Strategien im Pkw-Sektor für eine nachhaltige Entwicklung in Deutschland.

Kasten 1: Die wichtigsten Ergebnisse im Überblick.

Der Pkw-Sektor befindet sich momentan an einem strategischen Scheidepunkt. Der voranschreitende Klimawandel, rasant gestiegene Ölpreise und die Sicherung deutscher Arbeitsplätze sind die zentralen Herausforderungen, auf die es seitens der Entscheidungsträger Antworten zu finden gilt. Hierzu bedarf es einer Nachhaltigkeitsstrategie für das Automobil. In der vorliegenden Analyse wurden die fünf wichtigsten Eckpunkte einer solchen Strategie identifiziert.

Die rasche und entschlossene **Reduktion der spezifischen CO_2-Emissionen** des Pkw-Verkehrs ist von zentraler Bedeutung. Die Einführung einer CO_2-basierten Kfz-Steuer könnte die Nachfrage nach hocheffizienten Pkw stärken. Mit einer Umstellung der Kfz-Steuer ist aber nicht vor 2010 zu rechnen. Flankiert werden könnte die Strategie auf europäischer Ebene mit den EU-Plänen zur Begrenzung des CO_2-Ausstoßes von Pkw-Neuwagen auf durchschnittlich 120 g/km, welche jedoch ebenfalls erst mittelfristig ihre volle Wirkung entfalten werden.

Durch das gezielte Setzen von finanziellen Anreizen durch die Bundesregierung für den Kauf hocheffizienter Pkw könnten hingegen sehr schnell deutliche Emissionsminderungen erzielt werden. Insbesondere Verbraucher mit niedrigen Einkommen würden in die Lage versetzt, ihre alten verbrauchsintensiven Pkw zu ersetzen. Die Novellierung der Pkw-Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung, welche ebenfalls zeitnah umgesetzt werden könnte, stellt einen wichtigen ergänzenden Schritt zur Verbesserung der Markttransparenz dar.

Parallel zu der stetigen Verbesserung der Fahrzeugeffizienz bei Benzinern und Dieselfahrzeugen sollte durch den **Einsatz alternativer Kraftstoffe und Antriebskonzepte** eine zusätzliche Reduktion des Diesel- und Benzinverbrauchs gezielt herbeigeführt werden. Elektrofahrzeuge (z. B. Plug-In Hybrid) könnten in den nächsten Jahren einen wachsenden Beitrag zur Steigerung der Versorgungssicherheit und Verbesserung der deutschen Klimabilanz leisten.

Wasserstoffbetriebene Fahrzeuge befinden sich noch in der Erprobungsphase. Mit marktreifen Serienfahrzeugen ist frühestens 2020 zu rechnen. Die Nutzungspotenziale von Biokraftstoffen und Erdgasfahrzeugen (inkl. Biomethan) werden im Vergleich zu Elektrofahrzeugen zurückhaltender bewertet.

Kraftstoffverbrauch und Emissionen hängen aber nicht nur vom Fahrzeug und seiner Technik ab, sondern auch ganz entscheidend vom individuellen Fahrstil. Vor diesem Hintergrund sollte das Wissen über die Möglichkeiten einer **Kraftstoff sparenden Fahrweise** möglichst vielen Autofahrern zugänglich gemacht werden.

Eine weitere wichtige Stellschraube zur Reduktion der Treibhausgasemissionen sowie der Verbesserung der Versorgungssicherheit stellt die **Optimierung der Verkehrsträgerstruktur** dar (sog. Modal Split). Ziel sollte es sein, einen Teil des Pkw-Verkehrs auf andere, emissionsärmere Verkehrsträger zu verlagern. Zu diesem Zweck sollte die Infrastruktur für den Rad- und Fußverkehr weiter verbessert werden. Parallel gilt es, die Attraktivität des ÖPNV weiter zu steigern. Im Bereich des Fernverkehrs sollte das Hochgeschwindigkeitsnetz der Bahn konsequent ausgebaut werden und so für noch mehr Destinationen eine attraktive Alternative zum Pkw und dem Flugzeug darstellen.

Der fünfte und letzte Anknüpfungspunkt ist die **Reduktion des Verkehrsaufkommens** insgesamt. Erreicht werden könnte dies mit einer nachhaltigen Raum- und Siedlungsentwicklung, die eine kompakte Siedlungsstruktur mit kurzen Wegen zwischen Arbeit, Freizeit, Wohnen und Einkauf unterstützt. Die verbesserte Attraktivität regionaler Urlaubsangebote könnte in begrenztem Umfang den Reiseverkehr reduzieren, Geschäfts- und Dienstreisen durch die Nutzung moderner Kommunikationsmittel teilweise überflüssig werden.

Als Fazit der Analyse lässt sich ziehen, dass es für eine Nachhaltigkeitsstrategie im Pkw-Sektor eines integrierten Gesamtkonzeptes bedarf, das sich nicht allein auf die damit erreichbaren Klimaschutzziele stützen kann. Erst in einer systemischen Betrachtung unter Berücksichtigung konkurrierender energiepolitischer Ziele, insbesondere Versorgungssicherheit und Wettbewerbsfähigkeit, ist eine in sich konsistente Ausrichtung der Rahmenbedingungen für eine nachhaltige Entwicklung des Pkw-Sektors erreichbar.

1. Einleitung.

Der Pkw-Sektor befindet sich momentan im Mittelpunkt einer intensiv geführten politischen Debatte über einen schnell voranschreitenden Klimawandel, rasant gestiegene Ölpreise und die mögliche Vernichtung deutscher Arbeitsplätze.

Immer neue Meldungen zu den Auswirkungen des Klimawandels dringen an die Öffentlichkeit. So prognostiziert beispielsweise der jüngste Klimabericht der Vereinten Nationen bis 2100 einen Anstieg der mittleren, globalen Erdoberflächentemperatur um 1,8 bis 4,0° C. Im Extremfall sind sogar Temperatursteigerungen um mehr als 6° C möglich. [1]

Zum gleichen Zeitpunkt wird deutlich, dass die Automobilindustrie ihre Selbstverpflichtungserklärungen zur Reduktion der CO_2-Emissionen aller Voraussicht nach nicht einhalten kann. In den Selbstverpflichtungen hatten sich die Dachverbände der europäischen, japanischen und koreanischen Automobilhersteller verpflichtet, die spezifischen CO_2-Emissionen von Pkw-Neuwagen in der EU-15 bis 2008/2009 auf durchschnittlich 140 g CO_2/km zu reduzieren.[2] Aktuell betragen die durchschnittlichen spezifischen CO_2-Emissionen von neuen Personenkraftwagen innerhalb der EU rund 160 g CO_2/km. Auf europäischer Ebene ist nun geplant, den durchschnittlichen CO_2-Wert der in der EU verkauften Pkw-Neuwagen bis 2012 auf 120 g/km zu begrenzen.

Parallel zu der sich verschärfenden Klimadebatte sind die Kraftstoffpreise in den vergangenen Jahren auf immer neue Höchststände gestiegen, was die Diskussion um mögliche Emissions- und Kraftstoffminderungsstrategien im Pkw-Sektor zusätzlich anheizt. Die Benzinpreise haben sich für die Verbraucher innerhalb der letzten 10 Jahre nahezu verdoppelt. Die Dieselpreise liegen heute sogar 2,5-mal so hoch wie noch vor 10 Jahren.[3]

Die politische Brisanz der in die Debatte eingebrachten Lösungsvorschläge wird dadurch verstärkt, dass es sich bei der Automobilindustrie um einen der wichtigsten Industriezweige Deutschlands handelt. Einschließlich der vor- und nachgelagerten Bereiche sind in der deutschen Automobilwirtschaft nahezu 1,4 Mio. Menschen beschäftigt.[4] Die langfristige Sicherstellung der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Automobilindustrie hat damit eine sehr hohe Bedeutung.

---

[1] Vgl. IPCC, Climate Change 2007: The Physical Science Basis (2007).

[2] Entspricht einem Kraftstoffverbrauch von 5,8 l/100 km für Benziner und 5,3 l/100 km für Diesel-PKW.

[3] Diesel (inkl. Steuern): 1998 58,7 ct/Liter; Juli 2008 148,8 ct/Liter; Super Benzin (inkl. Steuern): 1998 81,2 ct/Liter; Juli 2008 148,8 ct/Liter.

[4] Vgl. VDA, Auto Jahresbericht 2007 (2007).

Angesichts der genannten Spannungsfelder befasst sich der Artikel zunächst mit der Frage, welche strategische Rolle dem Pkw-Sektor bei der nachhaltigen Entwicklung Deutschlands zukommt. Darauf aufbauend werden im Anschluss konkrete Maßnahmen und Handlungsempfehlungen für den Pkw-Sektor abgeleitet.

2. Strategische Bedeutung des Pkw-Sektors.

Der Pkw-Sektor ist in dreierlei Hinsicht von strategischer Bedeutung:

1. Er kann einen entscheidenden Beitrag zur Reduktion des Treibhausgasausstoßes leisten.
2. Er kann helfen, die Versorgungssicherheit Deutschlands zu steigern.
3. Eine starke und wettbewerbsfähige Automobilindustrie ist ein Garant für Wachstum und Wohlstand in Deutschland.

2.1 Reduktion des Treibhausgasausstoßes.

Die europäischen Staats- und Regierungschefs haben sich im Rahmen ihres Frühjahrstreffens im Jahr 2007 dafür ausgesprochen, dass die EU die Treibhausgasemissionen bis 2020 gegenüber 1990 um 30 % reduziert. Die EU fühlt sich jedoch nur dann an dieses Ziel gebunden, sofern sich andere Industriestaaten zu vergleichbaren Emissionsreduzierungen verpflichten. Unabhängig von dem Zu-Stande-Kommen eines Post-2012-Klimaschutzabkommens strebt die EU eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um mindestens 20 % bis 2020 an.[5]

Die Bundesregierung bietet als deutschen Beitrag für ein internationales Klimaabkommen nach 2012 an, die Emissionen bis 2020 um 40 % unter das Niveau von 1990 zu reduzieren. Dieses Angebot steht unter dem Vorbehalt, dass die EU im selben Zeitraum ihre Emissionen um 30 % gegenüber 1990 reduziert und andere Staaten vergleichbar ehrgeizige Ziele übernehmen.[6]

Die Erreichung solch ambitionierter Ziele ist nur möglich, wenn intensive Minderungsanstrengungen in allen relevanten Sektoren – also Energiewirtschaft, Industrie, Gewerbe/Handel/Dienstleistungen und Verkehr – erbracht werden.

---

[5] Vgl. Council of the European Union, Presidency Conclusions, Brussels, 8/9 March 2007 (2007).

[6] Vgl. BMWi/BMU, Bericht zur Umsetzung der in der Kabinettsklausur am 23./24.08.2007 in Meseberg beschlossenen Eckpunkte für ein Integriertes Energie- und Klimaschutzprogramm, Berlin, 5.12.2007 (2007).

Im Bereich des Straßenverkehrs sind die CO_2-Emissionen nach der Wiedervereinigung zunächst bis 1999 stark angestiegen, um anschließend um so deutlicher abzusinken (Tabelle 1). Seit 2006 befinden sich die CO_2-Emissionen des Straßenverkehrs wieder in etwa auf dem Niveau des Jahres 1990. Für ein Erreichen der gesteckten Klimaschutzziele bedarf es folglich weiterer Anstrengungen.

Eine Schlüsselrolle kommt dabei dem Pkw-Sektor zu, auf den rund zwei Drittel der gesamten CO_2-Emissionen des Straßenverkehrs bzw. rd. 11 % der deutschen CO_2-Gesamtemissionen entfallen. Im Pkw-Bereich haben die CO_2-Emissionen im Jahr 1999 mit 111,5 Mio. t ihren Höhepunkt erreicht und sind seitdem um 10 % gefallen.

Tabelle 1: CO_2-Emissionen nach Emittentengruppen in Deutschland (Mio. t)

	1990	**1999**	**2006**	**1990-2006**	**1999-2006**
Energiewirtschaft	414,9	334,1	366,1	-11,8 %	+9,6 %
Industrie	238,6	180,0	182,3	-23,6 %	+1,3 %
Haushalte	129,5	119,9	117,2	-9,5 %	-2,3 %
Gewerbe/Handel/Dienstleistungen	64,0	48,8	46,0	-28,1 %	-5,7 %
Verkehr	162,5	186,2	160,6	-1,2 %	-13,8 %
davon Straßenverkehr	150,4	175,0	148,9	-1,0 %	-14,9 %
davon Pkw	n. a.	111,5	100,3	n. a.	-10,0 %
Summe andere Sektoren	22,7	10,6	38,1	+67,8 %	+259,4 %
Gesamt	***1.032,2***	***879,6***	***880,3***	***-14,7 %***	***+0,1 %***

Quelle: Umweltbundesamt (2008).

2.2 Steigerung der Versorgungssicherheit.

Die mit der Emissionsminderung einhergehende Reduktion des Mineralölbedarfs bringt neben dem Klimaschutz einen weiteren Vorteil mit sich: Das Absenken des Mineralölverbrauchs verringert Deutschlands Abhängigkeit von teuren sowie preislich schwer zu prognostizierenden Ölimporten, was wiederum die heimische Versorgungssicherheit verbessert.

Deutschlands Energieversorgung basiert bis heute maßgeblich auf Mineralöl, welches nahezu komplett aus dem Ausland importiert werden muss (Importquote 2006: 97 %).[7] Die heimische Erdölförderung ist eine zu vernachlässigende Größe. Allein im vergangen Jahr musste Deutschland Rohöl im Wert von 41,5 Mrd. EUR einführen. Das entspricht knapp 2 % des Bruttoinlandsprodukts. 1995 hätte Deutschland die gleiche Menge Rohöl noch für ein Drittel des Wertes beziehen können.[8]

Diese Zahlen machen deutlich: Sollte der Ölpreis auf dem heutigen Niveau verharren oder gar weiter ansteigen – und davon ist mittelfristig auszugehen – muss Deutschland seine Abhängigkeit vom Rohstoff Öl zielstrebig verringern. Andernfalls drohen weit reichende wirtschaftliche Belastungen.

Ähnlich wie beim Klimaschutz kommt auch hier dem Pkw-Sektor eine zentrale Rolle zu, denn rund ein Drittel des gesamten inländischen Mineralölverbrauchs wird nach wie vor für den Betrieb von Personenkraftwagen eingesetzt (Tabelle 2).

Tabelle 2: Mineralölverbrauch Inlandsabsatz in Deutschland (in Mio. t)

	1990	**1999**	**2006**	**1990-2006**	**1999-2006**
Ottokraftstoff	31,3	30,3	22,2	-29,1 %	-26,7 %
davon Pkw*	26,5	30,6	24,0	-9,4 %	-21,6 %
Dieselkraftstoff	21,8	28,8	28,8	+32,1 %	+/-0 %
davon Pkw*	5,0	6,7	12,1	+142,0 %	+80,6 %
Heizöl, leicht	31,8	29,6	26,4	-17,0 %	-10,8 %
Heizöl, schwer	8,5	6,9	6,3	-25,9 %	-8,7 %
Bitumen	2,9	3,6	3,0	+3,5 %	-16,7 %
Sonstige (u. a. Rohbenzin)	26,5	29,0	32,0	+20,8 %	+10,3 %
Gesamt	**122,8**	**128,2**	**118,7**	**-3,3 %**	**-7,4 %**

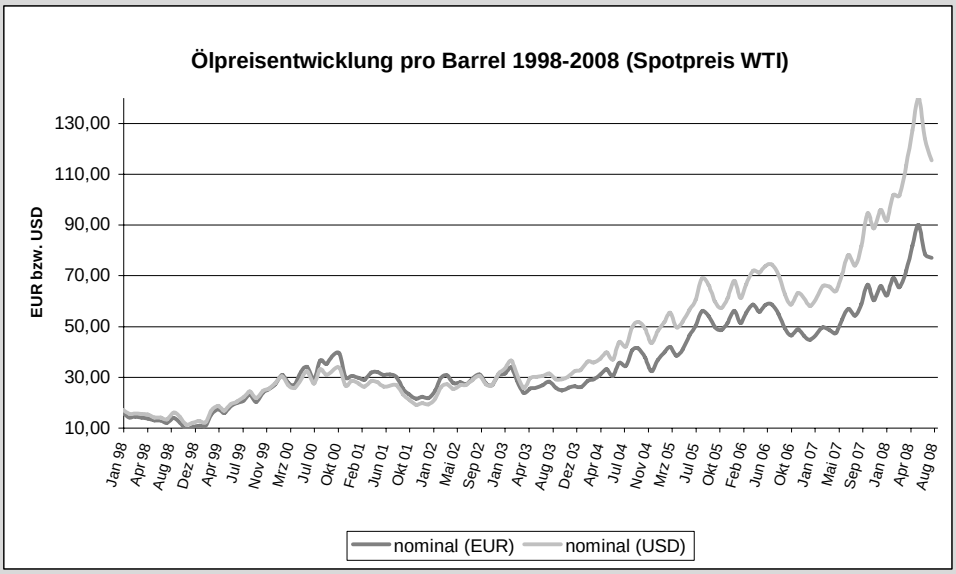
* Angaben für Pkw errechnet als Inländerfahrleistung (d. h. einschl. der Auslandsstrecken deutscher Kfz, aber ohne die Inlandsstrecken ausländischer Kfz). Insofern können die Pkw-Verbrauchswerte nur bedingt mit den Angaben MWV zum Inlandsabsatz von Mineralölprodukten verglichen werden. Vielmehr stellen sie grobe Orientierungswerte dar. Umrechnung: Diesel 1 t = 1.200 Liter, Benzin 1 t = 1.300 Liter.

Quelle: MWV, DIW, eigene Berechnungen (2008).

[7] Anteil am Primärenergieverbrauch Deutschlands in 2007: Mineralöl 33,9 %; Steinkohle 14,3 %; Braunkohle 11,6 %; Erdgas 22,5 %; Kernenergie 11 %; Erneuerbare Energie 6,7 %.

[8] Vergleich ist inflationsbereinigt.

Kasten 2: Zukünftige Entwicklung des Ölpreises.



Die Internationale Energieagentur (IEA) geht davon aus, dass der globale Erdölverbrauch von 84,7 Mio. bpd[9] (2006) auf 116,3 Mio. bpd in 2030 ansteigen wird. 81 % des erwarteten Nachfrageanstiegs stammt aus Entwicklungsländern, welche voraussichtlich in den kommenden Jahren eine höhere wirtschaftliche Wachstumsdynamik aufweisen werden als die Industrieländer. Allein Chinas Ölnachfrage wird von 2005 bis 2030 um gut 9 Mio. bpd ansteigen. Damit entfallen knapp 30 % des globalen Ölnachfrageanstiegs auf das Reich der Mitte. Haupttreiber des globalen Nachfrageanstiegs ist der Verkehrssektor, in dem knapp zwei Drittel des zusätzlich nachgefragten Erdöls verbraucht werden.[10]

Damit das Angebot mit der steigenden Nachfrage Schritt halten kann, müssen immer neue Ölvorkommen immer schneller gefunden und erschlossen werden. Berechnungen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) haben ergeben, dass 2006 bereits 37 % der bisher nachgewiesenen konventionellen Ölreserven gefördert wurden. Die Hälfte der seit Beginn der industriellen Erdölförderung gewonnenen Mengen entfällt dabei auf die letzten 23 Jahre. Um die noch verbleibenden Ölreserven zu erschließen, kommen immer kompliziertere Fördertechniken an immer abgelegeneren Orten zum Einsatz, was die Förderkosten in die Höhe treibt.[11]

Darüber hinaus sind die existierenden Ölreserven regional sehr ungleich verteilt. So verfügt der Nahe Osten über 61 % der Weltölreserven, Tendenz steigend. Die OECD-Staaten spielen mit einem Anteil von 6 % nur eine untergeordnete Rolle.

Neben dem konventionellen Erdöl existiert noch ein bedeutendes Potential an nicht-konventionellem Erdöl (z. B. Ölsande in Kanada und Venezuela), das aufgrund des gestiegenen Ölpreises inzwischen wirtschaftlich abgebaut werden kann. Die Reserven an nicht-konventionellem Erdöl belaufen sich auf etwa 41 % der Reserven an konventionellem Erdöl. Die Bedeutung des nicht-konventionellen Erdöls wird zwar nach Einschätzung der IEA sowie des BGR in den nächsten Jahren weiter zunehmen, aber bis zum Jahr 2030 einen Anteil von 5–10 % an der Gesamtölförderung nicht überschreiten. Aus klima- und energiepolitischer Sicht ist zu beachten, dass für die Förderung einer Tonne Rohöl aus unkonventionellen Quellen gegenüber der konventionellen Erdölförderung ein Vielfaches an Energie benötigt wird.

Zusammenfassend lässt sich schlussfolgern: Eine steigende globale Ölnachfrage, steigende Förderkosten sowie eine zunehmende regionale Konzentration der noch verbleibenden Ölreserven könnten den ohnehin schon hohen Ölpreis mittelfristig weiter ansteigen lassen.

---

[9] bpd = barrels per day (Fass pro Tag); 1 Barrel = 159 Liter.

[10] Vgl. IEA, World Energy Outlook 2007 (2007).

[11] Vgl. BGR, Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Rohstoffen 2006 (2006).

2.3 Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit.

Der Schutz des Klimas sowie ein hohes Maß an Versorgungssicherheit sind wichtige Ziele, welche stets um das Ziel der Verbesserung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit einer Volkswirtschaft zu ergänzen sind. Gelingt es, den für die deutsche Volkswirtschaft lebensnotwendigen Bedarf an Mobilität, zu kostengünstigeren Preisen als andere Länder zu decken, stellt dies einen klaren Wettbewerbsvorteil dar. Dieser Aspekt wird angesichts steigender Ölpreise zukünftig immer weiter an Bedeutung gewinnen.

Dem Pkw-Sektor kommt auch hier wieder eine übergeordnete Rolle zu. In Deutschland entfallen 75 % des gesamten Personenverkehrs (gemessen in Personenkilometern)[12] auf den motorisierten Individualverkehr, welcher wiederum vom Pkw-Sektor dominiert wird.[13] Der motorisierte Individualverkehr setzt sich zusammen aus: Verkehr mit motorisierten Zweirädern, Personen- und Kombikraftwagen; einschließlich Taxi- und Mietwagenverkehr.

Angesichts der großen Bedeutung der Automobilindustrie für die deutsche Wirtschaft sollte ein weiteres Ziel einer nachhaltigen Industriepolitik darin bestehen, die deutsche Automobilindustrie bei der Entwicklung einer auf steigende Ölpreise und Klimaschutz ausgerichteten Produktpalette zu unterstützen. Diejenigen Konzerne, die über die Schlüsseltechnologien für die Pkw von morgen verfügen, werden langfristig ihre Marktanteile ausbauen können.

3. Ansatzpunkte für eine Reduktion der CO_2-Emissionen und des Erdölverbrauchs im Verkehrssektor unter Berücksichtigung der Wettbewerbsfähigkeit.

Um den beiden Herausforderungen Klimawandel und Versorgungssicherheit auf ebenso effektive wie effiziente Weise gerecht zu werden, bedarf es eines konsistenten Maßnahmenbündels. Grundsätzlich sind in diesem Zusammenhang fünf sich gegenseitig ergänzende Strategien zu unterscheiden:

- Reduktion der spezifischen CO_2-Emissionen bei Einsatz konventioneller Kraftstoffe
- Einsatz alternativer Kraftstoffe und Antriebskonzepte
- Kraftstoff sparendes Fahrverhalten
- Veränderung des Modal Split
- Reduktion des Verkehrsaufkommens

---

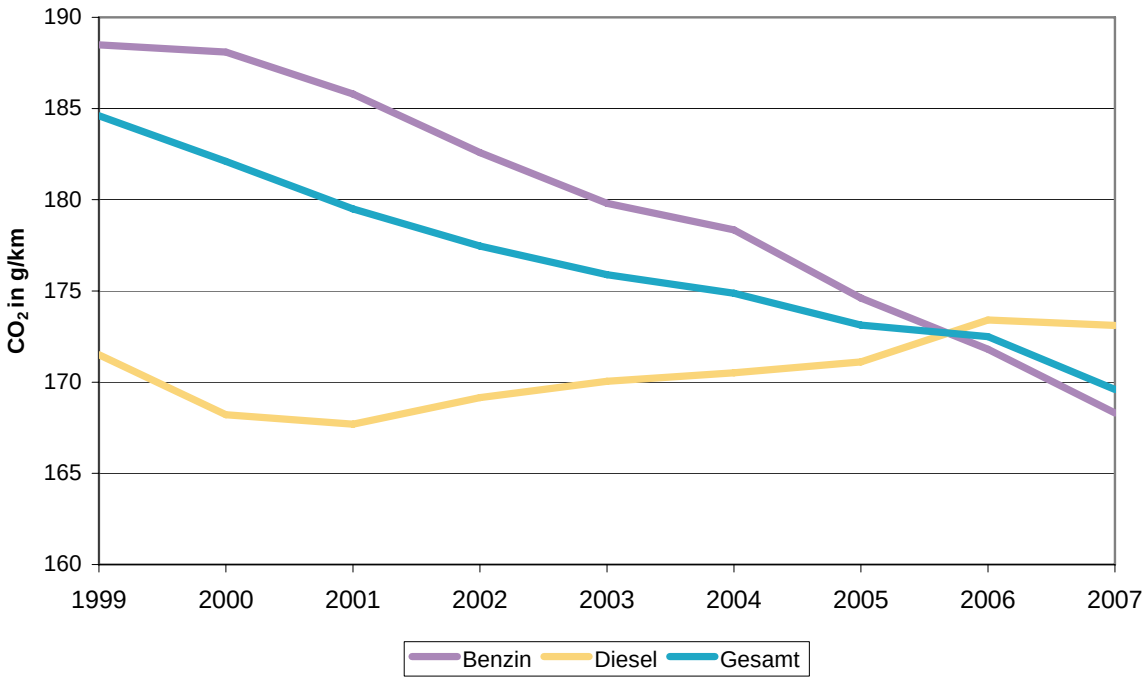
[12] Definition: Beförderte Personen multipliziert mit der von ihnen zurückgelegten Entfernung in km.

[13] Vgl. DIW, Verkehr in Zahlen 2007/2008, (2007).

3.1 Reduktion der spezifischen CO_2-Emissionen bei Einsatz konventioneller Kraftstoffe.

Bisherige Entwicklung der spezifischen CO_2-Emissionen.

Seit 1999 sind die spezifischen CO_2-Emissionen bei Pkw-Neuzulassungen von 184,6 g/km um 8,1 % auf 169,6 g/km (2007) gesunken. Interessant an dieser Entwicklung ist, dass in den vergangenen Jahren insbesondere die mit Benzin betriebenen Fahrzeuge einen starken Rückgang der spezifischen CO_2-Emissionen aufweisen (1999: 188,5 g/km; 2007: 168,3 g/km; -11 %). Im Bereich der Dieselfahrzeuge hingegen sind die spezifischen CO_2-Emissionen im gleichen Zeitraum leicht angestiegen (1999: 171,5 g/km; 2007: 173,1 g/km; +1 %). Der Grund hierfür ist die in den vergangenen Jahren stark gestiegene Nachfrage nach leistungsstarken Dieselfahrzeugen.



Quelle: KBA (2008).

Grafik 1: Entwicklung der CO_2-Emissionen neu zugelassener Pkw in Deutschland

Technische Möglichkeiten der Steigerung der Fahrzeugeffizienz und deren Kosten.

Möchte man die spezifischen CO_2-Emissionen und somit auch den spezifischen Kraftstoffverbrauch weiter senken, steht die Steigerung der Fahrzeugeffizienz an oberster Stelle. Hierzu gilt es, einerseits das Angebot für hocheffiziente Fahrzeuge durch technologische Innovationen voranzutreiben und andererseits die Nachfrage nach Kraftstoff sparenden Pkw zu stärken.

Aus technischer Sicht wird die Effizienz eines Fahrzeugs im Wesentlichen durch folgende Komponenten und Eigenschaften bestimmt: Motor, Getriebe, Masse, Form- und Oberflächengüte des Autos sowie zusätzliche Ausstattungsmerkmale für Fahrkomfort und Sicherheit.

Schon heute ist die Reduktion der spezifischen CO_2-Emissionen bis zu einem gewissen Grad ohne Verlust an Sicherheit oder Fahrkomfort technisch möglich. Jedoch sind diese CO_2-Minderungsmaßnahmen in der Regel mit Produktionsmehrkosten verbunden, die exponentiell ansteigen. So ist beispielsweise eine Reduktion der spezifischen CO_2-Emissionen um durchschnittlich 20 g/km bei einem Benziner (Diesel) mit zusätzlichen Produktionskosten von 50–100 EUR je Pkw (200–500 EUR) verbunden. Ein Absenken des CO_2-Ausstoßes um 40 g/km geht bei einem Benziner (Diesel) bereits mit Produktionsmehrkosten von 300–400 EUR (700–1.500 EUR) einher.[14]

Ausgehend von diesen Werten amortisieren sich die Mehrkosten, welche der Verbraucher für die Anschaffung eines hocheffizienten Pkw aufwenden muss, in der Regel innerhalb weniger Jahre (Tabelle 3).

Weitere Einsparmöglichkeiten bestehen für den Verbraucher über den Kauf kleinerer oder weniger stark motorisierter Pkw. Ist der Verbraucher bereit, auf einen Teil des Fahrkomforts (z. B. geringere Fahrzeuggröße, schlechtere Beschleunigungswerte) zu verzichten, lassen sich sowohl die Anschaffungskosten als auch der spätere Kraftstoffverbrauch nochmals deutlich senken.

Tabelle 3: Wirtschaftlichkeit von technischen Einsparmöglichkeiten

CO_2-Einsparung	**20 g/km**	**40 g/km**
Produktionsmehrkosten Diesel	200–500 EUR	700–1.500 EUR
Produktionsmehrkosten Benziner	50–100 EUR	300–400 EUR
Minderverbrauch Diesel [1]	0,74 Liter/100 km	1,50 Liter/100 km
Minderverbrauch Benziner [2]	0,85 Liter/100 km	1,70 Liter/100 km
Amortisation Diesel nach [3]	20.000–50.000 km	33.000–71.000 km
Amortisation Benziner nach [3]	4.000–12.000 km	13.000–17.000 km

[1] Emissionsfaktor Diesel 2,67 kg CO_2/Liter.
[2] Emissionsfaktor Benzin 2,35 kg CO_2/Liter.
[3] Kraftstoffpreis Diesel/Benzin 1,40 EUR / Liter.

Quelle: UBA (2008), eigene Berechnungen.

[14] Vgl. UBA, Technikkostenschätzung für die CO_2-Emissionsminderung bei PKW (2008).

Ansätze zur Steigerung der Marktdurchdringung hocheffizienter Pkw.

Um die Effizienz der Pkw-Neuwagen zu steigern, empfiehlt sich ein Mix aus verschiedenen Handlungsoptionen, welche sowohl auf europäischer als auch auf nationaler Ebene angesiedelt sind. Die drei wichtigsten momentan diskutierten Anknüpfungspunkte sind:

- EU-Strategie zur Begrenzung der CO_2-Emissionen von Pkw-Neuwagen auf durchschnittlich 120 g CO_2/km
- Novellierung der Pkw-Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung (Pkw-EnVKV)
- CO_2-Orientierung der Kfz-Steuer

Ergänzt werden könnte dieser Instrumentenmix durch zusätzliche finanzielle Anreize zum Kauf hocheffizienter Pkw.

EU-Strategie zur Begrenzung der CO_2-Emissionen von Pkw-Neuwagen auf durchschnittlich 120 g CO_2/km.

Der **EU-Umweltrat** hat am 28. Juni 2007 unter Deutscher Präsidentschaft seine Schlussfolgerungen zu der Strategie der EU-Kommission gefasst. Danach soll 2012 der durchschnittliche CO_2-Wert der in der EU verkauften Pkw-Neuwagen auf 120 g/km begrenzt werden. 130 g/km sollen durch fahrzeugtechnische Verbesserungen und eine weitere Senkung um 10 g/km soll durch zusätzliche Maßnahmen (u. a. Schaltwechselanzeigen, Reifendruckkontrolle, Leichtlaufreifen, Biokraftstoffe) erreicht werden.[15]

Basierend auf dem Beschluss der Umweltminister hat die **EU-Kommission** am 19. Dezember 2007 ein konkretes Konzept zur Erreichung der beschlossenen Grenzwerte vorgelegt.[16] Der Kommissionsentwurf sieht vor, dass die Erreichung des 130g-Ziels mittels einer Grenzwertkurve sichergestellt wird, welche den maximal zulässigen CO_2-Austoß eines jeden Pkw in Abhängigkeit des Fahrzeuggewichts definiert. Der Verlauf der Grenzwertkurve ist so gewählt, dass schwerere Fahrzeuge zwar mehr CO_2 emittieren dürfen als leichtere Pkw, erstere jedoch gegenüber dem heutigen Stand stärkere Emissionsminderungsanstrengungen erbringen müssen.

Jeder Automobilhersteller muss dafür Sorge tragen, dass ab 2012 der Durchschnitt der gemessenen Emissionen aller seiner Pkw, die in einem bestimmten Jahr hergestellt und neu zugelassen werden, unter der Grenzwertkurve liegt. Die Hersteller können aber auch in Zu-

[15] Vgl. Council of the European Union, Council conclusions 11483/07 (2007).

kunft Fahrzeuge bauen, deren Emissionen über der Grenzwertkurve liegen, vorausgesetzt, sie werden durch unter der Linie liegende Fahrzeuge ausgeglichen. Darüber hinaus sieht der Kommissionsvorschlag die Möglichkeit vor, dass sich einzelne Hersteller zur Erfüllung der maximal zulässigen Emissionshöchstwerte zusammenschließen (sog. Pooling). Unabhängige Hersteller, die weniger als 10.000 Fahrzeuge im Jahr verkaufen oder die keinem Pool beitreten können oder wollen, können bei der Kommission eine individuelle Zielvorgabe beantragen.

Sollte der Flottendurchschnitt eines Herstellers über den erlaubten Grenzwerten liegen, muss dieser Strafzahlungen für all jene Pkw leisten, die über der Grenzwertkurve liegen und deren CO_2-Ausstoß nicht durch emissionsarme Pkw kompensiert wurde.

Die Höhe der Strafgebühren soll zwischen 2012 und 2015 jährlich ansteigen. In 2012 muss gemäß derzeitigem Kommissionsentwurf ein Hersteller für jedes Gramm CO_2, das sein Flottendurchschnitt über der Grenzwertkurve liegt, eine Strafzahlung in Höhe von 20 EUR pro Pkw und Gramm CO_2 leisten. In 2013 soll die Strafgebühr bereits 35 EUR, in 2014 60 EUR und ab 2015 schließlich 95 EUR betragen. Die Beträge der Emissionsüberschreitungsabgabe sollen als Einnahmen für den Haushalt der EU verbucht werden.

Dem Kommissionsvorschlag müssen nun in einem nächsten Schritt das **Europäische Parlament** und der **Ministerrat** zustimmen.

Am 9. Juni 2008 verständigten sich Bundeskanzlerin Angela Merkel und der französische Präsident Nicolas Sarkozy darauf, gemeinsam für eine Modifikationen des Kommissionsentwurfs einzutreten. Die wichtigsten Änderungswünsche der beiden Länder sind:

- Die CO_2-Grenzwerte sollen ab 2012 erst schrittweise für die gesamte Fahrzeugflotte eines Herstellers gelten (z. B. Grenzwerte in 2012 für 25 % der Fahrzeugflotte verbindlich, in 2013 für 50 %, in 2014 für 75 % und 2015 schließlich für 100 %). Mit diesem sog. **„phasing in“** soll den Produktionszyklen der Fahrzeughersteller besser Rechnung getragen werden.

- Auch die Strafen bei Überschreitung der CO_2-Vorgaben sollen erst stufenweise greifen. Bei nur geringfügiger Abweichung des Flottendurchschnitts vom CO_2-Zielwert sollen sich die **Strafzahlungen** reduzieren. Erst bei einer deutlichen Abweichung sollen die Strafen in voller Höhe greifen.

[16] Vgl. KOM (2007) 856 endgültig (2007).

- Des Weiteren wird vorgeschlagen, **„Öko-Innovationen“** zukünftig mit bis zu 8 g CO_2 auf die Grenzwerte anzurechnen. Bei Öko-Innovationen handelt es sich um Maßnahmen, die zwar CO_2 vermeiden, aber im offiziellen EU-Prüfzyklus nicht erfasst sind (z. B. energieeffiziente Leuchten, Solar-Glasdächer).

Angesichts des deutsch-französischen Übereinkommens ist davon auszugehen, dass der Kommissionsvorschlag vor seiner Verabschiedung nochmals modifiziert wird. Auch erscheint es fraglich, ob die Einnahmen aus den Strafzahlungen wie von der EU-Kommission vorgeschlagen tatsächlich dem EU-Haushalt zufließen werden. Alternativ wäre denkbar, dass die Mitgliedsstaaten diese anteilig erhalten. Die Mittel könnten von den Mitgliedsstaaten für Maßnahmen zur Reduktion des Verbrauchs fossiler Brennstoffe im Verkehrssektor verwendet werden.

Novellierung der Pkw-Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung.

Während die EU-Strategie schwerpunktmäßig bei den Herstellern und damit auf der Angebotsseite ansetzt, könnte durch eine Verbesserung der Markttransparenz in Kombination mit finanziellen Anreizen die Nachfrage nach hocheffizienten Pkw angeregt werden.

Einen wichtigen Schritt zur Verbesserung der Markttransparenz stellt eine verbraucherfreundlichere und übersichtlichere Kennzeichnung des Kraftstoffverbrauchs und CO_2-Ausstoßes dar. Der Verbraucher sollte auf einen Blick erkennen können, ob es sich bei dem für einen Kauf infrage kommenden Pkw um ein effizientes oder ein weniger effizientes Modell handelt.

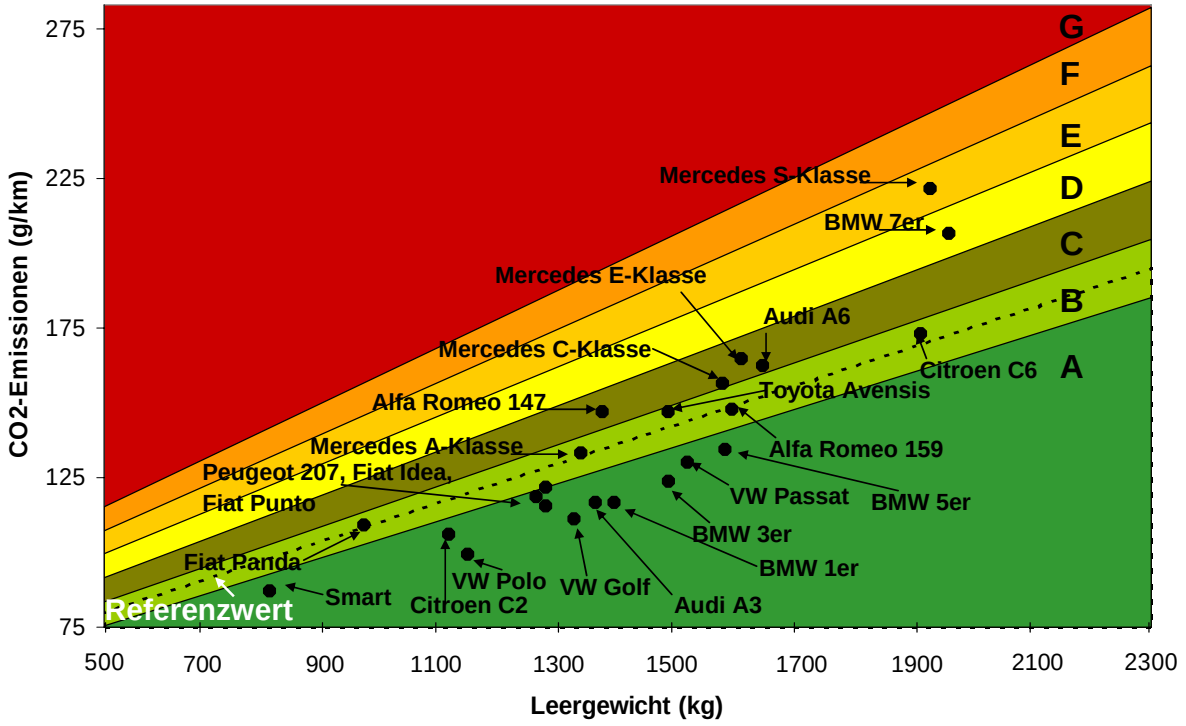
Die (Pkw-EnVKV) vom 28. Mai 2004, die die europäische Richtlinie 1999/94/EG in nationales Recht umsetzt, verpflichtet schon heute Hersteller und Handel zur gut sichtbaren Angabe des Kraftstoffverbrauchs und der spezifischen CO_2-Emissionen neuer Pkw. Allerdings erfolgt diese Angabe der Verbrauchs- und Emissionswerte bislang in rein numerischer Form.

Das bloße Ausweisen des Kraftstoffverbrauchs (in Liter/100 km) oder der CO_2-Emissionen (in g/km), losgelöst von objektiven Vergleichswerten, hat allerdings für viele Verbraucher nur eine eingeschränkte Aussagekraft. Deshalb empfiehlt es sich, dem Verbraucher die Interpretation dieser Daten mittels farbig unterlegten Effizienzklassen zu erleichtern, wie sie aus dem Bereich der Haushaltsgroßgeräte seit Jahren bekannt sind.

Das BMWi hat am 5. Dezember 2007 im Rahmen des Berichts zur Umsetzung der Meseberger-Beschlüsse einen entsprechenden Entwurf zur Novellierung der Pkw-EnVKV vorgelegt, welcher sich momentan in der Ressortabstimmung befindet. Der Entwurf sieht vor, dass jeder Pkw-Neuwagen einer von sechs Effizienzklassen A bis G zugeordnet wird (analog zu der

bereits existierenden Kennzeichnung von Haushaltsgroßgeräten). Die Einordnung eines Pkw in eine der sechs Effizienzklassen erfolgt auf Basis der spezifischen CO_2-Emissionen in Relation zum Leergewicht. Die einzelnen Effizienzklassen A bis G definieren sich entsprechend der prozentualen Abweichung vom Referenzwert (z. B. Effizienzklasse B → -4,99 % bis +5 % Abweichung vom Referenzwert).[17] Die Effizienzklasse sowie die Einordnung ausgewählter Pkw in die einzelnen Klassen können Grafik 2 entnommen werden.

Die Berücksichtigung des Leergewichts stellt sicher, dass grundsätzlich Pkw aller Fahrzeugklassen eine reelle Chance haben, die Kriterien der Effizienzklasse A in absehbarer Zeit zu erfüllen. Das ist u. a. wichtig, um den verschiedenen Anforderungsprofilen, welche die Verbraucher an die Fahrzeuge haben, gerecht zu werden.



Quelle: DAT, eigene Darstellung (Stand: Juni 2008).

Grafik 2: Effizienzklassen gemäß Novellierungsentwurf für Pkw-EnVKV des BMWi

<u>CO_2-Orientierung der Kfz-Steuer.</u>

Am 10. Juni 2008 hat sich die große Koalition darauf verständigt, dem Bund die Kfz-Steuer zum 1. Januar 2010 zu übertragen. Bisher fließen die Einnahmen den Ländern zu. Als Gegenleistung erhalten die Länder aus dem Bundeshaushalt einen jährlichen Festbetrag in Hö-

[17] Referenzwert (in g CO_2/km) = 0,064 x [Fahrzeugleergewicht] + 47,518.
Beispiel: Leergewicht von 1.500 kg → maximaler CO_2-Ausstoß 144 g CO_2/km.

he von 8,9 Mrd. EUR. Mit dem erzielten Kompromiss ist der Weg frei für eine Reform der Kfz-Steuer.

Ab 2010 könnte die Höhe der zu zahlenden Kfz-Steuer auf Basis des CO_2-Austoßes und der Schadstoffemissionen festgelegt werden. Aktuell orientiert sich diese noch am Hubraum und der Schadstoffklasse. Um die Berechnung der Kfz-Steuer für den Verbraucher möglichst transparent und gut nachvollziehbar zu gestalten, wird von der Bundesregierung die Einführung eines einheitlichen linearen CO_2-Tarifs vorgeschlagen. Besonders verbrauchsarmen Pkw könnte ein „CO_2-Freibetrag“ von beispielsweise 100 g/km gewährt werden. Das heißt, Pkw die maximal 100 g/km CO_2 emittieren, wären von der Kfz-Steuer befreit. Besonders schadstoffarme Pkw (z. B. Euro-5-Fahrzeuge) würden begünstigt. Die Kfz-Steuer auf CO_2-Basis soll nur für Neuzulassungen gelten. Für den Fahrzeugbestand wird die bisherige hubraum- und schadstoffbezogene Besteuerung fortgeführt. Damit möchte man vermeiden, dass Bürger mit niedrigerem Einkommen – die in der Regel ältere Pkw fahren – finanziell stärker belastet werden.

Die Einführung einer CO_2-basierten Kfz-Steuer stellt einen wichtigen Beitrag zur stärkeren Sensibilisierung der Verbraucher für hocheffiziente Pkw dar. Wie stark eine solche Steuerumstellung jedoch das Kaufverhalten der Konsumenten beeinflusst, hängt entscheidend von der gewählten Tarifstruktur ab.

Mögliche finanzielle Anreize für den Kauf hocheffizienter Pkw.

Sowohl die EU-Strategie zur Begrenzung der CO_2-Emissionen als auch die CO_2-Orientierung der Kfz-Steuer werden voraussichtlich erst mittelfristig ihre volle Wirkung entfalten. Um im Pkw-Sektor kurzfristig einen signifikanten Beitrag zur Reduktion der Treibhausgasemissionen und zur Steigerung der Versorgungssicherheit zu leisten, sind diese Instrumente wenig geeignet.

Bereits heute werden am Markt hocheffiziente Pkw angeboten (vgl. exemplarisch Grafik 2). Aufgrund der in der Regel höheren Anschaffungskosten und kurzfristigen Kostenabwägungen der Konsumenten, werden diese bisher unzureichend nachgefragt. Aus Daten des Kraftfahrtbundesamtes geht hervor, dass im Jahr 2007 in Deutschland lediglich 3,15 % aller Pkw-Neuzulassungen das Effizienzkriterium A gem. Pkw-EnVKV erfüllt haben.

Der Anteil privater Käufer lag bei den Pkw der Effizienzklasse A bei nur rd. 30 %. Der Rest entfiel auf gewerbliche Halter. Zum Vergleich: Der Anteil der Privaten an allen Pkw-Neuzulassungen lag in 2007 bei 38 %; jener der gewerblichen Halter bei 62 %. Diese Zahlen verdeutlichen, dass Privatpersonen beim Kauf hocheffizienter Pkw unterdurchschnittlich vertreten sind.

Um bereits kurzfristig eine Reduktion der CO_2-Emissionen im Pkw-Sektor zu erzielen, könnte die Anschaffung hocheffizienter Pkw mittels gezielter finanzieller Anreize seitens der Bundesregierung gefördert werden (z. B. zinsgünstige Darlehen). Insbesondere Verbraucher mit niedrigen Einkommen könnten somit in die Lage versetzt werden, ihre alten verbrauchsintensiven Pkw zu ersetzen.

Die Kombination aus einer steigenden Markttransparenz, hervorgerufen durch die Einführung der Pkw-EnVKV, in Verbindung mit direkt bei der Kaufentscheidung wirksam werdenden finanziellen Anreizen, stellen eine sehr effektive Instrumentenkombination zur schnellen Reduktion des Kraftstoffverbrauchs und der Entlastung der Verbraucher dar.

Angesichts der erwarteten konjunkturellen Abkühlung – Experten prognostizieren gegenwärtig für 2009 eine Halbierung des Wirtschaftswachstums – könnte die deutsche Volkswirtschaft zusätzlich von dem ausgelösten Nachfrageschub eines solchen Förderprogramms profitieren.[18]

Zwischenfazit.

Während die EU-Strategie zur Begrenzung der CO_2-Emissionen sowie die Umstellung der Kfz-Steuer erst mittelfristig ihre volle Wirkung entfalten, könnten die Novellierung der Pkw-EnVKV sowie zusätzliche finanzielle Anreize zum Kauf hocheffizienter Pkw sehr rasch umgesetzt werden. Die vier Instrumente stellen einen wirksamen und gut aufeinander abgestimmten Maßnahmenkatalog zur Steigerung der Energieeffizienz von Pkw-Neuwagen dar.

3.2 Einsatz alternativer Kraftstoffe und Antriebskonzepte.

Ergänzend zu der stetigen Verbesserung der Fahrzeugeffizienz bei Benzinern und Dieselfahrzeugen könnte durch den Einsatz alternativer Kraftstoffe und Antriebskonzepte eine weitere Reduktion des Verbrauchs der traditionellen fossilen Kraftstoffe (d. h. Diesel und Benzin) herbeigeführt werden. Die wichtigsten drei Handlungsoptionen sind:

- Biokraftstoffe
- Erdgas und Biomethan
- Elektroantrieb inkl. Wasserstoff

Im Folgenden werden diese drei Optionen unter den Gesichtpunkten Treibhausgasreduktionspotenzial, Versorgungssicherheit und Kosten näher beleuchtet.

Biokraftstoffe.

Ziel der EU-Kommission und der Bundesregierung ist es, durch einen raschen und ambitionierten Ausbau der Biokraftstoffe den CO_2-Ausstoß zu reduzieren und die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen zu senken. Doch halten diese Argumente einer kritischen Überprüfung stand?

Auf europäischer Ebene wird angestrebt, den Biokraftstoffanteil bis 2010 auf 5,75 % und bis 2020 auf 10 % zu steigern. Im Rahmen der Kabinettsklausur in Meseberg hat die Bundesregierung im Jahr 2007 beschlossen, den Anteil von Biokraftstoffen am gesamten Kraftstoffverbrauch bis zum Jahr 2020 auf 17 % zu steigern. In 2007 wurden bereits 7,6 % des deutschen Kraftstoffverbrauchs mittels Biokraftstoffen gedeckt (davon Biodiesel 73,9 %; Bioethanol 7,3 %; Pflanzenöl 18,8 %).[19]

Seit Jahresbeginn 2007 verpflichtet das Biokraftstoff-Quotengesetz die Mineralölwirtschaft, einen bestimmten Prozentsatz Biokraftstoff, bezogen auf den insgesamt von ihr vertriebenen Kraftstoff, in Verkehr zu bringen (Tabelle 4). In den ersten beiden Jahren existieren für Diesel und Ottokraftstoff getrennte Quoten. Ab 2009 wird eine ergänzende Gesamtquote eingeführt.

Tabelle 4: Biokraftstoffquoten nach dem Biokraftstoff-Quotengesetz

Jahr	Diesel-Quote	Ottokraftstoff-Quote	Gesamtquote
2007	4,4 %	1,2 %	-
2008	4,4 %	2,0 %	-
2009	4,4 %	2,8 %	6,25 %
2010	4,4 %	3,6 %	6,75 %
2011	4,4 %	3,6 %	7,00 %
2012	4,4 %	3,6 %	7,25 %
2013	4,4 %	3,6 %	7,50 %
2014	4,4 %	3,6 %	7,75 %
2015	4,4 %	3,6 %	8,00 %

Quelle: Biokraftstoff-Quotengesetz (2006).

[18] BIP-Wachstum Deutschland, real, kalenderbereinigt: 2007 2,6 %, KfW-Prognose für 2008 1,5 % und für 2009 0,6 %.

[19] Vgl. BMU, Erneuerbare Energien in Zahlen (2008).

Versorgungssicherheit.

Um die für 2010 angestrebte Biokraftstoffquote von 6,75 % mit Biokraftstoffen aus heimischem Anbau zu decken, würde eine Ackerfläche von 3 Mio. ha benötigt.[20] Deutschlands Ackerfläche insgesamt beläuft sich auf rund 12 Mio. ha.[21] Das heißt, ein Viertel des deutschen Ackerlandes müsste ausschließlich für die Produktion von Biokraftstoffen genutzt werden. Anhand dieser Zahlen wird deutlich, dass Deutschland zur Erreichung seiner ambitionierten Ausbauziele auf den Import von Biokraftstoffen bzw. entsprechender Biomasse angewiesen ist.

Weltweit konkurriert der Anbau von Energiepflanzen aufgrund alternativer Nutzungsmöglichkeiten bzw. weitgehend identischer Produktionsfaktoren direkt mit der Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln. Die Nutzungskonkurrenz kann mit dem Schlagwort „Tank oder Teller“ zusammengefasst werden. Steigt die Nachfrage nach Energiepflanzen, so erhöht sich bei unveränderter Nachfrage nach Nahrungsmitteln die Rentabilität des Anbaus von Energiepflanzen im Vergleich zu alternativen Agrarprodukten. Die Folge sind Preiserhöhungen für Agraranbauflächen und andere Produktionsfaktoren. Insofern besteht ein Zusammenhang zwischen der Preisentwicklung bei Energiepflanzen mit jener von Nahrungs- und Futtermittelpflanzen. [22]

Kosten.

Eine finanzielle Entlastung der Verbraucher, herbeigeführt durch den verstärkten Einsatz von Biokraftstoffen, ist bisher nicht zu erkennen. Das Institut für Energetik und Umwelt schätzt in einer 2007 erstellten Studie die Bereitstellungskosten für Raps-Biodiesel auf 50–75 ct/Liter Kraftstoffäquivalent. Die Bereitstellungskosten für Bioethanol aus Getreide werden auf 70–100 ct/Liter Kraftstoffäquivalent beziffert. Pflanzenöl aus Raps kostet in der Herstellung 40–60 ct/Liter.[23] Zum Vergleich: Der Dieselpreis lag in 2007 bei 51 ct/Liter (Nettopreis). Ein Liter Super Benzin kostete 47 ct/Liter (Nettopreis).

---

[20] Flächenbezogener Kraftstoffertrag: Biodiesel (Raps)/Ethanol (Getreide) 50 PJ/Mio. ha; Kraftstoffverbrauch Deutschland in 2007: 2.203 PJ; davon 6,75 %: rd. 150 PJ. Datenquellen: Institut für Energetik und Umwelt, Kosten und Ökobilanzen von Biokraftstoffen (2007); BMU, Erneuerbare Energien in Zahlen (2008).

[21] Vgl. Destatis, Statistisches Jahrbuch 2007 (2007).

[22] Vgl. SRU, Sondergutachten – Klimaschutz durch Biomasse (2007).

[23] Vgl. Institut für Energetik und Umwelt, Kosten und Ökobilanzen von Biokraftstoffen (2007).

Treibhausgasminderungspotenzial.

Im vergangenen Jahr konnten durch den Einsatz von Biokraftstoffen in Deutschland 15 Mio. t CO_2 vermieden werden. Dennoch ist der Einsatz nachwachsender Rohstoffe für die Herstellung von Biokraftstoffen unter Klimaschutzgesichtspunkten nur bedingt zielführend. Würden diese Rohstoffe zur Wärme- und Strombereitstellung in stationären Anlagen eingesetzt, könnten die CO_2-Minderungen deutlich höher ausfallen. Wird beispielsweise mit Biokraftstoffen eine durchschnittliche Treibhausgaseinsparung von 206 g CO_2e/kWh erzielt, liegt der vergleichbare Wert für Strom aus einer Biogasanlage bei 748 g CO_2e/kWh.[24]

Die energetische Nutzung von Biomasse ist allgemein als klimaneutral einzustufen, da nur das CO_2 an die Umgebung wieder abgegeben wird, welches zuvor durch das Pflanzenwachstum gebunden wurde. Die Gesamtklimabilanz der Biokraftstoffe hängt jedoch davon ab, wie energieintensiv der Anbau der Biomasse ist (z. B. Einsatz von Düngemitteln, Pflügen, Bewässerung) und wie aufwändig sich Transport und Umwandlung gestalten (Effizienz z. B. einer Bioraffinerie). Aus Tabelle 5 wird ersichtlich, dass Biokraftstoffe auch bei Berücksichtigung dieser Effekte in der Regel noch einen positiven Beitrag zum Klimaschutz leisten.

Eine besonders positive Klimabilanz weisen die so genannten Kraftstoffe der zweiten Generation (z. B. BtL) auf. Im Gegensatz zu den Kraftstoffen der ersten Generation (z. B. Bioethanol, Biodiesel, Pflanzenöl) wird bei BtL die gesamte geerntete Biomasse (z. B. Holz, Stroh) für die Kraftstoffproduktion verwendet, was einen höheren flächenbezogenen Kraftstoffertrag ermöglicht. Im Vergleich zu Kraftstoffen der ersten Generation lässt sich der flächenbezogene Kraftstoffertrag um bis zu 100 % steigern.[25] Momentan befindet sich die Technik noch in der Erprobungsphase. Mit nennenswerten Marktanteilen ist nicht vor 2020 zu rechnen. Auch liegen die Herstellungskosten für BtL-Kraftstoff mit 90–130 ct/Liter Kraftstoffäquivalent noch deutlich über jenen für Biokraftstoffe der ersten Generation.

[24] Vgl. BMU, Erneuerbare Energien in Zahlen (2008).

[25] Vgl. Institut für Energetik und Umwelt, Kosten und Ökobilanzen von Biokraftstoffen (2007).

Tabelle 5: Energiebezogene Treibhausgaseinsparung [kg CO_2e/Liter Kraftstoffäquivalent]

Kraftstoff	THG-Einsparung in kg CO_2e/Liter Kraftstoffäquivalent	THG-Einsparung im Vergleich zu fossilem Kraftstoff in Prozent[1]
BTL – Lignocellulose	2,6	84
Pflanzenöl – Raps	1,6	52
Biodiesel – Raps	1,4	45
Ethanol – Getreide	0,5–0,9	17–31

[1] Emissionsfaktor (inkl. Vorkette): Benzin 2,9 kg CO_2e/Liter; Diesel 3,1 kg CO_2e/Liter

Quelle: Institut für Energetik und Umwelt (2007); eigene Berechnungen.

Problematisch stellt sich die Klimabilanz der Biokraftstoffe dar, wenn der Anbau von Biomasse unter nicht naturschutzverträglichen und nicht nachhaltigen Bedingungen erfolgt. Die Rodung von Wäldern, die Zerstörung von Mooren und der Umbruch von Dauergrünanlagen infolge von direkter oder indirekter Landnutzungsänderung schließen im Regelfall eine positive Klimabilanz aus. Ein Beispiel hierfür ist Palmöl, das als Grundstoff zur Erzeugung von Biokraftstoffen verstärkt in tropischen Ländern gewonnen wird. Insbesondere die Rodung von Regenwäldern zu Gunsten von Palmölplantagen kann den erzielten Treibhausgaseinspareffekt des Biokraftstoffs kompensieren oder sogar ins Negative umkehren. Darüber hinaus sinkt durch die Errichtung von Monokulturen die Biodiversität.

Um sicherzustellen, dass die in Deutschland verwendeten Biokraftstoffe nachhaltig hergestellt wurden, hat die Bundesregierung im Dezember 2007 eine Nachhaltigkeitsverordnung für Biokraftstoffe (BioNachV) beschlossen. Momentan liegt der Gesetzentwurf der EU zur Notifizierung vor. Parallel erarbeitet die EU derzeit selbst Nachhaltigkeitsstandards für Biokraftstoffe.

Der Entwurf der Nachhaltigkeitsverordnung sieht vor, dass die Erzeugung der für Biokraftstoffe verwendeten Biomasse auf nachhaltig bewirtschafteten Flächen[26] erfolgen muss und die Anforderungen zum Schutz natürlicher Lebensräume[27] erfüllt werden. Des Weiteren sollen Biokraftstoffe zukünftig ein Treibhausgas-Vermeidungspotenzial von mindestens 30 % und ab dem 1. Januar 2011 von mindestens 40 % aufweisen.[28]

[26] Das heißt unter anderem keine wesentliche Verschlechterung der Wasserqualität oder Biodiversität; umweltgerechter Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln.

[27] Das heißt unter anderem kein Anbau in Gebieten mit hohem Naturschutzwert.

[28] Vgl. Entwurf Biomasse-Nachhaltigkeitsverordnung – BioNachV (2007).

Für die Überprüfung der Einhaltung der Nachhaltigkeitsstandards bedarf es eines globalen Zertifizierungssystems, welches die Klimabilanz vom Standort des Anbaus der Biomasse bis hin zur Verwendung des Bioenergieträgers lückenlos nachweist. Der Aufbau eines solchen Systems wird voraussichtlich 5–10 Jahre in Anspruch nehmen. Mangelnde staatliche Kontrolle in Verbindung mit Korruption in manchen Herkunftsländern erschweren die Umsetzung.[29]

Zwischenfazit.

Die dargestellten Zusammenhänge legen eine Überprüfung der bisherigen Biokraftstoffstrategie nahe. Die anhaltende Debatte über die Vorteilhaftigkeit des Ausbaus von Biokraftstoffen der 1. Generation – in Verbindung mit der Diskussion über die geplante Novellierung der Kraftstoffqualitätsverordnung – haben die Bundesregierung dazu veranlasst, den Ausbau der Biokraftstoffe zukünftig langsamer als geplant voran zu treiben. Unter anderem ist geplant:

- die im Biokraftstoffquotengesetz für 2009 vorgesehene Gesamtquote von 6,25 % auf 5 % zu reduzieren und
- das nationale Biokraftstoffziel von 17 % auf 12–15 % für 2020 zu senken.[29]

Erdgas und Biomethan.

Eine weitere Option zur Verringerung des Treibhausgasausstoßes sowie zur Verbesserung der Versorgungssicherheit sind Erdgasfahrzeuge. Erdgasfahrzeuge werden seit einigen Jahren von zahlreichen Herstellern serienmäßig angeboten. Die Technik gilt als ausgereift. Rund 800 der ca. 15.000 in Deutschland existierenden Tankstellen bieten inzwischen Erdgas als Kraftstoff an, Tendenz steigend. In 2007 waren über 50.000 Pkw mit Erdgasantrieb zugelassen. Das entspricht 0,1 % des gesamten deutschen Pkw-Bestands.[30]

Treibhausgasminderungspotenzial.

Erdgasfahrzeuge verursachen durchschnittlich rd. 20 % niedrigere CO_2-Emissionen als vergleichbare Benziner. Der CO_2-Ausstoß von Diesel- und Erdgasfahrzeugen ist hingegen nahezu identisch. Jedoch weisen Erdgas-Pkw gegenüber dem Diesel deutlich bessere Schadstoffwerte auf (z. B. niedrigere NOx-Werte). Hintergrundinformationen zu der Schadstoffdebatte können Kasten 2 entnommen werden.

[29] Vgl. BMU, Weiterentwicklung der Strategie zur Bioenergie (2008).

Kasten 3: EU-Richtlinie über Luftqualität und saubere Luft für Europa und Abgasnormen.

Mit der Initiative „Clean Air for Europe (CAFE)“ verfolgt die EU-Kommission das Ziel der „Erreichung einer Luftqualität, die keine erheblichen negativen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt hat“. Die von der EU berücksichtigten Luftschadstoffe (u. a. NOx, Feinstaub) sind verantwortlich für Lungenkrebs und andere Atemwegserkrankungen wie bspw. Asthma.

Im Rahmen der CAFE-Strategie stellt die, am 11. Juni 2008 in Kraft getretene, „EU-Richtlinie über Luftqualität und saubere Luft für Europa“, eine der wichtigsten Maßnahmen dar. Die neue Richtlinie fasst vier bestehende Richtlinien und eine Entscheidung des Rates zusammen, in dem sie die wesentlichen Regelungen und Emissionsgrenzwerte übernimmt. Sie legt Grenz-, Alarm-, Ziel- und Informationswerte für die Konzentration verschiedener Luftschadstoffe in der Umgebungsluft fest,

– schreibt einheitliche Methoden zur Beurteilung der Luftqualität vor,

– verlangt die Gewährleistung von Informationen über die Luftqualität für die Öffentlichkeit und

– verpflichtet zur Erhaltung guter und zur Verbesserung unzureichender Luftqualität.

Darüber hinaus legt die Richtlinie erstmals Luftqualitätsstandards für die besonders gesundheitsschädlichen kleineren Feinstäube fest.[31]

Um gezielt den Schadstoffausstoß des Straßenverkehrs zu reduzieren, werden auf europäischer Ebene die sog. Euro-Normen regelmäßig verschärft. Die Euro-Normen legen für Fahrzeuge den maximal zulässigen Schadstoffausstoß verbindlich fest (u. a. NOx, Feinstaub). Die Einhaltung der Euro-5-Norm ist für neue Pkw-Typzulassungen ab dem 1. September 2009 europaweit verbindlich vorgeschrieben. Ab dem 1. September 2014 gilt für Pkw die noch strengere Euro-6-Norm.[32]

Kosten.

Die Anschaffungskosten für Erdgasfahrzeuge liegen je nach Autotyp ca. 1.000 bis 4.000 EUR über jenen konventionell angetriebener Serienfahrzeuge. Eine Nachrüstung von Benzinfahrzeugen kostet zwischen 3.000 und 4.500 EUR. Die Wirtschaftlichkeit von Erdgasfahrzeugen ergibt sich für den Pkw-Halter vornehmlich aufgrund der deutlich niedrigeren Kraftstoffkosten (Tabelle 6). Ein wesentlicher Grund für den zu beobachtenden Kostenunterschied ist die niedrigere Besteuerung von Erdgas im Vergleich zu Benzin oder Diesel.

[30] Vgl. KBA, Statistik Fahrzeugzulassungen (2008).

[31] Vgl. Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008.

[32] Vgl. Verordnung (EG) Nr. 715/2007 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2007.

Tabelle 6: Kraftstoffpreise im Vergleich Juli 2008

	Erdgas[1]		Super Benzin		Diesel	
	Brutto	**Netto**	**Brutto**	**Netto**	**Brutto**	**Netto**
Kraftstoffäquivalent Diesel in ct/Liter[2]	74,8	47,1	-	-	149,2	78,4
Kraftstoffäquivalent Super Benzin in ct/Liter[3]	64,8	40,8	152,9	63,0	-	-

[1] Tankstellenpreis Erdgas Bundesdurchschnitt Juli 2008: 97,2 ct/kg (brutto), 61,2 ct/kg (netto).
[2] Umrechnung Erdgas in Kraftstoffäquivalente Diesel: Heizwerte Erdgas 13,16 kWh/kg, Diesel 9,86 kWh/Liter.
→ 1 kg Erdgas entspricht rd. 1,3 Liter Diesel.
[3] Umrechnung Erdgas in Kraftstoffäquivalente Benzin: Heizwerte Erdgas 13,16 kWh/kg, Super Benzin 8,77 kWh/Liter.
→ 1 kg Erdgas entspricht rd. 1,5 Liter Super Benzin.

Quelle: Trägerkreis Erdgasfahrzeuge; Mineralölwirtschaftsverband; eigene Berechnungen (2008).

Aber auch ein Vergleich der Nettopreise fällt zu Gunsten von Erdgas aus. Kostete beispielsweise im Juli 2008 ein Liter Super Benzin (Diesel) an der Zapfsäule netto 63,0 ct (78,4 ct), war die gleiche Energiemenge in Form von Erdgas für 40,8 ct (47,1 ct) zu haben. In Kraftstoffäquivalenten ausgedrückt liegt damit der Netto-Erdgaspreis rd. 40 % unter dem Netto-Diesel- und Benzinpreis. Dieser Vorteil wird allerdings durch die gegenüber modernen Benzin- und Dieselmotoren niedrigere Energieeffizienz von Erdgasfahrzeugen geschmälert. Der Kraftstoffverbrauch von Erdgasfahrzeugen (ausgedrückt in Kraftstoffäquivalenten) liegt in der Regel 5–15 % über jenem von Benzinern und 15–30 % über dem von Diesel-Pkw.

Versorgungssicherheit.

Mit Blick auf die Versorgungssicherheit ist ein verstärkter Einsatz von Erdgas kritisch zu bewerten. 1990 stammte noch ein Viertel des deutschen Erdgasverbrauchs aus inländischer Förderung. Inzwischen ist dieser Anteil auf 15 % (2006) gesunken. Gleichzeitig ist die Bedeutung von Erdgas für die deutsche Energieversorgung in den vergangenen Jahren kontinuierlich gestiegen. Wurden 1990 rund 15 % des Primärenergiebedarfs mit Erdgas gedeckt sind es inzwischen über 22 % (2007).[33] Und in Zukunft wird die Bedeutung von Erdgas insbesondere im Wärme- und Stromsektor weiter zunehmen.

Über 40 % aller deutschen Erdgasimporte stammen aus Russland. Eine Ausweitung der europäischen Erdgasförderung ist kaum mehr möglich. Vielmehr ist in den kommenden Jahren mit einem weiteren Rückgang der Gasförderung in der Nordsee zu rechnen. Vor diesem Hintergrund ist zu erwarten, dass die Abhängigkeit von russischen Erdgaslieferungen weiter zunehmen wird. Eine zusätzliche Erhöhung des heimischen Erdgasbedarfs durch einen verstärkten Einsatz von Erdgasfahrzeugen wäre in einer solchen Situation unter dem Gesichtspunkt der Versorgungssicherheit kontraproduktiv. Wollte man den gesamten inländischen

[33] Vgl. BMWi, Energiedaten (2008).

Kraftstoffverbrauch mittels Erdgas decken, würde sich Deutschlands Erdgasverbrauch verdoppeln.[34]

Biomethan.

Eine interessante Option für eine zusätzliche Verbesserung der Klimabilanz stellt Biomethan dar. Biomethan, welches durch die Aufbereitung von Biogas auf Erdgasqualität (sog. Biomethan) hergestellt wird und somit die gleiche Qualität wie Erdgas aufweist, könnte Erdgasfahrzeugen als alternativer oder ergänzender Kraftstoff dienen. Jedoch ist das Ausbaupotenzial von Biogas – ähnlich wie bei den anderen Biokraftstoffen – beschränkt. Die Bundesregierung schätzt, dass bis zum Jahr 2030 in Deutschland ein Biogaspotenzial erschlossen werden kann, das 10 % des derzeitigen deutschen Erdgasverbrauchs entspricht.[35] Die Kosten für die Bereitstellung von Biomethan (Mais) lagen im Jahr 2007 pro Liter Kraftstoffäquivalent bei 65–85 ct und damit über dem Netto-Erdgas- sowie über dem Netto-Benzinpreis.[36]

Zwischenfazit.

Erdgas kann sowohl zur Verbesserung der Klimabilanz beitragen als auch vorübergehend den Anstieg der Kraftstoffkosten dämpfen. Eine breit angelegte Umstellung der deutschen Pkw-Flotte auf erdgasbetriebene Fahrzeuge sollte wegen der damit verbundenen Risiken für die Energieversorgung Deutschlands nicht angestrebt werden. Biomethan ist eine interessante Ergänzung zur Verbesserung der Klimabilanz und Versorgungssicherheit. Jedoch ist das verfügbare heimische Potenzial nicht groß genug, um den Energieträger Erdgas auf absehbare Zeit zu ersetzen.

Elektroantrieb.

Die dritte wichtige alternative Antriebstechnologie ist der Elektroantrieb. Hierbei ist grundsätzlich zwischen vier unterschiedlichen Konzepten zu unterscheiden:[37]

1. Batteriebetriebenes Elektrofahrzeug: Das Speichern der elektrischen Energie erfolgt in einer Batterie. Das Fahrzeug wird ausschließlich mit Strom angetrieben.

---

[34] BMWi: Endenergieverbrauch Kraftstoff in 2006 2.557 PJ; Endenergieverbrauch Erdgas in 2006 2.509 PJ.

[35] Vgl. BMWi/BMU, Bericht zur Umsetzung der in der Kabinettsklausur am 23./24.08.2007 in Meseberg beschlossenen Eckpunkte für ein Integriertes Energie- und Klimaschutzprogramm (2007).

[36] Vgl. Institut für Energetik und Umwelt, Kosten und Ökobilanzen von Biokraftstoffen (2007).

[37] Vgl. Wuppertal Institut/IFEU, Elektromobilität und erneuerbare Energien (2007).

2. Hybridfahrzeug: Der Pkw wird mit einer Kombination aus Elektroantrieb und einem weiteren, in der Regel auf dem Verbrennungsmotor basierenden Kraftstoff angetrieben. Je nach Anteil der Unterstützung des Verbrennungsmotors durch einen Elektroantrieb wird zwischen verschiedenen Hybrid-Formen differenziert:

   a. Bei dem „Mild Hybrid“ läuft nur ein geringer Teil der Antriebsenergie über den elektrischen Antriebsstrang.

   b. Bei einem Voll-Hybrid-Antrieb kann der Elektromotor das Fahrzeug selbstständig antreiben.

3. Plug-In Hybrid: Hierbei handelt es sich um einen Voll-Hybrid-Antrieb, dessen Batterie über das Stromnetz (z. B. nachts in der Garage) aufgeladen werden kann.

4. Wasserstoff: Durch Elektrolyse erzeugter Wasserstoff kann über eine Brennstoffzelle zum Antrieb eines Elektromotors verwendet werden. Alternativ kann Wasserstoff auch direkt für die motorische Verbrennung genutzt werden.

Wasserstoffbetriebene Fahrzeuge befinden sich noch in der Erprobungsphase. Mit marktreifen Serienfahrzeugen ist frühestens 2020 zu rechnen. Die Hauptprobleme des Einsatzes von Wasserstoff im Pkw-Sektor sind die hohen Energieverluste über die Energiebereitstellungskette sowie die hohen Kosten für Produktion, Aufbereitung und Transport. Vor diesem Hintergrund konzentrieren sich die nachstehenden Ausführungen auf die ersten drei Antriebskonzepte für Elektrofahrzeuge, deren praktische Umsetzung zeitnah erfolgen könnte.

Bisher ist der Elektroantrieb im Pkw-Sektor kaum verbreitet. Im vergangenen Jahr waren in Deutschland 1.500 Elektroautos und weitere 17.000 Hybrid-Pkw zugelassen.[38] Zahlreiche Hersteller planen jedoch, ab 2010 Elektrofahrzeuge und Pkw mit Voll-Hybrid-Antrieb in Serie auf den Markt zu bringen. Ermöglicht haben dies Fortschritte bei der Batterietechnologie, welche zukünftig eine höhere Energie- und Leistungsdichte des Energiespeichers erlauben. Der Radius von Elektrofahrzeugen kann auf diese Weise deutlich erweitert werden. Die geplanten Fahrzeuge weisen im rein elektrischen Fahrbetrieb in der Regel eine Reichweite von bis zu 200 km auf. Soll das Fahrzeug auch für längere Fahrten genutzt werden, könnte ergänzend auf einen Verbrennungsmotor zurückgegriffen werden.

[38] Vgl. KBA, Statistik Fahrzeugzulassungen (2008).

Treibhausgasemissionen.

Fahrzeuge mit elektrischem Antrieb stoßen bei der Fahrt keine Treibhausgase und Schadstoffemissionen (z. B. Feinstaub, Stickstoffdioxid) aus und verursachen nur geringe Lärmbelastungen. Entscheidend für die Treibhausgasbilanz eines Elektrofahrzeugs ist der Energieträger, welcher für die Strombereitstellung genutzt wird. So entstehen beispielsweise bei der Stromproduktion mittels Steinkohle rund doppelt so hohe Treibhausgasemissionen wie bei dem Einsatz von Erdgas. Noch besser sieht die Klimabilanz bei regenerativ erzeugtem Strom aus.

Bleibt die Frage, wie die Klimabilanz von Elektroautos im Vergleich zu konventionell angetriebenen Pkw ausfällt. Als realistischer Wert für den Endenergiebedarf eines Mittelklassewagens im Elektrobetrieb können 15 kWh pro 100 km angesetzt werden.[39] Würde man diese Strommenge mittels eines modernen Steinkohlekraftwerks bereitstellen, beliefe sich der CO_2-Ausstoß des Elektroautos auf rund 113 g/km. [40] Zum Vergleich: Der CO_2-Ausstoß eines mit Diesel angetriebenen Golf BlueMotion liegt bei 115 g/km.

Das Elektroauto kann sich also unter Klimagesichtspunkten mit hocheffizienten Diesel-Pkw selbst dann messen, wenn der für den Antrieb dieser Fahrzeuge benötigte Strom mit modernen Steinkohlekraftwerken bereitgestellt wird.

Kosten.

Die Mehrkosten eines Elektroautos (hier: Plug-In Hybrid) gegenüber einem konventionell angetriebenen Pkw werden auf rund 10.000 EUR geschätzt.[41] Hauptkostentreiber ist die Bereitstellung hinreichend leistungsstarker Energiespeicher, die den hohen Belastungsanforderungen standhalten (d. h. regelmäßiges Be- und Entladen der Batterie bei unterschiedlichsten Temperaturverhältnissen). Mit steigenden Absatzzahlen besteht bei den Batteriesystemen allerdings noch ein deutliches Kostenreduktionspotenzial.

Den hohen Anschaffungskosten stehen sehr niedrige Betriebskosten gegenüber. Ausgehend von einem durchschnittlichen Stromtarif für private Haushalte von rd. 20 ct/kWh belaufen

---

[39] Energiebedarf ab Steckdose, also inkl. aller Lade- und Batterieverluste.

[40] Annahme: Emissionsfaktor Steinkohlekraftwerk rd. 750 g CO_2/kWh → 750 g CO_2/kWh * 0,15 kWh/km = 112,5 g CO_2/kWh.

[41] Kosten für Lithium-Ionen-Akkumulator werden von IEA auf 800–1.000 USD/kWh geschätzt. Quelle: IEA, Energy Technology Perspectives 2008 (2008).

→ (1.000 USD/kWh / 1,50 USD/EUR) * 15 kWh = 10.000 EUR.

sich die „Kraftstoffkosten“ eines Elektrofahrzeugs auf etwas über 3 EUR pro 100 km.[42] Wollte man die gleiche Strecke in einem hocheffizienten Diesel-Pkw zurücklegen, lägen die Kraftstoffkosten mehr als doppelt so hoch.[43] Trotz dieses Kostenvorteils würde sich das Elektrofahrzeug aufgrund der hohen Mehrkosten für den Verbraucher erst ab einer Fahrleistung von deutlich über 300.000 km rechnen (weitere steuerliche Aspekte z. B. Kfz-Steuer wurden bei dieser Rechnung nicht berücksichtigt).

Nach Herausrechnen der in den Preisen enthaltenen Steuern stellt sich die Rentabilität von Elektrofahrzeugen noch schlechter dar. Der Netto-Strompreis für Haushaltskunden (d. h. Erzeugung, Transport, Vertrieb) lag in 2007 bei rd. 12 ct/kWh.[44] Nimmt man diesen Preis als Indikator für die Strombereitstellungskosten, belaufen sich die Netto-„Kraftstoffkosten“ eines Elektrofahrzeugs auf 1,80 EUR pro 100 km.[45] Zum Vergleich: Mit einem hocheffizienten Diesel-Pkw würden Netto-Kraftstoffkosten in Höhe von rund 3,20 EUR anfallen.[46] Das heißt, eine Rentabilität wäre erst ab einer Fahrleistung von über 700.000 Kilometern gegeben.

Anhand dieser sehr groben Kotenabschätzungen wird eines deutlich: Sollen Elektrofahrzeuge zu einer spürbaren Reduktion der Mobilitätskosten beitragen, müssen deren Anschaffungskosten zukünftig weiter sinken.

Für eine abschließende Beurteilung der Rentabilität von Elektrofahrzeugen bedarf es selbstverständlich einer Berücksichtigung aller relevanten Faktoren. So können beispielsweise Elektrofahrzeuge einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung des Netzmanagements leisten. Durch das Aufladen der Akkumulatoren in Zeiten schwacher Stromnachfrage (z. B. nachts) könnte die Auslastung des heimischen Kraftwerksparks erhöht werden, was wiederum die Strombereitstellungskosten senkt.

Versorgungssicherheit.

Ungeachtet der momentan noch gegebenen Rentabilitätsprobleme stellen Elektrofahrzeuge eine hervorragende Möglichkeit dar, Deutschlands Abhängigkeit von Mineralölimporten zu reduzieren. Kurze und mittlere Strecken könnten zukünftig vornehmlich mit Elektrofahrzeugen zurückgelegt werden. Benziner oder Diesel würden hauptsächlich im Langstreckenbe-

---

[42] 20 ct/kWh * 15 kWh/100 km = 3 EUR/100 km.

[43] Verbrauch 4,5 Liter/100 km * Dieselpreis 1,40 EUR/Liter = 6,30 EUR/100 km.

[44] Vgl. BMU, Erneuerbare Energien in Zahlen (2008).

[45] 12 ct/kWh * 15 kWh/100 km = 1,80 EUR/100 km.

[46] Netto-Dieselpreis 70 ct/Liter * 4,5 Liter/100 km = 3,15 EUR/100 km.

reich eingesetzt, da hier Elektrofahrzeuge aufgrund der hohen Batteriekosten sowie der damit verbundenen Gewichtszunahme an ihre Grenzen stoßen.

Bei der Bereitstellung des benötigten Stroms könnte auf eine Vielzahl von Energieträgern zurückgegriffen werden (z. B. Kohle, Erneuerbare). Das ermöglicht eine optimale Diversifizierung des deutschen Energiemix.

Der zusätzliche Strombedarf ist überschaubar. Die jährliche Gesamtfahrleistung aller in Deutschland zugelassenen Pkw beläuft sich auf knapp 600 Mrd. km.[47] Wollte man davon zukünftig zwei Drittel mit Elektroautos zurücklegen, würden hierfür rd. 60 Mrd. kWh Strom benötigt.[48] Das sind nahezu 10 % der aktuellen deutschen Bruttostromerzeugung (2006: 636,5 Mrd. kWh). Mit anderen Worten: Bei ansonsten unveränderten Bedingungen müsste die deutsche Stromproduktion um 10 % erhöht werden.

Zwischenfazit.

Elektrofahrzeuge stellen eine sehr wichtige und zukunftsträchtige Option zur Verbesserung der Versorgungssicherheit dar. Die Rentabilität von Elektroautos wird sich im Zuge sinkender Batteriepreise weiter verbessern. Signifikante Treibhausgasminderungseffekte lassen sich vornehmlich durch den Einsatz erneuerbarer Energien erzielen. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass trotz der Ausbauerfolge der vergangenen Jahre noch immer lediglich 14 % (2007) des deutschen Bruttostromverbrauchs aus erneuerbaren Energien stammen. Bis 2020 möchte die Bundesregierung den Anteil der Erneuerbaren auf mindestens 30 % erhöhen.[49] Insofern erscheint es realistisch, dass eine zusätzliche Stromnachfrage, ausgelöst durch den verstärken Einsatz von Elektroautos, vornehmlich mittels Strom aus konventionellen Kraftwerken gedeckt würde.

3.3 Kraftstoff sparendes Fahrverhalten.

Kraftstoffverbrauch und Emissionen hängen nicht nur vom Fahrzeug und seiner Technik ab, sondern auch ganz entscheidend vom individuellen Fahrstil. Bis zu 25 % weniger Kraftstoffverbrauch sind durch eine intelligente Fahrweise möglich. Die Bundesregierung hat deshalb bereits 1999 das Erlernen einer Kraftstoff sparenden Fahrweise für die Führerscheinprüfung verbindlich vorgeschrieben. Mit der Gemeinschaftsaktion „Neues Fahren – clever, sicher, weiter“ möchten Politik und Wirtschaft den Autofahrern durch gezieltes Fahrertraining eine sparsamere Fahrweise vermitteln. Auf europäischer Ebene hat die EU-Kommission im

[47] Fahrleistung PKW in Deutschland in 2006: 586,3 Mrd. km (Vgl. BASt).

[48] 400 Mrd. km * 0,15 kWh/km = 60 Mrd. kWh.

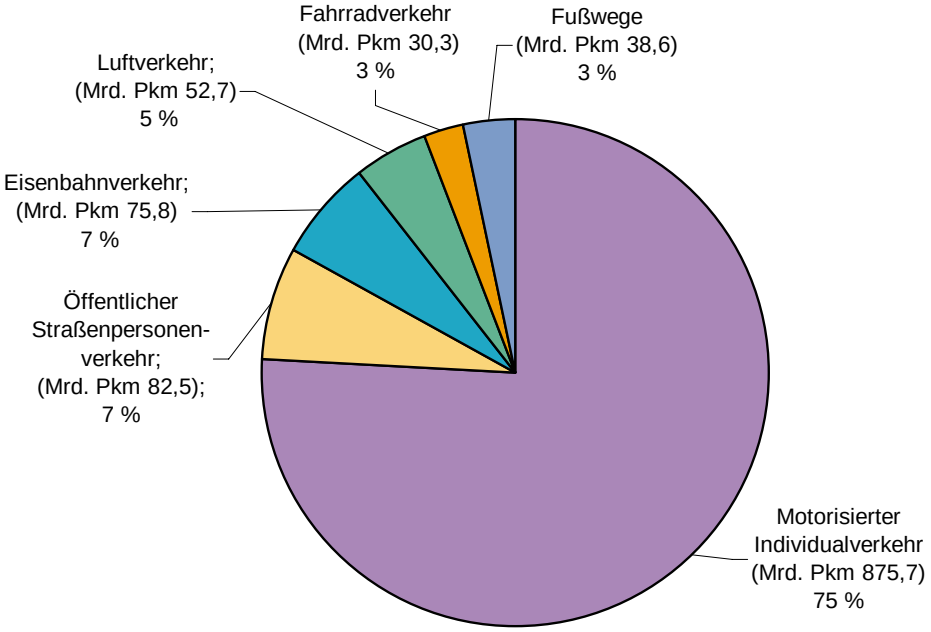
[49] Vgl. BMU, Erneuerbare Energien in Zahlen (2008).

Mai 2008 gemeinsam mit dem Europäischen Verband der Mineralölindustrie das Programm „Save more than fuel“ gestartet, welches Autofahrern in Form einer Broschüre konkrete Verhaltenshinweise zur Reduktion des Kraftstoffverbrauchs vermittelt. Das Faltblatt wird für die Autofahrer europaweit an mehr als 45.000 Tankstellen ausgelegt.

3.4 Veränderung des Modal Split.

Eine weitere wichtige Stellschraube zur Reduktion der Treibhausgasemissionen sowie der Verbesserung der Versorgungssicherheit stellt die Optimierung der Verkehrsträgerstruktur dar (sog. Modal Split).

In Deutschland entfallen 75 % des gesamten Personenverkehrs auf den motorisierten Individualverkehr. Gemessen in Personenkilometern ist der Pkw der mit Abstand wichtigste Verkehrsträger. Die Eisenbahn sowie der öffentliche Straßenpersonenverkehr (u. a. Busverkehr) kommen mit jeweils 7 % auf deutlich niedrigere Anteile (Grafik 3). Zu Fuß und mit dem Fahrrad werden 6 % aller Wege zurückgelegt.



Quelle: BMVBS (2007).

Grafik 3: Personenverkehr – Verkehrsleistung in Deutschland in 2005 (insgesamt 1.155,5 Mrd. Personenkilometer)

Gelänge es, einen Teil des Pkw-Verkehrs auf andere, emissionsärmere Verkehrsträger zu verlagern, könnten die Treibhausgasemissionen sowie der Benzin- und Dieselverbrauch deutlich gesenkt werden. Dies gilt sowohl für den Fern- als auch für den Nahverkehr.

Im Bereich des Fernverkehrs liegt der CO_2-Ausstoß eines Pkw pro Personenkilometer nahezu 5-mal so hoch wie der eines Reisebusses (Tabelle 7). Der Reisebus ist auf der Fernstrecke das effizienteste und umweltfreundlichste Verkehrsmittel. Wählt man die Bahn anstatt das Auto lässt sich die Treibhausgasbilanz um rund ein Drittel verbessern. Darüber hinaus erbringt die Bahn über 90 % ihrer Verkehrsleistung mit elektrischem Strom, was eine breitere Diversifizierung der deutschen Primärenergieträgerstruktur erlaubt und so die Versorgungssicherheit zusätzlich steigert.[50] Lediglich das Flugzeug weist eine schlechtere Treibhausgasbilanz auf als der Pkw.

Im Nahverkehr lässt sich durch die Nutzung der Eisenbahn gegenüber dem Pkw eine um 30 % günstigere Treibhausbilanz realisieren. Durch den verstärkten Einsatz von Linienbussen und Straßenbahnen können die CO_2-Emissionen pro Personenkilometer sogar halbiert werden. Noch bessere Resultate lassen sich durch die Stärkung des Fahrrad- und Fußgängerverkehrs erzielen. In diesem Fall werden weder Treibhausgase ausgestoßen noch fossile Brennstoffe verbraucht.

Tabelle 7: Vergleich der einzelnen Verkehrsträger (Bezugsjahr: 2005)

	CO_2-Ausstoß in Gramm/Personen-km[1]	**Verbrauch Benzinäquivalente in Liter/100 Personen-km**	**Auslastung**
Pkw	144	6,2	1,5 Personen/Pkw
Reisebus	32	1,4	60 %
Eisenbahn Fernverkehr	52	2,7	44 %
Flugzeug[2]	369	5,8	73 %
Linienbus	75	3,3	21 %
Metro/Straßenbahn	72	3,9	20 %
Eisenbahn Nahverkehr	95	4,8	21 %

[1] Emissionen zur Erzeugung der Energieträger (Strom, Kerosin, Diesel, Benzin) sind berücksichtigt.
[2] Unter Berücksichtigung aller klimawirksamen Effekte des Flugverkehrs (Annahme: Radiative Forcing Index 2,7).

Quelle: Umweltbundesamt (2008).

So beeindruckend diese Zahlen auch sind, sollte beachtet werden, dass nicht auf allen Strecken auf die genannten Alternativen zurückgegriffen werden kann. Insbesondere in ländlichen Regionen, sind die Menschen häufig auf das Auto angewiesen. Der öffentliche Perso-

[50] Deutsche Bahn AG, Mobilität sichern – Klima schützen (2008).

nennahverkehr (ÖPNV) stößt hier sowohl ökologisch als auch ökonomisch an seine Grenzen. Dem Verkehrsträger Pkw wird deshalb auch in Zukunft eine wichtige Rolle zur Befriedigung der Mobilitätsbedürfnisse zukommen. Es gilt folglich, den optimalen Mix der Verkehrsträger zu finden. Und hier bieten die Alternativen zum Auto noch ein deutliches Potenzial, welches es systematisch zu erschließen gilt.

Die Hälfte aller mit dem Pkw zurückgelegten Wege ist kürzer als sechs Kilometer.[51] Ein Großteil dieser Strecken könnte problemlos mit dem Fahrrad oder zu Fuß zurückgelegt werden. Realisieren ließe sich dies, durch eine weitere Verbesserung der Infrastruktur für den Rad- und Fußverkehr.

Parallel gilt es, die Attraktivität des ÖPNV weiter zu steigern. In größeren Städten sollten Stadt- und Straßenbahnen sowie Busse alle wichtigen Achsen in einem dichten Takt (z. B. alle 5 Minuten) verbinden. Die Reisegeschwindigkeit und Pünktlichkeit ließe sich mittels Vorrangschaltungen und Busspuren erhöhen. Durch den Einsatz von sauberen, modernen sowie alten- und kindergerechten Fahrzeugen würde die Fahrt so angenehm wie möglich gestaltet. Die einzelnen Verkehrsträger sind optimal aufeinander abzustimmen (z. B. Park & Ride, Mitnahme von Fahrrädern im ÖPNV problemlos möglich). Wohngebiete ließen sich mit kleineren Quartierbussen erschließen. Für die Verbindung von Stadt und Region könnten verstärkt schnelle, effiziente Leichttriebwagen zum Einsatz kommen.

Im Bereich des Fernverkehrs sollte das Hochgeschwindigkeitsnetz der Bahn weiter ausgebaut werden und so für noch mehr Destinationen eine attraktive Alternative zum Pkw und dem Flugzeug darstellen.

3.5 Reduktion des Verkehraufkommens.

Der fünfte und letzte Anknüpfungspunkt ist die Reduktion des Verkehrsaufkommens insgesamt. Nahezu die Hälfte des gesamten Verkehrsaufkommens entfällt auf den Berufs-, Ausbildungs-, Freizeit- und Einkaufsverkehr (Grafik 4).

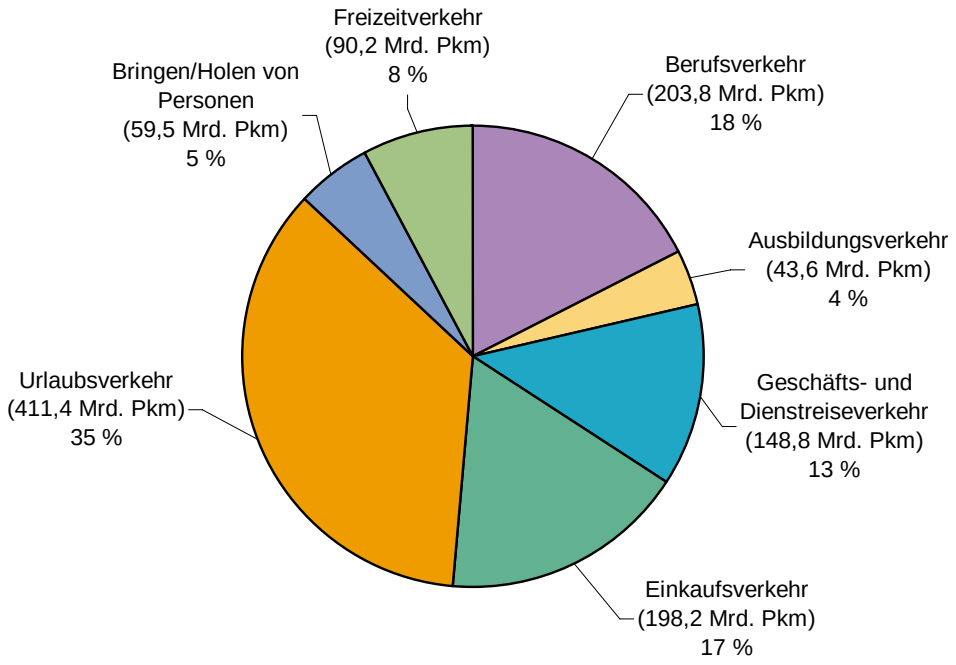
Ziel einer nachhaltigen Raum- und Siedlungsentwicklung sollte es deshalb sein, die Wege des alltäglichen Bedarfs so weit wie möglich zu verkürzen. Erreicht werden kann dies durch die Schaffung einer räumlichen Nähe zwischen Arbeit, Freizeit, Wohnen und Einkauf.

Die Attraktivität des städtischen Wohnens mit den damit verbundenen kompakten Siedlungsstrukturen ist zu stärken. Beispiele hierfür sind die Schaffung von ausreichend günstigem städtischem Wohnraum und städtischen Naherholungsgebieten. Junge Familien könnten

[51] Vgl. INFAS/DIW, Mobilität in Deutschland 2002 (2002).

durch die Bereitstellung einer umfassenden Kinderbetreuung und einer guten schulischen Infrastruktur gezielt angesprochen werden und von peripheren Siedlungsgebieten zurück in die Stadt geholt werden.

Innerhalb der Wohngebiete sollten Möglichkeiten geschaffen werden, die Einkäufe für den täglichen Bedarf zu tätigen (z. B. kleiner Quartiersupermarkt). Große Einkaufszentren sind anstatt auf der „grünen Wiese“ wieder verstärkt in den Städten anzusiedeln. Das Gleiche gilt für Unternehmensstandorte (ausgenommen Schwerindustrie etc.).



Quelle: BMVBS (2007).

Grafik 4: Personenverkehr – Verkehrsarten in 2005 (insgesamt 1.155,5 Mrd. Personenkilometer)

Die zweite wichtige Verkehrsquelle sind Urlaubsreisen. Auf sie sind 35 % des gesamten Personenverkehrsaufkommens zurückzuführen. Eine Reduktion des Urlaubsverkehrs könnte durch eine gesteigerte Attraktivität regionaler Urlaubsangebote erreicht werden. Jedoch ist in den vergangenen Jahren ein Trend zu mehr und dafür kürzeren Urlauben zu beobachten, sodass sich das erschließbare Reduktionspotenzial auf absehbare Zeit in Grenzen halten dürfte.

Geschäfts- und Dienstreisen sind die dritte wichtige Ursache für das Entstehen von Personenverkehr. In einer zunehmend arbeitsteiligen Welt mit globalen Güterströmen, ist auch in Zukunft die Notwendigkeit für Geschäfts- und Dienstreisen gegeben. Moderne Telekommunikationsinstrumente (z. B. Videokonferenz) können das persönliche Gespräch zwischen Geschäftspartnern sinnvoll ergänzen und so einen Teil der Dienst- und Geschäftsreisen überflüssig machen.

4. Schlussfolgerungen.

Der Pkw-Sektor befindet sich momentan an einem strategischen Scheidepunkt. Der voranschreitende Klimawandel, rasant gestiegene Ölpreise und die Sicherung deutscher Arbeitsplätze sind die zentralen Herausforderungen, auf die es seitens der Entscheidungsträger Antworten zu finden gilt. Hierzu bedarf es einer Nachhaltigkeitsstrategie für das Automobil.

In der vorliegenden Analyse wurden die fünf wichtigsten Eckpunkte einer solchen Strategie identifiziert. Diese sind:

- Reduktion der spezifischen CO_2-Emissionen
- Einsatz alternativer Kraftstoffe und Antriebskonzepte
- Kraftstoff sparendes Fahrverhalten
- Veränderung des Modal Split
- Reduktion des Verkehrsaufkommens

Die rasche und entschlossene **Reduktion der spezifischen CO_2-Emissionen** des Pkw-Verkehrs ist von zentraler Bedeutung. Bereits heute werden am Markt hocheffiziente Pkw angeboten. Aufgrund der in der Regel höheren Anschaffungskosten und kurzfristigen Kostenabwägungen der Konsumenten, werden diese jedoch bisher unzureichend nachgefragt.

Die Einführung einer CO_2-basierten Kfz-Steuer könnte die Nachfrage nach hocheffizienten Pkw stärken. Mit einer Umstellung der Kfz-Steuer ist aber nicht vor 2010 zu rechnen. Flankiert werden könnte die Strategie auf europäischer Ebene mit den EU-Plänen zur Begrenzung des CO_2-Ausstoßes von Pkw-Neuwagen auf durchschnittlich 120 g/km. Erreicht werden soll dieses Ziel im Wesentlichen durch Strafzahlungen für weniger effiziente Pkw. Die Höhe der Strafzahlungen ist zeitlich gestaffelt. Es ist deshalb zu erwarten, dass auch die EU-Strategie erst in einigen Jahren ihre volle Wirkung entfalten wird.

Durch das Setzen gezielter finanzieller Anreize durch die Bundesregierung für den Kauf hocheffizienter Pkw könnten hingegen sehr schnell deutliche Emissionsminderungen erzielt werden. Insbesondere Verbraucher mit niedrigen Einkommen würden in die Lage versetzt, ihre alten verbrauchsintensiven Pkw zu ersetzen.

Die Novellierung der Pkw-Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung, welche ebenfalls zeitnah umgesetzt werden könnte, stellt einen wichtigen ergänzenden Schritt zur Verbesserung der Markttransparenz dar. Durch die Einführung von Effizienzklassen, wie sie den

Verbrauchern bereits aus dem Bereich der Haushaltsgeräte seit Jahren vertraut sind, könnte der Käufer eines Neuwagens zukünftig sofort erkennen, ob es sich bei einem bestimmten Pkw um ein effizientes oder weniger effizientes Modell handelt.

Parallel zu der stetigen Verbesserung der Fahrzeugeffizienz bei Benzinern und Dieselfahrzeugen sollte durch den **Einsatz alternativer Kraftstoffe und Antriebskonzepte** eine zusätzliche Reduktion des Diesel- und Benzinverbrauchs gezielt herbeigeführt werden.

Insbesondere Elektrofahrzeuge (z. B. Plug-In Hybrid) könnten in den nächsten Jahren einen wachsenden Beitrag zur Steigerung der Versorgungssicherheit und der Verbesserung der deutschen Klimabilanz leisten. Aufgrund der hohen Anschaffungskosten lassen sich durch den Einsatz von Elektrofahrzeugen im Vergleich zu konventionell angetriebenen Pkw jedoch momentan noch keine Kostenvorteile erzielen. Mit steigenden Absatzzahlen können bei Elektrofahrzeugen allerdings deutliche Kostenreduktionspotenziale erschlossen werden. Sobald dies gelingt, ist Elektrofahrzeugen insbesondere im Kurz- und Mittelstreckenbereich der Vorzug ggü. konventionellen Pkw zu geben.

Im Langstreckenbereich dominieren voraussichtlich noch auf absehbare Zeit Dieselfahrzeuge und Benziner (ggf. als Hybrid) den Pkw-Sektor. Wasserstoffbetriebene Fahrzeuge, welche hier als Alternative zum Einsatz kommen könnten, befinden sich noch in der Erprobungsphase. Mit marktreifen Serienfahrzeugen ist frühestens 2020 zu rechnen.

Die Nutzungspotenziale von Biokraftstoffen und Erdgasfahrzeugen (inkl. Biomethan) werden im Vergleich zu Elektrofahrzeugen zurückhaltender bewertet. Haupthindernisse für einen raschen und intensiven Ausbau der Biokraftstoffnutzung sind die begrenzten Biomasseanbauflächen, die damit verbundene Nutzungskonkurrenz mit der Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln sowie die teilweise negative Klimabilanz. Eine finanzielle Entlastung der Verbraucher ist durch den verstärkten Einsatz von Biokraftstoffen nicht zu erwarten. Biokraftstoffe der zweiten Generation werden vor 2020 voraussichtlich keine nennenswerten Marktanteile erzielen. Die genannten Argumente legen es nahe, den Ausbau der Biokraftstoffe zukünftig langsamer als bisher geplant voran zu treiben.

Erdgasfahrzeuge verursachen in der Regel niedrigere CO_2-Emissionen als Pkw mit konventionellem Antrieb. Auch liegen die Kraftstoffkosten von Erdgasfahrzeugen deutlich unter jenen von konventionellen Pkw. Allerdings ist ein verstärkter Einsatz von Erdgasfahrzeugen unter dem Gesichtspunkt der Versorgungssicherheit kritisch zu bewerten. Biomethan, welches durch die Aufbereitung von Biogas auf Erdgasqualität hergestellt wird und somit die gleiche Qualität wie Erdgas aufweist, ist aufgrund des begrenzten Ausbaupotenzials, der

höheren Kosten und konkurrierender Nutzungsmöglichkeiten keine tragfähige Alternative für den Massenmarkt.

Kraftstoffverbrauch und Emissionen hängen aber nicht nur vom Fahrzeug und seiner Technik ab, sondern auch ganz entscheidend vom individuellen Fahrstil. Vor diesem Hintergrund sollte das Wissen über die Möglichkeiten einer **Kraftstoff sparenden Fahrweise** möglichst vielen Autofahrern zugänglich gemacht werden.

Eine weitere wichtige Stellschraube zur Reduktion der Treibhausgasemissionen sowie der Verbesserung der Versorgungssicherheit stellt die **Optimierung der Verkehrsträgerstruktur** dar (sog. Modal Split). Ziel sollte es sein, einen Teil des Pkw-Verkehrs auf andere, emissionsärmere Verkehrsträger zu verlagern. Zu diesem Zweck sollte die Infrastruktur für den Rad- und Fußverkehr weiter verbessert werden. Parallel gilt es, die Attraktivität des ÖPNV weiter zu steigern. Im Bereich des Fernverkehrs sollte das Hochgeschwindigkeitsnetz der Bahn konsequent ausgebaut werden und so für noch mehr Destinationen eine attraktive Alternative zum Pkw und dem Flugzeug darstellen.

Der fünfte und letzte Anknüpfungspunkt ist die **Reduktion des Verkehrsaufkommens** insgesamt. Erreicht werden könnte dies mit einer nachhaltigen Raum- und Siedlungsentwicklung, die eine kompakte Siedlungsstruktur mit kurzen Wegen zwischen Arbeit, Freizeit, Wohnen und Einkauf unterstützt. Die verbesserte Attraktivität regionaler Urlaubsangebote könnte in begrenztem Umfang den Reiseverkehr reduzieren. Geschäfts- und Dienstreisen könnten teilweise durch die Nutzung moderner Kommunikationsmittel überflüssig gemacht werden.

Als Fazit der Analyse lässt sich ziehen, dass es für eine Nachhaltigkeitsstrategie im Pkw-Sektor eines integrierten Gesamtkonzeptes bedarf, das sich nicht allein auf die damit erreichbaren Klimaschutzzielen stützen kann. Erst in einer systemischen Betrachtung unter Berücksichtigung konkurrierender energiepolitischer Ziele, insbesondere der Versorgungssicherheit und Wettbewerbsfähigkeit, ist eine in sich konsistente Ausrichtung der Rahmenbedingungen für eine nachhaltige Entwicklung des Pkw-Sektors erreichbar.

Autor: Max Wirsching (069) 7431-9476

Literatur.

BGR, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2006), Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Rohstoffen 2006, Hannover.

BMU, Bundesministerium für Umwelt (2008), Erneuerbare Energien in Zahlen, Berlin.

BMU, Bundesministerium für Umwelt (2008), Weiterentwicklung der Strategie zur Bioenergie, Berlin.

BMWi, Bundesministerium für Wirtschaft / BMU, Bundesministerium für Umwelt (2007), Bericht zur Umsetzung der in der Kabinettsklausur am 23./24.08.2007 in Meseberg beschlossenen Eckpunkte für ein Integriertes Energie- und Klimaschutzprogramm, Berlin.

BMWi, Bundesministerium für Wirtschaft (2008), Energiedaten, Berlin.

Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (2007), Entwurf einer Biomasse-Nachhaltigkeitsverordnung – BioNachV, Berlin.

Council of the European Union (2007), Council Conclusions 11483/07, Brüssel.

Council of the European Union (2007), Presidency Conclusions, Brüssel.

DAT, Deutsche Automobil Treuhand GmbH (2008), Leitfaden zu Kraftstoffverbrauch und CO_2-Emissionen, Ausgabe 3. Quartal 2008, Ostfildern.

Destatis, Statistisches Bundesamt Deutschland (2007), Statistisches Jahrbuch 2007, Wiesbaden.

Deutsche Bahn AG (2008), Mobilität sichern – Klima schützen, Berlin.

DIW, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (2007), Verkehr in Zahlen 2007/2008, Berlin.

Europäisches Parlament und Europäischer Rat (2008), Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa, Straßburg.

Europäisches Parlament und Europäischer Rat (2007), Verordnung (EG) Nr. 715/2007 des Europäsichen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2007 über die Typgenehmi-

gung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrezugen, Straßburg.

IEA, International Energy Agency (2007), World Energy Outlook 2007, Paris.

IEA, International Energy Agency (2008), Energy Technology Perspectives 2008, Paris.

INFAS, Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH / DIW, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (2002), Mobilität in Deutschland 2002, Berlin/Bonn.

Institut für Energetik und Umwelt (2007), Kosten und Ökobilanzen von Biokraftstoffen, Leipzig.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2007), Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Paris.

KBA, Kraftfahrt-Bundesamt (2008), Statistik Fahrzeugzulassungen, Flensburg.

KOM, Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2007), Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Festsetzung von Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen im Rahmen des Gesamtkonzepts der Gemeinschaft zur Verringerung der CO_2-Emissionen von Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen, 856 endgültig, Brüssel.

SRU, Sachverständigenrat für Umweltfragen (2007), Sondergutachten – Klimaschutz durch Biomasse, Berlin.

TNO, Niederländische Organisation für Angewandte Naturwissenschaftliche Forschung (2006), Review and analysis of the reduction potential and costs of technological and other measures to reduce CO_2-emissions from passenger cars, Delft.

UBA, Umweltbundesamt (2008), Technikkostenabschätzung für die CO_2-Emissionsminderung bei Pkw, Dessau.

VDA, Verband der Automobilindustrie (2007), Auto Jahresbericht 2007, Frankfurt am Main.

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH / IFEU Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (2007), Elektromobilität und erneuerbare Energien, Heidelberg/Wuppertal.