „Zukunft der Mobilität“ des Landtags Nordrhein-Westfalen, Aachen.
- NITSCH, J. (2000): Alternative Kraftstoffe aus erneuerbaren Energien für den Straßenverkehr, Vortrag zur 9. Sitzung des Arbeitskreises „Zukunftsenergien“ der Friedrich-Ebert-Stiftung, Berlin.
- OEHM, E. (2000): Gesellschaftliche Trends und Kundenwünsche im Zeitalter der selbstverständlichen Mobilität, in: Zeitschrift für die gesamte Wertschöpfungskette Automobilwirtschaft (ZfAW), Nr. 4/2000, S. 76 – 81.

- PEHNT, M. (2001): Ökologische Nachhaltigkeitspotenziale von Verkehrsmitteln und Kraftstoffen, STB – Bericht N2. 24, Stuttgart.
- PELS, TH. (1998): ISAD® - das integrierte Starter – Alternator – Dämpfer – System, in: VDI – Berichte 1418: Innovative Fahrzeugantriebe, Dresden, S. 295 – 309.
- PIOCK, W.; KAPUS, P.; DINGER, D. (2001): Benzindirekteinspritzung – Anwendung und Alternativen, in: Kraftfahrwesen und Verbrennungsmotoren – 4. Internationales Stuttgarter Symposium, S. 133 – 147.
- PISCHINGER, S.; WALLENTOWITZ, H. (2001): Fahrzeug- und Motorentechnik, 10. Aachener Kolloquium, Aachen.
- PROGNOS AG (2000): Die längerfristige der Energiemärkte im Zeichen von Wettbewerb und Umwelt, Energiereport 3, Stuttgart.
- ROMMERSKIRCHEN, S. (1992): Chancen staatlicher Maßnahmen zur Minderung verkehrlicher CO<sub>2</sub>-Emissionen, in: VDI: CO<sub>2</sub>-Minderung durch staatliche Maßnahmen? : Instrumente, Wettbewerb, Akzeptanz. Düsseldorf, S. 57 - 80.
- SCHMID, M. (1996): Auswirkungen der Kraftstoffbesteuerung auf die Pkw-Fahrleistungen im Freizeitverkehr, Institut für Straßen- und Verkehrswesen, Stuttgart.
- SCHMIDT, G. (1998): Entwicklungstendenzen bei PKW-Antrieben, 2. Handelsblatt-Jahrestagung Vision Auto, München.
- SHELL AKTIENGESELLSCHAFT, ABTEILUNG ENERGIE UND WIRTSCHAFTSPOLITIK (1999): PKW-Szenarien: Mehr Autos – weniger Emissionen, Hamburg.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (1994): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung 1986, 1988, 1990, Statistisches Bundesamt: Fachserie 18.2, Wiesbaden.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (1995): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung 1991, Statistisches Bundesamt: Fachserie 18.2, Wiesbaden.
- STEIN, G., STROBEL, B. (HRSG., 1998): Politiksznarien für den Klimaschutz: Untersuchungen im Auftrag des Umweltbundesamtes, Band 1: Szenarien und Maßnahmen zur Minderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland bis zum Jahre 2005, Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich.
- STEIN, G., STROBEL, B. (HRSG., 1998): Politiksznarien für den Klimaschutz: Untersuchungen im Auftrag des Umweltbundesamtes, Band 5: Szenarien und Maßnahmen zur Minderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland bis zum Jahre 2020, Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich.
- UMWELTBUNDESAMT (1999): Brennstoffzelle, Chance für die Umwelt?, <http://www.uba.de> [Stand: 08.02.01].
- UMWELTBUNDESAMT (1999): Klimaschutz im Verkehrsbereich, <http://www.uba.de> [Stand: 08.02.01].
- UMWELTBUNDESAMT (1999): OECD Projekt: Environmentally Sustainable Transport (EST), Phase 2, Deutsche Fallstudie, Berlin.
- UMWELTBUNDESAMT (2000): CO<sub>2</sub> - Emissionsminderung im Verkehr, Beitrag zum Klimaschutzprogramm der Bundesregierung, Berlin.
- UMWELTBUNDESAMT (2000): Die Abschaffung der Ökosteuer wäre ein falsches Signal, Pressemitteilung Nr. 43/00, <http://www.uba.de> [Stand: 14.03.01].
- UMWELTBUNDESAMT (2001): Klimagas-Minderung durch umweltorientiertes Pkw - Flottenmanagement, Pressemitteilung Nr. 08/01, <http://www.uba.de> [Stand: 14.03.01].
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (1998): VDI Berichte 1418: Innovative Fahrzeugantriebe, Tagung Dresden.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (1999): VDI Berichte 1505: Technologien um das 3-Liter-Auto, Tagung Braunschweig.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (2000): VDI Berichte 1565: Innovative Fahrzeugantriebe, Tagung Dresden.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (2000): VDI Nachrichten: Busse stromern eher mit Brennstoffzellen als Pkw, in: VDI Nachrichten, Nr. 52, 2000.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (2001): VDI Berichte 1653: Fahrzeugkonzepte für das 2. Jahrhundert Automobiltechnik, Tagung Wolfsburg.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (2001): VDI Nachrichten: Bremsspuren am deutschen Au-

- tomobilmarkt 2000, in: VDI Nachrichten, Nr. 5, 2001, S. 13.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (2001): VDI Nachrichten: Brennstoffzellenantrieb kommt nur langsam in Fahrt, in: VDI Nachrichten, Nr. 40, 2001, S. 19.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (2001): VDI Nachrichten: Diesel startet durch auf der Überholspur, in: VDI Nachrichten, Nr. 5, 2001, S. 13.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (2001): VDI Nachrichten: Elektronik hilft Getriebe in die Gänge, in: VDI Nachrichten, Nr. 31, 2001, S. 11.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (2002): Fortschritt-Berichte VDI 484: Hybridfahrzeuge und Energiemanagement, Braunschweiger Symposium.
- VERKEHRSWIRTSCHAFTLICHE ENERGIESTRATEGIE (2000): Statusbericht der Task-Force an das Stering-Committee.
- WALLENTOWITZ, H. (2000): Reduzierung der Schadstoffbelastungen, in: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen und Bundesministerium für Bildung und Forschung: Mobilitätsforschung für das 21. Jahrhundert, Berlin, S.145 – 164.