

# **Strategien zur Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehrssektor**

Prof. Dr. Axel Ahrens, Dresden  
Prof. Dr. Herbert Baum, Köln (Vorsitzender)  
Prof. Dr. Klaus Beckmann, Berlin  
Prof. Dr. Werner Brilon, Bochum  
Prof. Dr. Alexander Eisenkopf, Friedrichshafen  
Prof. Dr. Hartmut Fricke, Dresden  
Prof. Dr. Ingrid Göpfert, Marburg  
Prof. Dr. Christian von Hirschhausen, Dresden  
Prof. Dr. Günther Knieps, Freiburg  
Prof. Dr. Stefan Oeter, Hamburg  
Prof. Dr. Franz-Josef Radermacher, Ulm  
Prof. Dr. Werner Rothengatter, Karlsruhe  
Prof. Dr. Volker Schindler, Berlin  
Prof. Dr. Jürgen Siegmann, Berlin  
Prof. Dr. Bernhard Schlag, Dresden  
Prof. Dr. Wolfgang Stölzle, St. Gallen

**Mai 2008**

# Inhaltsverzeichnis

Kurzzusammenfassung.....	4
Wesentliche Ergebnisse.....	5
1 Einleitung: CO <sub>2</sub> -Emissionen und Klimawandel.....	11
2 Beitrag des Verkehrs zur Klimaproblematik.....	14
2.1 Weltweit.....	14
2.2 Europäische Union.....	14
2.3 Deutschland .....	15
3 Die internationale Dimension.....	15
4 Die nationale Dimension: Verkehrssektorspezifische Optionen für eine CO <sub>2</sub> -Reduktion.....	19
4.1 Straßenverkehr .....	19
4.1.1 Ausgangslage.....	19
4.1.2 Spezifische Vermeidungsinstrumente .....	20
4.1.2.1 Potenziale bei leichten Fahrzeugen.....	20
4.1.2.2 Potenziale bei schweren Fahrzeugen .....	21
4.1.2.3 Moderne Fahrzeugtechnik zur Verbrauchssenkung.....	22
4.1.2.4 Alternative Kraftstoffe .....	23
4.1.2.5 Preisliche Ansätze zur Beeinflussung der Nachfrage nach Kraftstoffen .....	25
4.1.2.6 Emissionshandel für den Straßenverkehr .....	26
4.1.2.7 Ordnungsrechtliche Instrumente.....	27
4.1.2.8 Forschungsförderung .....	28
4.1.2.9 Transparenzerhöhung, Informationskampagnen und Verlässlichkeit.....	28
4.1.3 Bewertung .....	29
4.2 Luftverkehr .....	31
4.2.1 Ausgangslage.....	31
4.2.2 Wirtschaftliche Betrachtungen .....	34
4.2.3 Spezifische Vermeidungsinstrumente .....	34
4.2.3.1 Preisliche Ansätze:.....	34
4.2.3.2 Emissionshandel .....	35
4.2.3.3 Logistisches Optimierungspotenzial / Single European Sky .....	36
4.2.4 Bewertung .....	37
4.3 Schiffsverkehr.....	37
4.3.1 Ausgangslage.....	37
4.3.2 Spezifische Vermeidungsinstrumente .....	39
4.3.2.1 Preisliche Ansätze.....	39
4.3.2.2 Emissionshandel .....	39

4.3.2.3	Technische Vorgaben und Forschungsförderung .....	39
4.3.3	Bewertung .....	40
4.4	Bahnverkehr.....	40
4.4.1	Ausgangslage.....	40
4.4.2	Spezifische Vermeidungsinstrumente .....	41
4.4.2.1	Liberalisierung und Marktöffnung.....	42
4.4.2.2	Interoperabilität stärken .....	42
4.4.2.3	Weitere Elektrifizierungen.....	42
4.4.2.4	Preisliche Anreize .....	42
4.4.2.5	Forschungsförderung .....	42
4.4.3	Bewertung .....	43
5	Raumstrukturelle Beiträge zu einer CO <sub>2</sub> -Reduktion .....	45
6	Änderung des Verhaltens .....	48

## Kurzzusammenfassung

- Der Verkehrssektor ist mit einem Anteil von ca. 25 % in Europa und ca. 20 % in Deutschland einer der Hauptemittenten von CO<sub>2</sub>. Für die Zukunft wird ein weiterer Anstieg der verkehrsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen erwartet, dessen wesentliche Treiber das Wachstum im Luftverkehr, im internationalen Schiffsverkehr sowie im Straßengüterverkehr sein werden.
- Im Hinblick auf langfristige Zielsetzungen sowie kurzfristige Handlungserfordernisse im Klimaschutz empfiehlt der Wissenschaftliche Beirat eine Doppelstrategie: Auf der einen Seite sollten die internationalen Anstrengungen im Rahmen der Post-Kyoto-Strategie verstärkt werden, um auf die Etablierung eines internationalen, sektorübergreifenden Emissionshandelssystems (ETS) hinzuwirken. Auf der anderen Seite sind spezifische Instrumente zu nutzen, die bereits kurz- und mittelfristig zur Dämpfung der Emissionen des Verkehrssektors beitragen können.
- Die avisierte Umstellung der Kfz-Steuer auf die Bemessung nach Treibstoffverbrauch birgt ebenso wie die europäische Grenzwertsetzung für Pkw-Emissionen Gefahren für Fehlanreize. Befürwortet wird für den Straßenverkehr hingegen die europaweite Harmonisierung der Steuern und Abgaben auf Mineralölprodukte auf hohem Niveau sowie die Angleichung von Benzin- und Dieselbesteuerung.
- Im Straßengüterverkehr wird eine Ausdehnung der Mauterhebung unter maßgeblicher Berücksichtigung der Fahrzeugmasse empfohlen.
- Die Substitution von fossilem Kohlenstoff durch Biokraftstoffe der 2. Generation ist prinzipiell sinnvoll, allerdings ist eine Überprüfung der aktuellen Einführungsstrategie unter Beachtung der mit der Produktion einhergehenden ökologischen, ökonomischen und sozialen Probleme unerlässlich.
- Die Umsetzung der Pläne zur Integration des Luftverkehrs in das europäische ETS sollte vorangetrieben werden, wobei auf die Einbeziehung internationaler Flüge nicht verzichtet werden darf. Weiterhin wird eine konsequentere Umsetzung des Single European Sky (SES) empfohlen, da signifikante CO<sub>2</sub>-Einsparungen durch eine bessere Luftraumkoordination erwartet werden.
- Auch für den internationalen Schiffsverkehr wird die kurzfristige Einbeziehung in das ETS empfohlen.
- Bodenrechtliche, raum- und stadtplanerische Instrumente sowie die Infrastrukturbereitstellung sind verstärkt unter dem Aspekt der Verminderung von Verkehrsaufkommen und -leistung sowie Verlagerung auf umweltverträgliche Verkehrsmittel einzusetzen.
- Unterstützend zu technischen und preislichen Maßnahmen sollten Verhaltensänderungen motiviert werden, die das derzeit hohe Problembewusstsein der Gesellschaft nutzen. Für deren Erfolg ist die Verlässlichkeit umweltpolitischer Ziele und Programme entscheidend.

## Wesentliche Ergebnisse

1. Der Klimawandel ist eine der größten Herausforderungen für die Zukunft der Menschheit. Der G8-Gipfel in Heiligendamm hat die Bereitschaft der führenden Weltnationen unterstrichen, Maßnahmen zur CO<sub>2</sub>-Reduktion zu ergreifen und dafür feste Zielvorgaben ins Auge zu fassen. Die EU-Kommission hat das Reduktionsziel gegenüber 1990 mit 50 % bis 2050 und 20 – 30 % bis 2020 (je nach Bereitschaft anderer Länder, sich zu beteiligen) festgelegt. Die Bundesregierung ist sogar um zusätzliche 10 % über diese Zielankündigungen hinausgegangen. Dies verlangt starke Anstrengungen in allen Sektoren. Es stellt sich die Frage, in welchem Umfang der Verkehrssektor hierbei einbezogen werden kann und muss, und welche Maßnahmen sich hierzu anbieten. Auch im Verkehrssektor sind kostengünstig zu realisierende Vermeidungspotenziale vorhanden, jedoch in geringerem Umfang als in anderen Sektoren der Volkswirtschaft. Aus ökonomischer Sicht ist eine Differenzierung der Reduktionsziele nach Verursachern, orientiert an der Höhe der Vermeidungskosten, anzuraten.

2. Das Klimaproblem hat globale Ursachen und ihm kann auf lange Sicht folglich nur mit international abgestimmten Maßnahmen begegnet werden. Hierzu bieten sich drei Maßnahmentypen an: Erstens Grenzwertfestsetzungen für Emissionen und deren Umsetzung durch gesetzliche Regelungen (Administration), zweitens weltweit abgestimmte Karbonsteuern (Besteuerung) oder drittens weltweiter Handel mit CO<sub>2</sub>-Emissionszertifikaten. Der Emissionshandel hat dabei den besonderen Vorteil, dass die Situation von Entwicklungs- und Schwellenländern über die Zuteilung von Emissionsrechten (etwa: Gleichverteilung der Emissionsrechte pro Kopf) berücksichtigt werden kann. Die Frage, welche Beiträge ein Land oder ein Sektor zur Reduzierung leisten soll, würde marktwirtschaftlich in dem Sinne gelöst, dass starke Emittenten Emissionsrechte hinzukaufen müssten. Auch eine sektorübergreifende Internalisierung der externen Klimakosten des Verkehrs kann so erreicht werden. Die Frage, welche Maßnahmen wirtschaftlich effizient sind, würde marktwirtschaftlich geklärt. Allerdings verlangt ein solches System leistungsfähige Weltinstitutionen für die Festlegung der sektorspezifischen Ausstoßmengen, der Bewirtschaftung der Zertifikate und die Kontrolle der Emittenten.

3. Im Hinblick auf die langfristige Zielsetzung und die kurzfristigen Handlungserfordernisse empfiehlt sich folglich eine Doppelstrategie. Auf der einen Seite sind die internationalen Anstrengungen im Rahmen der Post-Kyoto Strategie zu verstärken. Hierzu dienen europaweite und nationale Zielvorgaben für 2050 und deren Projektion auf die davor liegenden Dekaden. Weiterhin sind Schritte in Richtung auf einen globalen Handel mit Emissionsrechten forciert voranzutreiben. Ergänzend ist der Clean Development Mechanism (CDM) weiterzuentwickeln. In Bezug auf die internationale Konkurrenzsituation ist das Instrument der WTO-konformen Grenzausgleichsabgaben zu prüfen. Auf der anderen Seite sind jene verkehrsspezifischen Instrumente zu nutzen, die bereits kurz- und mittelfristig wirksam sind. Solche spezifischen Ansätze, die auch regulative Eingriffe und Standards umfassen können, bilden den Schwerpunkt dieser Stellungnahme.

4. Entsprechend den Ergebnissen des Abschlussberichts des IPCC vom November 2007 muss eine Reduktionspolitik kurzfristig greifen, um den weltweiten Temperaturanstieg langfristig noch auf ein hinnehmbares Maß dämpfen zu können. Dies begründet die vom Wissenschaftlichen Beirat empfohlene Doppelstrategie mit ergänzenden, bereits kurz- und mittelfristig wirkenden spezifischen Instrumenten. Der Verkehrssektor ist in Europa bezüglich der direkten Emissionen mit ca. 25 % des gesamten CO<sub>2</sub>-Ausstoßes und in Deutschland mit ca. 20 % ein Hauptemittent von Treibhausgasen. Er ist vor allem wegen seiner Wachstumsdynamik gefordert, einen signifikanten Reduktionsbeitrag zu leisten. Da keine einzelne Maßnahme im Verkehr die politisch gesetzten Reduktionsziele allein erreichen kann, besteht die Aufgabe darin, ein Bündel von Instrumenten zu entwickeln, das wirtschaftlich effizient, ökologisch effektiv und sozial tragbar ist. Dabei ist zu berücksichtigen, dass einige Zweige des Verkehrssektors ein starkes Wachstum aufweisen (Luftverkehr, Seeverkehr, Güterverkehr auf der Straße), während andere Bereiche (Personenverkehr in entwickelten Ländern, so auch in Deutschland) Sättigungserscheinungen zeigen. Außerdem gibt es unterschiedliche Möglichkeiten der Vermeidung von Verkehr und damit auch unterschiedliche Vermeidungskosten, die eine differenzierte Behandlung der Verkehrssektoren erforderlich machen.

5. Der Luftverkehr ist zurzeit mit rund 3 % an den weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen beteiligt. Doch machen die CO<sub>2</sub>-Emissionen nach derzeitiger Kenntnislage lediglich knapp die Hälfte der gesamten klimarelevanten Einflüsse des Luftverkehrs aus. Zudem wächst der Luftverkehr kräftig und unterliegt zwar stringenten ökonomischen, aber bisher nur geringen fiskalischen Anreizen zur Verbrauchs- und Emissionsminderung. Die EU-Kommission betreibt hier allerdings eine Änderung durch die geplante Ausweitung des „Emission Trading Scheme“ (ETS) über stationäre Emittenten hinaus auf den Luftverkehr. Voraussetzung für deren Wirksamkeit ist aber, dass die Emissionsrechte weitgehend durch Auktion verteilt werden, Flugbewegungen nicht nur in Europa, sondern weltweit eingeschlossen sind und die Preise der Zertifikate eine verhaltensrelevante Größenordnung erreichen. Die internationale Abstimmung ist insbesondere deshalb entscheidend, weil die bisherigen und zukünftigen Wachstumsraten im Luftverkehr auch weltweit und insbesondere für Asien vor allem im Langstreckenverkehr zu erwarten sind. Langstreckenflüge gestatten betrieblich in zahlreichen Fällen ein Umfliegen Europas, so dass globale Lösungen erforderlich sind.

Ergänzend ist die Berücksichtigung der Emissionshöhe einzelner Flugzeugmuster in der Start- und Landegebühr an den Flughäfen oder in den Flugsicherungsgebühren sinnvoll. Eine bessere Koordination der Flugsicherungsorganisationen durch Umsetzung des Single European Sky weist nach IPCC zudem ein CO<sub>2</sub> Einsparungspotenzial durch vermiedene Umwege von bis zu 12 % auf.

6. Der Seeverkehr trägt derzeit ca. 3 % des weltweiten CO<sub>2</sub>-Ausstoßes bei. Er emittiert darüber hinaus in besonders großem Umfang Schadstoffe, weil Antriebstechnik und verwendete Treibstoffe keinerlei Umweltstandards unterliegen. Auch gibt es keinen steuerlichen Anreiz zur Emissionsreduk-

tion. Es bietet es sich an, auch den Seeverkehr in den Emissionshandel einzubeziehen. Da analog zum Luftverkehr die Akteure international operieren, sind nationale Maßnahmen schwierig umsetzbar und führen zu unerwünschter Umweltarbitrage. EU-weite CO<sub>2</sub>-Gebühren an den Häfen sind denkbar, wenn auch schwierig zu realisieren.

7. Der Straßenverkehr, der 18 % der weltweiten CO<sub>2</sub>-Menge emittiert, wird EU-weit über Kfz- und Mineralölabgaben besteuert, wobei in Deutschland noch die Öko-Steuer hinzukommt. Eine wirksame Maßnahme besteht darin, die Belastung der Mineralölprodukte mit Steuern und Abgaben länderübergreifend auf hohem Niveau zu harmonisieren. Darüber hinaus ist eine Angleichung von Benzin- und Dieselbesteuerung geeignet, die Anreize für die Technologieentwicklung von der Treibstoffart zu lösen und damit wirksamer zu machen. Langfristig sollte eine Politik der Substitution von Energie durch Technik verfolgt werden.

Weitere Beiträge zur Erreichung von Einsparzielen können durch die Umstellung der Kfz-Steuer auf die Bemessung nach genormtem Treibstoffverbrauch statt nach Hubraum und Abgas-Norm erreicht werden, um technologische Bemühungen zur weiteren Verbrauchsreduktion zu motivieren. Wesentlich effizienter wäre aber die Umlegung auf den Kraftstoffpreis. Die von der EU-Kommission forcierte Grenzwertsetzung für Pkw-Emissionen auf 120 g CO<sub>2</sub>/km für das Jahr 2012 wird kritisch gesehen: In der konkreten Umsetzung sind Fehlanreize und kontraproduktive Effekte kaum zu vermeiden.

8. Der Güterverkehr auf der Straße verursacht in Deutschland ca. ein Drittel der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs und ist mit der Zunahme des Handels verknüpft, der im Durchschnitt deutlich schneller wächst als das Sozialprodukt. Das Reduktionspotenzial durch die Beeinflussung des Verhaltens der Akteure in Richtung einer an Effizienzkriterien ausgerichteten Fahrzeugwahl ist im Vergleich zum Personenverkehr begrenzt, da die Unternehmen ihre Fahrzeugbeschaffungen sowie den Fahrzeugeinsatz ohnehin nach rein wirtschaftlichen Kriterien planen. Differenzierte Kfz-Besteuerung und Mauterhebung über die Fahrzeugmasse (bislang überwiegend nach Euro-Klassen gestaffelt, die noch keinen CO<sub>2</sub>-Bezug haben) können für die Fahrzeug-Nachfrage wirksam sein. Eine Ausdehnung der Mauten auf weitere Strecken- und Fahrzeugkategorien schafft Anreize zur Reduktion der Lkw-Fahrleistung.

9. Der Eisenbahnverkehr hat einen Anteil an den CO<sub>2</sub>-Emissionen von rund einem Prozent. Bahngütertransporte verursachen im Durchschnitt etwa um zwei Drittel geringere CO<sub>2</sub>-Emissionen als der Straßengüterverkehr, so dass eine Verlagerung von Straßenverkehr auf die Schiene (und auf das Binnenschiff, wo möglich) sinnvoll ist. Dennoch werden auch für die Bahn große Potenziale für eine weitere Verbesserung insbesondere im Fahrzeugpark und in der Betriebsweise gesehen.

10. Der Ersatz von fossilem Kohlenstoff in den Trägern der Endenergie durch solchen aus agrarisch gewonnenen Vorprodukten stellt grundsätzlich einen richtigen Ansatz zur Verminderung der

CO<sub>2</sub>-Freisetzung dar. Es ist jedoch zu beachten, dass die Bereitstellung relevanter Mengen die Schaffung einer neuen Großindustrie mit einem immensen Flächenbedarf bis hin zur Umgestaltung ganzer Landstriche erfordert. Abgesehen von der Frage der Akzeptanz durch die Gesellschaft kann dies zu ökologisch kontraproduktiven Effekten führen, die dem Ziel der Reduktion von Klimagasen zuwiderlaufen (Abholzung, Monokulturen, Umwidmung von landwirtschaftlichen Flächen, Lachgasemissionen). Hinzu kommen Belastungen von landwirtschaftlich genutzten Böden, Grundwasser und Wassereinzugsgebieten durch Biozide u. ä. Die Welternährungssituation kann gleichfalls negativ beeinflusst werden. Auch ein trotz dieser Einschränkungen forciertes Programm zur Bereitstellung von Biokraftstoffen macht keine der Maßnahmen zur Minderung der spezifischen Verbräuche und von Transportleistungen überflüssig.

Die Öffentlichkeit setzt zudem große Erwartungen in die Wasserstoff-Technologie, d.h. in den Einsatz von Wasserstoff als Endenergieträger in mobilen Anwendungen. Der Lösungsbeitrag wird selbst auf langfristige Sicht aufgrund weiterhin bestehender Probleme bei Herstellung und Lagerung als sehr gering eingeschätzt.

11. Die für Verkehrsaufkommen, Verkehrsleistungen und vor allem modale Verkehrsaufteilung bestimmenden Raumstrukturen müssen unter Beachtung der Potenziale zur Verkehrsvermeidung und zur Stärkung des Modal Split relativ emissionsarmer Verkehrsträger in die Klimastrategie einbezogen werden. Dazu sind die Potenziale des polyzentrischen Standort-/Zentrensystems der Bundesrepublik Deutschland und Europas vermehrt zu nutzen und weiter zu entwickeln, weitere Flächenbeanspruchung und suburbane Standortentwicklungen durch entsprechende bodenrechtliche und steuerrechtliche Instrumente zu beeinflussen. Auch sind Potenziale der Innenentwicklung auf Brachflächen zur Verkürzung von Wegen gezielt zu nutzen. Dabei spielen Handlungsansätze des „Stadumbaues“ ebenso eine Rolle wie die Standortwahl von Haushalten, Unternehmen und Einrichtungen.

12. Unterstützend zu den notwendigen technischen und preislichen Maßnahmen sollten „soft policies“ wie Information und Beratung Anwendung finden, um eine Verhaltensänderung in Richtung emissionsärmerer Mobilitätsmuster zu erreichen. Die jüngst zu beobachtende veränderte Wahrnehmung des Klimawandels und seiner Gefahren bietet dabei eine günstige Gelegenheit, auch im Verkehrsbereich, in welchem Verhaltensänderungen als relativ aufwendig empfunden werden, nachdrücklich auf die Verhaltensweisen einzuwirken. Verhaltensbeeinflussende Maßnahmen müssen dabei neben einer Veränderung von Wissen und Einstellungen vor allem an den tatsächlichen Verhaltensfolgen ansetzen und entsprechende Anreize bieten.

13. Eine unerlässliche Voraussetzung für eine erfolgreiche Klimapolitik und dafür, dass die Wirtschaftssubjekte im Verkehrsmarkt auf politische Preissignale wie intendiert reagieren, ist deren Glaubwürdigkeit. Für die Industrie ist die langfristige Verlässlichkeit der staatlich gesetzten Rahmen-



bedingungen – dies gilt nicht nur für ökonomische Anreize, sondern auch für Standards und Auflagen – entscheidend, da bereits heute konzeptionell über die Fahrzeuge, Flugzeuge, und Schiffe nachgedacht wird, die bis 2030 und darüber hinaus produziert werden sollen. Grundlegende technologische Umstellungen im Energiesektor benötigen ca. 20 Jahre, um ihre volle Wirksamkeit zu entfalten. Daher sollten die grundlegenden politischen Rahmenbedingungen, nicht jedoch Detailfragen, möglichst frühzeitig und möglichst langfristig verbindlich festgelegt werden.

14. Eine Strategie der Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen trifft im politischen Raum teilweise auf gesamtwirtschaftliche Bedenken. Befürchtet werden dabei Verluste an Wachstum und Beschäftigung, da durch eine CO<sub>2</sub>-Reduktion im Verkehrssektor die Kosten der Verkehrsprozesse ansteigen und damit die Mobilität von Bevölkerung und Wirtschaft eingeschränkt würden. Dadurch nehme die volkswirtschaftliche Arbeitsteilung ab und es entstünden Produktivitätsverluste, die sich in einem Rückgang der Wertschöpfung und der Beschäftigung niederschlugen. Dieser Zielkonflikt zwischen CO<sub>2</sub>-Reduktion und gesamtwirtschaftlicher Wohlfahrt muss bei der Ausgestaltung der CO<sub>2</sub>-Reduktionsstrategie und der Wahl der instrumentellen Ansatzpunkte beachtet werden.

Positive Wachstumseffekte stellen sich ein, wenn die Industrie neue Technologien entwickelt und an den Markt bringt, mit denen die CO<sub>2</sub>-Emissionen kostengünstig gesenkt werden können. Durch politische Anreize erhält die Industrie einen Nachfrageschub, der zu steigenden Umsätzen und Beschäftigungseffekten führt. Die Politik sollte einen Schwerpunkt darauf legen, Entwicklungs- und Produktionssimpulse für neue Technologien zur CO<sub>2</sub>-Reduktion zu vermitteln. Die CO<sub>2</sub>-Reduktion ist ein globales Ziel, so dass Erfolg versprechende Umweltschutztechnologien weltweit nachgefragt werden, z. B. in der Automobilproduktion. Wer in einer Engpasssituation frühzeitig überzeugende Technologien an den Markt bringt, hat Vorteile im internationalen Wettbewerb und wird durch Exportsteigerungen belohnt. Die Politik sollte darauf hinwirken, dass die CO<sub>2</sub>-Reduktion ein weltweites Anliegen wird und damit international Anreize entstehen, so dass die Nachfrage nach innovativen Technologien global wirksam werden kann.

Der Wissenschaftliche Beirat ist überzeugt, dass mit der CO<sub>2</sub>-Reduzierung langfristig ein Wohlfahrtsgewinn erzielt werden kann. Wenn heute etwas gegen die CO<sub>2</sub>-Emissionen getan wird, sind die künftigen Kosten für die Volkswirtschaft bedeutend geringer, als wenn von späteren Generationen die Folgen der Klimaerwärmung bewältigt werden müssen. Insofern kann über die Zeitachse durch eine wirksame Minderungsstrategie ein Wohlfahrtsgewinn erreicht werden. Die wirtschaftlichen Risiken der CO<sub>2</sub>-Verringerung werden in der Summe als beherrschbar eingestuft.

15. Die Umsetzung einer solchen Politik verlangt eine grundlegende Neustrukturierung technischer Rahmenbedingungen und der Infrastruktur. Die möglichen Lösungsbeiträge sind vielfach technisch, wirtschaftlich und ökologisch nur unzureichend erforscht. Die Marktakteure bevorzugen naturgemäß kurzfristige und partielle Anpassungen unter Weiterentwicklung vorhandener Strukturen bei

nicht zu hohem wirtschaftlichem Risiko. Angesichts des Umfangs und der Langfristigkeit der notwendigen Umgestaltungen ist jedoch die Entwicklung neuer Lösungskonzepte für Technik und Organisation einschließlich der Optionen für Verhaltensänderungen gefragt. Die Bundesregierung und die EU sollten daher Forschung, vorwettbewerbliche Entwicklung von Technologien, Feldversuche für aussichtsreiche, aber in ihren Auswirkungen und ihrem Betriebsverhalten noch nicht vollständig überschaubare Lösungsansätze, neue Prinzipien zur Gestaltung von relevanten Abläufen und Aufbauorganisationen sowie die Schaffung einschlägiger Forschungs- und Entwicklungsmethoden unterstützen. Dabei sollte auf die Vorgabe bestimmter Lösungswege verzichtet werden. Der Fokus der staatlichen Förderung sollte dabei vor allem auf der grundlagenorientierten Forschung mit langen Zeithorizonten liegen, wogegen die eher kurzfristige Entwicklung von Technologien, die unmittelbar vor der Marktreife stehen, Aufgabe der Industrie ist.

# 1 Einleitung: CO<sub>2</sub>-Emissionen und Klimawandel

Es besteht weitgehender wissenschaftlicher Konsens darüber, dass die großen Mengen an Treibhausgasen (THG), die seit der industriellen Revolution in die Atmosphäre emittiert wurden, zu einem irreversiblen Prozess weltweiter Klimaänderungen geführt haben. Elf der letzten zwölf Jahre (1995 – 2006) fallen unter die zwölf wärmsten Jahre seit Beginn der Temperaturlaufzeichnungen im Jahre 1850. Dementsprechend sind die Klimaproblematik und die Notwendigkeit, dem Fortschreiten des Klimawandels entgegen zu steuern, in jüngster Zeit zunehmend in den Mittelpunkt von Politik und öffentlicher Diskussion gerückt. Das wird nicht zuletzt durch die Vergabe des Friedensnobelpreises im Jahr 2007 an den Weltklimarat IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) und den ehemaligen US-Vizepräsidenten Al Gore belegt.

Ein Anstieg der mittleren Temperaturen in den kommenden Jahrzehnten um etwa 2 °C gegenüber der vorindustriellen Zeit ist nach allgemeiner Einschätzung bereits nicht mehr zu verhindern. Im neuesten Weltklimabericht wird für den ungünstigsten Fall sogar eine Erwärmung der Erde um bis zu 6,4 °C Celsius prognostiziert, eine globale Erwärmung um 1,8 – 4 °C wird als wahrscheinlich erachtet. Dabei liegen die meisten Schätzungen im Bereich zwischen 4 und 5 °C, also im oberen Bereich der Bandbreite.

Zudem werden neue, teils alarmierende Prognosen über die ökonomischen Folgen des Klimawandels vorgelegt. Die Studie des Ökonomen Nicholas Stern im Auftrag der britischen Regierung warnt, dass die Folgen eines ungebremsten Klimawandels bis zum Jahr 2050 5 % bis 20 % des weltweiten Bruttoinlandsprodukts in Anspruch nehmen könnten. Es wird beispielsweise eine erhöhte Intensität und Auftrittswahrscheinlichkeit von Naturkatastrophen wie schweren Stürmen, extremer Trockenheit, Wald- und Buschbränden, Hitzewellen oder Überschwemmungen erwartet. In vielen Gebieten der Welt, vor allem in unterentwickelten Regionen, drohen aufgrund sinkender Ernteerträge Hungersnöte. Des Weiteren drohen volkswirtschaftliche Schäden und humanitäre Probleme unter anderem durch eine Erhöhung der Meeresspiegel, durch Versorgungsprobleme mit Frischwasser in den Megacities der Schwellen- und Entwicklungsländer und durch eine Abnahme der Artenvielfalt. Der Stern Review kommt zu dem Ergebnis, dass den enormen Schäden eines ungebremsten Klimawandels Kosten für eine Klimaschutzpolitik zur Stabilisierung des Klimas gegenüber stehen, deren Größenordnung auf lediglich 1 % des weltweiten Bruttoinlandsprodukts geschätzt wird. Dabei bedeutet eine Stabilisierung des Klimas konkret, dass die Welttemperaturen um nicht mehr als 2 °C ansteigen sollen, wie es auch dem Ziel der EU-Klimapolitik entspricht.

Auch in den Schwellen- und Entwicklungsländern steigen die klimarelevanten Emissionen des Verkehrs schnell an, vor allem in den Mega-Cities der Dritten Welt. Während die OECD-Länder im Jahre 2003 noch 71 % des CO<sub>2</sub> beitragen, ist in zwei bis drei Jahrzehnten damit zu rechnen, dass die

Schwellen- und Entwicklungsländer an der Spitze der Emittenten stehen. Dies unterstreicht die internationale Dimension des Problems und die Notwendigkeit einer weltweit konzertierten Klimapolitik für alle Sektoren und Regionen.

Der Bedrohung durch den Klimawandel wird auch in der deutschen und europäischen Politik verstärkt Rechnung getragen. Seitens der Europäischen Union hat man sich auf eine verbindliche Reduzierung der Kohlendioxidemissionen um 20 % (gegenüber dem Jahr 1990) bis zum Jahr 2020, bei Beteiligung weiterer Staaten sogar um 30 %, verpflichtet. Die Bundesregierung geht mit einer angestrebten Senkung der Treibhausgasemissionen um 40 % im gleichen Zeitraum noch weiter.

Nach dem derzeitigen Erkenntnisstand wird die globale Erwärmung durch Emissionen von Methan ( $\text{CH}_4$ ), Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ), halogenierten Kohlenwasserstoffen, Ozon ( $\text{O}_3$ ) und Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) verursacht. Dabei hat das  $\text{CO}_2$  mit ca. 55 % den überwiegenden Anteil an den Ursachen des anthropogenen Treibhauseffekts. Deswegen und weil der Anteil des Verkehrs an den THG-Emissionen im Wesentlichen aus  $\text{CO}_2$  besteht, befasst sich dieses Papier hauptsächlich mit diesem Gas.

Die bisherige Klimapolitik konzentriert sich vor allem auf die Hauptemittenten von  $\text{CO}_2$ , d.h. Großfeuerungsanlagen in der Industrie und zur Stromerzeugung. Sie werden vom europäischen Handelssystem für Emissionsrechte (ETS) erfasst, das nach einer dreijährigen Testphase (2005 – 2007) im Jahr 2008 in die zweite, Kyoto-relevante Phase (2008 – 2012) eintritt. Nach anfänglichen Schwierigkeiten es inzwischen institutionell etabliert. Alle Beteiligten (Unternehmen, Märkte, Politik) haben sich auf das System eingestellt. Damit sind auch für die nächste Handelsperiode keine größeren Veränderungen des Systems zu erwarten. Anders sieht es bei der Frage aus, wie der Emissionshandel und die gesamte Koordinierung der internationalen  $\text{CO}_2$ -Politik nach dem Jahr 2012 gestaltet sein werden, insbesondere, ob der regionale und sektorale Wirkungsbereich des ETS ausgedehnt wird. Ein Ende 2006 vorgelegter Richtlinienvorschlag der Europäischen Kommission sieht die Einbeziehung des Luftverkehrs in das ETS ab dem Jahr 2011 vor. Für den kontinuierlich an Bedeutung gewinnenden Schiffsverkehr werden zurzeit ebenfalls Vorschläge entwickelt, die auch eine Integration in das ETS umfassen könnten.

Generell richtet sich die Aufmerksamkeit der Klimaschutzpolitik zunehmend auch auf den Verkehrssektor. Es ist gesamtwirtschaftlich effizient, bei der Suche nach  $\text{CO}_2$ -Minderungsmaßnahmen von einer möglichst breiten Basis auszugehen, um die Gesamtkosten der Klimagasreduktion zu minimieren. Letztlich sollten die Aktivitäten mit den geringsten Kosten der  $\text{CO}_2$ -Vermeidung identifiziert und umgesetzt werden. Die derzeit geplanten Maßnahmen im Verkehrssektor umfassen auf nationaler Ebene beispielsweise die Ausrichtung der Kfz-Steuer gemäß den spezifischen  $\text{CO}_2$ -Emissionen oder konkrete Ziele für die Beimischung von Biokraftstoffen. Auf europäischer Ebene existieren ebenfalls Zielwerte für die Biokraftstoff-Beimischung. Zudem sollen der spezifische Kraftstoffverbrauch und damit die  $\text{CO}_2$ -Emissionen von Pkw deutlicher kenntlich gemacht werden. Das wesentliche Element

der europäischen Klimaschutzpolitik im Verkehrssektor bilden jedoch die verbindlichen Vorgaben für den durchschnittlichen Flottenverbrauch. So soll die europäische Autoindustrie verpflichtet werden, durch technische Maßnahmen den durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Ausstoß von Neuwagen bis 2012 auf 120 g/km<sup>1</sup> zu reduzieren. 10 g CO<sub>2</sub> /km können durch den Einsatz von Biokraftstoffen sowie energieeffizientere periphere Geräte beigesteuert werden.

---

<sup>1</sup> Die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen sind ein direktes Maß für den Kraftstoffverbrauch. Es gilt

1 l/100km Benzin führt zu 23,8 g/km CO<sub>2</sub>-Emission

1 l/100km Diesel führt zu 26,4 g/km CO<sub>2</sub>-Emission

Die Werte hängen in geringem Umfang von der molekularen Zusammensetzung der Stoffgemische „Benzin“ bzw. „Diesel“ ab.

## **2 Beitrag des Verkehrs zur Klimaproblematik**

### **2.1 Weltweit**

Der Verkehrssektor hat einen großen und auch künftig weiter steigenden Anteil am Gesamtausstoß von Kohlendioxid auf europäischer und globaler Ebene; eine Entkopplung von Wirtschaftswachstum und CO<sub>2</sub>-Emission ist bisher nicht gelungen, da in der Vergangenheit erzielte Steigerungen der Energieeffizienz stets durch höhere Verkehrsleistungen überkompensiert wurden. Bzgl. der absoluten Höhe des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes bzw. der Wachstumsraten und der erhöhten Klimawirksamkeit der Emissionen liegt der Schwerpunkt der Emissionen derzeit beim Straßenverkehr.

Weltweit lag der Anteil des Verkehrssektors an den globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahr 2003 bei 24 % (5.940 Mio. t CO<sub>2</sub>), wobei das relative Gewicht in den OECD-Staaten mit 30 % (3.936 Mio. t CO<sub>2</sub>) noch höher liegt. Der größte Teil der Verkehrsemissionen entfällt auf den Straßenverkehr (ca. 18 % der globalen Emissionen), während der Luft- und Schiffsverkehr jeweils ca. 3 % zum weltweiten CO<sub>2</sub>-Ausstoß beitragen. Das Wachstum der Verkehrsemissionen im Zeitraum von 1990 bis 2003 betrug weltweit 31 % (1.412 Mio. t CO<sub>2</sub>) und innerhalb der OECD 26 % (820 Mio. t CO<sub>2</sub>). Die Staaten der OECD sind für 66 % der globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrssektors verantwortlich. Während der projizierte weitere Anstieg der CO<sub>2</sub>-Emissionen auf globaler Ebene vor allem der Elektrizitäts- und Wärmebereitstellung zuzuschreiben ist, wird der Emissionsanstieg innerhalb der OECD-Staaten vornehmlich im Verkehrssektor prognostiziert.

### **2.2 Europäische Union**

Innerhalb der europäischen Union (EU-15) liegt der Anteil des Verkehrssektors an den gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen bei ca. einem Viertel, der Anteil an den gesamten anthropogenen Treibhausgasemissionen bei 21 %. Während der THG-Ausstoß in anderen Sektoren gesenkt werden konnte, stiegen die Emissionen des Verkehrs zwischen 1990 und 2004 um 26 % an. Für die Zeit bis zum Jahr 2010 wird eine weitere Zunahme der CO<sub>2</sub>-Emissionen erwartet. Den stärksten Zuwachs verzeichneten mit 59 % zwischen 1990 und 2004 die im Kyoto-Protokoll nicht erfassten Bereiche des internationalen See- und Luftverkehrs. Allein der Luftverkehr, der mit der Marktöffnung ein starkes Wachstum verzeichnete, registrierte in der EU-15 eine Emissionszunahme von 86 % im Zeitraum von 1990 bis 2004. Dabei ist zu beachten, dass der Flugverkehr aufgrund der Emission von Stickoxiden, Wasserdampf und anderer Partikel in großer Höhe zudem eine deutlich höhere Klimawirksamkeit besitzt. Auch der CO<sub>2</sub>-Ausstoß des Seeverkehrs wird in Zukunft weiterhin an Bedeutung gewinnen (35 % – 45 % prognostiziertes Wachstum von 2001 bis 2020).

Dominiert werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrssektors jedoch vom Straßenverkehr auf den ein Anteil von 93 % entfällt (ohne Bunkertreibstoff); bei Einschluss der Emissionen aus dem internationa-

len Schiffs- und Luftverkehr liegt er noch bei knapp über 80 %. Bis zum Jahr 2015 wird in Europa mit einem weiteren Wachstum des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes des Straßenverkehrs um etwa 10 % gerechnet, das vom Güterverkehr getragen wird, während für den Personenverkehr eine Stagnation der Emissionen erwartet wird.

## 2.3 Deutschland

In Deutschland liegt der Anteil des Verkehrssektors am gesamten CO<sub>2</sub>-Ausstoß bei ca. 20 %, unter Einschluss internationaler Bunker- und Flugzeugkraftstoffe leicht höher. Die dominante Stellung des Straßenverkehrs lässt sich auch hier feststellen. Entgegen der globalen und europäischen Entwicklung sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs in Deutschland jedoch seit 1990 kaum verändert, wobei sie zwischenzeitlich bis Ende der 1990er Jahre deutlich angewachsen waren und danach wieder abfielen<sup>2</sup>. Es lassen sich hierbei unterschiedliche Entwicklungen für den Personen- und Güterverkehr feststellen: Während bei den Emissionen des Straßenpersonenverkehrs eine Stagnation bzw. sogar von 1995 – 2005 ein leichter Rückgang um ca. 9 % beobachtet werden konnte und für die kommenden Jahre erwartet wird, ist der CO<sub>2</sub>-Ausstoß im Straßengüterverkehr auch weiterhin um ca. 11 % gewachsen. Dieser Trend wird sich fortsetzen. Das derzeitige Verhältnis der absoluten Emissionen von Personen- und Güterverkehr auf der Straße von ca. zwei Dritteln zu einem Drittel wird sich damit weiter in Richtung des Güterverkehrs verschieben.<sup>3</sup>

## 3 Die internationale Dimension

Die Lösung der Weltklimafrage ist eine globale Herausforderung. Alle Verbesserungen in Europa bleiben praktisch folgenlos, wenn es nicht gelingt, die Dynamik wachsender Emissionen zu kanalisieren, die sich besonders in den großen Schwellenländern wie China und Indien zeigt, und die seit Langem sehr hohen Pro-Kopf-Emissionen in Nordamerika zu reduzieren. Daher ist eine Doppelstrategie anzuraten: Die globale Problematik wird intensiv in internationalen Verhandlungen und Verträgen adressiert. Zugleich werden in Europa in vorbildlicher Weise Anstrengungen vor Ort unternommen. Die Vorbildfunktion Europas ermöglicht und legitimiert ggf. auch ökonomischen und politischen

---

<sup>2</sup> Diese Entwicklung ist im Wesentlichen auf eine erhöhte Kraftstoffeffizienz der Fahrzeuge, eine Nachfrageverschiebung zugunsten von Dieselfahrzeugen bei den Neuzulassungen, auf ein verändertes Verhalten als Reaktion auf erhöhte Kraftstoffpreise in Folge der Ökosteuer und des Anstiegs des Rohölpreises und in geringem Umfang auch auf den so genannten Tanktourismus (d.h. Verlagerung von Tankvorgängen ins Ausland) zurückzuführen.

<sup>3</sup> Die unterschiedliche Dynamik der Sektoren zeigt sich in der Entwicklung des Energieverbrauchs: Während der des Verkehrs in Deutschland insgesamt seit 1995 praktisch unverändert ist, sinken die Anteile von Schienenverkehr (-11 PJ 1995 – 2005) und MIV (-150 PJ 1995 – 2005), während die des Straßengüterverkehrs (+75 PJ 1995 – 2005) und des Luftverkehrs (+112 PJ 1995 – 2005) steigen. Der gesamte Energieverbrauch im Jahr 2005 betrug 9.173 PJ (exklusive internationaler Bunker Fuels; 1 PJ = 10<sup>15</sup> Joule = 10<sup>9</sup> MJ; bei der Verbrennung von 1 l Benzin wird 33 MJ Wärmeenergie frei gesetzt).

Druck auf Handelspartner in Richtung auf bessere Lösungen. Zugleich entstehen für den europäischen Markt für jeden Anwendungsbereich umwelteffiziente, technische und organisatorische Problemlösungen, die sich zeitverzögert auch international einsetzen lassen. Die unmittelbaren Anstrengungen vor Ort sind also aus folgenden Gründen wichtig: (1) als direkter Beitrag zur Minderung der THG-Emissionen, (2) zur Forcierung der Technologieentwicklung, (3) zur Sicherstellung der Glaubwürdigkeit, (4) zur Erzeugung von globale Hebelwirkungen. Für die internationale Ebene setzt der wissenschaftliche Beirat auf sechs wesentliche Instrumententypen:

### **(1) Eintreten für ein globales Cap-und-Trade-System**

Auch die USA haben im Prinzip akzeptiert, dass zur Stabilisierung des Klimas ein Post-Kyoto-Vertrag ab 2012 unter dem Dach der Vereinten Nationen erforderlich ist, der die Gesamtemissionen der Menschheit vergleichsweise kurzfristig unter einer zu definierenden Obergrenze festhält (Cap). Sie sind auch erstmalig vorsichtig auf die UN- und EU-Position eingeschwenkt, dass dieses Cap bis zum Jahr 2050 auf etwa die Hälfte des heutigen Emissionsvolumens gesenkt werden muss. Damit haben sich die Chancen deutlich verbessert, zu einer Einigung über ein Cap-und-Trade-System zu kommen, mit dem „Klimagerechtigkeit“ erreicht werden kann.

### **(2) Klimagerechtigkeit (Contraction and Convergence)**

Die Politik muss sich am Leitbild der „Klimagerechtigkeit“ orientieren. Sie kann nach dem Prinzip „Contraction and Convergence“ organisiert werden, indem die Länder zunächst entsprechend ihren heutigen Emissionen mit Emissionsrechte ausgestattet werden, und diese langfristig sukzessive auf ein nachhaltiges Niveau reduziert werden, das gleichen Emissionsrechten pro Kopf entspricht. Ein solches internationales System hat die höchste erreichbare ökonomische Effizienz, ermöglicht die vollständige Internalisierung der Klimaschutzkosten in den Weltmarkt, hat den geringsten bürokratischen Aufwand und verhindert Ausweichprozesse in Form von Verlagerung von Aktivitäten ins Ausland. Dies ist wohl – bei richtiger Ausgestaltung der Übergangszeit – der einzige denkbare Kompromiss, den die großen Schwellenländer und die USA potentiell mittragen können. Sollte einmal ein globales Handelssystem erreicht sein, eröffnet dies die Möglichkeit, die heutigen sektoralen Sparziele in Europa durch eine Besteuerung von CO<sub>2</sub>-Emissionen direkt an der Quelle, also den fossilen Rohstoffen zu ersetzen. Hier ist die Besteuerung auf der ersten Handelsstufe anzustreben. Über alle Sektoren der Wirtschaft wie des Verkehrs wird so die höchste Effizienz erreicht.

### **(3) Einführung prozess- und produktbezogener Standards in Europa**

Die Einführung prozess- und produktbezogener Standards in Europa als Teil der Marktregulierung bietet interessante Ansatzmöglichkeiten für den Klimaschutz. Ausländische Firmen, die



nach Europa exportieren, müssen diese Standards beachten. WTO-Anforderungen sind bei der Implementierung der Standards zu beachten.

#### **(4) Belastung bisher freigestellter Emittentengruppen**

Europa sollte innerhalb seiner Grenzen und darüber hinaus aktiv werden, um eine finanzielle Belastung klimaschädlicher Prozesse, die bis heute von Zahlungsverpflichtungen freigestellt sind, über geeignete Maßnahmen zu erreichen, z. B. bei Luft- oder Schiffsverkehr.

Die Sicherstellung der Konformität mit internationalen Verträgen ist erforderlich. Empfohlen wird die mutige Ausschöpfung des bestehenden Spielraums der EU als größter geschlossener Wirtschaftsraum der Welt.

#### **(5) Etablierung eines Klimalabels**

Die EU könnte Produkte mit einem Label versehen, das öffentlich kontrolliert, aber privat vergeben wird, und Klimaadäquatheit im Sinne der EU-Regelwerke reflektiert. Wichtig ist dabei die Einbeziehung aller Vorprodukte weltweit. Es kann zwar von der EU unter heutigen WTO-Bedingungen nicht durchgesetzt werden, dass weltweit EU-Prinzipien beachtet werden. Die EU könnte aber den Versuch unternehmen, über ein entsprechendes Label die nötige Transparenz für Verbraucher herbeizuführen, welches Unternehmen auf welche Art von Vorprodukten zurückgreift. Bei entsprechender Information kann der aufgeklärte Verbraucher endlich selber entscheiden, was er von Produkten fordert, die er erwirbt. Es stellt sich die Frage der WTO-Konformität eines solchen Labels. Diese ist einfacher zu erreichen als die WTO-konforme Etablierung von Grenzausgleichsabgaben (vgl. 6). Daher könnte und sollte die Einführung eines Klimalabels parallel dazu verfolgt werden.

#### **(6) Flankierende handelspolitische Maßnahmen**

Die Einführung von prozessbezogenen Standards der Energieeffizienz bei der Herstellung bestimmter Produkte bringt die Gefahr erheblicher Wettbewerbsverzerrungen im internationalen Handel mit sich. Erhöhte Anforderungen an die Energieeffizienz der Produktionsprozesse kann zu deutlich höheren Kostenbelastungen der europäischen Industrien führen. Die dermaßen erhöhten Kosten der Produktion können in massiven Wettbewerbsnachteilen der betroffenen europäischen Industrien und eventuell auch in entsprechenden Standortverlagerungen in 'free rider'-Staaten resultieren. Will man derartige negative Begleiteffekte vermeiden, so liegt es nahe, flankierende handelspolitische Maßnahmen zu ergreifen. Eine mögliche Schutzmaßnahme könnte die Einführung von Grenzausgleichsabgaben sein. Allerdings ist fraglich, ob und unter welchen Umständen solche Abgaben WTO-konform möglich sind. Aus der Rechtsprechung der WTO-Streitbeilegungsorgane ergibt sich, dass handelsbeschränkende Maßnahmen nur unter sehr spezifischen Bedingungen, nämlich soweit sie zum Schutz wichtiger Umweltgüter zwingend

erforderlich sind, mit dem WTO-Recht vereinbar sind. Dies setzt das ernsthafte Bestreben der die Maßnahmen ergreifenden Staaten voraus, vorgängig in multilateralen Verhandlungen auf vertraglichem Wege entsprechende Absprachen zu treffen. Erst nach dem Scheitern entsprechender Vertragsverhandlungen könnten von den europäischen Staaten einseitig Schutzmaßnahmen (wie Grenzausgleichsabgaben) verhängt werden. Etwaige Grenzausgleichsabgaben müssten sich dabei auf Branchen und Produkte beziehen, die mit einem hohen Energie/Klimagas Emissionsaufwand verbunden sind. Sie müssten individuelle Kompensationsleistungen entsprechender Unternehmen, die unabhängig von der Vertragsposition ihres Heimatstaates resultieren, möglicherweise honorieren.

## **4 Die nationale Dimension: Verkehrssektorspezifische Optionen für eine CO<sub>2</sub>-Reduktion**

Eine aus ökonomischer Perspektive optimale Klimapolitik müsste alle emittierenden Sektoren in einem geschlossenen und in sich konsistenten Politikansatz umfassen, z.B. mittels eines globalen Emissionshandelssystems. In kurz- und mittelfristiger Perspektive ist allerdings unklar, inwieweit globale Lösungen für die klimapolitischen Herausforderungen verabredet und umgesetzt werden können. Die Klimaproblematik verlangt aber sofortiges Handeln, gerade auch vor Ort – dort, wo man aus eigener Entscheidungsfreiheit handlungsfähig ist. Für das Erreichen der Reduktionsziele bis zum Jahr 2020 sind regionale und sektorale Maßnahmen unabdingbar. Bei diesen „second best“-Ansätzen handelt es sich um sektororientierte, also spezifische Instrumente, die nur für bestimmte Verkehrsmittel gelten. Sie haben den Vorteil guter Dosierbarkeit, können aber zu unerwünschtem Ausweichverhalten anregen und die intermodale und internationale Wettbewerbslage verzerren. Letztlich müssen sie an ihrer ökonomischen Effizienz und ihrer ökologischen Effektivität, ihrer Eignung zur Förderung innovativer Umwelttechnologien sowie ihrer Umsetzbarkeit in der politischen Praxis gemessen werden. Die Identifizierung und Umsetzung geeigneter Instrumente ist ein Kernelement der Doppelstrategie zum Klimaschutz und bildet den Schwerpunkt des vorliegenden Gutachtens. Die verschiedenen Verkehrssektoren unterscheiden sich erheblich nach der heutigen staatlichen Einflussnahme auf ihre Klimawirkung, nach der Wettbewerbsposition, die ihr wirtschaftliches Handeln bestimmt, nach den Vermeidungskosten für THG-Emissionen sowie nach der Wahrnehmung und Wertschätzung durch Öffentlichkeit und Politik. Entsprechend unterschiedlich sind die gesellschaftliche Bereitschaft und die wirtschaftliche Möglichkeit auf den Gebrauch fossiler Energieträger einzuwirken. Daher werden die verschiedenen Instrumente zur Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehrssektor nachfolgend detailliert und nach Sektoren gegliedert dargestellt.

### **4.1 Straßenverkehr**

#### **4.1.1 Ausgangslage**

Der Straßenverkehr weist weltweit ein beträchtliches Wachstum von THG-Emissionen auf. Dieser Trend ist jedoch in Deutschland bereits gebrochen; die zunehmenden Emissionen des stark wachsenden Güterverkehrs werden durch die rückläufigen Emissionen des motorisierten Individualverkehrs (MIV) überkompensiert. Die öffentliche und politische Diskussion fokussiert sich dennoch fast ausschließlich auf diesen Bereich. Für Pkw werden Zielwerte von 120 g CO<sub>2</sub>/km diskutiert, die für die Flotte der jährlich in der EU neu zugelassenen Fahrzeuge gelten sollen. Angesichts der realen Veränderungsprozesse ist diese Verengung nicht angemessen.

Es bestehen zahlreiche Möglichkeiten zur Reduzierung der THG-Emissionen im Straßenverkehr. Sie können ansetzen bei:

- der Technik der Fahrzeuge: Durch den Einsatz von effizienteren Kfz können die THG-Emissionen bei gleichen Fahrzeugeigenschaften und –größen in einem gewissen Ausmaß gesenkt werden. Dieser Prozess läuft seit Jahrzehnten „autonom“ ab; es stellt sich die Frage, wie weit er durch zusätzliche Eingriffe beschleunigt werden kann.
- den Kraftstoffen: Bei Einsatz von Endenergieträgern, die nicht auf fossilem oder mineralischem Kohlenstoff beruhen, kann die Freisetzung von THG zumindest stark vermindert werden.
- dem Gebrauch, der von den Fahrzeugen gemacht wird: Sowohl die jährlich gefahrene Strecke pro Fahrzeug als auch der Fahrstil bestimmen die THG-Freisetzung wesentlich mit.

Die möglichen Ansätze zur Emissionsminderung unterscheiden sich je nach Typ und Verwendungszweck des betrachteten Fahrzeugs. Die jährliche Fahrleistung spielt eine große Rolle bei der Beurteilung, ob sich kapitalintensive Techniken zur Verbrauchsminderung rentieren. Außerdem ist das Einsatzspektrum wichtig: Fahrzeuge mit viel Stop-and-Go-Betrieb profitieren besonders von einer Reduzierung der Fahrzeugmasse, von Maßnahmen zur Rückgewinnung von Bremsenergie, von Assistenzsystemen zum ökonomischen Fahren usw. Dagegen können Fahrzeuge, die überwiegend auf langen Strecken betrieben werden, mehr von der Verminderung der stationär wirksamen Fahrwiderstände (Roll- und Luftwiderstand) und durch Verbesserungen des spezifischen Verbrauchs der Antriebssysteme profitieren.

## **4.1.2 Spezifische Vermeidungsinstrumente**

### **4.1.2.1 Potenziale bei leichten Fahrzeugen**

Umfangreiche Studien haben ergeben, dass eine Reduzierung der spezifischen Emissionen von Pkw um 30 – 40 % bezogen auf den gesetzlichen Fahrzyklus technisch möglich ist.<sup>4</sup> Ansatzpunkte bietet vor allem der Antriebsstrang; typische Maßnahmen zielen auf eine Verkleinerung des Motors ab, so dass häufiger ein Betrieb in einem verbrauchsgünstigen Bereich möglich ist. Ein Verlust an Dynamik tritt nicht auf, wenn die kurzfristig zur Verfügung stehende Leistung nicht verringert wird; Beispiele für solche Konzepte sind aufgeladene Otto- und Dieselmotoren und Hybridantriebe. Außerdem werden kontinuierlich die Nebenverbräuche und die Fahrwiderstände minimiert. Die beachtlichen technischen Erfolge auf diesem Gebiet werden aber bei Neufahrzeugen von einem seit Jahrzehnten zu beobachtenden Trend zu höheren Massen, Leistungen und Energie verbrauchenden Ausstattungen weitgehend überdeckt.

Eine technische Entwicklung, die zu spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen von 130 g/km für das Mittel aller neu zugelassenen Pkw in 2012 führt, würde unter der Annahme eines konstant bleibenden Alters der

---

<sup>4</sup> Auch für die Herstellung eines Fahrzeuges muss Energie aufgewandt werden, entsprechend entstehen Emissionen. Überschlägig werden 15 % mehr THG gesetzt, als für eine typische Gebrauchsphase anzusetzen ist. Nur ein Teil davon kann im Wege des materiellen oder energetischen Recycling zurück gewonnen werden.

Pkw bei endgültiger Löschung (12 Jahre) die Gesamtemissionen aus diesem Sektor bis 2012 um 5,4 % und bis 2020 um ca. 21 % auf dann noch ca. 89 Mio. t CO<sub>2</sub> mindern (- 23 Mio. t gegenüber 2006). Die Realisierung dieser politischen Forderung würde den Einsatz von zunehmend kostenträchtigen Technologien erfordern. Auch unter optimistischer Berücksichtigung von Kosten senkenden Lern- und Skaleneffekten wären die THG-Vermeidungskosten sehr hoch. Dies würde zu entsprechenden Verhaltensänderungen beim Kauf von neuen Pkw und bei der Pkw-Nutzung führen; wesentliche Rückwirkungen auf die Verkehrsleistung wären zu erwarten.

Ein beträchtliches weiteres Potential für Verbrauchssenkungen besteht darin, die Fahrzeugkonzepte strikt an der Transportaufgabe auszurichten. Es könnte dann auf vielerlei Ausstattungen verzichtet werden, die Größe der Fahrzeuge ließe sich teilweise erheblich verringern. Die Möglichkeiten solcher Konzepte sind vielfach dargestellt und teilweise in Serie produziert worden (Serienfahrzeuge waren oder sind z. B. Audi Duo, Audi A2 3l, VW Golf Eco, VW Lupo 3 L, Toyota Prius, Honda Insight). Die Entwicklung solcher Fahrzeuge ist aufwändig; wenn es sich um die Variante eines bereits produzierten Fahrzeugs handelt, entstehen Kosten in Höhe von 50 – 200 Mio. €, bei einer vollständigen Neuentwicklung liegen sie je nach geplantem Produktionsvolumen bis deutlich über 1.000 Mio. €. Die Firmen sind daher zurückhaltend, solche Produkte anzubieten. Die Nachfrage nach den dennoch angebotenen Produkten ist gering geblieben. Einerseits handelte es sich vielfach um „halbherzige“ Entwicklungen auf der Basis vorhandener Serienprodukte, die kaum geeignet waren, einen neuen „Anspruch“ zu verkörpern. Andererseits sind die Kunden überwiegend nicht bereit gewesen, bei ihren Kaufentscheidungen zunächst auf wirtschaftliche und ökologische Eigenschaften zu achten und dafür auf den Ausdruck von „Status“ durch Größe, Motorleistung und Ausstattung bei der Wahl eines Fahrzeugs zu verzichten. Es wurden bisher wenige Versuche unternommen, die Fahrzeugeigenschaft „Status“ anders als durch Fahrzeuggröße, Motorleistung und umfassende Ausstattung darzustellen.

Eine vom Fahrzeugkonzept grundsätzlich unabhängige, technische Möglichkeit zur Minderung des realen Verbrauchs sind Fahrerassistenzsysteme. Sie geben dem Fahrer Hinweise auf einen möglichst ökonomischen Fahrstil. Im einfachsten Fall handelt es sich um Schaltanzeigen oder adaptive Getriebesteuerungen. Komplexere Systeme würden z. B. die Topografie und die geplante Route berücksichtigen. Konsequenter weiter gedacht wären Systeme möglich, die die aktuelle Verkehrssituation ebenso berücksichtigen wie Ampelschaltungen. Bisher besteht aber für die Fahrzeughersteller und ihre Zulieferer kaum ein Anreiz zur Entwicklung solcher Systeme, da sie weder vom Kunden nachgefragt werden noch zu einer besseren Einstufung beim Verbrauchstest führen.

#### **4.1.2.2 Potenziale bei schweren Fahrzeugen**

Bei der Untersuchung, welche Potentiale zur Verbrauchssenkung bei Nutzfahrzeugen – Lkw und Busse – bestehen, muss zwischen den Einsatzzwecken unterschieden werden. Im Kurzstreckeneinsatz liegen Bedingungen vor, die von relativ geringen jährlichen Fahrleistungen geprägt sind und die viel

Stop-and-Go-Verkehr einschließen. Hier richtet sich das Hauptinteresse auf die Optimierung des konventionellen Diesel-Antriebsstrangs. Daneben werden in kleiner Zahl auch Fahrzeuge mit Compressed Natural Gas (CNG) betrieben. Seit wenigen Jahren werden auch Fahrzeuge mit Hybridantrieb für diese Zwecke entwickelt und in Japan bereits in kleiner Serie angeboten; sie haben noch experimentellen Charakter.

Bei Lkw für den Langstreckeneinsatz ist das Potential für neue Antriebe deutlich geringer. Der Schwerpunkt liegt auf der Weiterentwicklung der Dieselmotoren und deren Abgasnachbehandlung. Daneben gibt es Entwicklungen zur Rückgewinnung thermischer Energie aus Abgas und Kühlwasser. Die Möglichkeiten zur Verminderung des Streckenverbrauchs werden durch die erforderliche aufwändige Abgasnachbehandlung verkleinert. Gewichtsmindernde Möglichkeiten werden in aller Regel in eine Steigerung der Nutzlast umgesetzt; sie wirken sich also auf den Verbrauch pro Tonne aus, nicht auf den pro Fahrzeug. Weiteres fahrzeugseitiges Potenzial bestünde in der Zulassung größerer Einheiten für den Straßenverkehr und in elektronischen Kopplungssystemen (Konvoi-System). Daneben bietet sich eine Vielzahl von Einzelmaßnahmen zur Verminderung der Fahrwiderstände (Rollwiderstand, Luftwiderstand) an.

Zusätzlich kann durch Schulung der Fahrzeugführer der Verbrauch um bis zu 5 % gesenkt werden; durch den Einsatz von Fahrerassistenzsystemen sind weitere Einsparungen möglich. Betrieblich kommt der Vermeidung von Leerfahrten große Bedeutung zu.

#### **4.1.2.3 Moderne Fahrzeugtechnik zur Verbrauchssenkung**

Die Verbrauch senkenden Maßnahmen am Fahrzeug haben erhebliche Mehrkosten bei Entwicklung und Herstellung der Kfz zur Folge. Aufgrund der Erfahrungskurve ist aber mit einer abnehmenden Tendenz zu rechnen. Bereits die heutigen Kraftstoffpreise stellen für einen rational handelnden Akteur einen starken Anreiz dar, verbrauchsgünstige Fahrzeuge zu erwerben. Tatsächlich ist die Zahlungsbereitschaft vor allem bei privaten Käufern aber geringer, als auf dieser Basis zu erwarten wäre. Hier könnte Konsumentenaufklärung eine relevante Rolle spielen. Dabei sollte beachtet werden, dass ein sehr großer Anteil der Pkw von Flottenbetreibern erworben wird; es ist relativ einfach, diese kleinere Gruppe von Entscheidern anzusprechen, zumal sie eher zu wirtschaftlich rationalem Handeln geneigt sein werden.

Auf Seiten der Anbieter von Kfz bedeutet die Umsetzung anspruchsvoller Einsparziele sehr hohe Ausgaben für F&E und noch erheblich höhere für den Aufbau von Produktionskapazitäten. Zudem verlangen hoch effiziente Motoren nach präzise spezifizierten Kraftstoffen. Diese Voraussetzung ist in der EU weitgehend gegeben, in den USA beginnt sie zu entstehen; auf vielen anderen Märkten kann darauf nicht vertraut werden. Für die Fahrzeughersteller ergibt sich aus dem regional unterschiedlichen Angebot an Kraftstoffen der Zwang, mehrfache Parallelentwicklungen zu betreiben. Um den-

noch die proportionalen Herstellungskosten unter Kontrolle zu halten, verbietet sich die Umsetzung von Lösungen, die sich nicht in Komponentenbaukästen integrieren lassen. Die realen technischen Freiheitsgrade sind daher geringer als die theoretischen Möglichkeiten.

Technische Maßnahmen zur Verbrauchsminderung stehen im Gegensatz zur Forderung nach immer weiterer Minderung der Schadstoffemissionen (CO, NO<sub>x</sub>, HC, Partikel). Die konsequente Auslegung des Motors für den optimalen Verbrauch ist nicht möglich; die zusätzlich mitzuführenden Komponenten haben direkten Einfluss auf die Effizienz (z. B. über erhöhten Abgasgedruck). Zusätzlich ergibt sich eine indirekte Wirkung über das Gewicht, die auch Maßnahmen zur Verbesserung der Fahrzeugsicherheit betrifft. Da aber auf eine Reinigung der freigesetzten Abgase auf ein lufthygienische sicher unbedenkliches Maß nicht verzichtet werden kann, ergeben sich umso höhere Anforderungen an die Gestaltung des Gesamtsystems.

#### **4.1.2.4 Alternative Kraftstoffe**

Zusätzlich zu den fahrzeugtechnischen Maßnahmen besteht die Möglichkeit, bei der Herstellung der Kraftstoffe auf Rohstoffe und Primärenergien zurück zu greifen, die weniger oder gar nicht auf fossile Kohlenstoff beruhen. Ein Ansatz in diese Richtung ist die Verwendung von komprimiertem Erdgas (CNG) als Kraftstoff. Hier werden jedoch die theoretischen Vorteile kaum wirksam, weil die Fahrzeuge schwere und voluminöse Tankanlagen benötigen, die über die Zunahme des Gewichts den Effizienzgewinn stark relativieren.

Einen anderen Schritt in diese Richtung stellt die Beimischung von Kraftstoffen aus agrarischen Vorprodukten dar. Derzeit geht es dabei in Deutschland vorrangig um Biodiesel, also um pflanzliche Öle, die unter Verwendung von Methanol verestert werden. Außerdem wird vor allem in Brasilien und in den USA Ethanol aus Zucker bzw. Stärke erzeugt und als Beimischung zum Ottokraftstoff verwendet. Das Entwicklungspotenzial dieser „Biokraftstoffe der 1. Generation“ ist weitgehend ausgereizt. Mit den Biokraftstoffen der 2. Generation („Biomass-to-Liquid“) ist einerseits die Verarbeitung ganzer Pflanzen zu synthetischen Kraftstoffen möglich, wodurch eine breitere Rohstoffbasis erschlossen wird, andererseits können die Produkte Vorgaben präzise angepasst werden („designed fuels“). Sie stehen derzeit jedoch noch nicht großindustriell zur Verfügung.

Die CO<sub>2</sub>-Einsparungen durch den Einsatz heutiger Biokraftstoffe – Biodiesel, Ethanol – gegenüber der gleichen Menge konventioneller Kraftstoffe werden auf 30% – 70%, die durch den Einsatz zukünftiger Biokraftstoffe auf 50% – 90% geschätzt. Die Gewinnung so großer Mengen an pflanzlichem Material, dass der deutsche Verkehrssektor weitgehend mit daraus erzeugten Kraftstoffen versorgt werden kann, erfordert selbst bei günstigen Annahmen für Erträge und Umwandlungswirkungsgrade eine Fläche in der Größenordnung von mehreren 250.000 km<sup>2</sup>, d. h. ca. 70 % der Fläche Deutschlands oder ca. einen halben Hektar pro Kfz. Auch Importe in diesem Umfang würden die Umgestaltung

riesiger Flächen erfordern und sicher erhebliche ökologische und gesellschaftliche Nebenwirkungen haben (Versauerung von Böden, Eutrophierung von Gewässern, Pestizidbelastungen, stark klimawirksame Lachgasemissionen, Rodung von Urwaldflächen, Artenvielfalt, Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion).

Die Kosten je Tonne Kohlendioxid, die mittels Einsatz von Biokraftstoffen eingespart werden, sind hoch (> 100 €). Bei Einsatz in stationären Anwendungen wären bei mindestens gleicher CO<sub>2</sub>-Minderung geringere Kosten zu erwarten. Verbindliche Einsatz- bzw. Beimischungsmengen für Biokraftstoffe sind daher als ökonomisch wenig effizient anzusehen. Deutlich besser wäre eine Freistellung der Biomasse-Nutzung von klima-bezogenen Abgaben, wie sie im Rahmen einer allgemeinen, input-orientierten Kohlenstoff-Besteuerung automatisch erfolgen würde.

Durch die vielfältigen staatlichen Anreizmechanismen (Quotenregelung für Biokraftstoffe, Marktanzreizprogramm, Erneuerbare Energien Gesetz - EEG) ist die Konkurrenz zwischen den verschiedenen energetischen Nutzungen von Biomasse zu einem Wettlauf um Fördergelder geworden. Eine konsistente Strukturierung und Harmonisierung scheint dringend geboten. Die Mechanismen sollten so gestaltet werden, dass sich die kosteneffizientesten Verwendungen durchsetzen können; das könnte bedeuten, Biomasse vorwiegend in der stationären Gas-, Wärme- und Stromgewinnung einzusetzen und im Verkehr zumindest mittelfristig weiterhin fossile Energieträger in verbrauchsoptimierten Fahrzeugen zu verwenden.

Eine in der Öffentlichkeit vielfach diskutierte Möglichkeit zur Substitution fossiler Kraftstoffe ist die Verwendung von Wasserstoff. Dessen Tauglichkeit als Kraftstoff für Ottomotoren wurde überzeugend demonstriert. An der Brennstoffzelle als einem Energiewandler, der nur mit Wasserstoff funktioniert, wird seit langem mit erheblichem Einsatz von privaten und öffentlichen Mitteln entwickelt; serienmäßige Umsetzungen mit quantitativer Relevanz sind nicht absehbar. Angesichts vielfältiger Probleme bei Herstellung, Transport und Speicherung von Wasserstoff im Fahrzeug muss man zweifeln, ob diese Option wirklich einen Beitrag zur Zielerreichung leisten kann. Für eine hypothetische Versorgung des gesamten deutschen Verkehrs mit Wasserstoff aus der Elektrolyse von Wasser wäre eine Stromerzeugung von ca. 1.200 TWh erforderlich<sup>5</sup>. Es wäre also der Aufbau einer neuen Infrastruktur erforderlich, die in ihren Dimensionen die gesamte heutige Elektrizitätswirtschaft deutlich übertreffen würde; eine Umsetzung bis 2030 ist kaum vorstellbar.

Eine weitere Möglichkeit zum Wechsel auf eine breit diversifizierbare Energiebasis stellt der Einsatz von Elektrofahrzeugen mit Batterie dar. Theoretisch könnten Verkehre, die sich bei täglichen Fahr-

---

<sup>5</sup> Zum Vergleich: Die Stromerzeugung für 2007 in Deutschland lag bei insgesamt 636,5 TWh, davon 140,5 TWh aus Kernenergie kommend und 39,5 TWh aus Windkraft. Siehe zu den Einheiten Fußnote weiter oben.



strecken unter 100 km abspielen, mit Elektrofahrzeugen abgewickelt werden; darauf entfällt rund die Hälfte des Energieverbrauchs im MIV. Erhebliche Fortschritte bei der Speichertechnik haben in jüngster Zeit zur Vorstellung zahlreicher Fahrzeugkonzepte geführt. Die Herstellkosten leistungsfähiger Batterien sind aber weiterhin sehr hoch, ihr Ausfallverhalten ist noch schlecht einschätzbar. In der Summe ergibt sich ein hohes Risiko für Anbieter solcher Fahrzeuge. Da sie zudem in ihren Gebrauchseigenschaften deutlich eingeschränkt sind (geringe Reichweite, lange Ladezeiten, täglicher Ladevorgang nötig), werden sie für die übersehbare Zukunft nur eine kleine Rolle spielen. Da die in Deutschland und in den meisten Ländern Europas angebotene elektrische Energie zum großen Teil aus Kohlekraftwerken stammt, sind mit dem Betrieb eines Elektrofahrzeugs erhebliche CO<sub>2</sub>-Emissionen verbunden (für einen Smart ev ca. 70 g/km; zum Vergleich: Smart cdi: 87 g/km). Auch hier dürfte der Beitrag zur Zielerreichung auf einem Zeithorizont bis 2020 minimal bleiben.

#### **4.1.2.5 Preisliche Ansätze zur Beeinflussung der Nachfrage nach Kraftstoffen**

Das bisher zentrale Element der deutschen Verkehrspolitik hinsichtlich der Klimaproblematik ist die so genannte Ökosteuer. Durch die Erhöhung der Treibstoffpreise sollen der Verbrauch und damit die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs gesenkt werden. Dies kann durch den Kauf verbrauchsgünstiger Pkw, Kraftstoff sparenden Fahrstil oder eine Reduzierung der Fahrleistung geschehen. Relativ kohlenstoffarme und regenerative Treibstoffe werden steuerlich gefördert. Die Maßnahme setzt unmittelbar an der die Emissionen verursachenden Aktivität (Verbrennung von Kraftstoff) an. Die Höhe der absoluten Steuerlast ist mit dem Ausmaß des tatsächlichen Kohlenstoffausstoßes genau korreliert. Das System ist einfach zu handhaben und verursacht geringe Transaktionskosten. Die Ökosteuer weist aber auch Probleme auf: Derzeit sind die Steuersätze so gewählt, dass sie bei weitem nicht den spezifischen Emissionswerten der Kraftstoffe entsprechen<sup>6</sup>; so wäre für eine vollständige Umsetzung des Verursacherprinzips im Verkehrssektor eine Verteuerung von Dieselmotorkraftstoff geboten. Es ist auch nicht erkennbar, warum bei der Besteuerung nach dem Verbrauchszweck unterschieden wird. Es wird das Argument vorgetragen, die geringe Preiselastizität der Nachfrage im Straßenverkehr erfordere sehr hohe Steuersätze, um signifikante Emissionsreduktionen zu erreichen. Das gilt aber für fast alle anderen Verbrauchssektoren in ähnlichem Ausmaß. Zudem wird ein Teil des in den letzten Jahren zu beobachtenden Rückgangs des Kraftstoffverbrauchs im Straßenverkehr auf den so genannten „Tanktourismus“, d.h. das Tanken im Ausland, zurückgeführt.

Ein anderer Ansatz ist die Orientierung der Kfz-Steuer an den jeweiligen CO<sub>2</sub>-Emissionen des Fahrzeugs. Sie soll für die Käufer einen zusätzlichen Anreiz schaffen, relativ verbrauchsarme Fahrzeuge zu kaufen. Ähnlich wirken Steuern, die vom Normverbrauch abhängig sind und die beim Erwerb fällig werden; ein Beispiel ist die in Österreich erhobene NoVA – Normverbrauchsabgabe. Nachteilig ist

---

<sup>6</sup> Besteuerung unterschiedlicher Endenergien in Deutschland bezogen auf die CO<sub>2</sub>-Freisetzung inkl. der Mehrwertsteuer auf die Energiesteuer in €/t CO<sub>2</sub>: 330 für Benzin, 211 für Diesel, 71 für Autogas, 82 für Erdgas (CNG).

jedoch, dass die Steuerhöhe unabhängig von der tatsächlichen Emission ist. Die Messverfahren, nach denen der Normverbrauch ermittelt wird, spiegeln nicht den realen Fahrbetrieb wieder. So wird z. B. der Betrieb von Klimaanlage nicht berücksichtigt. Im Einzelfall kann der Verbrauch in Kundenhand um 60 % höher sein als der Normverbrauch. Noch schwerer wiegt, dass das Nutzerverhalten in keiner Weise berücksichtigt wird. Die Steuer belastet selten gefahrene Fahrzeuge genauso wie stark genutzte, verbrauchsbewusste Fahrer genauso wie unaufmerksame. Sie bietet auch keinerlei Anreiz für die Hersteller, ihre Fahrzeuge mit Systemen auszustatten, die den realen Verbrauch durch Beeinflussung des Nutzerverhaltens senken können. Stattdessen suchen sie bereits heute nach Möglichkeiten, im Messzyklus günstig auszusehen, auch wenn sich dadurch kein realer Verbrauchsvorteil ergibt.

Auch eine Ausdehnung der fahrleistungsabhängigen Maut führt aufgrund reduzierter Verkehrsnachfrage, weniger Staus und höherer Kapazitätsauslastung im Güterverkehr zu weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen. Sie würde theoretisch auch interessante Möglichkeiten zur Steuerung der zeitlichen Nachfrage nach Verkehrsraum über den Preis bieten. Ihr bundesweiter Einsatz für alle Kfz-Kategorien wäre aber aufgrund der erheblichen Installations- und Betriebskosten kostenintensiv.

#### **4.1.2.6 Emissionshandel für den Straßenverkehr**

Neben den preisbasierten Instrumenten können auch mengenbasierte eingesetzt werden. Hier wäre die Einbeziehung des Straßenverkehrs in das europäische Emissionshandelssystem bzw. die Etablierung eines geschlossenen Handelssystems für den Straßenverkehr zu erwägen. Die möglichen Varianten eines solchen Emissionshandels für den Straßenverkehr können in einen „downstream“- , „midstream“- und „upstream“-Ansatz unterteilt werden.

- Im „downstream“-Ansatz müssen die einzelnen Verkehrsteilnehmer Zertifikate für die von ihnen verursachten Emissionen vorhalten. Er konfrontiert die Verkehrsteilnehmer zwar direkt mit den ökologischen Kosten ihres Transportverhaltens und setzt damit unmittelbare Anreize zur Emissionsreduktion, scheidet aber aufgrund der prohibitiv hohen Transaktionskosten als realistische Option aus.
- Im „upstream“-Ansatz sind nur wenige Akteure, die Produzenten und Importeure von Kraftstoffen, von der Zertifikatspflicht betroffen, so dass die Transaktionskosten gering sind. Der Nachweis über eine entsprechende Zertifikatsvorhaltung kann relativ unkompliziert im Rahmen der Mineralölsteuererhebung geschehen; auch die Vermeidung einer doppelten Zertifizierung von nicht im Straßenverkehr eingesetzten Mineralölprodukten sollte relativ unproblematisch sein. Ein Preissignal wird hier nur indirekt durch Überwälzung der Zertifikatskosten an die Verkehrsteilnehmer weitergegeben. Für die einzelnen Verkehrsteilnehmer entspricht die Anreizwirkung praktisch der einer Ökosteuer. Im Gegensatz zu dieser werden aber angestrebte Emissionsreduktionen innerhalb des Handelssystems sicher erreicht. Die Methode setzt jedoch für eine stetige Kraftstoffpreisgestaltung eine korrekte Schätzung der Preiselastizität der Nachfrage voraus. Diese hängt aber von vielen Einflussgrößen wie der konjunkturellen

Entwicklung, dem Wetterverlauf, den Moden und Zeitströmungen des Tourismus usw. ab. Eine präzise Steuerung dürfte daher sehr schwierig sein.

- Die zweite ernsthaft diskutierte Option ist die „midstream“-Variante, die bei den Automobilherstellern ansetzt. In einem solchen Modell würden Vorgaben für die durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen der (Neuwagen-)Fahrzeugflotte eines Herstellers gemacht. Liegen die tatsächlichen durchschnittlichen Emissionen eines Herstellers unterhalb der Vorgabe, generiert er Credits, die er an Hersteller verkaufen kann, welche den Standard nicht einhalten konnten. Positiv an dieser Variante eines Emissionshandels ist die Verankerung der Zertifikatspflicht bei denjenigen, die unmittelbaren Einfluss auf die Effizienz der Fahrzeuge haben, soweit sie durch die technische Gestaltung definiert wird. Ihnen wird ein starker Anreiz gegeben, ihre Kfz durch technische Innovationen hinsichtlich des Kohlendioxidausstoßes zu optimieren. Eine Kontrolle über die absoluten Emissionen des Straßenverkehrs kann jedoch nicht erreicht werden. Die Steuerung der Emissionsmenge erfolgt durch Schätzungen hinsichtlich der Fahrzeuganzahl und der jährlichen Fahrleistung. Da beide Parameter im Voraus unbekannt sind und ferner die tatsächliche durchschnittliche Emission auch vom Fahrstil abhängig ist, sind die Gesamtemissionen des Straßenverkehrs mit einem solchen System nicht steuerbar. Auch wenn statt Credits für Durchschnittsemissionen, absolute Emissionsmengen in einem „midstream“ Cap-and-Trade-System gehandelt würden, bliebe dieses Problem aufgrund der weiterhin bestehenden Unsicherheiten hinsichtlich des Fahrstils und der jährlichen Fahrleistung erhalten. Damit gehen Schwierigkeiten einher, einen „midstream“-Emissionshandel für den Straßenverkehr an das ETS anzuschließen. Letztlich ist ein offenes, alle Sektoren verbindendes Emissionshandelssystem anzustreben, da nur so das Angleichen der (Grenz-)Vermeidungskosten über alle Wirtschaftszweige und somit die Minimierung der volkswirtschaftlichen Kosten der Emissionsreduktion erreichbar ist. Für den Straßenverkehr eignet sich dazu am besten das Upstream-Verfahren.

#### **4.1.2.7 Ordnungsrechtliche Instrumente**

Während marktbasierete Instrumente auf die Induzierung von Verhaltensänderungen und technischem Fortschritt setzen, können mit dem Ordnungsrecht gewünschte Veränderungen erzwungen werden. Im Straßenverkehr sind vor allem technische Vorgaben von Relevanz. Eine Rechtfertigung für den Einsatz ordnungspolitischer anstelle von marktbasierter Instrumenten bietet die Annahme nicht rationaler Verhaltensweisen der Wirtschaftssubjekte, d.h. sie reagieren unter Umständen kurzfristig und irrational auf Preissignale. Es kann beobachtet werden, dass (vor allem) private Autokäufer beim Kauf eines Fahrzeugs die in der Zukunft anfallenden Kraftstoffkosten nicht hinreichend berücksichtigen und somit keine Nachfrage nach effizienteren, aber teureren Fahrzeugen entsteht.

Generell sollte der Einsatz des Ordnungsrechts auf jene Bereiche beschränkt bleiben, in denen marktwirtschaftliche Instrumente nicht wirken oder nicht (mit vertretbarem Aufwand) einsetzbar sind, da sie in der Regel eine geringere ökonomische Effizienz aufweisen. Ordnungsrechtliche Ansätze – bspw. generelle Tempolimits, verpflichtende Beimischquoten oder technische Vorgaben – geben in der Regel einen bestimmten Vermeidungs- bzw. Technologiepfad vor. Die Entscheidungen über die günstigsten Vermeidungsoptionen sollten primär den Marktakteuren überlassen werden. Aufgabe der Politik wäre das Setzen geeigneter Anreize und institutioneller Rahmenbedingungen, um rationale Anpassungsreaktionen (Kauf verbrauchsarmer Pkw, Senkung der gefahrenen Geschwindigkeiten, optimierte Logistik im Güterverkehr, Veränderung des Modal Split) der Marktakteure zu stimulieren.

#### **4.1.2.8 Forschungsförderung**

Die Umsetzung einer Politik der konsequenten THG-Minimierung verlangt eine grundlegende Neustrukturierung der Versorgung mit Energieträgern, der Nutzung dieser Energien in Fahrzeugen, der Konzeption dieser Fahrzeuge bezüglich Aufgabenerfüllung und Emissionsminimierung, des Betriebs von Straßen, der Information und der Schulung der Nutzer usw. Die möglichen Lösungsbeiträge sind bisher nur teilweise bekannt und vielfach wirtschaftlich und ökologisch nur unzureichend bewertbar. Für die nächste Produktgeneration relevante Technologien werden von den Marktakteuren nach Maßgabe heutiger und erwarteter künftiger wirtschaftlicher Randbedingungen und im Rahmen des technologisch Bekannten bzw. auf mittelfristige Sicht Beherrschbaren entwickelt. Dabei müssen sie auf existierende Strukturen in Entwicklung, Produktion und Vertrieb ebenso Rücksicht nehmen wie auf die weltweite Vermarktbarkeit ihrer Produkte. Dadurch wird der Lösungsraum notwendigerweise enger gewählt als grundsätzlich möglich. Angesichts des Umfangs, der Dringlichkeit und der Langfristigkeit der notwendigen Umgestaltungen muss daher der Prozess der Suche nach optimalen Lösungen durch eine systematische Unterstützung der angewandten Forschung beschleunigt werden. Die Bundesregierung und die EU sollten daher neben der grundlagenorientierten Forschung, auch die vorwettbewerbliche Entwicklung von Technologien, Feldversuche für aussichtsreiche, aber in ihren Auswirkungen und ihrem Betriebsverhalten noch nicht vollständig überschaubare Lösungsansätze, neue Prinzipien zur Gestaltung von relevanten Abläufen und Aufbauorganisationen sowie die Schaffung einschlägiger Forschungs- und Entwicklungsmethoden unterstützen. Dabei sollte auf die Vorgabe bestimmter Lösungswege verzichtet werden. Eine politische Forschungsstrategie sollte ohne Vorgabe eines bestimmten Lösungsraums (bspw. „Wasserstoff“, „Brennstoffzelle“, „Elektroantrieb“), aber mit konsequenter Überprüfung des möglichen und wahrscheinlichen Zielbeitrages an Hand von klar definierten Kriterien vorgehen.

#### **4.1.2.9 Transparenzerhöhung, Informationskampagnen und Verlässlichkeit**

Voraussetzung für ökonomisch rationale und ökologisch effektive Anpassungsreaktionen ist, dass die Marktakteure über genaue Informationen hinsichtlich der relevanten Entscheidungsparameter verfügen. So sollten beispielsweise Autokäufer Verbrauchs- und Emissionsinformation nicht nur auf Basis

der Typprüfdaten erhalten. Es sollten auch die – positiven oder negativen – Verbrauchswirkungen von Ausstattungskomponenten (automatische Getriebe, Fahrprofilassistent, Klimaanlage, elektronisches Zubehör, Reifen, etc.) explizit ausgewiesen sein, denn sie beeinflussen das reale Verbrauchsverhalten wesentlich mit. Eine ganz wesentliche Voraussetzung für die Umsetzung dieses Ansatzes ist die Definition von standardisierten Messverfahren, die es ermöglichen, den realen Kraftstoffverbrauch für ein bestimmtes Einsatzspektrum hinreichend verlässlich zu bestimmen. Die bisherigen Verfahren leisten das nicht; sie führen im Gegenteil zur Entwicklung technischer Lösungen, die zu guten ECE-Prüferten führen, die sich aber in der Praxis nicht in einem entsprechend verbesserten Verbrauch niederschlagen. Die Informationen für die Käufer von Fahrzeugen sollten auch die finanziellen Folgen (Treibstoffkosten über die durchschnittliche Nutzungsdauer<sup>7</sup>) umfassen und könnten möglicherweise ähnlich den Energieverbrauchsinformationen bei Haushaltsgroßgeräten grafisch aufbereitet werden. Die Entscheidungsträger bei Flottenbetreibern können gezielt angesprochen und mit Material für fundierte Entscheidungen versorgt werden. Informationskampagnen zur Förderung einer verbrauchsarmen Fahrweise sowie Fahrtrainings, sowohl im Pkw- als auch im Lkw-Bereich, können zu Emissionsreduktionen im Straßenverkehr beitragen. Fehlanreize wie Dienstwagen mit unbegrenztem „Freibenzin“ sollten überdacht werden.

Eine wichtige Voraussetzung dafür, dass die Wirtschaftssubjekte im Verkehrsmarkt auf politische Preissignale wie intendiert reagieren, ist die Glaubwürdigkeit der Klimapolitik. Für die Industrie ist die langfristige Verlässlichkeit der staatlich gesetzten Rahmenbedingungen – dies bezieht sich auf Steuern und Subventionen sowie Regulierungen, Standards und Auflagen – entscheidend.

### **4.1.3 Bewertung**

Derzeit wird in Deutschland und Europa für den Straßenverkehr mit Blick auf den Klimaschutz eine politische Strategie bestehend aus preislichen (Ökosteuern, geplante Orientierung der Kfz-Steuer am CO<sub>2</sub>-Ausstoß, Lkw-Maut) und ordnungsrechtlichen (Emissionsstandards, verpflichtende Beimischquoten für Biokraftstoffe) Ansätzen verfolgt. Ziel einer veränderten Kfz-Steuer-Berechnung und von Flottengrenzwerten ist die Entwicklung und Verbreitung emissionsarmer Fahrzeuge, wobei die Einführung verpflichtender Emissionsstandards mit den technischen Einsparpotenzialen im Pkw-Bereich und dem Scheitern der freiwilligen Selbstverpflichtung der europäischen Autoindustrie begründet wird. Wie oben ausgeführt, ist dieser Ansatz wirtschaftlich nicht optimal. Bei der Umsetzung der Emissionsstandards ist zudem mit großer Sorgfalt darauf zu achten, dass ihre konkrete Ausgestaltung keine kontraproduktiven Anreize für die Fahrzeughersteller bietet. So könnten bspw. am Gewicht orientierte Vorgaben einen klimapolitisch unerwünschten Trend zu schwereren Fahrzeugen unterstützen.

---

<sup>7</sup> Auch für die Herstellung eines Fahrzeug muss Energie aufgewandt werden, entsprechend entstehen Emissionen. Überschlägig werden 15 % mehr THG gesetzt, als für eine typische Gebrauchsphase anzusetzen ist. Nur ein Teil davon kann im Wege des materiellen oder energetischen Recycling zurück gewonnen werden.

Die verpflichtenden Beimischquoten als zweite starke ordnungsrechtliche Säule ersetzen die steuerliche Begünstigung von Biokraftstoffen. Die dadurch erzielbaren Entlastungswirkungen für das Klima werden aller Voraussicht nach zu einem hohen Preis in Form deutlich höherer Vermeidungskosten als in anderen Sektoren sowie einer verschärften Landnutzungs konkurrenz erkaufte. Generell sollte der Einsatz des Ordnungsrechts auf jene Bereiche beschränkt bleiben, in denen marktwirtschaftliche Instrumente nicht wirken oder nicht mit vertretbarem Aufwand einsetzbar sind. Die Vorgabe eines bestimmten Vermeidungs- bzw. Technologiepfades bringt in der Regel eine höhere Kostenbelastung für die Emissionsreduktion als im Optimalfall mit sich. Aufgabe der Politik sollte das Setzen geeigneter Anreize und institutioneller Rahmenbedingungen sowie die Bereitstellung notwendiger Informationen sein. Zudem können weiche Maßnahmen zur Verhaltensbeeinflussung in Richtung kohlenstoffärmerer Mobilitätsmuster (Mobilitätsberatung, Bewusstseinsbildung, verbesserter öffentlicher Nahverkehr, etc.) in effizienter Weise einen nachhaltigeren Verkehr stimulieren.

Ein langfristiges Ziel sollte auch für den Straßenverkehr die Einbeziehung in ein sektorübergreifendes, globales Emissionshandelssystem sein. Nur so können die marginalen Vermeidungskosten in gesamtwirtschaftlich optimaler Weise über alle Sektoren angeglichen werden, so dass die volkswirtschaftlichen Kosten zur Erreichung der Emissionsziele minimiert werden. Zudem kann durch ein so der Marktmacht der Anbieter fossiler Ressourcen eine starke Nachfrageseite gegenüber gestellt werden. Parallel zum Aufbau eines „upstream“-Emissionshandelssystems, das ökonomisch am günstigsten erscheint, sind flankierende Maßnahmen (Stadtplanung, Infrastrukturausbau, etc.) zu ergreifen, um die Vermeidungskosten des Straßenverkehrs zu mindern.

Letztlich sollte im Verkehrssektor – wie in allen anderen Verbrauchssektoren – das Ziel angestrebt werden, durch Einsatz zunehmend effizienterer Technik immer mehr Energieverbrauch zu substituieren. Da diese Technik zu erheblich höheren Kosten und Preisen führt, darf den Nutzern die wirtschaftliche Fähigkeit zu den erforderlichen und erwünschten, höheren Investitionen nicht genommen werden. Der Übergang von der heutigen Situation mit relativ billigen, relativ ineffizienten Energiewandlern und hohem Verbrauch von billiger Energie muss allmählich in eine Situation mit sehr effizienten, daher in der Regel teuren Energiewandlern und geringem Verbrauch von teurerer Energie übergeführt werden. Dieser Prozess ist angesichts der derzeitigen, im Hinblick auf eine effiziente THG-Minderungs politik völlig ungeeigneten Staffelung der Besteuerung von Kraft- und Brennstoffen nur langfristig möglich. Es müsste ein Ziel vorausschauender, langfristig orientierter Politik sein, einen Pfad der Angleichung der Belastung aller Energien zu definieren, an dessen Ende jede Freisetzung von fossilem Kohlenstoff in gleicher Höhe und so mit Steuern und Abgaben belastet wird, dass die gewünschten Einsparziele erreicht werden. Die Interessen der Fahrzeughersteller und der Klimapolitik laufen hier grundsätzlich parallel. Allerdings ist der Übergang von der heutigen Situation in die skizzierte künftige wegen der enormen Anpassungsbedarfe schwierig; daher bestehen starke Vorbehalte.

Es könnte das Ziel eine langfristig orientierten Verkehrspolitik sein, einen solchen Entwicklungspfad zusammen mit den relevanten Akteuren zu definieren, die Voraussetzungen zu seiner Umsetzung zu schaffen und dabei die Risiken und unerwünschten Nebenwirkungen beherrschbar zu halten. Einen ersten Ansatz dazu kann man in der „Verkehrswirtschaftlichen Energiestrategie“ sehen, an der neben der Bundesregierung viele OEM und Energieversorger beteiligt sind und in deren Rahmen seit vielen Jahren über die künftige Versorgung des Straßenverkehrs mit Endenergieträgern nachgedacht wird.

## 4.2 Luftverkehr

### 4.2.1 Ausgangslage

Obwohl der Luftverkehr mit ca. 3,5 % des anthropogenen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes nach IPPC erheblich weniger als der Straßenverkehr emittiert, beeinflusst er das Klima der Erde durch dessen Emission in großer Höhe sowie darüber hinaus durch Kondensstreifenbildung und Veränderungen der Bewölkung. Zudem ist auf diesem noch relativ niedrigen Niveau dennoch ein Anstieg der THG-Emissionen von 1990 bis 2003 um 73 % zu verzeichnen. Insofern bedarf auch dieser Verkehrsträger der genauen Analyse und Beobachtung, nicht zuletzt wegen seines weiteren dynamischen Wachstums von ca. 4 % pro Jahr und einer erwarteten Verdopplung des Verkehrs im Jahr 2020 gegenüber dem Jahr 2000. Damit wächst der Luftverkehr, spezifisch angefacht durch das Low Cost Reisesegment sowie die wachsende Bedeutung der Luftfracht aufgrund erheblich gestiegener Logistikanforderungen etwa doppelt so schnell wie die weltweite Wirtschaft. Weltweit wurden so im Jahr 2006 knapp 4 Mrd. Passagierkilometer realisiert.

Die ökologischen Konsequenzen des hohen Wachstums konnten in der Vergangenheit durch erhebliche technische Fortschritte in Grenzen gehalten werden. So sank der spezifische Kraftstoffverbrauch je Sitzplatz in dieser Zeitspanne um rund die Hälfte. Erreicht wurde dies vorrangig durch verbesserte Aerodynamik, leichtere Konstruktionen und sparsamere Triebwerke. Die Luftfahrtbranche kann sich einen hohen spezifischen Kraftstoffverbrauch mit Blick auf die massiv verschärfte Wettbewerbssituation (im Zeitraum von 1992 bis 1998 stieg die Anzahl an Luftverkehrsgesellschaften um ca. 25 %) nicht leisten: Sowohl innerdeutsch, verursacht durch viele neue Geschäftsmodelle im Niedrigpreissegment, als auch international durch eine stetig fortschreitende Liberalisierung seit 1987 bzgl. Strecken- und Anflugrechten<sup>8</sup>, jüngst für den transatlantischen Luftverkehr zwischen Europa und den USA oder der Ausdehnung des Schengen-Abkommens nach Osteuropa, existiert ein enormer Preisdruck.

---

<sup>8</sup> Siehe hierzu die 8 formalisierten „Freiheiten der Luft“, ausgehend vom Recht auf Überflug bis zum gewerblichen Transport zwischen zwei fremden Staaten ohne Anknüpfung an den Heimatstaat der Luftverkehrsgesellschaft (sog. Kabotage).

Fortschreitende Globalisierung, gesamtwirtschaftliche Entwicklungen und nicht zuletzt die durch die Wettbewerbssituation stark gefallenem Reisepreise sind treibende Faktoren für das schnelle Wachstum des Luftverkehrs. Da die Effizienzsteigerungen nicht mit der steigenden Verkehrsnachfrage Schritt halten können, wird eine weitere Zunahme des absoluten Kraftstoffverbrauchs und somit auch der klimarelevanten Emissionen kaum vermeidbar sein.

Bisher entzieht sich der Flugverkehr klimapolitischen Maßnahmen. Nach den Regeln des Kyoto-Protokolls und den ergänzenden vielfältigen bilateralen Abkommen Luftfahrt betreibender Länder werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen des internationalen Luftverkehrs nicht in den THG-Inventaren der Vertragsstaaten berücksichtigt. Angesichts der internationalen Verflechtungen des Luftverkehrs ist die International Civil Aviation Organization (ICAO)<sup>9</sup> der Vereinten Nationen mit der Entwicklung von Politikinstrumenten zur Emissionsminderung im internationalen Luftverkehr betraut. Obwohl bereits erste Vorschläge diskutiert wurden – bspw. für ein internationales Emissionshandelssystem im Luftverkehr –, konnten sich die ICAO-Staaten bisher jedoch nicht über gemeinsame Politikmaßnahmen verständigen, so dass die EU nun zumindest ein europaweites Vorgehen plant. Ende des Jahres 2006 hat die Kommission einen Richtlinienvorschlag für die Integration des Luftverkehrs in das europäische Emissionshandelssystem ETS vorgelegt.

Aufgrund seines schnellen Wachstums und der besonders hohen vermuteten Klimawirksamkeit seiner Emissionen sind der Flugverkehr und seine steuerliche Sonderstellung zuletzt immer stärker in den Mittelpunkt der klimapolitischen Diskussion geraten. Eine absolute Limitierung der Luftfahrtemissionen wäre allerdings nur durch einschneidende, nachfragewirksame Eingriffe möglich und entspräche nicht der Verfahrensweise, die in der Energiewirtschaft zur Anwendung kommt. Dennoch sind klimapolitische Maßnahmen im Luftverkehrssektor unvermeidlich, um den Anstieg der Emissionen zumindest soweit wie möglich zu begrenzen. Diese sollten sowohl beim spezifischen Verbrauch als auch bei der Nachfrage ansetzen. Auf der Angebotsseite können Kraftstoffeinsparungen unmittelbar durch den Einsatz modernsten Fluggerätes seitens der Luftverkehrsgesellschaften erzielt werden.<sup>10</sup> Weitere Einsparungspotenziale liegen in der Auslastungsverbesserung (Anzahl verkaufter Sitzplätze bzw. Luftfrachttonnage). Dies ist durch flexible Anpassung der einzusetzenden Luftfahrzeuge an die Nachfrage erzielbar, eine ausreichende Flottengröße und -vielfalt vorausgesetzt. Auch im Ausrüs-

---

<sup>9</sup> Die International Civil Aviation Organization (engl. für Internationale Zivilluftfahrt-Organisation) ist eine Sonderorganisation der Vereinten Nationen, die 1944 in Chicago mit dem gleichnamigen Abkommen gegründet wurde. Die ICAO setzt Standards im zivilen Luftverkehr. Ihr gehören mittlerweile 190 Staaten an.

<sup>10</sup> So konnte z.B. Lufthansa durch umfassende Flottenmodernisierungsmaßnahmen den Kraftstoffverbrauch von 6,2 Liter Kerosin pro 100 Personenkilometer im Jahr 1991 um 30 % auf 4,4 Liter im Jahr 2006 senken. Legt man eine Emission von 2,5 kg CO<sub>2</sub> pro Liter Kerosin zugrunde, so ergibt sich z.B. für einen Langstreckenflug von Frankfurt nach Kapstadt eine Emissionsreduktion um 420 kg auf ca. 1 t CO<sub>2</sub>.



tungssegment lassen sich durch Gewichtseinsparungen erhebliche Kraftstoffsparungen erzielen.<sup>11</sup> Strategisch ist schließlich analog zum Kfz der Einsatz alternativer Kraftstoffe zu beforschen.

Ein spezifisches Problem bei der Regulierung des Luftverkehrs ist die Komplexität des Zusammenhangs zwischen Emissionen in großer Höhe – ein Luftfahrzeug bewegt sich im Reiseflug in ca. 11 km Höhe und emittiert damit zu einem beachtlichen Anteil innerhalb der Stratosphäre – und dem Treibhauseffekt. Neben der Erhöhung der Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre wirkt der Luftverkehr insbesondere durch die Bildung von Kondensstreifen und sog. „Contrail Cirren“, die Veränderung von Ozon- und Methankonzentrationen durch Stickoxidemissionen sowie die Emission von Ruß- und Sulfataerosolen auf das Klima ein. Als „Contrail Cirren“ werden flächige Zirren bezeichnet, welche sich aus Kondensstreifen der Luftfahrzeuge bilden. Bei Temperaturen von bis zu -40 °C stellen die Kondensstreifen kein Problem dar. Wird die Luft jedoch kälter und feuchter, lösen sich die Kondensstreifen nicht auf, sondern nehmen weiter Wasserdampf aus der Umgebung auf und wachsen zu dünnen Eiswolken. Diese Eiswolken werden als Zirren bezeichnet. Die Wirkung der Zirren bzw. der „Contrail Cirren“ auf den Treibhauseffekt sind noch nicht ausreichend untersucht, um begründete Aussagen über ihre Klimawirkung zu treffen. Es ist jedoch möglich, dass der Einfluss auf die Erderwärmung genauso hoch ist wie der durch Schadstoff-Emissionen der Flugzeuge. Es wird geschätzt, dass die gesamte Klimawirksamkeit des Luftverkehrs das zwei- bis vierfache des reinen Kohlendioxideffektes beträgt.

Der globale Luftverkehr hat zum Strahlungsantrieb bisher ca.  $0.05 \text{ W/m}^2$  beigetragen. Das sind 3 % des gesamten anthropogenen Strahlungsantriebs von etwa  $1.6 \text{ W/m}^2$  mit Unsicherheiten in der Größenordnung von bis zu 5 % nach oben.<sup>12</sup> Eine exakte Quantifizierung ist aufgrund des noch unzureichenden Wissenstandes über die physikalischen Zusammenhänge sowie aufgrund der Abhängigkeit vom Ort der Emission derzeit nicht möglich. Eine dauerhafte Beschränkung auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen wäre daher unzureichend und ggf. sogar kontraproduktiv, da Maßnahmen zur Verringerung des Treibstoffverbrauchs mit der Verstärkung anderer klimawirksamer Effekte des Luftverkehrs einher gehen können. Daher sollte ein bei Einführung zunächst ausschließlich auf CO<sub>2</sub> basierendes Emissionshandelssystem durch Maßnahmen zur Begrenzung anderer Treibhauswirkungen des Luftverkehrs flankiert werden. Diese könnten beispielsweise stringente Grenzwerte für Stickoxid-Emissionen oder die Limi-

---

<sup>11</sup> Lufthansa gibt hier an, bis zu 5 Mio. Liter Kraftstoff-Einsparung, entsprechend 12.500 t CO<sub>2</sub> pro Jahr, durch Verbesserungen an der Innenausstattung, wie leichtere Kabinensitze, erreichen zu können.

<sup>12</sup> Der Strahlungsantrieb ist ein quantitatives Maß für die Klimawirkung. Ein positiver Strahlungsantrieb führt zu einer Erwärmung und ein negativer zur Abkühlung. Er misst die Erwärmungsrate infolge einer vom Menschen verursachten Änderung in Watt je Quadratmeter (Leistung pro Fläche). Der Strahlungsantrieb kann mit vergleichsweise einfachen Methoden berechnet werden, berücksichtigt jedoch bei aktuellen Messungen nicht die vielfältigen Rückwirkungen im Klimasystem, die durch langfristige Einflüsse wie Änderung der Luftfeuchte und Bewölkung induziert werden.

tierung der Flughöhe in den Regionen, in denen Kondensstreifen und Zirruswolken mit hoher Wahrscheinlichkeit entstehen, umfassen. Hinsichtlich des Richtlinienvorschlags zur Einbeziehung des Luftverkehrs in das ETS soll 2008 ein Vorschlag zur Berücksichtigung von Stickoxiden neben CO<sub>2</sub> in die Bewertung vorgelegt werden.

## **4.2.2 Wirtschaftliche Betrachtungen**

Durch den Klimawandel und die zu treffenden Gegenmaßnahmen entstehen Kosten, die bisher nicht vom Luftverkehr selbst getragen werden. Folgende überschlägige Rechnung lässt sich unter Verwendung der Vermeidungskosten für einen weiteren signifikanten Klimawandel für den Luftverkehr aufstellen: Das IPCC schätzt 1 % bis 3 % des Welt-BIP fortlaufend bis 2030 als Kosten für die Klimaveränderung. Bei linearer Umrechnung dieser Kosten anteilig auf Deutschland beläuft sich der Aufwand national auf 20 bis 60 Mrd. € pro Jahr<sup>13</sup>. 3,5 % hiervon entsprechen 0,7 bis 2 Mrd. € pro Jahr: Dies wäre das Finanzvolumen, das der Luftverkehr beizutragen hätte, bringt man seine Belastung der CO<sub>2</sub> Bilanz entsprechend in Ansatz.

Bei einer Beförderungsleistung in Deutschland von ca. 6 Mrd. Tonnenkilometer (Passagiere und Fracht zusammen) pro Jahr (Referenz: 2006), ergeben sich damit 10 – 50 € Umweltkosten pro 100 Tonnenkilometer. Im Vergleich dazu beziffern sich die operativen Kosten (im Wesentlichen Treibstoff, Gebühren, Leasingkosten, Personal) ausgewählter in Deutschland operierender Luftverkehrsgesellschaften wie z. B. Lufthansa oder Air Berlin zu ca. 50 bis 80 € pro 100 Tonnenkilometer. Somit würden die Umweltkosten bei Umsetzung der IPCC Vorgabe ca. 30 – 50 % der heutigen operativen Kosten einer Luftverkehrsgesellschaft ausmachen. Die für eine abgewogene Umsetzung zur Verfügung stehenden spezifischen Vermeidungsinstrumente werden nachfolgend dargelegt.

## **4.2.3 Spezifische Vermeidungsinstrumente**

### **4.2.3.1 Preisliche Ansätze:**

Der knappen, allerdings im dreidimensionalen Kontext, also unter Beachtung der Emissionshöhe nur komplex zu bewertende Ressource *THG-Aufnahmekapazität der Atmosphäre* sollte ein Preis gegeben werden, damit Unternehmen die Klimafolgekosten ihrer Verkehrsleistungen in ihrem wirtschaftlichen Kalkül berücksichtigen müssen. Mögliche Instrumente sind:

---

<sup>13</sup> Dem Internationalen Währungsfonds (IWF) zufolge lag das Welt-BIP 2006 bei USD 48,145 Billionen. Für Deutschland wurden USD 2,897 Billionen, 6,02% des Welt-BIP, ermittelt. Nach Angaben des IPCC liegen die weltweiten Kosten des Klimawandels demnach zwischen USD 481,45 Mrd. (325,30 Mrd. €\*) und USD 1.444,35 Mrd. (975,91 Mrd. €\*). Der Anteil für Deutschland resultiert bei Annahme linearer Abhängigkeiten gemäß BIP aus der Multiplikation von 6,02% mit den jeweiligen Kosten.

- Kerosinbesteuerung: Eine Bepreisung klimaschädlicher Emissionen unterbleibt im Luftverkehr bisher nahezu vollständig. Daher ist im Zuge der klimapolitischen Debatte insbesondere die Befreiung des Kerosins von der Mineralölbesteuerung in den Fokus gerückt; sie wird zunehmend als umweltpolitisch kontraproduktiv und den Wettbewerb der Verkehrsträger verzerrend eingestuft. Demzufolge ist die Besteuerung des Flugbenzins als ein plausibler Anknüpfungspunkt für eine Einbeziehung des Luftverkehrs in die Klimapolitik anzusehen. Die Umsetzung solcher Maßnahmen ist allerdings wegen des hohen Grades an Internationalität im Luftverkehr, welcher die Existenz einer Vielzahl multi- und bilateraler Luftverkehrsabkommen impliziert, juristisch komplex. Lokale Steuermodelle induzieren zudem die Gefahr von Arbitrage-Effekten durch Vermeidungsstrategien.
- Emissionsabhängige Start- und Landegebühren: Neben der Kerosinbesteuerung kommen auch CO<sub>2</sub>-abhängige Start- bzw. Landegebühren als preisliches Instrument zur Begrenzung der Klimawirkungen des Flugverkehrs in Betracht. Die Gebühren sollten dabei – unter Berücksichtigung der dazu anfallenden Transaktionskosten – die tatsächlichen Emissionen möglichst genau erfassen. Pauschale, vom exakten CO<sub>2</sub>-Austoß unabhängige Ticketaufschläge („Klimagebühren“), wie sie beispielsweise in Großbritannien existieren, internalisieren die Umweltkosten hingegen nur unzureichend und bieten keine Anreize, in saubere Technologien zu investieren; sie wirken lediglich indirekt über eine verminderte Nachfrage nach Flugverkehrsleistungen. Ein gesamtwirtschaftlich optimaler Minderungspfad über alle Sektoren wird nur dann erreicht, wenn die Gebühren je Tonne CO<sub>2</sub> im Luftverkehr mit CO<sub>2</sub>-Preisen in anderen Sektoren übereinstimmen. Neben der Kerosinbesteuerung und der Integration in das ETS werden auch CO<sub>2</sub>-abhängige Flughafenentgelte als Instrument zur Begrenzung der Klimawirkungen des Flugverkehrs betrachtet. Dies trifft auch die Sicht der Initiative „Luftverkehr für Deutschland“. Die Flughäfen Frankfurt und München führen dem folgend zum 1.1.2008 zunächst für 3 Jahre eine emissionsabhängige Komponente bei den Entgelten ein: So sind 3 € je Kilogramm emittiertem Stickoxid (NO<sub>x</sub>) zu zahlen. Betont wird hierbei aus Wettbewerbsaspekten, dass die Entgeltregelung substituierend ist und insgesamt die Belastungen hierdurch nicht steigen werden.

Alternativ zur Erhebung über Start- und Landegebühren könnte es auch möglich und ggf. sogar günstiger sein, die Klimakosten in die Kosten der Flugsicherung einzurechnen und über das Eurocontrol-Allokationssystem auf die Flüge umzulegen. Allerdings sind auch hier rechtliche Komplikationen aufgrund des Chicagoer Abkommens zu erwarten.

#### **4.2.3.2 Emissionshandel**

Eine viel versprechende Alternative zu den preislichen Ansätzen stellt der Emissionshandel für den Luftverkehr dar. Da in Zukunft weiterhin ein starkes Wachstum des Luftverkehrs erwartet wird, ist ein (semi-)offenes Handelssystem einem geschlossenen System vorzuziehen, um keine unzumutbaren

Vermeidungskosten durch eine massive Angebotsbeschneidung zu verursachen. Der Richtlinienvorschlag der europäischen Kommission sieht ein solches System vor, bei dem der Luftverkehr Zertifikate aus den übrigen ETS-Sektoren zukaufen, jedoch keine Zertifikate in diese Sektoren verkaufen kann. Es ist geplant, dass die Zertifikatspflicht ab 2011 für innereuropäische Flüge und ab 2012 für alle Flüge gilt, die an europäischen Flughäfen starten oder landen. Nachweispflichtig sind sinnvollerweise die Luftfahrtgesellschaften, da die Fluggesellschaften unmittelbar Einfluss auf technische und operative Minderungsoptionen haben und deshalb direkt auf die neu etablierten Anreizmechanismen reagieren können. Zudem ist ihre Anzahl hinreichend klein, so dass der Kontrollaufwand begrenzt bleibt; andererseits ist die Zahl der Akteure so groß, dass Wettbewerb am Zertifikatemarkt sichergestellt ist und es kaum zur Herausbildung von Marktmacht kommen kann. Durch den Anschluss an das bereits bestehende Emissionshandelssystem ist Handel zwischen den verschiedenen emittierenden Sektoren möglich, so dass die Emissionsreduktionen dort erfolgen können, wo sie die geringsten gesamtwirtschaftlichen Kosten verursachen. Probleme bei der Umsetzung könnten sich allerdings noch aus der ablehnenden Haltung der USA ergeben. Ein solches System ist sinnvoller, wenn alle Luftverkehrsgesellschaften, also auch solche aus Nicht-EU-Ländern, einbezogen werden. Aus Anreizsicht ist zudem zu beachten, dass die errechneten Mehrkosten für die Europäischen Luftverkehrsgesellschaften derzeit auf Kundenseite zu Preissteigerungen im Bereich von 4 € bis 40 € pro Passagier und (Mittel-)Strecke bei Umweltpreisen von 20 € bis 30 € je Tonne CO<sub>2</sub> liegen würden und von daher letztlich zumutbar scheinen, weil der Luftverkehrsmarkt im Allgemeinen als wenig preissensibel gilt. Diese Erkenntnis mag allerdings nicht auf das Low Cost Segment übertragbar sein, da dort die Mehrkosten bereits einen signifikanten Anteil des Ticketpreises ausmachen.

#### **4.2.3.3 Logistisches Optimierungspotenzial / Single European Sky**

Weiteres erhebliches Emissionseinsparpotenzial besteht für den Flugverkehr in der Optimierung von Flugrouten sowie der Vermeidung von Warteschleifen in der Luft. Hier ist insbesondere die Harmonisierung des Europäischen Luftraums zu nennen, deren Umsetzung mit der Single European Sky (SES)-Verordnung im Jahr 2004 lanciert wurde. Das wesentliche, bisher kaum genutzte, Optimierungspotenzial liegt hier in der Ausgestaltung der Luftraumstruktur nicht mehr nach nationalen Grenzen, sondern Quell-/Zielort orientiert mit Hilfe funktionaler Luftraumblöcke (FAB). Dieses Harmonisierungspotenzial sollte nun verstärkt genutzt werden, auch wenn sich die finale Realisierung als durchaus zeitaufwändig herausstellen könnte. Eine starke Beachtung und Unterstützung des hierfür gegründeten Europäischen Gemeinschaftsunternehmens (JU) SESAR durch die Politik ist insofern bedeutsam. Durch Realisierung des SES lassen sich Umwege vermeiden, die 2006 im Europäischen Luftraum mit 4,7 Mio. t CO<sub>2</sub> ca. 5 % der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen des Luftverkehrs ausmachten. Des Weiteren ist die Schaffung ausreichender Kapazitäten an den Flughäfen notwendig, um unnötige Warteschleifen in der Luft und am Boden zu verhindern. Letzteres ist insbesondere für innerdeutsche Kurzstreckenflüge bedeutsam: Eine Reduktion der Wartezeit von am Flughafen Frankfurt startenden

Luftfahrzeugen um jeweils fünf bis acht Minuten könnte nach Hochrechnungen des DLR Einsparungen von bis zu 30.000 t Kerosin pro Jahr einbringen.

#### **4.2.4 Bewertung**

Die geplante Einbeziehung des Flugverkehrs in das europäische Emissionshandelssystem ETS ist ein effizientes Instrument, um die Klimakosten des Sektors zu internalisieren und sein rasantes Emissionswachstum abzubremesen. Auch eine Internalisierung der externen Klimakosten des Luftverkehrs über CO<sub>2</sub>-abhängige Start- und Landegebühren oder mittels der Flugsicherungsgebühren wirkt bei richtiger Ausgestaltung ökonomisch effizient. Ferner sollte die Realisierung des Single European Sky mit Nachdruck angegangen werden. Angesichts der komplexen Klimawirkungen des Luftverkehrs gilt es zudem, die Entwicklung von Maßnahmen für die klimarelevanten Nicht-CO<sub>2</sub>-Emissionen voranzutreiben.

Es ist hervorzuheben, dass das Ziel der Klimapolitik im Luftverkehr eine Minderung der Emissionen gegenüber dem erwarteten Entwicklungspfad sein sollte.

Dass hier bereits Bereitschaft auch bei den Luftverkehrsbetreibern und Flughäfen besteht, zeigen Aktivitäten einiger Unternehmen, erstaunlicherweise insbesondere im Low Cost Segment, die sich pro-aktiv und freiwillig auf eine firmeninterne Umweltcharta festgelegt haben.. Diesen gesellschaftlichen Impuls gilt es politisch auszuschöpfen.

### **4.3 Schiffsverkehr**

#### **4.3.1 Ausgangslage**

Die Binnenschifffahrt hat nur einen kleinen Anteil an den Gesamtemissionen des Verkehrssektors in Deutschland.<sup>14</sup> Zudem ist die Datenlage bei der Binnenschifffahrt unübersichtlich und umstritten. So werden in der amtlichen Statistik der Verbrauch ausländischer Binnenschiffe in Deutschland sowie das Tanken deutscher Binnenschiffe im Ausland nicht angemessen berücksichtigt. Auch die Angaben zu den spezifischen Emissionen je Tonnenkilometer sind nicht eindeutig.<sup>15</sup> In Abhängigkeit von der Berücksichtigung der bei Nutzung des Binnenschiffs häufig anfallenden Umwege kann das Binnenschiff in der ökologischen Bewertung vor oder hinter der Eisenbahn landen; beide Modi schneiden jedoch stets besser ab als der Gütertransport per Lkw.

---

<sup>14</sup> Im Jahr 2004 lagen die der Binnen- und Küstenschifffahrt zugerechneten CO<sub>2</sub>-Emissionen bei 0,9 Mio. t.

<sup>15</sup> Das BMVBS sollte überlegen, zumindest hinsichtlich der quantifizierbaren ökologischen Aspekte (Energieverbrauch, Emission) im Vergleich zu alternativen Verkehrsträgern und getrennt nach Gütergruppen verlässliche und unangreifbare Daten erarbeiten zu lassen.

Die Binnenschifffahrt ist von der Mineralölsteuer befreit und muss bisher keine Emissionsgrenzwerte einhalten. Gemäß der EU-Richtlinien 97/68 und 2004/26 werden jedoch Grenzwerte für Abgasemissionen aus Binnenschiffsmotoren festgelegt, die für Typgenehmigungen von 2008 an und für alle neuen Motoren ab 2009 verbindlich sind. Diese Grenzwerte, die indes nicht explizit auf Klimaschutzziele ausgerichtet sind, werden von neuen Schiffsmotoren bereits heute erreicht. Da Binnenschiffe im Durchschnitt allerdings ein relativ hohes Alter haben – das Alter der Motoren wird im Mittel mit mehr als 30 Jahren angegeben –, erreichen viele Binnenschiffe nicht die Errungenschaften der modernen Motortechnik hinsichtlich der Reduzierung von Emissionen sowie hinsichtlich eines energieeffizienten Wirkungsgrades.

Hinsichtlich ihrer globalen Treibhausgasemissionen ist die internationale Seeschifffahrt von weit größerer Bedeutung als die Binnenschifffahrt. Ihr Anteil an den weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen liegt heute bei ca. 3 %, womit er in etwa in der gleichen Größenordnung wie die Emissionen aus der Luftfahrt liegt. Zwischen 1950 und 2000 hat sich der Energieverbrauch der Hochseeschifffahrt um den Faktor 4,3 erhöht, die CO<sub>2</sub>-Emissionen stiegen zwischen 1990 und 2005 um 50 % an. Wenn keine wirksamen Strategien zur Reduktion der Emissionen aus der Seeschifffahrt entwickelt und angewendet werden, werden sich bis 2050 die CO<sub>2</sub>-Emissionen (und die SO<sub>2</sub>-Emissionen) nochmals verdoppeln<sup>16</sup>.

Die Regulierung und Reduktion der Treibhausgase aus dem internationalen Seeverkehr, der wie der internationale Luftverkehr nicht in den Kyoto-relevanten nationalen Emissionsinventaren erfasst wird, obliegt der International Maritime Organisation (IMO) unter dem Dach der Vereinten Nationen. Bisher gibt es jedoch noch keine konkreten Schritte zur Begrenzung der THG-Emissionen durch die Seeschifffahrt. Deshalb erwägt die EU nun analog zum Luftverkehr einseitige Maßnahmen.

An Vermeidungsoptionen bestehen zum einen die Anschaffung moderner effizienter Schiffe, Nachrüstungsmaßnahmen für die bestehende, langlebige Flotte sowie Optimierungen im Betriebsablauf. Zu letzteren Maßnahmen zählen beispielsweise eine Verringerung der Fahrgeschwindigkeit, Fracht-, Flotten- und Routenoptimierung. Ihre Umsetzung gilt es durch die Setzung geeigneter politischer Rahmenbedingungen zu induzieren.

Hinsichtlich der Umsetzung klimapolitischer Maßnahmen weisen der Schiffsverkehr und der Luftverkehr einige Parallelen auf. Beide Verkehrsträger verzeichnen im Zuge der Globalisierung ein starkes Wachstum und sind durch hohe Internationalität gekennzeichnet, wobei den CO<sub>2</sub>-Emissionen des Schiffsverkehrs im Gegensatz zum Straßen- und Luftverkehr bis in die jüngste Vergangenheit vergleichsweise wenig Aufmerksamkeit gewidmet wurde.

---

<sup>16</sup> Zusätzlich zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen ist die Seeschifffahrt einer der wesentlichen Emittenten von NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, Schwermetallen und Ruß. Sie ergeben sich als Konsequenz aus der Verwendung billigster Rückstandsöle (2,7 % bis über 4 % Schwefelgehalt) und der kompromisslos auf optimalen Wirkungsgrad ausgelegten Motorentechnik, die durch keinerlei Emissionsgesetzgebung eingeschränkt wird.

## **4.3.2 Spezifische Vermeidungsinstrumente**

### **4.3.2.1 Preisliche Ansätze**

Durch die Verteuerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Schiffsverkehrs können technische Veränderungen und Verhaltensanpassungen induziert werden. Mögliche Instrumente sind:

- Besteuerung von Schiffsdiesel: Ein erster und relativ kurzfristig zu realisierender Schritt zur Reduzierung der Kohlendioxidemissionen des Schiffsverkehrs – dies gilt insbesondere für die Binnenschifffahrt – wäre die Besteuerung von Schiffsdiesel. Dies ließe sich zum einen mit der Internalisierung externer Klimakosten sowie zum anderen damit rechtfertigen, dass auch die Schifffahrt öffentliche Verkehrswege nutzt, deren Wegekosten sie nicht deckt. Angesichts der erforderlichen Anpassung schiffrechtsrechtlicher Abkommen („Mannheimer Akte“) und da Binnenschiffe in der Regel auch im Ausland tanken können, ist eine Regelung auf EU-Ebene anzustreben. Bezüglich der Seeschifffahrt sind für eine Besteuerung von Kraftstoffen – ähnlich dem Luftverkehr – zuvor eine Vielzahl rechtlicher Fragen zu klären sowie bestehende Ausweichmöglichkeiten zu berücksichtigen, so dass die Kraftstoffbesteuerung des internationalen Seeverkehrs kurzfristig nicht umsetzbar erscheint.
- CO<sub>2</sub>-abhängige Hafengebühren: Angesichts der rechtlichen Schwierigkeiten bei der Durchsetzung einer international abgestimmten Treibstoffbesteuerung sollte für den internationalen Schiffsverkehr zunächst die Einführung von emissionsabhängigen Hafengebühren geprüft werden, die juristisch weniger problematisch sind. Neben den klimawirksamen Emissionen ist dabei auch der Ausstoß lokal wirkender Schadstoffe zu berücksichtigen.

### **4.3.2.2 Emissionshandel**

Die Einbeziehung des Seeverkehrs in ein internationales Emissionshandelssystem bzw. das ETS ist ein viel versprechender Ansatz zur Internalisierung der externen Klimakosten des Seeverkehrs und wird derzeit auch auf europäischer Ebene erwogen. Wenn eine tragfähige Regelung für den internationalen Luftverkehr erzielt wurde, sollte ihre Übertragbarkeit auf den Schiffsverkehr geprüft werden. Zusätzliche Komplexität erwächst im Falle des Seeverkehrs aus der Tatsache, dass auf internationalen Schifffahrtsrouten zum Teil mehrfach Ladung umgeschlagen wird. Es ist daher zu klären, welche Bemessungsgrundlage für die Berechnung der nachzuweisenden Zertifikate am besten geeignet ist.

### **4.3.2.3 Technische Vorgaben und Forschungsförderung**

Um den Energieverbrauch in der Binnenschifffahrt auf das technisch mögliche geringste Maß zu verringern, ist ferner eine Regelung auf EU-Ebene zu erwägen, die nicht nur bei neuen, sondern auch bei bereits in Betrieb befindlichen Schiffen zu einer Einführung moderner Motortechnik führt. Darüber hinaus sollte die Etablierung innovativer Technologien durch Forschungsförderung und die Unterstützung der Markteinführung vorangetrieben werden.

### **4.3.3 Bewertung**

Der Treibstoffverbrauch und damit die Emissionen der Schiffe hängen im Wesentlichen von der Fahrgeschwindigkeit ab. Nur über ihre Verringerung, die vor allem über preisliche Anreize erreichbar scheint, ließe sich der Energieverbrauch deutlich vermindern. Zunächst ist festzuhalten, dass marktbaasierte klimapolitische Maßnahmen für den Binnenverkehr generell politisch und rechtlich leichter durchzusetzen sind. Da die Emissionen des Schiffsverkehrs allerdings durch den internationalen Seeverkehr dominiert werden, ist die zügige Ergreifung von Maßnahmen gerade für diesen Bereich klimapolitisch erforderlich. Die EU könnte zunächst mit der Einbeziehung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in die Hafengebühren beginnen, um nach erfolgreichem Start des Emissionshandels im Luftverkehr diesen auf den Schiffsverkehr zu übertragen. Langfristig verspricht die Einbeziehung in den europäischen Emissionshandel die effizienteste Lösung zu sein, da so die Umsetzung eines sektorübergreifend Kosten minimierenden Emissionsreduktionspfades ermöglicht wird. Über einseitige Maßnahmen auf europäischer Ebene hinaus sollten seitens der Bundesregierung die Arbeiten im Rahmen der IMO zur Begrenzung der Emissionen von Treibhausgasen durch Seeschiffe nachdrücklich mit dem Ziel unterstützt werden, bald zu wirkungsvollen, weltweit greifenden Standards zu gelangen.

## **4.4 Bahnverkehr**

### **4.4.1 Ausgangslage**

Der Bahnverkehr spielt bei der Begrenzung der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs eine untergeordnete Rolle. Zum einen ist die Bahn, bezogen auf den CO<sub>2</sub>-Ausstoß je Personenkilometer bzw. je Tonnenkilometer, ein relativ emissionsarmes Verkehrsmittel; und zum anderen ist ihr Anteil an den Gesamtemissionen des Verkehrssektors gering. Bei guter Auslastung ist der Schienenverkehr aufgrund seines Systemvorteils der geringen Rollreibung Stahl auf Stahl ein energiesparsamer und damit auch umweltfreundlicher Verkehrsträger. Der Ausstoß von CO<sub>2</sub> konnte von der DB AG von 1990 bis 2002 um 25 % gesenkt werden. Darüber hinaus wird bereits heute durch den Einbezug von Kraftwerken in den europäischen Emissionshandel ein Großteil der dem Schienenverkehr zurechenbaren CO<sub>2</sub>-Emissionen im ETS erfasst. Mehr als 80 % der Traktionsleistungen von etwa 1 Mrd. Zugkilometer pro Jahr wird mit elektrischem Antrieb erbracht. Dieser Strom für den Zugbetrieb wird weitgehend aus CO<sub>2</sub>-freier Wasserkraft (30 %) und Kernenergie (40 %) sowie zu 30 % aus fossilen Brennstoffen gewonnen. Die Traktionsart Dieselantrieb leistet allenfalls 20 % der Zugkilometer im deutschen Bahnnetz, vorwiegend im SPNV auf Nebenstrecken – dabei werden vorwiegend moderne, energieverbrauchsoptimierte Triebwagen eingesetzt. Demzufolge sollte die Entwicklung und Umsetzung von Maßnahmen zur CO<sub>2</sub>-Reduktionen in den anderen Verkehrssektoren, insbesondere im Luft- und Straßenverkehr, eine höhere politische Priorität haben.



Das entbindet den Schienenverkehr aber nicht von der Pflicht, weiterhin alle Möglichkeiten des Energiesparens auszunutzen. Weitere Einsparungen sind durch Steigerungen der Auslastung im Personenverkehr sowie technologische Verbesserungen der Zug- und Betriebstechnik möglich. Wichtige Hebel für eine Erhöhung der Effizienz im Schienenverkehr sind:

- **Flüssiger Betrieb:** Jedes Anfahren eines schweren Güterzuges erfordert viel Energieaufwand. Er kann bisher beim Bremsen nur zu einem ganz geringen Teil zurück gewonnen werden. Ein flüssiger Betrieb ohne Geschwindigkeitseinbrüche oder Langsamfahrstellen vermeidet diese Verluste. Daher ist auch aus Energiespargründen die Infrastruktur in einem guten Zustand zu halten und Engpässe durch Ausbau zu beseitigen.
- **Energiesparsame Fahrweise:** Die Bahnen schulen ihre Triebfahrzeugführer in Richtung energiesparsame Fahrweise, was bis zu 15 % Energieeinsparung im Personenverkehr erbringen kann. Im ICE stehen dafür technische Unterstützungen bereit, die ein frühzeitiges Abschalten der Traktion ohne Auswirkungen auf die Pünktlichkeit signalisieren. Voraussetzung dafür sind ausreichend Reserven (Zeitzuschläge) im Fahrplan. Der Schienengüterverkehr hat dagegen nur geringe Einsparmöglichkeiten in diesem Bereich, weil für ihn keine genauen und engmaschigen Vorgaben für Passierzeiten existieren, an der er seine relative Pünktlichkeit orientieren kann.
- **Moderne Fahrzeuge:** Erhebliche Energieeinsparungen sind durch Nutzung moderner E-Lokomotiven und Triebwagen gemäß dem Stand der Technik möglich. Nahezu der gesamte Fahrzeugpark wurde inzwischen modernisiert, wozu auch Rückspeisungsmöglichkeiten beim Bremsen und effizientere Energieumsetzung im Triebfahrzeug gehören. Auch die Modernisierung der Dieselmotoren erbrachte erhebliche Einsparungen je tkm. Aufgrund der höheren Auslastungen der Züge und den höheren Zugleistungen sank jedoch der Diesel- und Stromverbrauch insgesamt kaum.

#### **4.4.2 Spezifische Vermeidungsinstrumente**

Durch spezifische Instrumente sollten zum einen Anreize gesetzt werden, damit die vorhandenen Effizienzsteigerungspotenziale im Bahnverkehr ausgeschöpft werden. Darüber hinaus bietet die Verlagerung des Modal Split zugunsten der Bahn – wo sinnvoll<sup>17</sup> – eine Option zur Minderung der Gesamtemissionen des Verkehrs. Hierzu ist die Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit des Bahnverkehrs anzustreben.

---

<sup>17</sup> Bei geringer Auslastung oder der Inkaufnahme großer Umwege (unter Einbezug von Anfahrtswegen) kann die Bahn auch eine schlechtere Klimabilanz als der Straßenverkehr aufweisen.

#### **4.4.2.1 Liberalisierung und Marktöffnung**

Um die Konkurrenzfähigkeit der Bahn im Wettbewerb mit dem Straßenverkehr zu stärken, ist auf eine weitgehende Integration der nationalen Transportsysteme hinzuwirken. Durch die Schaffung eines europäischen Eisenbahnmarktes wird der Wettbewerb unter den Bahnunternehmen gefördert, aber auch die Konkurrenzfähigkeit mit anderen Transportmodi gestärkt.

#### **4.4.2.2 Interoperabilität stärken**

Angesichts der anzustrebenden Internationalisierung der Verkehre sollten die Grenzen auch auf der Schiene nicht mehr erkennbar sein. Die technische Kompatibilität wird durch die Umsetzung der TSI (Technische Spezifikationen für die Interoperabilität) und besonders durch das ETRMS (European Rail Traffic Management System), bestehend aus den neuen Zugbeeinflussungssystemen ETCS und dem in Deutschland weitgehend eingeführten Funksystem GSM-R, nach und nach realisiert. Dieses stützt den internationalen Wettbewerb, verkürzt Fahrzeiten und wird langfristig auch die Systemkosten senken.

#### **4.4.2.3 Weitere Elektrifizierungen**

Eine Stärkung des Bahnverkehrs kann auch aus einer Verbesserung der Elektrifizierungssituation resultieren. In Deutschland sind nahezu alle wichtigen Strecken bereits elektrifiziert. Neben den Neubaustrecken stehen lediglich noch einige Verbindungsstrecken zur Elektrifizierung an (z.B. Nürnberg – Dresden, einige internationale Anschlüsse nach Osteuropa). Hintergrund für die Verzögerung sind die hohen Kosten für die festen Anlagen, die nur bei einer Mindestmenge an Zügen je Tag durch die Stromeinnahmen refinanziert werden können.

#### **4.4.2.4 Preisliche Anreize**

Die Energieversorgung (Strom und Diesel) wird im deutschen Bahnsystem von dem neutralen Eisenbahninfrastrukturunternehmen DB Energie gewährleistet, dem auch die Netzwerke zur Bahnstromversorgung bis hinunter zur Fahrleitung gehören. Auf den Triebfahrzeugen sind Stromzähler installiert, die auch eine Rückspeisung beim Bremsen ins Netz zählen. Nur ein Teil dieses Rückspeisungsstroms kann derzeit aber wieder an anderer Stelle verbraucht werden, weil es an effektiven Speichersystemen fehlt. Über den Bahnstrompreis könnten den Eisenbahnverkehrsunternehmen mehr Anreize zur Verwendung energiesparsamer Techniken gegeben werden.

#### **4.4.2.5 Forschungsförderung**

Um die Effizienz des Bahnverkehrs weiter zu erhöhen und gleichzeitig seine Wettbewerbsposition zu stärken, sind technische Entwicklungen notwendig, die unterstützt werden sollten. Hervorzuheben sind hier insbesondere:

- Energie(rück)speicherung: Es wird bereits daran geforscht, die Energierückspeisungsmöglichkeiten zu verbessern. Der verstärkte Einsatz von Triebwagen mit verteilter Traktion eröffnet

dazu neue Chancen. Einerseits sind Speicher für die Unterwerke in Erprobung, andererseits ermöglicht aber die Technikentwicklung auch relativ kleine und leichte Speicher für die Fahrzeuge. Entwicklungen aus dem Straßenbahnbereich könnten auch für Nahverkehrsfahrzeuge adaptiert werden. Aber auch die Hybrid-Technik aus dem Straßenbereich kann für Dieseltriebwagen Anwendung finden. Kleine Elektroantriebe für die Güterwagen, gekoppelt mit kleinen Speichern, werden im Zugverband aufgeladen und erlauben eine Beweglichkeit des Güterwagens in Gleisanschlüssen und Zugbildungsbahnhöfen auch ohne Rangierlokomotive.

- Automatische Mittelpufferkupplung für Güterwagen: Die inzwischen im Personenverkehr übliche ruck- und verzögerungsfreie Bremsung auf elektrischen Impuls ist bei Güterzügen mangels Elektroverbindung zwischen den Wagen nicht möglich. Eine Funksteuerung kann bisher nicht die Sicherheitsanforderungen erfüllen. Erst mit einer automatischen, aber mit der derzeitigen Technik verträglichen, Mittelpufferkupplung kann neben vielen anderen Vorteilen hier der Durchbruch gelingen. Längere und schwerere Züge sind möglich, weil die Bremswege verkürzt werden und der Verschleiß sinkt. Letztlich sind damit auch enorme Energieeinsparungen möglich. Diese Kupplung ist entwickelt und zugelassen, ihr Einsatz scheitert bisher an den Investitionskosten, die sich bei heutigen Bedingungen nur langfristig amortisieren. Preisanreize zur Nutzung moderner Technik z.B. in Form von Trassenpreisenachlässen könnten hier für eine zügige Einführung sorgen.
- Intelligente Führung der Züge durch Engpässe: Eine Weiterentwicklung der Betriebs- und Dispositionssysteme sollte es ermöglichen, die Züge ohne Halt durch Engpässe zu schleusen. Auf Basis der aktuellen Betriebslage unterstützt eine Kurzzeitprognose den Disponenten und dieser gibt Fahrempfehlungen an die zulaufenden Züge (ähnlich wie die Warteschlangenregelungen beim Anflug auf Flughäfen). Hierdurch könnten Güterzüge durch energiesparendes Rollen und ohne Anhalten/Wiederanfahren auf die Knoten zugesteuert werden.

#### **4.4.3 Bewertung**

Der Bahnverkehr trägt im Vergleich mit dem Straßen, Luft- und Schiffsverkehr am wenigsten zum Klimawandel bei. Überdies ist ein Großteil der ihm zuzuschreibenden Emissionen über den Elektrizitätssektor bereits im europäischen CO<sub>2</sub>-Emissionshandel erfasst. Bei guter Auslastung der Züge weist der Schienenverkehr zudem eine gute Klimabilanz auf. Daher sollte eine an Klimabelangen orientierte Verkehrspolitik nicht nur auf eine Energieeffizienzsteigerung im Schienenverkehr selbst, sondern auch auf eine Verlagerung des Modal Split zugunsten der Bahn hinwirken. Die Umweltvorteile der Bahn könnten insgesamt zu einer Reduzierung des verkehrsbedingten CO<sub>2</sub>-Ausstoßes führen, wenn es gelingt, mehr Verkehr auf die Schiene zu verlagern. Die Unterstützung des Modal Shift in Richtung der Bahn sollte dabei allerdings nicht bedingungslos erfolgen, da der Schienenverkehr bei geringer Auslastung durchaus klimabelastend sein kann. Neben der Auslastung der Züge und der Art der Stromerzeugung bzw. dem Dieselanteil relativieren auch die Aspekte Umwege und Verkehrsträger-

wechsel die vermeintliche Umweltverträglichkeit des Systems Bahn. Wenn der Zugang zu den Bahnhöfen bzw. KV-Terminals mit weniger umweltfreundlichen Verkehrsmitteln erfolgt, wenn man bedenkt, dass die Haus-zu-Haus-Verbindungen per Bahn im Schnitt wohl 20 % länger sind als die Direktfahrt mit dem Pkw und wenn die Auslastung der Fahrzeuge zumindest in Teilabschnitten relativ gering ist, erscheint es plausibel, dass manche Relation gemessen am CO<sub>2</sub>-Ausstoß mit dem Pkw günstiger ist als die Bahnnutzung. Dies gilt insbesondere z.B. bei Familienfahrten, wenn der im Schnitt schlechte Auslastungsgrad des Pkw (1,3 Personen je Fahrt bei 5 Sitzen) erheblich höher liegt.

Entscheidender Schritt für eine Stärkung der Wettbewerbsposition der Bahn im Güterverkehr ist die Verbesserung der Interoperabilität nationaler Bahnsysteme und die Schaffung eines europäischen Marktes für den Schienenverkehr. Die Politik sollte durch entsprechende politische Weichenstellungen auf dessen Schaffung mit Nachdruck hinwirken. Des Weiteren trägt eine intakte und gut gewartete Infrastruktur zu einem relativ emissionsarmen Schienenverkehr bei.

## 5 Raumstrukturelle Beiträge zu einer CO<sub>2</sub>-Reduktion

Neben fahrzeugtechnischen und verkehrsbetrieblichen sowie ökonomischen Maßnahmen haben auch Handlungskonzepte zur Reduktion von Verkehrsleistungen – bzw. zur Dämpfung der Zunahme von Verkehrsleistungen – Einfluss auf Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs. So muss auch raumstrukturell und städtebaulich auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs Einfluss genommen werden, wobei es sich um langfristig wirksame Beiträge handelt. Die Abhängigkeit des verkehrsbedingten Kraftstoff- bzw. Energieverbrauches von der Siedlungsdichte ist ebenso vieljährig bekannt wie vergleichende Bilanzierungen, die eine Zunahme der spezifischen Verkehrsleistungen (pro Einwohner) von Wohnstandorten in Stadtkernen über den jeweiligen Stadtrand, über das engere Stadtumland bis hin zum weiteren Stadtumland zeigen. Dabei sind suburbane Standorte in der Tendenz verkehrsaufwändiger und mit höheren spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen verbunden als Wohnstandorte in Stadtzentren.

Die Ausgangslage und Veränderungstendenzen der großräumigen Raumstruktur sowie die Standortmuster von städtischen bzw. regionalen Flächennutzungen und Nutzungsgelegenheiten bieten jedoch in Deutschland Potenziale zur Dämpfung der sozial- und wirtschaftsstrukturell bedingten Zunahme von Verkehrsleistungen. Die polyzentrische Struktur des Gesamttraumes wie auch der meisten Teilräume in Metropolregionen und Verdichtungsräumen sind notwendige, aber nicht hinreichende Voraussetzungen zur Verkehrsvermeidung oder zur Begrenzung von Verkehrsaufwänden und -leistungen. Zudem weisen die Städte – sowohl Metropolen und Großstädte als auch Mittel- und Kleinstädte – zunehmend Flächenpotenziale auf Brachflächen (Industrie- und Gewerbeflächen, Verkehrsflächen, Militärflächen) für Innenentwicklungen auf, um weite Wege an die Peripherie oder in das Umland zu vermeiden. Diese Optionen korrespondieren mit dem Flächensparziel und dem Ziel der Flächenkreislaufwirtschaft der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung. Flankierend fördern die zunehmende „Stadtaffinität“ verschiedener sozialer Gruppen (alte Menschen, Alleinerziehende, Alleinstehende, Lebenspartnerschaften ohne Kinder, junge Haushalte) bei der Wohnstandortwahl und die „Stadtaffinität“ entwicklungssträchtiger Wirtschaftsbereiche („creative industries“, Wissenscluster, Forschung und Entwicklung, Handel und Dienstleistungen) bei der Unternehmensstandortwahl die Ausschöpfung der Potenziale zu verkehrsreduzierenderen Siedlungsstrukturen. Es ergeben sich Potenziale zur neuerlichen Nutzung der Brachflächen durch Wohnnutzungen oder gewerbliche Nutzungen, aber auch Chancen zur baulichen Nachverdichtung vorhandener Siedlungsgebiete.

Vorraussetzungen zu einer Stärkung dieser Tendenz sind:

- städtebauliche Dichte / Verdichtung mit Erreichbarkeit von Arbeits- und Ausbildungsplätzen, Versorgungsgelegenheiten, Dienstleistungsangeboten, Einrichtungen der Kultur und Freizeit
- Nähe / Nachbarschaft bzw. Mischung verschiedener städtebaulicher Funktionen und Nutzungen wie auch verschiedener Bevölkerungsgruppen,

- hochwertige Standortqualitäten und Umfeldqualitäten, die vor allem auch durch Maßnahmen des verkehrsbezogenen Umweltschutzes und der Stadtgestaltung sowie der Schaffung von grün bestimmten Freiräumen (Parks, Grünanlagen, u.ä. ) auf Brachflächen gefördert werden können.

Eine gute städtische und stadtregionale Erreichbarkeit bedeutet vor allem auch eine Förderung der Nutzung nicht motorisierter Verkehrsmittel und des öffentlichen Personennahverkehrs mit geringen spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen (pro Fahrgast bzw. pro Einheit Verkehrsaufwand). Die Attraktivität der Angebote für den nicht motorisierten Verkehr und die Angebote des ÖPNV fördern eine verstärkte Ausbildung multimodaler Mobilität. Insgesamt werden somit auch Potenziale für modale Verlagerungen eröffnet.

Eine schienenorientierte Siedlungsentwicklung („transit-oriented development“) längs leistungsfähiger ÖPNV-Achsen (Regionalbahn, S-Bahn, Stadtumlandbahn, Stadtbahn u. a.) – mit Siedlungs- und Nutzungsverdichtungen an den Haltepunkten sowie städtebaulichen Gestaltqualitäten an diesen Standorten – stellt einen integrierten Ansatz der Raum- und Verkehrsgestaltung dar, der hohe Potenziale zur Verkehrsvermeidung, zu modalen Verkehrsverlagerungen und damit zu Minderungen des spezifischen Energieverbrauchs sowie der CO<sub>2</sub>-Emissionen aufweist.

Auch wenn diese Grundmuster der Siedlungsstrukturen kurz- und mittelfristig nur geringe Veränderungspotenziale aufweisen, ist nicht zu unterschätzen, dass Haushalte wie auch Betriebe relativ häufig Standorte wechseln und bei der Standortwahl Kriterien einer Verkehrsaufwandsminimierung bzw. Energie- und CO<sub>2</sub>-Reduktion zugrunde legen können. Dazu bedarf es quantitativ und qualitativ geeigneter Standortoptionen, unterstützender Beratungen bei Standortwahlen sowie eines geeigneten Standortmarketings. Die Ermittlung und Darstellung der individuellen bzw. haushaltsbezogenen Effekte hinsichtlich Energieverbrauch, CO<sub>2</sub>-Emissionen und Mobilitätskosten können im Rahmen einer derartigen Standortberatung Standortwahlen beeinflussen.

Eine langfristige Wirksamkeit und Tragfähigkeit Energieverbrauch mindernder und CO<sub>2</sub>-Emissionen minimierender Siedlungsentwicklungen setzt „integrierte“ Konzepte der Standortmuster, Raum- und Siedlungsstrukturen sowie der Verkehrsangebote und Verkehrsinfrastrukturen voraus. Angebote des öffentlichen Personennahverkehrs wie auch des Fußgänger- und Fahrradverkehrs können nur dann entsprechende verkehrliche Effekte wie auch angestrebte Effekte der Energieeinsparung und der CO<sub>2</sub>-Minderung erzielen, wenn die Siedlungsstrukturen nicht motorisierte Nahraummobilität und/oder ÖPNV-Mobilität unterstützen und attraktiver machen. Gleichzeitig können verkehrliche Maßnahmen des Ausbaus von ÖPNV-Angeboten sowie von Anlagen des Fußgänger- und Fahrradverkehrs (ÖPNV-Konzept, „fußgänger- und fahrradfreundliche Stadt“) wie auch Maßnahmen des Verkehrsmanagements („Parkraumbewirtschaftung“, „Verkehrsberuhigung“, u.ä.) und des Mobilitätsmanagements (z. B: „Betriebliches Mobilitätsmanagement“) unterstützend wirken (vgl. Kapitel 6). Polyzentrische,

kompakte und urbane Siedlungsmuster weisen Potenziale zur Verkehrsvermeidung, Verkehrsaufwandsminderung und modalen Verkehrsverlagerung auf, die eine Reduktion verkehrsbedingter Energieverbräuche und CO<sub>2</sub>-Emissionen bewirken können.

## 6 Änderung des Verhaltens

Die negativen Folgeerscheinungen des motorisierten Verkehrs können nicht allein durch technologische Innovationen bewältigt werden, die auf eine Verringerung des Energie- und Ressourcenverbrauchs abzielen. Dieser notwendige Prozess technischer Verbesserungen („Effizienzstrategie“) muss durch Maßnahmen ergänzt werden, die auf eine Verringerung der Verkehrsnachfrage und somit auf eine Veränderung Umwelt belastender Verhaltensweisen abzielen (manchmal bezeichnet als „Suffizienzstrategie“). Grundet man Maßnahmen zum Klimaschutz allein auf technische Verbesserungen vor allem an Kraftfahrzeugen, so hat dies langfristig den entscheidenden Nachteil, dass Verhaltensänderungen der Verkehrsteilnehmer nicht notwendig werden und damit die gesellschaftliche Mobilitätsentwicklung prospektiv zu extrapolieren ist. Geht man aber von einem weiteren Anstieg der Verkehrsnachfrage auch im Personenverkehr (weit stärker im Güterverkehr) aus, so heißt dies, dass ein wesentlicher Teil technisch erreichter Verbrauchs- und Emissionsverbesserungen durch eben diese gesteigerte Nachfrage wieder aufgezehrt wird. Verhaltensorientierte Maßnahmen dagegen können einen Bruch in dieser Entwicklungslogik bewirken und durch Minderung der Verkehrsnachfrage entscheidend zur Reduktion von Emissionen beitragen. Ähnlich dem Energiesektor kann eine solche Strategie der Verkehrseinsparungen nachhaltig effektiv sein. Sie basiert auf ökonomischen, edukativen und „Enforcement“-Strategien. Nun lässt sich bei einem verbreitet autoabhängigen Lebensstil emissionsarmes Verhalten nur schwerlich kurzfristig zur attraktiveren Option machen. Verhaltensänderungen werden gerade im Mobilitätsbereich als mit hohem Aufwand verbunden erlebt, da mit Veränderungen in diesem Bereich oft Eingriffe in die auf längerfristigen Entscheidungen basierende und meist gewohnheitsgeleitete Lebensgestaltung verbunden sind. Allerdings schließt der Prozess der Veränderung von Kognitionen über den Klimawandel und den Einfluss von CO<sub>2</sub>-Emissionen, den wir derzeit feststellen können, zumindest ansatzweise auch eine Reflexion über ungünstige Wirkungen des eigenen Verhaltens ein. Dieses „Fenster der Gelegenheiten“ kann die politische wie die öffentliche Akzeptanz von Maßnahmen fördern, die teilweise seit Jahren als sinnvoll zum Klimaschutz diskutiert wurden. Nachdenken und Bereitschaft sind zwar notwendige, aber nicht hinreichende Bedingungen für Verhaltensänderungen. Verhaltensbeeinflussende Maßnahmen müssen neben einer Veränderung von Wissen und Einstellungen vor allem an den Verhaltensfolgen ansetzen. Hier sind Anreizsysteme besonders wirksame erste Schritte.

Einzelmaßnahmen allein ohne Information der Verkehrsteilnehmer im Personen- wie im Güterverkehr können ambitionierte Ziele einer nachhaltigen CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion nicht erbringen. Am erfolgreichsten erscheint ein Paket technischer, infrastruktureller, ökonomischer und verhaltensorientierter Maßnahmen, das auch die Querbezüge zwischen diesen Bereichen beachtet. Der Charme technischer Lösungen liegt unter anderem darin, dass sie uns helfen, uns nicht ändern zu müssen. Maßnahmen, die Wissen, Einstellungen und Verhalten beeinflussen, sind dagegen damit belastet, dass sie weniger gut akzeptiert werden und oft erst längerfristig ihre Wirkungen entfalten. Allerdings wird ein stärkerer



Anteil des Zufußgehens, des Radfahrens und der Nutzung öffentlicher Transportmittel und ein geringerer Gebrauch von privaten Kraftfahrzeugen langfristig zu starken Verbrauchs- und Emissionsreduktionen führen. Auch wenn Verhaltensmuster eher langfristig zu ändern sind, gibt es eine Reihe von erprobten Maßnahmen, die solche Verhaltensänderungen wirksam einleiten können und Rahmenbedingungen schaffen, die die gewünschte Verhaltensänderung attraktiv machen. Beispiele hierzu können sein:

1. Eine Beeinflussung übergreifender Verhaltensmuster zielt auf eine Änderung von Aktivitätsmustern bei Pendlern, beim Einkauf und bei Freizeitaktivitäten, und auf die Veränderung eines stark autobezogenen Lebensstils. Um die erlebten komparativen Vorteile des Kraftfahrzeuggebrauchs zu mindern, sind bessere Bedingungen für das Zufußgehen, Radfahren und die Nutzung öffentlicher Transportmittel zu schaffen, bei gleichzeitiger Nutzenminderung und Kostenerhöhung für den Kraftfahrzeugverkehr. Dies schließt unter anderem die Organisation flexibler Transportsysteme (mit Mobilitätszentralen), die Dezentralisierung von Diensten und Angeboten und gute Zugänglichkeit zu möglichst allen Zielen auch ohne Auto, neue Formen der Autonutzung („nutzen statt besitzen“) und eine Erhöhung des Besetzungsgrades von Pkw (Zielperspektive z.B.: 2 Personen) ein. Gebündelt werden können solche Maßnahmen z.B. in Städteinitiativen zur Förderung des „Langsamverkehrs“ (Beispiel: Schweiz) mit Planung und Akzeptanzförderung für eine autofreie Stadt. Notwendig ist ein Marketing pro Klimaschutz auf allen Ebenen: Kaufentscheidungen, Mobilitätsverhalten, Verkehrs- und Fahrverhalten. Die Änderung sozialer Normen zugunsten umweltgerechter Verhaltensweisen benötigt Anreize, Modellverhalten, Rückmeldung positiver Verhaltensergebnisse und Bewusstseinskampagnen, sie ist gleichzeitig aber teilweise auf eine Änderung kodifizierter Normen angewiesen.

2. Kurzfristig durchführbare Informations- und „Public Awareness“-Maßnahmen, verbunden mit Anreizen zur Verhaltensänderung, schließen Kampagnen zur Förderung umweltfreundlicher Transportmittel und zur Reduktion des privaten Kraftfahrzeuggebrauchs, die Verbesserung des Wissens um die Verfügbarkeit öffentlicher Verkehrsangebote durch Mobilitätsberatung, personalisierte Reiseplanung und travel blending, car sharing/pooling und nachbarschaftliche Gemeinschaftsautos (Beispiel NL: Buurtbus), eine Bevorzugung von Nutzern gemeinschaftlicher Organisationsformen, beispielsweise bei Parkplätzen und durch Highly Occupied Vehicle Lanes, sowie Fahrtenpläne für Betriebe, Schulen und Verwaltungen ein. Wesentlich ist dabei eine positive Verstärkung für angestrebte Verhaltensänderungen (Beispiel: spits mijden, NL, 2007). Der Gewinn durch eingesparte Umweltkosten darf für den Einzelnen nicht abstrakt bleiben. Reale Preise müssen wahrnehmbar sein, um die Rationalität des Entscheidungsverhaltens zu erhöhen. Unterstützt werden kann dies z.B. durch „pay as you drive“-Versicherungspolicen und durch Diagnostik- und Rückmeldesysteme im Auto, die unmittelbar Verbrauchs- und Emissionsinformationen geben (kontingentes Verhaltensmanagement). Möglichkeiten der technischen Unterstützung von Verhaltensänderung und –stabilisierung sind bisher keineswegs ausgeschöpft. Wert zu legen ist dabei auf die Verzahnung von ökologischen und Verkehrs-

sicherheitsgewinnen durch ein verändertes Mobilitäts- und Fahrverhalten. Ökologisches Fahren ist verstärkt in der Fahrschulausbildung und der Fahrerlaubnisprüfung zu berücksichtigen, Kurse zum ökologischen Fahren (geringere Geschwindigkeiten, weniger Beschleunigung, weniger Fahrstreifenwechsel) sind mit Anreizen zur Teilnahme zu unterstützen (Beispiel: Eco-Drive). Möglich wird damit eine Änderung sozialer Normen und impliziter Verstärkungsmuster hin zu ökologischen Kriterien, beispielsweise Veränderung der positiven Wertung von Fahrzeiten hin zu Energieeinsparung.

Diese Beispiele sollten durch öffentliche Diskussionen erweitert werden, die zugleich das Problembewusstsein vertiefen, Ziele klären, Ideen generieren und die Akzeptanz erhöhen können. Eine der größten Barrieren zur Verhaltensänderung ist es, dass ein breiter öffentlicher Konsens zugleich notwendig und schwer herzustellen ist. Auch wenn sich solche Maßnahmen bereits vielfach als effektiv erwiesen haben, besteht dringender Forschungsbedarf zur Effizienz und Akzeptanz von verhaltenssteuernden Maßnahmen im Einzelnen und integriert in strategische Gesamtpakete zur Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehrssektor.