

## Kapitel 4

### Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>4 Güterverkehr und Klimaschutz</b> .....	137
4.1 Einleitung .....	137
4.2 Bestand und Entwicklungen .....	137
4.2.1 Historische Entwicklung und Status quo .....	137
4.2.1.1 Verkehrsleistung .....	137
4.2.1.2 Energiebedarf .....	139
4.2.1.3 CO <sub>2</sub> -Emissionen .....	140
4.2.2 Zu erwartende Trends .....	141
4.3 Ziele und Handlungsmöglichkeiten .....	143
4.3.1 Anforderungen an einen nachhaltigen Güterverkehr bis 2050 ....	143
4.3.2 Ansätze zur Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Güterverkehr .....	145
4.3.3 Effizienzsteigerungen .....	147
4.3.4 Verkehrsverlagerung auf die Schiene .....	148
4.3.5 Energieträgersubstitution im Straßengüterverkehr .....	150
4.3.5.1 Elektrifizierung des Straßengüterverkehrs .....	150
4.3.5.2 Biokraftstoffe .....	152
4.3.5.3 Wasserstoff und synthetische Kohlenwasserstoffe .....	153
4.4 Politische Ansätze zur Flankierung der Neuausrichtung des Gütertransports .....	154
4.4.1 Ökonomische Instrumente .....	154
4.4.1.1 Emissionsbepreisung .....	154
4.4.1.2 Maut und Straßenbenutzungsgebühren .....	156
4.4.2 CO <sub>2</sub> -Standards für schwere Nutzfahrzeuge .....	157
4.4.3 Entwicklung eines zukunftsfähigen Verkehrsnetzes .....	158
4.4.3.1 Schwächen der Bundesverkehrswegeplanung .....	158
4.4.3.2 Neuausrichtung der Bundesverkehrswegeplanung .....	159
4.4.4 Flankierende planungs- und ordnungsrechtliche Instrumente ....	160
4.4.5 Forschungsbedarf, Test- und Demonstrationsprojekte .....	162
4.5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen .....	162
4.6 Literatur .....	164

### Abbildungen

Abbildung 4-1 Entwicklung der Güterverkehrsleistung zwischen 1995 und 2010 nach Modi .....	138
Abbildung 4-2 Güterverkehrsleistung nach Modi und Güterabteilungen im Jahr 2010 .....	139

	Seite	
Abbildung 4-3	Entwicklung von Güterverkehrsaufkommen, Güterverkehrsleistung, CO <sub>2</sub> -Emissionen und BIP in Deutschland . . . . .	140
Abbildung 4-4	Vergleich der CO <sub>2</sub> -Emissionsentwicklungen und der Minderungsziele im Güterverkehr in Deutschland . . . . .	144
Abbildung 4-5	Entwicklung der CO <sub>2</sub> -Emissionen des Güterverkehrs und Größenordnungen der Reduktionspotenziale verschiedener Maßnahmen . . . . .	150
Abbildung 4-6	Vergleich verschiedener Konversionspfade im Verkehrssektor in Bezug auf die am Rad nutzbare mechanische Energie . . . . .	152
<b>Tabelle</b>		
Tabelle 4-1	Szenarien zur zukünftigen Güterverkehrsleistung . . . . .	141

## 4 Güterverkehr und Klimaschutz

### 4.1 Einleitung

**237.** Die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Straßengüterverkehrs sind eines der großen ungelösten Probleme der deutschen Klimapolitik. Während sich mit drastisch erhöhter Energieeffizienz im Bereich der Raumwärmebereitstellung und einer vollständigen Umstellung der deutschen Stromerzeugung auf regenerative Energiequellen praktikable Lösungen für wichtige Emissionsbereiche abzeichnen und auch im Bereich des motorisierten Individualverkehrs regenerative Elektromobilität auf der Basis von Batteriesystemen in greifbare Nähe rückt, werden im Bereich des Straßengüterverkehrs bisher nicht einmal mögliche Lösungsansätze in der Klimapolitik thematisiert. Dieser Umstand ist insofern alarmierend, als der Straßengüterverkehr nicht nur mit 67 Mt CO<sub>2</sub>/a einen substantziellen Anteil an den deutschen Gesamtemissionen hat, sondern Güterverkehrsprognosen auch davon ausgehen, dass sich die Güterverkehrsleistung bis 2050 verdoppeln kann (ICKERT et al. 2007). Der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) hat daher das Problem der Treibhausgas-Emissionen (THG-Emissionen) des Straßengüterverkehrs aufgegriffen, um eine längst überfällige Diskussion um notwendige und mögliche Lösungen anzustoßen.

Auch wenn der Güterverkehr in der Luft sehr hohe Wachstumsraten verzeichnet und der internationale Seegüterverkehr das mit Abstand höchste Transportaufkommen hat, hat sich der SRU entschlossen, diese beiden wichtigen Verursachungsbereiche im Rahmen dieses Umweltgutachtens nicht zu thematisieren, da hier sehr viel stärker international einvernehmliche Lösungsansätze verfolgt werden müssen als im Bereich des Straßengüterverkehrs. Zudem hätte eine angemessene Behandlung dieser Bereiche den zur Verfügung stehenden Rahmen des Umweltgutachtens gesprengt. Dies soll aber in keiner Weise die Bedeutung durchgreifender Lösungsansätze für den Luft- und Seeverkehr herunterspielen.

Aus Klimaschutzgründen ist es erforderlich, bis zum Jahr 2050 die deutschen THG-Emissionen um 80 bis 95 % zu senken (SRU 2011). Legt man dieses Ziel für alle Emissionengruppen zugrunde, betragen die verbleibenden zulässigen absoluten THG-Emissionen des Güterverkehrs im Jahr 2050 lediglich 2,3 bis 9,2 Mt/a. Eine derartig drastische Reduktion der THG-Emissionen wird ohne grundlegend neue Lösungsansätze nicht zu erreichen sein, zumal eine Umstellung auf Biotreibstoffe an der begrenzten Verfügbarkeit nachhaltig angebaute Biomasse scheitert.

### 4.2 Bestand und Entwicklungen

**238.** Grundsätzlich zeichnen den Güterverkehr hohe Wachstumsraten und vergleichsweise hohe CO<sub>2</sub>-Emissionen aus. Eine Analyse voraussichtlicher zukünftiger Ent-

wicklungen zeigt deutlich, dass zusätzlicher Handlungsbedarf besteht, um die gesteckten Klimaschutzziele zu erreichen.

#### Güterverkehr: Segmentierungen und Maßeinheiten

Der Güterverkehr umfasst die Beförderung von Gütern mittels verschiedener Verkehrsträger (Modi). Grundsätzlich lässt sich der motorisierte Güterverkehr in die Modi Straßengüterverkehr (Lkws), Schienengüterverkehr, Frachtschiffverkehr (See- und Binnenschiffe) und Luftfrachtverkehr (v. a. Flugzeuge) unterteilen (Modal Split), die sich unter anderem durch ihre Infrastruktur voneinander unterscheiden. Oftmals wird zwischen den Hauptverkehrsrelationen Binnenverkehr, grenzüberschreitender Verkehr sowie Durchgangsverkehr unterschieden. Darüber hinaus wird der Bereich des landgebundenen Güterverkehrs üblicherweise in Nahverkehr (Strecke kürzer als 50 km), Regionalverkehr (Strecke 50 bis 150 km) und Fernverkehr (Strecke länger als 150 km) unterteilt.

Güterverkehr wird mithilfe verschiedener Maßzahlen quantifiziert. Das Verkehrsaufkommen wird in Tonnen (t) angegeben. In Verbindung mit der Transportstrecke (km) ergibt sich die Verkehrsleistung (auch Verkehrsaufwand) in der Einheit Tonnenkilometer (tkm). Wird beispielsweise ein großes Verkehrsaufkommen über eine kurze Strecke transportiert, kann damit dieselbe Verkehrsleistung verbunden sein wie mit dem Transport eines geringen Verkehrsaufkommens über eine längere Strecke. Unter Gütertransportintensität versteht man das Verhältnis der Güterverkehrsleistung zum Bruttoinlandsprodukt (tkm/€). Wächst die Verkehrsleistung (tkm) ebenso stark wie das Bruttoinlandsprodukt (BIP), bleibt die Verkehrsintensität konstant.

#### 4.2.1 Historische Entwicklung und Status quo

**239.** Zum Verständnis des Problembetrags des Güterverkehrs ist es erforderlich, die historische Entwicklungsdynamik der Güterverkehrsleistung und des resultierenden Energiebedarfs zu kennen. Erst vor diesem Hintergrund erschließt sich die ganze Tragweite des Problems und der sich abzeichnenden Handlungsdefizite.

##### 4.2.1.1 Verkehrsleistung

**240.** Im Jahr 2010 betrug die Güterverkehrsleistung (ohne Luftfrachtverkehr) in Deutschland 620 Mrd. tkm (Statistisches Bundesamt 2011c). Dem Territorialitätsprinzip entsprechend wurden bei der Berechnung alle Verkehre – und nur die – berücksichtigt, die auf deutschem Territorium erbracht wurden.

Aufgeteilt nach Verkehrsträgern ergab sich folgendes Bild (vgl. Abb. 4-1): Der Straßengüterverkehr hatte (mit 434 Mrd. tkm = 70 %) im Vergleich zum Schienengüterverkehr (107 Mrd. tkm = 17 %) und zur Binnenschifffahrt (62 Mrd. tkm = 10 %) den mit Abstand größten Anteil an der gesamten Güterverkehrsleistung.

Die Wahl des Verkehrsmittels hängt von vielen Faktoren ab, so der Art des zu befördernden Gutes, der Transportentfernung, der Transportdauer mit verschiedenen Modi und den mit dem Transport verbundenen Kosten. Eine scharf abgegrenzte Zuordnung von Gütergruppen zu Verkehrsmodi existiert daher nicht. Vielmehr werden die Güter derselben Gütergruppen mithilfe verschiedener Modi über unterschiedliche durchschnittliche Entfernungen transportiert. In der Statistik werden Gütergruppen zu Güterabteilungen zusammengefasst. Abbildung 4-2 zeigt die Aufteilung der Güterverkehrsleistung nach Modi und Güterabteilungen (2010).

Die Güterverkehrsleistung in Deutschland hat seit Mitte der 1990er-Jahre kontinuierlich zugenommen und er-

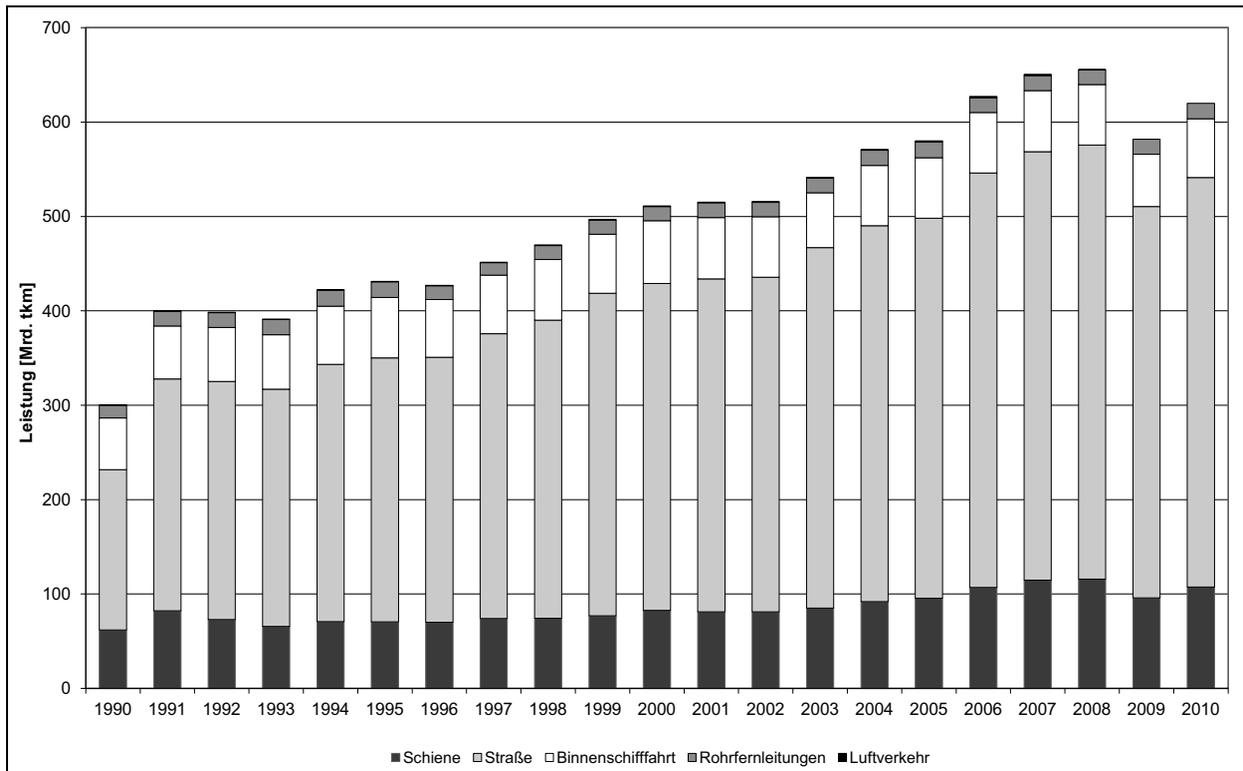
reichte im Jahr 2007 mit 693 Mrd. tkm ihren vorläufigen Höchstwert. Die Jahre 2008 und 2009 stellten aufgrund der Finanz- und Wirtschaftskrise eine Abweichung vom langjährigen Trend dar. Durch die Wirtschaftskrise sank die Güterverkehrsleistung bis 2009 um mehr als 10 % (vgl. Abb. 4-1), um aber bereits im Jahr 2010 mit der sich erholenden Wirtschaftsleistung wieder deutlich anzusteigen.

Drei Viertel des Gesamtaufkommens (in Tonnen) werden im Binnenvverkehr transportiert, wobei etwa die Hälfte dieses Aufkommens aus dem Bereich der Steine und Erden stammt (ICKERT et al. 2007, S. 68). In der vergangenen Dekade sank der Anteil dieses Bereichs, was in einem sinkenden Anteil des Binnenvverkehrs am gesamten Güterverkehrsaufkommen resultierte.

Seit 1960 hat sich die Güterverkehrsleistung in Deutschland vervierfacht (LAMBRECHT et al. 2009). Allein zwischen 1991 und 2010 ist die Güterverkehrsleistung in Deutschland um etwa die Hälfte gewachsen. Auffällig ist, dass das Güterverkehrsaufkommen langsamer gewachsen

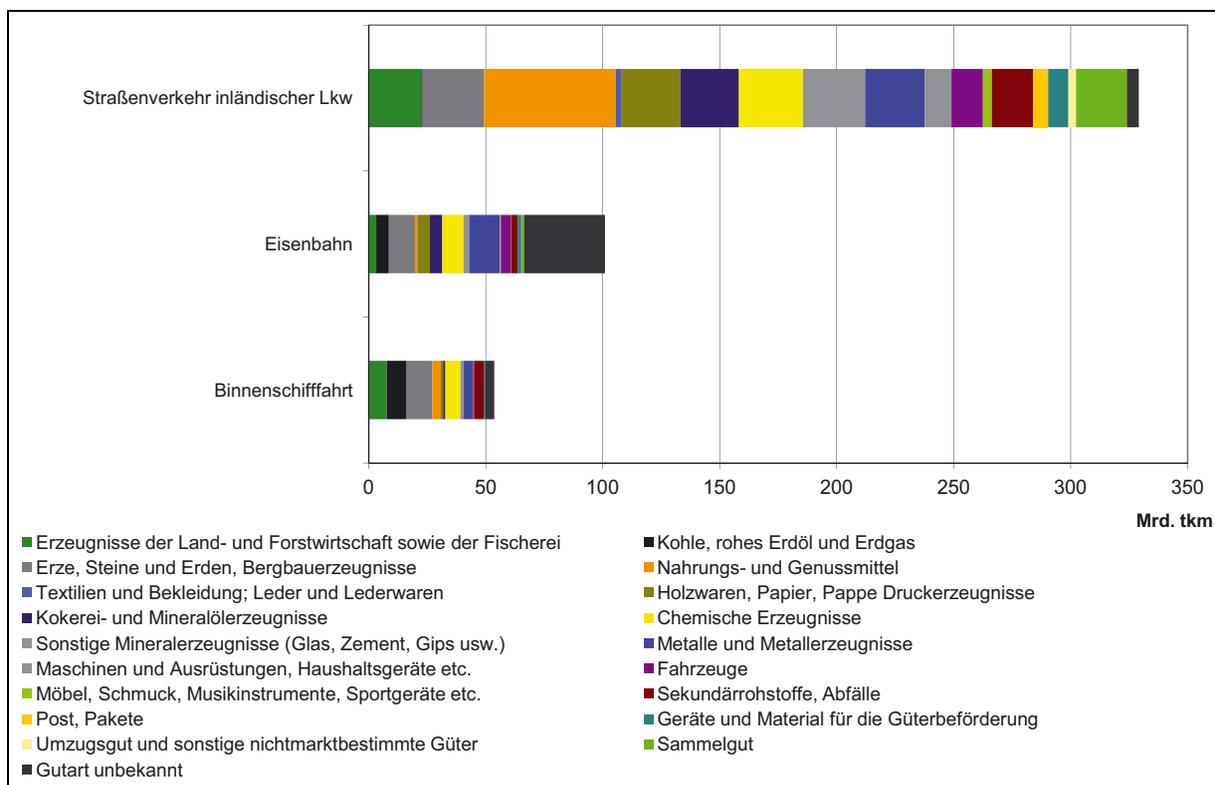
Abbildung 4-1

**Entwicklung der Güterverkehrsleistung zwischen 1995 und 2010 nach Modi**



2008 bis 2010: keine Angaben zur Luftfrachtverkehrsleistung  
 Quelle: BMVBS 2009; Statistisches Bundesamt 2011c

Güterverkehrsleistung nach Modi und Güterabteilungen im Jahr 2010



Quelle: Statistisches Bundesamt 2011c

ist als die Güterverkehrsleistung, es also ein Wachstum der durchschnittlichen Transportstrecken gegeben hat. Es wird angenommen, dass sich dieser Trend auch in Zukunft fortsetzen wird (vgl. Abschn. 4.2.2).

Im Jahr 2010 wurde jede Tonne des Verkehrsaufkommens über durchschnittlich 187 km transportiert (Statistisches Bundesamt 2011c). Dabei lagen die Werte des Schienengüterverkehrs mit 302 km und des Binnenschiffsverkehrs mit 271 km weit über dem Durchschnitt, der des Straßengüterverkehrs mit 159 km wenig darunter.

Der Durchgangsverkehr (Transitverkehr) hat einen Anteil von circa 16 % an der gesamten Güterverkehrsleistung in Deutschland. Besonders aufgrund der EU-Osterweiterung verzeichnete der Transitverkehr ein Wachstum, das mit durchschnittlich 7,4 % pro Jahr (ICKERT et al. 2007, S. 78) deutlich über dem Wachstum des gesamten Güterverkehrs lag.

#### 4.2.1.2 Energiebedarf

**241.** In Statistiken wird oftmals der Energieverbrauch des Sektors Verkehr nach den verschiedenen Modi (z. B. Straße, Schiene), jedoch nicht immer unterteilt in Personen- und Güterverkehr, angegeben. Um dennoch ein möglichst aussagekräftiges Bild zu erhalten, werden im Folgenden zum Teil Werte unterschiedlicher Jahre ge-

nannt, wenn nicht alle Angaben für das gleiche Basisjahr verfügbar waren.

Im Jahr 2006 betrug der Energieverbrauch des Güterverkehrs in Deutschland 846 PJ/a (UBA 2009, S. 12), was etwa einem Viertel des Energieverbrauchs des gesamten Verkehrssektors entsprach. Im Straßengüterverkehr wurden hiervon 704 PJ/a (83 %) verbraucht. Der Luftfrachtverkehr machte mit 84 PJ/a ein Zehntel, der Schienengüterverkehr mit 44 PJ/a ein Zwanzigstel und die Binnenschifffahrt mit 14 PJ/a weniger als ein Fünfzigstel des Energieverbrauchs des Güterverkehrs aus.

Als Kraftstoffe werden im Verkehrssektor heute überwiegend Mineralölprodukte in Verbrennungsmotoren eingesetzt, vor allem Diesel im Straßengüterverkehr und Kerosin im Luftverkehr. Der Schienenverkehr wird hingegen überwiegend elektrisch betrieben. Der Energiebedarf des Güterverkehrs ist zwischen 2000 und 2006 trotz deutlich gestiegener Güterverkehrsleistung um circa 15 % gesunken. Modal betrachtet, verzeichneten seitdem die Binnenschifffahrt ein geringes und der Luftverkehr ein starkes Wachstum im Energieverbrauch, der Schienenverkehr und der Straßengüterverkehr hingegen einen deutlichen Rückgang. Dabei dürfte der reduzierte Energieverbrauch insbesondere auf technische Verbesserungen und einen Trend hin zu längeren Fahrstrecken zurückzuführen sein.

### 4.2.1.3 CO<sub>2</sub>-Emissionen

**242.** Die vom inländischen Güterverkehr direkt verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionsmengen betragen im Jahr 2008 43,9 Mt (LAMBRECHT et al. 2009), was 30 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Sektors Verkehr (152 Mt) entsprach. Durch die Bereitstellung der eingesetzten Energieträger wurden weitere Emissionen in Höhe von 23,5 Mt CO<sub>2eq</sub> verursacht, sodass sich die durch den Güterverkehr insgesamt verursachten Emissionen auf 67,5 Mt/a summierten (IFEU 2008). Dies entsprach 6,8 % der nationalen THG-Gesamtemissionen.

Im zeitlichen Verlauf sind zwei gegenläufige Trends zu erkennen. Zum einen bewirken technische und organisatorische Effizienzsteigerungen einen niedrigeren spezifischen Kraftstoffverbrauch und folglich niedrigere spezifische Emissionen pro Tonnenkilometer Transportleistung. Zum anderen bewirkte das in Abschnitt 4.2.1.1 beschriebene Güterverkehrswachstum einen Anstieg der Gesamtemissionen. In der Vergangenheit waren die Steigerungen

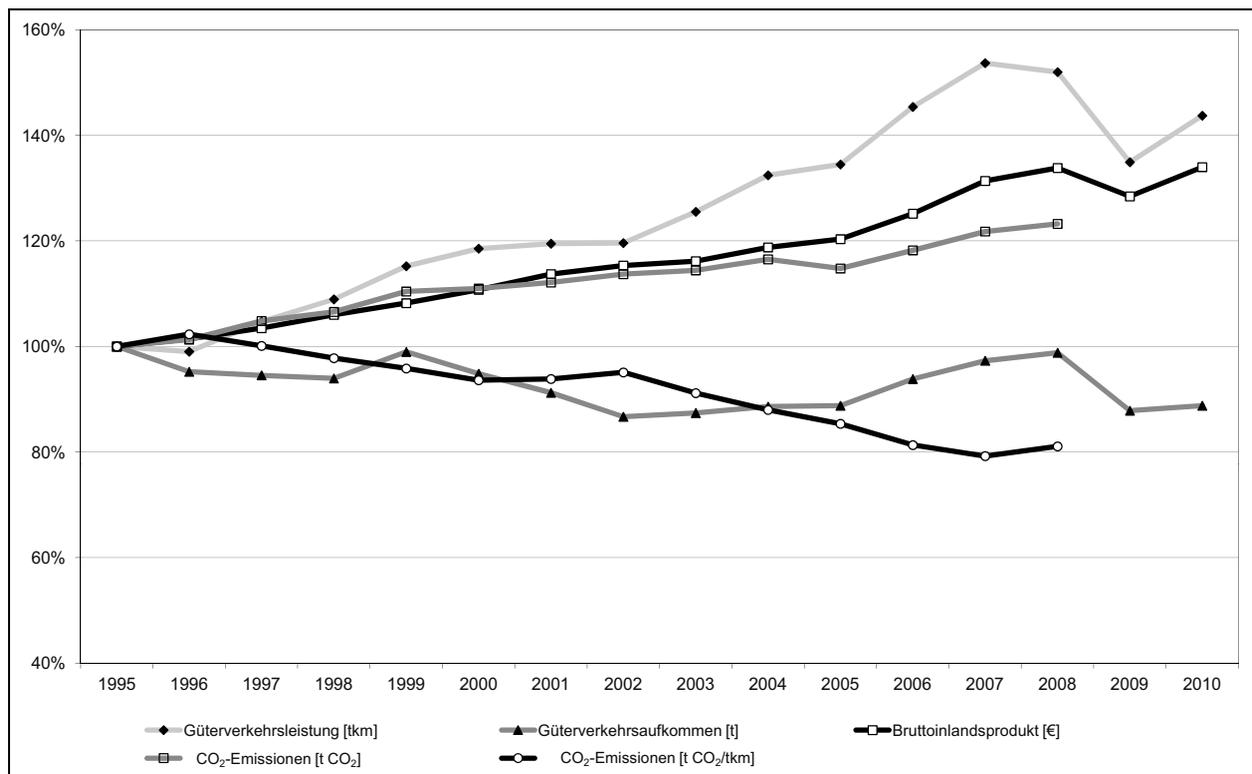
der THG-Emissionen durch das Güterverkehrswachstum größer als die Minderungen der THG-Emissionen durch erhöhte Effizienz, sodass der Güterverkehr insgesamt einen Anstieg der THG-Emissionen verzeichnete.

Güterverkehrsleistung, Bruttoinlandsprodukt (BIP) und CO<sub>2</sub>-Emissionen des Güterverkehrs sind seit Mitte der 1990er-Jahre erheblich gewachsen (vgl. Abb. 4-3), wobei die Zunahme der CO<sub>2</sub>-Emissionen (Wachstum um knapp ein Viertel) deutlich niedriger ausfiel als die der Güterverkehrsleistung (Wachstum um mehr als die Hälfte). Die CO<sub>2</sub>-Emissionen pro tkm Güterverkehrsleistung sind im Betrachtungszeitraum um circa 20 % zurückgegangen.

Weitere Umweltauswirkungen des Güterverkehrs in den Bereichen Luftschadstoffemissionen, Lärm und Flächenbedarf werden in diesem Kapitel nicht weiter thematisiert, da sich dieses Kapitel auf das ungelöste Problem der THG-Emissionen des Güterverkehrs konzentriert. Sie besitzen gleichwohl eine hohe Relevanz.

Abbildung 4-3

**Entwicklung von Güterverkehrsaufkommen, Güterverkehrsleistung, CO<sub>2</sub>-Emissionen und BIP in Deutschland (1995 = 100 %)**



Daten zu CO<sub>2</sub>-Emissionen nur bis 2008 vorhanden.

Quelle: BMVBS 2011; IFEU 2008; Statistisches Bundesamt 2010a; 2011b; 2011c

#### 4.2.2 Zu erwartende Trends

**243.** Vorhersagen zur weiteren Entwicklung des Güterverkehrs müssen eine Vielzahl von Einflüssen berücksichtigen. Eine einfache Extrapolation vergangener Trends ist als Grundlage verkehrspolitischer Maßnahmen unzureichend. Im Fokus von Verkehrsmengenprognosen stehen dabei regelmäßig vor allem nachfrageseitige Einflussfaktoren, insbesondere die ökonomische Entwicklung (Wirtschaftswachstum, wirtschaftliche Verflechtungen, Strukturwandel, Energiepreise etc.). Auch Annahmen zu technischen Entwicklungen sind von Bedeutung, da die Effizienz des Energieeinsatzes im Verkehr erhebliche Rückwirkungen auf die spezifischen Emissionen des Verkehrs hat.

#### Güterverkehrsleistung

**244.** Zu den zukünftigen Entwicklungen des Güterverkehrs liegt eine Vielzahl verschiedener Studien sowohl für die EU (Europäische Kommission – Generaldirektion für Energie und Transport 2010; PETERSEN et al. 2009; ANDERS et al. 2009; SCHIPPL et al. 2008) als auch für Deutschland vor (Intraplan Consult und BVU 2007; Deutsche Bahn AG und McKinsey & Company 2010; ICKERT et al. 2007; ifmo 2010). Diese unterscheiden sich zum Teil erheblich in ihren Prognosehorizonten. Auch wenn alle Studien weiterhin ein deutliches Wachstum der Güterverkehrsleistung erwarten, so gibt es doch erhebliche Abweichungen im Ausmaß des erwarteten Wachstums (vgl. Tab. 4-1).

Die vorliegenden Studien greifen die in den vergangenen Jahren beobachteten Entwicklungen als Basis der Trendprognosen auf. Während die Güterverkehrsintensität in Europa (EU-27) insgesamt im Zeitraum von 1995 bis zu Beginn der Krise im Jahr 2008 weitgehend stabil blieb, sind zwischen den einzelnen Mitgliedstaaten erhebliche

Unterschiede zu verzeichnen (EuroStat 2012). So konnte in den meisten Staaten der EU-15 eine gewisse Entkopplung der Güterverkehrsleistung vom BIP erreicht werden. Demgegenüber wuchs in der Mehrheit der neuen osteuropäischen Mitgliedstaaten sowie auf der iberischen Halbinsel die Güterverkehrsleistung deutlich schneller als das BIP. Letzteres lässt sich mit der nachholenden Wirtschaftsentwicklung und der Integration der neuen Mitgliedstaaten in den europäischen Binnenmarkt sowie einem erheblichen Infrastrukturbau erklären. Die von anderen EU-15-Staaten abweichende Entwicklung der Güterverkehrsleistung in Deutschland liegt in wesentlichen Teilen in der Rolle Deutschlands als wichtigem Handelspartner und Transitland für die osteuropäischen EU-Staaten begründet.

Diese sehr heterogene Entwicklung scheint sich mit zunehmender wirtschaftlicher Konvergenz abzuschwächen, sodass eine langfristige Fortschreibung – gerade der hohen Wachstumsraten der zurzeit ökonomisch nachholenden Länder – fragwürdig erscheint. Zudem erscheint es sehr wahrscheinlich, dass sich nach einer Phase rasanten Wachstums im Außenhandel, die Zuwachsraten von Außenhandel und BIP künftig europaweit zunehmend angleichen werden (ANDERS et al. 2009). Dies spiegelt sich auch in den zeitlich und nach Ländern aufgeschlüsselten Zahlen der genannten Studien wider. Sie prognostizieren eine im Zeitablauf fortschreitende, verstärkt ab dem Jahr 2020 einsetzende, Entkopplung des Wachstums von BIP und Güterverkehrsleistung, gerade auch für die neuen EU-Mitgliedstaaten (ANDERS et al. 2009; Europäische Kommission – Generaldirektion für Energie und Transport 2010). Die absolute Verkehrsleistung steigt dennoch auch weiterhin an. Im Gegensatz zum grundsätzlichen Trend für Gesamteuropa wird für Deutschland mehrheitlich auch weiterhin – bis zum Jahr 2050 – keine Entkopplung erwartet, wodurch sich der verkehrs- und klimapolitische Handlungsdruck erhöht.

Tabelle 4-1

#### Szenarien zur zukünftigen Güterverkehrsleistung

Studie/Szenario	Projektionshorizont	Güterverkehrsleistung 2005/2010 (Mrd. tkm)	Güterverkehrsleistung im Projektionsjahr (Mrd. tkm)	Veränderung <sup>1</sup> ggü. 2005/2010
Europäische Union <sup>2</sup> (Veränderungen ggü. 2005)				
Europäische Kommission – Generaldirektion für Energie und Transport 2010	2030	2.495	3.460	+ 39 %
PETERSEN et al. 2009: Baseline-Szenario	2030	2.288	3.429	+ 50 %
ANDERS et al. 2009	2035	2.315	3.472	+ 50 %
SCHIPPL et al. 2008 <sup>3</sup> : Baseline-Szenario	2050	2.060	3.983	+ 90 %
ANDERS et al. 2009	2050	2.315	3.657	+ 58 %

noch Tabelle 4-1

Studie/Szenario	Projektionshorizont	Güterverkehrsleistung 2005/2010 (Mrd. tkm)	Güterverkehrsleistung im Projektionsjahr (Mrd. tkm)	Veränderung <sup>1</sup> ggü. 2005/2010
PETERSEN et al. 2009 <sup>4</sup> : Baseline-Szenario	2050	2.158	4.034	+ 87 %
Deutschland (Veränderungen ggü. 2010)				
Intraplan Consult und BVU 2007 <sup>2</sup>	2025	604	937	+ 55 %
Deutsche Bahn AG und McKinsey & Company 2010 <sup>5</sup> : „Stagnationsszenario“	2025	620	771	+ 24 %
Deutsche Bahn AG und McKinsey & Company 2010 <sup>5</sup> : „Wachstumsszenario“	2025	620	894	+ 44 %
Deutsche Bahn AG und McKinsey & Company 2010 <sup>5</sup> : „Chancen“-Szenario	2025	620	962	+ 55 %
ifmo 2010 <sup>2</sup> : Szenario „Gereifter Fortschritt“	2030	604	698 <sup>1</sup>	+ 16 %
ifmo 2010 <sup>2</sup> : Szenario „Globale Dynamik“	2030	604	873 <sup>1</sup>	+ 45 %
ifmo 2010 <sup>2</sup> : Szenario „Rasender Stillstand“	2030	604	582 <sup>1</sup>	- 4 %
ICKERT et al. 2007	2050	604	1.218	+ 102 %
Öko-Institut und Prognos AG 2009 <sup>6</sup> : Referenzszenario	2050	604	1.033	+ 71 %
Öko-Institut und Prognos AG 2009 <sup>6</sup> : Innovationsszenario	2050	604	1.047	+ 73 %
<sup>1</sup> eigene Berechnungen <sup>2</sup> nur Gütertransporte auf der Straße, auf der Schiene und auf Binnenwasserwegen <sup>3</sup> nur Güterfernverkehr (< 150 km) <sup>4</sup> nur Gütertransporte auf der Straße und auf der Schiene <sup>5</sup> Gütertransporte auf der Straße, auf der Schiene, auf Binnenwasserwegen und durch Pipelines <sup>6</sup> Gütertransporte auf der Straße, auf der Schiene, auf Binnenwasserwegen und Luftfrachtverkehr Zum Teil abweichende Daten (auch für die Basisjahre) erklären sich durch unterschiedliche Methodiken und Abgrenzungen bei der Datenerfassung.				
SRU/UG 2012/Tab. 4-1				

Den meisten – nationalen wie europäischen – Abschätzungen der zukünftigen Verkehrsentwicklung ist zudem gemein, dass sich keine fundamentalen Änderungen beim Modal Split ergeben. Bei leichten Unterschieden zwischen den Szenarien wird der Straßengüterverkehr weiterhin der dominierende Modus im Güterverkehr sein.

Die beschriebenen Abschätzungen des zukünftigen Güterverkehrswachstums in Deutschland und der EU fußen als sogenannte Baseline-Szenarien auf einer weitgehend kontinuierlichen Fortschreibung bestehender Trends. Aktive verkehrs- und klimapolitische Maßnahmen zum Herbeiführen einer Trendumkehr durch Adressierung der Treiber werden – über bereits beschlossene oder geplante Maßnahmen hinaus – in den Baseline-Szenarien nicht berücksichtigt.

Zudem hängt die Abschätzung zukünftiger Entwicklungen maßgeblich von einer Vielzahl angenommener Parameter ab und zeigt einen plausiblen, jedoch nicht zwangsläufig den wahrscheinlichen Entwicklungspfad. Angesichts unterschiedlicher sektoraler, regionaler und internationaler Entwicklungen und ihrer Interdependenzen sowie insbesondere bei einem Projektionszeitraum von bis zu vierzig Jahren, bestehen erhebliche Unsicherheiten im Ergebnis der Studien. Darüber hinaus wird in der Regel nicht berücksichtigt, ob es zu Verlagerungs- oder Vermeidungstendenzen aufgrund des hohen Verkehrsaufkommens und damit verbundenen infrastrukturellen Knappheiten und Auswirkungen auf die (relative) ökonomische Attraktivität der verschiedenen Verkehrsmodi kommen wird. Möglicherweise liegen daher die Er-

gebnisse für die Entwicklung des Güterverkehrs, insbesondere die der Langfristabschätzung, zu hoch. In der Kernaussage ist sich die Literatur jedoch einig, dass das starke Wachstum des Güterverkehrs anhalten wird.

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

**245.** Mit einem zukünftig weiterhin starken Wachstum der Güterverkehrsleistung wird es ohne weitere einschneidende Maßnahmen zu einem starken Anstieg der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Güterverkehrs kommen. Unterstellt man eine zukünftige Entwicklung der Güterverkehrsleistung, wie sie ICKERT et al. (2007) für plausibel halten (1.218 Mrd. tkm in 2050), so ergibt sich für das Jahr 2050 eine Emissionsmenge von 120 Mt CO<sub>2</sub> aus dem Güterverkehr unter der konservativen Annahme eines Nullwachstums im Luftfrachtverkehr. Es sei an dieser Stelle aber darauf hingewiesen, dass es sich bei dieser Studie um die höchste Schätzung des Güterverkehrsaufkommens in Deutschland für das Jahr 2050 handelt (vgl. Tab. 4-1). Für das Referenzszenario von Öko-Institut und Prognos AG (2009), in dem sich der Luftfrachtverkehr verdoppelt, die Transportleistung jedoch insgesamt niedriger ausfällt, ergibt sich mit derselben Rechenmethode ein annähernd gleicher Wert für die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Jahres 2050 (s. a. Abb. 4-4). Die jährliche Emissionsmenge würde sich demnach etwa verdoppeln. Den Berechnungen dieser Werte ist eine gleichbleibende Emissionsintensität (Basisjahr 2008) unterstellt, zukünftige Effizienzsteigerungen werden nicht berücksichtigt. Effizienzsteigerungen sind eine von mehreren Optionen, um die zukünftigen CO<sub>2</sub>-Emissionen des Güterverkehrs zu senken (vgl. Abschn. 4.3.3).

### 4.3 Ziele und Handlungsmöglichkeiten

**246.** Wie gezeigt, werden die Güterverkehrsleistung und damit auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Güterverkehrs in Deutschland auch in Zukunft stark wachsen. Im Folgenden wird dieses Wachstum im Kontext langfristiger Klimaschutzziele diskutiert, und es werden Optionen erörtert, um die Kluft zwischen Trend und Klimaschutzziel zu schließen. Dabei handelt es sich nicht um eine integrierte Gesamtlösung, sondern um einzelne Optionen, die jeweils einen wesentlichen Beitrag zum Erreichen des Ziels leisten können. Die Optionen lassen sich grundsätzlich in die Kategorien Vermeidung, Effizienzsteigerungen, Verlagerung und Energieträgersubstitution einteilen.

#### 4.3.1 Anforderungen an einen nachhaltigen Güterverkehr bis 2050

**247.** Die zunehmende Arbeitsteilung im europäischen Binnenmarkt und dessen stetige Erweiterung Richtung Osten haben zu einem starken Zuwachs des Güterverkehrs in der EU und vor allem auch in der Bundesrepublik als Transitland geführt. Grenzüberschreitender Güterverkehr ist Voraussetzung für die Verwirklichung des europäischen Binnenmarktes und hat daher eine Schlüsselfunktion im Integrationsprozess (EPINEY 2011, Rn. 6). Entsprechend war er schon früh Gegenstand von Liberalisierungsbemühungen der EU (UERPMANN-

WITZACK 2006, Rn. 22; SENDMEYER 2010, Rn. 1), die sich, dem Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union (AEUV) entsprechend, die Zuständigkeit sowohl für den Verkehr (Artikel 90 ff. AEUV) als auch für die transeuropäischen Netze (Artikel 170 ff. AEUV) mit den Mitgliedstaaten teilt.

Sowohl auf europäischer als auch auf deutscher Ebene steht die Politik vor der Herausforderung, dass die Zunahme des Güterverkehrs nicht nur wegen der örtlichen Umweltbelastungen, sondern auch im Hinblick auf die steigenden CO<sub>2</sub>-Emissionen zu Konflikten mit dem Umwelt- bzw. Klimaschutz führt (EPINEY 2011, Rn. 25). Rechtlich wird dieser Konflikt durch die Querschnittsklausel des Artikels 11 AEUV gelöst, die einen Gestaltungsauftrag an den europäischen Gesetzgeber heranträgt. Dieser muss verkehrspolitische Maßnahmen zur Förderung einer nachhaltigen Entwicklung den Erfordernissen des Umwelt- und damit auch Klimaschutzes entsprechend ausgestalten und hat dem Vorsorge- und Verursacherprinzip Rechnung zu tragen (CALLIESS in: CALLIESS/RUFFERT 2011, Artikel 11 AEUV Rn. 5 ff.). Daneben ist ökonomischen und sozialen Belangen Rechnung zu tragen. Ähnliche Anforderungen ergeben sich für den nationalen Gesetzgeber aus der Staatszielbestimmung des Artikels 20a GG (vgl. auch Tz. 668). Er hat zusätzlich darauf zu achten, dass seine Maßnahmen nicht den Zielen des europäischen Binnenmarktes entgegenstehen.

In diesem Sinne muss sich Güterverkehrspolitik sowohl auf europäischer als auch auf nationaler Ebene an den Erfordernissen einer nachhaltigen Entwicklung und konkret an der Klimaverträglichkeit als einer Komponente nachhaltiger Entwicklung messen lassen (SRU 2011). Diese soll, wie bereits einleitend erläutert, im Fokus der folgenden Überlegungen stehen, während andere Aspekte der Nachhaltigkeit (z. B. Erhaltung der biologischen Vielfalt, Ressourcenschonung oder Verbesserung der Wohnumfeldqualität) hier nicht behandelt werden.

**248.** Um den globalen Temperaturanstieg auf maximal 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen, müssen die jährlichen THG-Emissionen in den Industrieländern bis zum Jahr 2050 um 80 bis 95 % gegenüber 1990 gesenkt werden (IPCC 2007). Dieses Ziel gilt zwar als Summe für alle Quellkategorien und nicht notwendigerweise für jede einzelne. Es gibt jedoch Emittenten, bei denen ein solches Ziel absehbar nicht zu erreichen ist. Insbesondere in der Landwirtschaft werden die Emissionen von CH<sub>4</sub> aus Verdauungsprozessen und NO<sub>x</sub> aus landwirtschaftlich genutzten Böden kaum um 80 bis 95 % gesenkt werden können, sodass die Reduktion in anderen Sektoren stärker ausfallen muss.

Da im Verkehrssektor vergleichsweise hohe Grenzvermeidungskosten angenommen werden, kam die Europäische Kommission in ihren Modellberechnungen zu dem Schluss, dass bei einem europäischen Emissionsreduktionsziel von 80 % gegenüber 1990 ein Sektorziel für den Verkehr zwischen 54 und 67 % kostenoptimal wäre (Europäische Kommission 2011, S. 6). Ein separates Ziel für den Güterverkehr wurde nicht quantifiziert. Müssen aus klimapolitischen Gründen die Emissionsminderungen in

Europa höher ausfallen, so müssten im Verkehrssektor erhebliche zusätzliche Anstrengungen stattfinden.

Die Studie „Modell Deutschland“ zeigt dies exemplarisch (Öko-Institut und Prognos AG 2009). Nach diesen Berechnungen bedeutet ein Emissionsvermeidungsziel von 87 % gegenüber 1990, dass die Emissionen des Verkehrssektors um 83 % reduziert werden müssten. Ein 95 %-Ziel für alle Sektoren würde ohnehin mit wenigen Ausnahmen (z. B. Zementherstellung) die fast komplette Dekarbonisierung bedeuten und somit auch Klimaneutralität im Verkehrssektor erfordern.

Ein gegenüber den Zielwerten der Europäischen Kommission ambitionierteres Ziel für den Verkehrssektor kann darüber hinaus auch industriepolitisch begründet werden. Aufgrund von Befürchtungen internationaler Wettbewerbsnachteile infolge sehr stringenter Emissionsreduktionsverpflichtungen der Industrie wäre ein höheres Vermeidungsziel in Sektoren mit relativ geringem internationalem Wettbewerbsdruck durchaus überlegenswert. Für den Verkehrssektor könnte dies – trotz angenommener hoher Vermeidungskosten – über dem Durchschnitt liegende Vermeidungsziele erfordern.

Vor dem Hintergrund eines nach Einschätzung des SRU eher wahrscheinlichen Gesamtreduktionsziels von 95 %

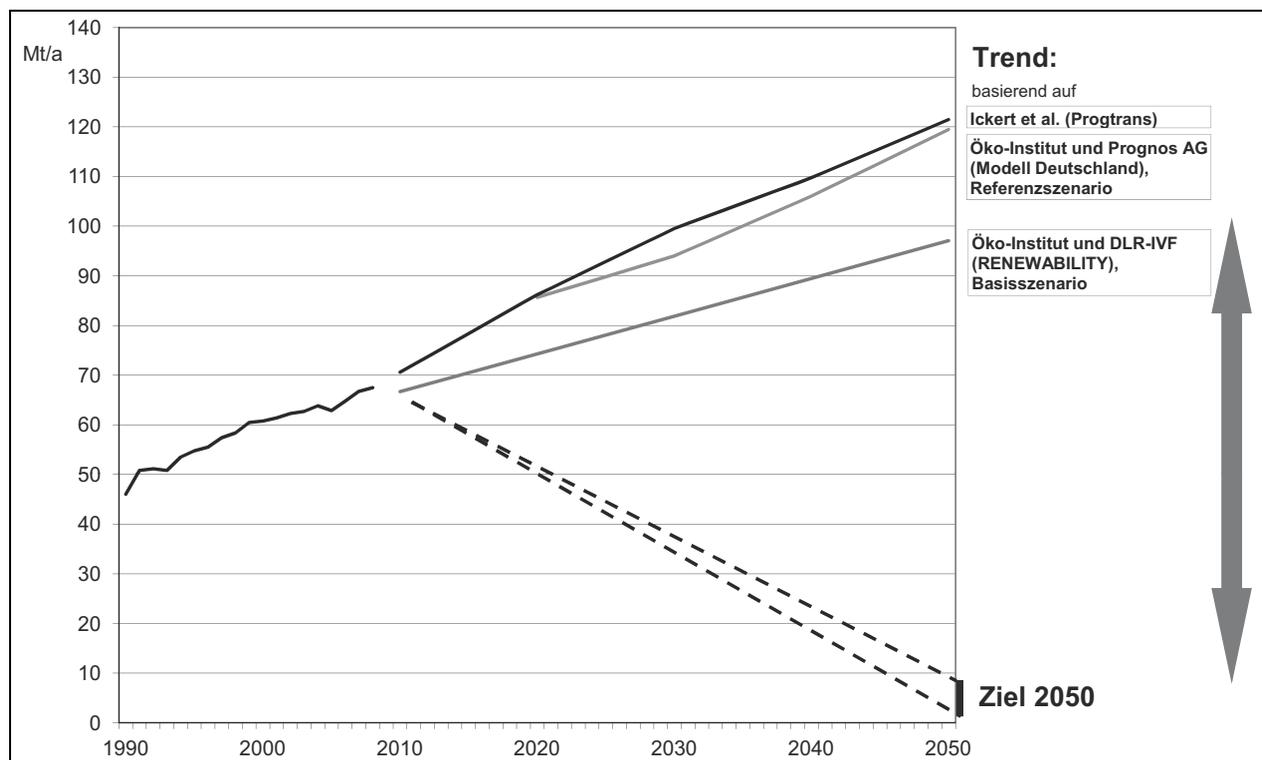
für die deutschen THG-Emissionen erscheint dem SRU eine frühzeitige Konzentration auf ein relativ ambitioniertes Minderungsziel dringend angeraten. Würde auch der Güterverkehr einem Emissionsminderungsziel von 80 bis 95 % gegenüber 1990 (46 Mt inkl. indirekter Emissionen) unterliegen, ergäben sich für den Bereich des Güterverkehrs als Zielwerte maximale erlaubte jährliche THG-Emissionen von 2,3 bis 9,2 Mt/a.

In Abbildung 4-4 werden die Emissionsziele den Emissionsmengen gegenübergestellt, die sich ohne Berücksichtigung zukünftiger Effizienzsteigerungen aus der Abschätzung zur zukünftigen Entwicklung des Güterverkehrs in Deutschland (ICKERT et al. 2007) ergeben, bzw. auf wesentlichen Ergebnissen aus Öko-Institut und DLR-IVF (2009b) und Öko-Institut und Prognos AG (2009) beruhen (vgl. Abschn. 4.2.2, inkl. indirekter Emissionen aus der energetischen Vorkette). Die Abbildung verdeutlicht, dass im Güterverkehr die Emissionen der Trendscenarien um Faktor 10 bis 50 über den notwendigen Reduktionszielen liegen und somit außerordentlich großer Handlungsbedarf besteht.

In der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung (2002) sind quantitative Ziele für den Güterverkehr für die Jahre 2015 bzw. 2020 festgeschrieben: Bis zum Jahr 2020 soll die Transportintensität um 5 % gegenüber 1999

Abbildung 4-4

**Vergleich der CO<sub>2</sub>-Emissionsentwicklungen und der -Minderungsziele im Güterverkehr in Deutschland**



Basis für die Berechnungen: Modal Split der Szenarien (Verkehrsleistung) sowie konstante Emissionsintensität der Modi (Emissionsintensität des Jahres 2008).

SRU/UG 2012/Abb. 4-4; Datenquelle: ICKERT et al. 2007; BMVBS 2011; IFEU 2008; Öko-Institut und DLR-IVF 2009b; Öko-Institut und Prognos AG 2009

sinken, bis 2015 soll der Anteil der Bahn an der Güterverkehrsleistung auf 25 % wachsen, der der Binnenschifffahrt auf 14 %. Allerdings weicht die tatsächliche Entwicklung von diesen Zielen ab. Zwar ist der Anteil des Schienengüterverkehrs seit Formulierung der Ziele leicht gestiegen (BMVBS 2011), gleichzeitig sank jedoch der Anteil der Binnenschifffahrt trotz absoluten Wachstums. Das gesteckte Ziel erscheint daher kaum erreichbar (Statistisches Bundesamt 2010b, S. 37).

Die folgenden Betrachtungen konzentrieren sich auf den landgebundenen Güterverkehr (Straßen- und Schienengüterverkehr). Der Straßengüterverkehr wird voraussichtlich der Güterverkehrsmodus sein, der ohne zusätzliche Maßnahmen weiterhin stärker absolut wachsen wird als die Binnenschifffahrt und der Schienengüterverkehr. Der Schienengüterverkehr stellt bei vergleichsweise geringen spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen pro tkm, die sich durch den Einsatz regenerativ erzeugten Stroms praktisch auf Null senken lassen, prinzipiell eine Option dar, große Mengen der Güterverkehrsleistung anderer Güterverkehrsmodi – insbesondere vom Straßengüterverkehr – aufzunehmen.

Große Herausforderungen bei der Reduktion der THG-Emissionen stellen auch der Güterluftverkehr und der internationale Seeverkehr dar. Beide sind wichtige und stark wachsende Emittenten, die bisher keinem angemessenen internationalen Klimaschutzregime unterworfen sind. Diese können hier jedoch nicht vertieft betrachtet werden.

#### 4.3.2 Ansätze zur Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Güterverkehr

**249.** Gemeinhin wird angenommen, dass Wirtschaftswachstum und die Entwicklung des Güterverkehrs eng miteinander verknüpft sind (IEA und OECD 2009, S. 280). Bei genauer Betrachtung ergibt sich jedoch eine deutliche Varianz im Zeitablauf und im Vergleich wichtiger Industrieländer. Die Verkehrsintensität divergiert zwischen einzelnen EU-Staaten teilweise um den Faktor 3 (GLEAVE 2003, S. 11). In einigen Ländern wächst der Güterverkehr deutlich schneller als das BIP, in anderen gibt es erste Anzeichen einer Entkopplung (EuroStat 2011). Von einem starren Verhältnis von Wirtschafts- und Güterverkehrswachstum kann man daher nicht generell ausgehen. In vielen europäischen Ländern und auch in den USA sind bereits Sättigungstendenzen zu beobachten (OECD 2006, S. 24 f. und 68 ff.; MCKINNON 2007; TAPIO 2005; TAPIO et al. 2007), nicht hingegen in Deutschland (Statistisches Bundesamt 2011a).

Güterverkehrsintensität und -wachstum werden durch folgende Faktoren beeinflusst (IEA und OECD 2009, S. 278 ff.; OECD 2006, S. 24 f. und 68 ff.; BAUM und HEIBACH 1997; SRU 2005, S. 130 ff.):

- Nachfragefaktoren (Wirtschaftswachstum, internationale Arbeitsteilung, Fertigungstiefe, Industriestrukturwandel, Raum- und Standortstruktur),
- Angebotsfaktoren (Zeitkosten der Raumerschließung, Transportkosten- und Ölpreisentwicklung, Effizienz in

der logistischen Kette, Umschlagshäufigkeit, Just-in-Time-Konzepte),

- politische Faktoren (Handelsliberalisierung, Infrastruktur- und Steuerpolitik), die die Nachfrage- oder Angebotstrends verstärken oder abschwächen können.

Diese Faktoren sind aber einem Strukturwandel unterworfen, der auch Tendenzen zur Sättigung und zur Entkopplung mit sich bringt. Mögliche Entkopplungstendenzen realistisch wahrzunehmen und in der Verkehrsplanung zu antizipieren und zu verstärken, bietet Ansatzpunkte für eine Politik der Entkopplung.

#### Strukturwandel der Nachfrage

**250.** Es gibt Anzeichen dafür, dass sich wichtige Nachfragetrends nicht bis 2050 ungebrochen fortsetzen. Dämpfend dürften sich die folgenden Faktoren auf das Güterverkehrswachstum auswirken:

- Tendenziell abflachende wirtschaftliche Wachstumsraten (REUTER 2010; SCHADE 2010, S. 87; BURCADE und HERZMANN 2006): In den 2030er-Jahren wird eher ein Wirtschaftswachstum im Bereich von 1 % jährlich erwartet.
- Das Wirtschaftswachstum sowie die ökonomische Integration der osteuropäischen Länder in den europäischen Binnenmarkt und der Strukturwandel in diesen Ländern werden sich nach einer dynamischen Aufholphase stabilisieren (KRITZINGER et al. 2008, S. 88; UNECE und FAO 2002; PETERSEN et al. 2009, S. 29 ff.). Mit voranschreitender wirtschaftlicher Konvergenz in Europa ist überdies eine Zunahme der Transportkostensensitivität zu erwarten (FEIGE 2007, S. 72 f.). Transportkostensteigerungen könnten demnach eine stärker dämpfende Wirkung auf das Güterverkehrswachstum haben.
- Die Tertiärisierung der Ökonomie, das heißt ein fortschreitender wirtschaftlicher Bedeutungszugewinn des Dienstleistungssektors, macht auch vor Deutschland nicht halt (IEA und OECD 2009, S. 274; SCHADE 2010, S. 89; ANDERS et al. 2009, S. 18): Der Anteil des Industriesektors wird zwar im internationalen Vergleich hoch bleiben, der Trend zur Tertiärisierung wird aber zeitverzögert ebenfalls nachvollzogen.
- Eine relative Dematerialisierung der Ökonomie findet seit Jahrzehnten statt, das heißt der gesamte inländische Materialverbrauch ist in den letzten Jahrzehnten in der EU und in Deutschland deutlich langsamer gestiegen als das Bruttoinlandsprodukt (EEA 2010; WATSON et al. 2011). Diese Dematerialisierung folgt neben dem sektoralen Strukturwandel auch dem intra-industriellen Strukturwandel; letzterer beschreibt Veränderungen innerhalb einer Branche in Richtung weniger materialintensiver Produkte und Produktionsweisen. Diese Markttrends werden sich mit der absehbaren weiteren Verteuerung mineralischer und biogener Rohstoffe in Zukunft weiter fortsetzen. Mit jedem Materialeinsatz sind in der Regel auch Transportvorgänge verbunden.

- Trotz der Grundtendenz der vergangenen Jahrzehnte einer zunehmend weiträumigeren (internationalen) Arbeitsteilung sind auch Gegentrends verbrauchernaher Erzeugung zu beobachten. Dies gilt insbesondere für die produktionsnahe Beschaffungslogistik durch die enderzeugernahe Ansiedlung von Zulieferindustrien (STORPER 1995; HESSE und RODRIGUE 2004).
- Nachfragedämpfend wirken sich schließlich Effizienzverbesserungen in der logistischen Kette aus. Zwischen 1960 und 1990 hat sich in Deutschland die Güterverkehrsleistung vervierfacht, die Fahrleistung dank besserer Auslastung aber nur verdreifacht (BAUM und HEIBACH 1997, S. 14). Dieser Trend hat sich, deutlich verlangsamt, auch in der letzten Dekade fortgesetzt (Statistisches Bundesamt 2011a; KVEIBORG und FOSGERAU 2007, S. 45; SORRELL et al. 2009, S. 3123; AGNOLUCCI und BONILLA 2009; MCKINNON 2007). Beides ist insbesondere auf die bessere Koordination und das bessere Auslastungsmanagement in großen Güterverkehrszentren zurückzuführen (KVEIBORG und FOSGERAU 2007, S. 47; BAUM und HEIBACH 1997; Öko-Institut und DLR-IVF 2009a; VERNY 2007).

#### Angebotstrends: Kostensteigerungen und Infrastrukturengpässe

**251.** Wichtige Angebotsfaktoren für das bisherige Güterverkehrswachstum sind die Transportgeschwindigkeit, die Transportkosten und die Effizienz in der logistischen Kette (HESSE und RODRIGUE 2004, S. 6; RODRIGUE 2006; AGNOLUCCI und BONILLA 2009, S. 324). Diese Faktoren haben in den letzten Jahren physische und ökonomische Raumwiderstände vermindert und damit den Radius der Verflechtungen und ihre Komplexität erhöht. Gerade diese Raum-Zeit-Ökonomie ist jedoch einem Strukturwandel unterworfen.

Der weitere Anstieg der Ölpreise und damit der Transportkosten ist wahrscheinlich. Die Internationale Energieagentur, die die Preisentwicklung in der letzten Dekade regelmäßig und substanziell unterschätzt hat, vermutet eine Verdoppelung der Ölpreise von 60 auf 113 US-Dollar/Barrel zwischen 2009 und 2035 (IEA 2010, S. 6). Andere Studien sehen deutlich höhere Kostenrisiken (SCHADE 2010, S. 56; Zentrum für Transformation der Bundeswehr 2010; ANDERS et al. 2009). Auch eine konsequente Klimapolitik würde zu einer signifikanten Erhöhung der Transportkosten führen. Dabei ist insgesamt zu beachten, dass die Transportkostenelastizität des zwischeneuropäischen Handels, der trotz eines abnehmenden Anteils am Gesamthandel weiterhin eine dominante Rolle einnimmt, hoch ist (FEIGE 2007, S. 72). So wird die abnehmende Güterverkehrsintensität in Großbritannien auch auf einen deutlichen Anstieg der Transportkosten um 25 % in den 1990er-Jahren zurückgeführt (AGNOLUCCI und BONILLA 2009, S. 340).

Die Infrastrukturinvestitionen werden selbst bei deutlicher Erhöhung nicht mit dem Kapazitätsbedarf des pro-

gnostizierten Güterverkehrswachstums mithalten können (van ESSEN et al. 2009, S. 42). Im Bereich der Verkehrswegeinvestitionen für den Schienen- wie auch für den Straßenverkehr liegt Deutschland signifikant unter dem Niveau anderer europäischer Länder (Allianz pro Schiene 2011; Pro Mobilität – Initiative für Verkehrsinfrastruktur 2011). Bei deutlich steigenden Baukosten stagnieren die Verkehrswegeinvestitionen – abgesehen von nur vorübergehenden Sondereffekten der Konjunkturprogramme I und II – in absoluten Zahlen zwischen 2001 und 2012. Dies hat zu deutlichen Verzögerungen bei der Abarbeitung der Projekte des vordringlichen Bedarfs aus dem Bundesverkehrswegeplan 2003 und der Unterfinanzierung der dort genannten Neubauprojekte und Instandhaltungsmaßnahmen geführt (BORMANN et al. 2010, S. 13 f.; ECK und STARK 2011). Infrastrukturengpässe spielen eine wichtige Rolle für die in Großbritannien beobachtete Sättigungstendenz bei der Verkehrsnachfrage und für die dortige Trendumkehr bei der Standortkonzentration der Produktion zugunsten von absatznäheren Produktionsstandorten (MCKINNON 2007, S. 52; SORRELL et al. 2009, S. 3123). Mit Infrastrukturengpässen und wachsender Komplexität der Transportketten steigt auch das Friktionsrisiko, das heißt die Möglichkeit, dass die Transportkette nicht zeitgenau und reibungslos organisiert werden kann (HESSE und RODRIGUE 2004, S. 12; HESSE 2007b; 2007a; JANIC 2009). Zur Vermeidung solcher Risiken haben Unternehmen verschiedene mittel- bis langfristig umsetzbare Handlungsoptionen, so insbesondere:

- die Verminderung der Anzahl der Zulieferindustrien, auch durch modulare Beschaffung komplett zusammengebauter Zulieferteile und damit die Verlagerung von Friktionsrisiken auf vorgelagerte Wertschöpfungsketten (BAUM und HEIBACH 1997, S. 84),
- die Ansiedelung von Zulieferern in der Nähe der Endfertigung (ebd.),
- den Wiederaufbau von Lagern als Puffer (JANIC 2009, S. 105). Der Abbau der Lagerhaltung in den 1990er-Jahren und die Dynamik der zeitgenauen Anlieferung war auch eine betriebswirtschaftliche Antwort auf hohe Lagerhaltungskosten, insbesondere hohe Zinsen, bei sinkenden Transportkosten (BAUM und HEIBACH 1997, S. 98). Diese Rahmenbedingungen haben sich mittlerweile grundlegend verändert.

Es gibt nur wenige Szenarien, die solche auf eine Dämpfung des Verkehrswachstums hinweisenden Trendbrüche antizipieren. So erwartet beispielsweise das Baseline-Szenario der IEA vor allem aufgrund der Tertiarisierung der Ökonomie ein globales Wachstum der Güterverkehrsleistung auf Straße und Schiene von circa 50 % zwischen 2005 und 2050. Im BLUE Shift Szenario fällt das prognostizierte Güterverkehrswachstum als Folge aktiver Klimaschutzpolitik noch etwas geringer aus, wobei insbesondere der Zuwachs beim Straßengüterverkehr mit 35 % deutlich niedriger ist als im Baseline Szenario (75 %) und im High Baseline Szenario (100 %) (IEA und OECD 2009, S. 274). Ein im Rahmen des Science and Technology Options Assessment-Programmes des Europäischen

Parlaments (STOA) erarbeitetes Szenario erwartet unter günstigen sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen und bei einem durchschnittlichen Wirtschaftswachstum von 1,7 % eine Reduktion der Güterverkehrsnachfrage gegenüber dem Trend um 45 % bis 2050 (SCHIPPL et al. 2008, S. 37). Wie belastbar solche Zahlen sind, die immerhin eine Halbierung des prognostizierten Wachstums annehmen, kann auf der Basis der vorliegenden Studien allerdings nicht bewertet werden.

### Schlussfolgerungen und Gestaltungsoptionen

**252.** Eine zukunftsfähige und realitätsorientierte Verkehrspolitik sollte die genannten Faktoren auf der Nachfrage- und Angebotsseite aufgreifen und Entkopplungstendenzen sinnvoll verstärken. Ein wesentlicher Ansatzpunkt wird sein, das Versprechen einer immerwährenden Anpassung der Straßeninfrastrukturkapazitäten an eine scheinbar naturwüchsig steigende Nachfrage aufzugeben (vgl. Tz. 271). Die Autobahnkapazitäten werden absehbar nicht überall bedarfsgerecht mitwachsen können. Unternehmerische Innovations- und Standortstrategien werden Angebotsengpässe antizipieren müssen und auch können. Zudem wird sich die Nachfrage nach Güterverkehrsleistungen längerfristig an steigende Transportkosten anpassen. Zentrale Handlungsfelder einer politischen Flankierung der hiermit verbundenen wirtschaftlichen Anpassungsprozesse liegen außerhalb der Verkehrspolitik, müssen aber eng mit ihr verzahnt werden. Betroffen sind insbesondere die Wirtschafts-, Raumordnungs- und Umweltpolitik. Nachfolgend werden exemplarisch einige Gestaltungsoptionen genannt.

Die regionale Wirtschaftsförderung kann Nahverflechtungen stärker betonen als bisher. Ansätze zur Förderung von Unternehmensclustern und -netzwerken, die in der Wertschöpfungskette integriert sind, tragen zu einer Ökonomie kurzer Distanzen bei (STORPER 1995). Im Mittelpunkt stehen hierbei informatorische Instrumente und regionale Infrastrukturen zur Akteursvernetzung (SPRENGER et al. 2003). Soweit ökonomisch sinnvoll und praktikabel, gehören hierzu auch Maßnahmen der Regionalvermarktung (insbesondere im Bereich der Lebensmittel). So gibt es eine Reihe von Produkten, die wegen ihrer Eigenschaften eher „näheaffin“ sind (KLUGE und SCHRAMM 2003). Hierzu gehören Produkte mit einem niedrigen Verhältnis von Wert zu Volumen (wie z. B. Baustoffe) und tendenziell für eine Regionalvermarktung zugängliche Nahrungsmittel. Nahrungsmitteltransporte machen circa ein Fünftel der Straßenverkehrsleistungen aus (s. Tz. 240). Die Infrastrukturpolitik kann einen Beitrag dazu leisten, nahräumliche Kommunikationsverbindungen systematisch gegenüber den fernräumlichen zu privilegieren (SPRENGER et al. 2003). Vielfach werden solche Maßnahmen auf die Erhaltung und die Erneuerung bestehender regionaler Verflechtungen ausgerichtet sein und damit einen – wenn auch sehr beschränkten – Beitrag zur Verminderung der Globalisierungs- und Auflösungsdynamik regionaler Verflechtungen leisten können.

Zentrale große Güterverkehrszentren (GVZ) haben eine Schlüsselfunktion für die Koordination von Verkehrs-

und Informationsflüssen übernommen (HESSE 2007a, S. 95; 2007b). Zudem finden in diesen Zentren zunehmend auch wertschöpfende Dienstleistungen statt. Grundsätzlich bieten GVZ eine Möglichkeit, disperse Verkehre auf zentralen Verkehrsachsen zu bündeln, hierdurch den Auslastungsgrad zu verbessern und gleichzeitig auch die Wettbewerbsfähigkeit kombinierter Verkehre bzw. des Schienengüterverkehrs zu stärken. Auf der anderen Seite ist eine sehr zentrale Raumstruktur von GVZ auch mit Umwegverkehr, insbesondere bei den Zubringer- und Verteiltransporten, verbunden. Viele solcher Umschlagplätze entwickeln sich in der Nähe großer Häfen, Flughäfen und im ländlichen Umfeld von Ballungsräumen in Autobahnnähe (HESSE und RODRIGUE 2004, S. 7). Diese Standortwahl ist dank der Flächenschließung durch das Autobahnnetz wesentlich erleichtert worden (HESSE 2007b, S. 7). Mittlerweile gibt es aber in Deutschland bereits 35 zentrale GVZ, die auch über einen Bahnanschluss verfügen und an Terminals des kombinierten Verkehrs angeschlossen sind, die weiterentwickelt werden könnten (NESTLER und NOBEL 2011). Investoren in Logistikstandorte und die Raumordnung sollten – insbesondere bei der Ausweisung und Genehmigung von den erheblichen Flächen für GVZ – wesentlich intensiver die Verkehrsauswirkungen der Standortwahl prüfen und minimieren.

Neben der Standortwahl für Beschaffung, Umschlag und Produktion spielt die Organisation der Verkehrsströme eine wichtige Rolle. Ein Interesse an einer möglichst guten Auslastung der Lkws hat zumeist schon aus Kostengründen jeder einzelne Logistikanbieter, Optimierungspotenziale liegen aber insbesondere bei der dienstleisterübergreifenden Zusammenarbeit. Diese hat zwar ihre Grenzen bei Spezialtransporten, kann aber insbesondere durch betriebsübergreifende Informations- und Kommunikationsinfrastruktur, standardisierte Transportbehälter oder durch eine betriebsübergreifende Infrastruktur an zentralen Umschlagplätzen, wie GVZ, ausgebaut und gefördert werden. Mit der Förderung der Kommunikationsinfrastruktur und des Aufbaus von GVZ kann auch die Verkehrspolitik einen Beitrag zur betriebsübergreifenden Kooperation leisten. Das Potenzial organisatorischer Maßnahmen wird dennoch lediglich auf eine Reduktion des Leerfahrtenanteils von heute circa 20 % um 2,2 Prozentpunkte geschätzt (Öko-Institut und DLR-IVF 2009a, S. 41).

In der Summe bieten damit die Regionalplanung, die regionale Wirtschaftspolitik, die Verkehrswegepolitik, Strategien der Kosteninternalisierung für den Güterverkehr und auch die übergeordnete Wirtschafts- und Umweltpolitik Ansatzpunkte dafür, beobachtbare Sättigungs- und Entkopplungstendenzen zu verstärken. Dematerialisierung, verkehrssparende Raumstrukturen und Effizienz in der Logistikkette sind die drei wesentlichen Leitbilder für eine Senkung der Verkehrsintensität.

#### 4.3.3 Effizienzsteigerungen

**253.** Der Problemaufriss (insb. Abschn. 4.3.1) verdeutlicht, dass die antizipierten Entwicklungen im Güterver-

kehr in Deutschland und die angestrebten Minderungen der THG-Emissionen deutlich divergieren. Um das antizipierte Güterverkehrswachstum nicht mit einem ebensolchen Wachstum der THG-Emissionen einhergehen zu lassen, kommt Effizienzsteigerungen eine besondere Bedeutung zu. Ziel muss es sein, den spezifischen Energiebedarf bzw. die spezifischen Emissionen (g CO<sub>2</sub>/tkm) zu senken. Grundsätzlich werden dabei technische (z. B. höhere Motoreffizienz) von organisatorischen (z. B. höhere Fahrzeugauslastung) Effizienzsteigerungen unterschieden. Bei der Abschätzung des Potenzials von Effizienzsteigerungen muss berücksichtigt werden, dass sich Verkehrsleistung und Effizienz der verschiedenen Modi gegenseitig beeinflussen können.

Es kann davon ausgegangen werden, dass sich die Energieeffizienz von Verbrennungsmotoren und Antriebstechnologien weiter verbessern wird und dass Weiter- und Neuentwicklungen (Hybridantriebe, Gasantriebe und auch elektrische Antriebe) in den Markt diffundieren werden (Öko-Institut und Prognos AG 2009, S. 91). Einige dieser Entwicklungen werden bereits ohne weitergehende Instrumentierung zu erreichen sein. So gehen Öko-Institut und Prognos AG (2009) von einem Sinken des spezifischen Energieverbrauchs um insgesamt circa 23 % bis 2050 aus, was auch für den Dieselantrieb gilt, der im Güterverkehr einen Marktanteil von mehr als 90 % hat. Die gleiche Studie zeigt im Szenario „Innovation“ eine Senkung des spezifischen Verbrauchs der Dieselfahrzeuge um 28 %. Weitere technische Maßnahmen zur Effizienzsteigerung durch Minderung des spezifischen Verbrauchs sind beispielsweise die Reduktion des spezifischen Gewichts und die Verringerung des Fahr- und Rollwiderstandes (HILL et al. 2011; JACKSON 2011; LAW et al. 2011).

Eine Verbesserung der Fahrzeugauslastung im Straßen- und Schienengüterverkehr kann ebenso zur Minderung spezifischer Emissionen beitragen. Öko-Institut und Prognos AG (2009) beziffern die Steigerung der Fahrzeugauslastung bis 2050 auf 41 bis 64 % für den Straßenverkehr und 30 % für den Schienengüterverkehr. Dabei ist jedoch zu beachten, dass beispielsweise eine höhere Auslastung im Schienengüterverkehr „mehr kleinteilige Verteilverkehre in der Fläche“ (ebd., S. 217) induzieren kann. Somit kann es zu gegenläufigen Tendenzen kommen, sodass der Nettoeffekt kleiner ausfällt. Eine weitere organisatorische Maßnahme zur Effizienzsteigerung ist beispielsweise die Verkehrstelematik zur verbesserten Koordinierung von Verkehren.

Insgesamt kann von einem Potenzial zur Reduktion der spezifischen Emissionen von etwa einem Drittel bis zum Jahr 2030 gegenüber 2005 ausgegangen werden (von 95 g/tkm auf 61 g/tkm) (Öko-Institut und DLR-IVF 2009b, S. 92). Eine Abschätzung des SRU, basierend auf der Fortschreibung von Effizienzsteigerungen in der Vergangenheit, kommt zu einem Reduktionspotenzial von bis zu 60 % bis 2050 für den Güterverkehr. Das UBA (2010, S. 45) beziffert das Energieeinsparpotenzial für den Lkw-Bereich mit etwa 40 %. Die Erschließung dieses großen Potenzials für Effizienzsteigerungen wird zukünftig

von hoher Relevanz für die Reduktion von THG-Emissionen im Güterverkehr sein. Zudem führen Effizienzsteigerungen und der damit einhergehende reduzierte Energiebedarf zu niedrigeren marginalen Transportkosten. Effizienzsteigerungen allein werden jedoch absehbar nicht ausreichen, um die Emissionsminderungsziele zu erreichen. Das oben beschriebene prognostizierte Güterverkehrswachstum wird die Differenz zwischen Ist und Soll noch stark vergrößern. Folglich bedarf es weiterer Emissionsminderungsmaßnahmen.

#### 4.3.4 Verkehrsverlagerung auf die Schiene

**254.** Neben der Effizienzsteigerung sieht der SRU die Elektrifizierung als wesentlichen Baustein einer Entkarbonisierung des Güterverkehrs. Zentrale Bedingung dafür ist, dass die Elektrizität vollständig regenerativ erzeugt wird, da fossile Erzeugung mit erheblichen CO<sub>2</sub>-Emissionen am Kraftwerk verbunden ist und weder die fossile, noch die nukleare Stromerzeugung als nachhaltig angesehen werden kann (SRU 2011, Tz. 66). Die Umstellung der Elektrizitätserzeugung auf erneuerbare Energien ist technisch möglich und ökonomisch sinnvoll. Selbst eine deutlich erhöhte Stromnachfrage im Verkehrssektor in Deutschland könnte regenerativ gedeckt werden (SRU 2011). Eine Bereitstellung der notwendigen Energie aus regenerativen Energiequellen ist elektrisch sehr viel leichter möglich als in Form von Biokraftstoffen, da die energetische Nutzung von Biomasse im Gegensatz zur Stromerzeugung aus Wind und Sonne an enge Grenzen stößt (SRU 2007).

Die Umstellung des Güterverkehrssystems lässt sich grundsätzlich in die intermodale Verlagerung auf heute bereits elektrifizierte Systeme (Schienengüterverkehr) und die intramodale Umstellung von Verbrennungs- auf Elektromotoren unterteilen (s. a. Abschn. 4.3.5). Im Folgenden wird beides aufgrund deutlich unterschiedlicher, vor allem technischer Herausforderungen getrennt diskutiert.

**255.** Der Schienengüterverkehr induziert deutlich weniger spezifische Umweltbelastungen in Bezug auf Schadstoff- und CO<sub>2</sub>-Emissionen als der Straßengüterverkehr oder der Luftfrachtverkehr (Statistisches Bundesamt 2010b, S. 36). Prinzipiell ist es denkbar, große Mengen der Transportleistung mithilfe des Schienengüterverkehrs zu erbringen. Eine Verlagerung bedeutet jedoch, dass der Schienengüterverkehr nicht nur weiterhin seine heutige Leistung von etwa 115 Mrd. tkm erbringen, sondern aufgrund des zukünftigen Wachstums des gesamten Güterverkehrs seinen Beitrag zur Güterverkehrsleistung deutlich steigern müsste. Bereits ein Halten des Anteils des Schienengüterverkehrs an der Güterverkehrsleistung setzt hohe Wachstumsraten beim Schienengüterverkehr voraus; eine darüber hinausgehende Verlagerungsstrategie bedingt folglich Wachstumsraten beim Schienengüterverkehr, die sehr viel höher sind als die des gesamten Güterverkehrs. Dies betrifft insbesondere die Hochleistungskorridore und Fernrelationen, da dort die Güterverkehrsleistung am größten ist. Potenziell verlagerungsfähig sind der gesamte Straßengüterfernverkehr sowie Teile

des Straßengüterregionalverkehrs (HOLZHEY et al. 2011, S. 14). Im Güternahverkehr erscheint eine deutliche Verlagerung von der Straße auf die Schiene schon wegen fehlender Infrastrukturen, aber auch etwa wegen mangelnder Flexibilität und Wirtschaftlichkeit unrealistisch. Zudem bestehen Restriktionen bei Nutzung, Aus- und Neubau des Schienennetzes, was das Verlagerungspotenzial weiter einschränkt.

Somit kann nur ein Teil der Güterverkehrsleistung der anderen Modi auf den Schienengüterverkehr verlagert werden. Um eine Abschätzung zur Größe des Verlagerungspotenzials zu erhalten, hat die KCW GmbH im Auftrag des SRU die mögliche Leistungsfähigkeit des Schienengüterverkehrs in Deutschland bis zum Jahr 2050 untersucht (HOLZHEY et al. 2011). Aufbauend auf der im Auftrag des UBA erstellten Studie „Schienennetz 2025/2030“ (HOLZHEY 2010), mit der gezeigt wurde, dass der Schienengüterverkehr eine vom UBA angenommene Güterverkehrsleistung von 213 Mrd. tkm bis 2030 absorbieren könnte und welche infrastrukturellen Folgekosten dabei zu erwarten wären, wurden drei Szenarien mit längerem Zeithorizont und unterschiedlich hoher Güterverkehrsverlagerung modelliert. In allen Szenarien wurde weiterhin angenommen, dass der Schienengüterverkehr im Jahr 2030 213 Mrd. tkm leistet. Für das Prognosejahr 2050 wurde untersucht, ob und wie eine Güterverkehrsleistung von 300 (Szenario A), 400 (Szenario B) bzw. 500 Mrd. tkm (Szenario C) auf der Schiene zu realisieren wäre. Dies entspräche einem Anteil des Schienengüterverkehrs von bis zu 41 % an der prognostizierten Güterverkehrsleistung. Die Analyse bestätigt die grundsätzliche Machbarkeit, wenngleich die Zielwerte der Szenarien B und vor allem C nur dann zu erreichen sind, wenn viele den Schienengüterverkehr unterstützende Einflüsse eintreten. Das sind zum einen technische Verbesserungen, beispielsweise in der Leit- und Sicherungstechnik, in der Verkehrssteuerung und Fahrplangestaltung sowie Verbesserungen von Zustellkonzepten, Umschlagtechniken und Logistikkonzepten. Die notwendigen Verbesserungen beinhalten insbesondere eine verbesserte Anbindung der Nordseehäfen (Seehafenhinterlandverkehr) und eine zügigere Abfertigung, beispielsweise durch die räumliche Trennung von Häfen und Rangierbahnhöfen. Zentraler Hebel ist jedoch die Erhöhung der Zuglänge und damit des Gesamtgewichts der Züge. KCW GmbH beziffert das Potenzial zur Erhöhung der maximalen Nettoladung eines Zuges mit 40 %. Eine Verkehrsleistung von 500 Mrd. tkm im Schienengüterverkehr erscheint unter den getroffenen Annahmen sehr ambitioniert, ist aber technisch und organisatorisch vorstellbar.

Neben der Ausschöpfung der technischen und organisatorischen Potenziale bedingt eine Schienengüterverkehrsleistung von 500 Mrd. tkm deutlich höhere Zugzahlen als heute und in der Folge den Aus- und zum Teil Neubau von Streckenkapazitäten, der von geeigneten ordnungs- und planungsrechtlichen Instrumenten flankiert werden müsste (vgl. Abschn. 4.4.3). Zudem müssten für Unternehmen Anreize zur Verlagerung ihrer Transporte auf die Schiene geschaffen werden (vgl. Abschn. 4.4.4). Als ku-

mulative Investitionskosten für Aus- und Neubau ergeben sich unter den getroffenen Annahmen etwa 50 Mrd. Euro bis zum Jahr 2050. Dieser Wert erscheint hoch, relativiert sich jedoch bei Betrachtung des Zeitraumes von fast vierzig Jahren und Bundesmitteln von jährlich 2,5 Mrd. Euro, die die Deutsche Bahn AG für die Erneuerung der vorhandenen Schieneninfrastruktur derzeit erhält (Deutsche Bahn AG und McKinsey & Company 2010, S. 53). Zusätzliche Investitionen in die Erweiterung der Fahrzeugflotte (Loks, Güterwagen) zur Bewältigung des Mehrverkehrs fallen in einer Deltabetrachtung zum Lkw nicht an, wenn die Schiene die unterstellte Produktivitätssteigerung erreicht. Tatsächlich ergäbe sich in den Szenarien B und C bei den Investitionskosten der Betriebsmittel ein Vorteil, der allerdings in der Tendenz wieder aufgezehrt wird, weil im Gegenzug die Terminalinfrastruktur in der Fläche erheblich ausgeweitet werden müsste.

Die Kosten für Fahrzeuge und Güterwagen, die dem leistungsfähigen System entsprechen, fallen im Rahmen des „lebenszyklusgetriebenen Güterwagenaustauschs“ (HOLZHEY et al. 2011, S. 32) zum Teil ohnehin an. Zusätzliche Kosten – für systemkonforme Wagen – wurden nicht explizit berechnet, dürften aber unterhalb der Infrastrukturkosten liegen.

Darüber hinaus muss das deutsche Schienensystem auch weiterhin mit den Systemen der europäischen Nachbarstaaten abgestimmt werden, um Engpässe an den Grenzen bzw. Umladestationen zu vermeiden. Insbesondere dem Alpen transit durch die Schweiz und durch Österreich könnte dabei eine entscheidende Rolle zukommen, da auch dort mit starkem Güterverkehrswachstum gerechnet wird und aufgrund der topografischen Verhältnisse eine Expansion des heutigen Verkehrssystems nur schwer möglich ist.

Geht man von den genannten möglichen 500 Mrd. tkm für den Schienengüterverkehr im Jahr 2050 aus, so ist dieser Wert mehr als das Doppelte dessen, was ICKERT et al. (2007) für dasselbe Jahr als wahrscheinlichen Wert für den Schienengüterverkehr ohne zusätzliche Verlagerungsbemühungen abschätzen (227 Mrd. tkm im Schienengüterverkehr). Es müssten somit bis zum Jahr 2050 273 Mrd. tkm von den anderen Güterverkehrsmodi auf den Schienengüterverkehr verlagert werden. Stammt diese Verlagerung ausschließlich aus dem Straßengüterverkehr und wird der Schienengüterverkehr im Jahr 2050 regenerativ-elektrisch versorgt, könnte mithilfe der Verlagerung eine CO<sub>2</sub>-Emissionsminderung – unter der Annahme von starken Effizienzsteigerungen aller Modi – um etwa 15 Mt im Jahr 2050 erreicht werden. Sollte die Güterverkehrsleistung aufgrund von Vermeidungseffekten niedriger ausfallen als in ihren Betrachtungen von HOLZHEY et al. (2011) angenommen, würde dies auch das Potenzial der verlagerbaren Verkehre und somit der Reduktion von THG-Emissionen reduzieren. Grundsätzlich werden die THG-Emissionen des Güterverkehrs jedoch auch dann noch oberhalb der Zielwerte liegen.

Eine Güterverkehrsleistung des Schienengüterverkehrs in Höhe von 500 Mrd. tkm im Jahr 2050 bedeutet auf der anderen Seite, dass bis zu 700 Mrd. tkm der für das Jahr

2050 prognostizierten Güterverkehrsleistung mithilfe anderer Modi erbracht werden müssten (600 Mrd. tkm Straße, 100 Mrd. tkm Binnenschiff). Deren CO<sub>2</sub>-Emissionen dürfen dabei nicht über dem Klimaschutzziel liegen. Unterstellt man zwar Effizienzsteigerungen bei den Verbrennungsmotoren, jedoch keinen grundsätzlichen Systemwechsel, so läge die Emissionsmenge des Güterverkehrs mit 35 bis 40 Mt CO<sub>2eq</sub>/a weiterhin bei einem Mehrfachen der angestrebten Zielwerte von 2,3 bis 9,2 Mt/a. Abbildung 4-5 veranschaulicht ungefähre THG-Emissionsminderungen durch verschiedene Maßnahmen.

#### 4.3.5 Energieträgersubstitution im Straßengüterverkehr

**256.** Wie gezeigt, wird eine THG-Emissionsreduktion durch organisatorische Maßnahmen (Abschn. 4.3.2), Effizienzsteigerungen (Abschn. 4.3.3) und Verlagerung (Abschn. 4.3.4) mit großer Sicherheit nicht ausreichen, um das notwendige Reduktionsziel zu erreichen. Folglich bedarf es weiterer Überlegungen und Maßnahmen zur Zielerreichung. Grundsätzlich ist es notwendig, THG-Emissionen verursachende Kraftstoffe durch solche Energieträger zu ersetzen, die deutlich weniger bzw. gar keine THG-Emissionen verursachen.

Neben der Verlagerung auf die Schiene gibt es weitere Optionen, den Güterverkehr elektrisch zu versorgen. Dies gilt insbesondere für den Straßengüterverkehr als größter Emissionsquelle innerhalb des Güterverkehrs. Dabei haben die einzelnen im Folgenden gezeigten Optionen hin-

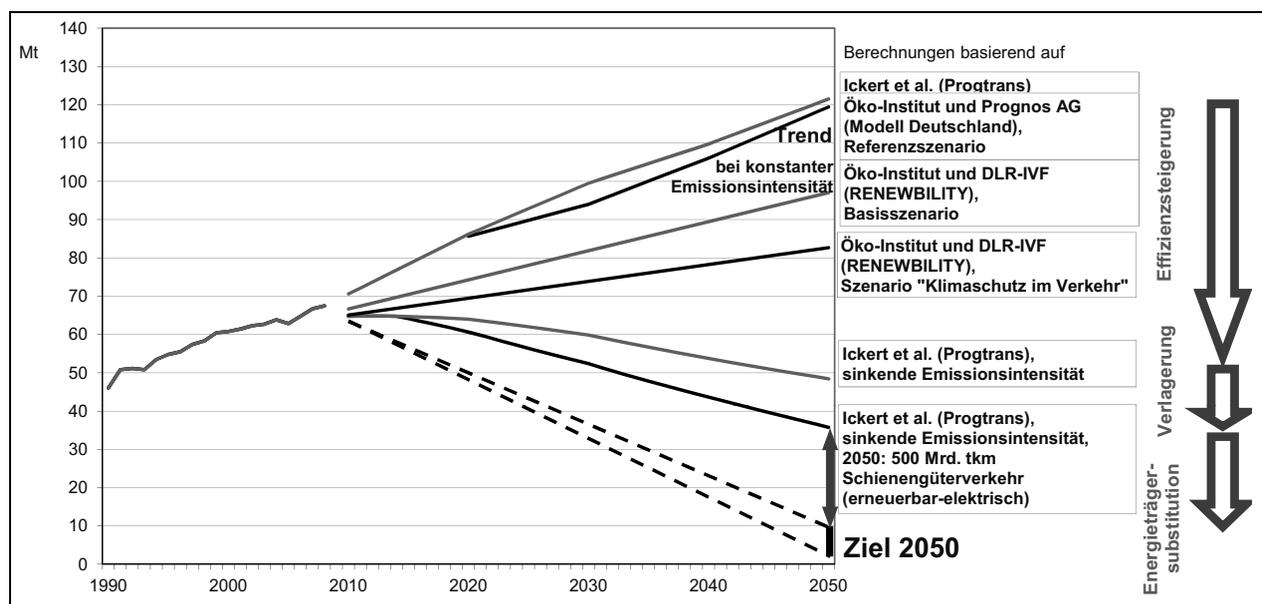
sichtlich ihrer technischen Machbarkeit und der notwendigen Infrastruktur jeweils Vor- und Nachteile. So könnte ein Teil des Güterverkehrs batterieelektrisch angetrieben werden. Allerdings scheint das Potenzial für den Einsatz von batterieelektrischen Systemen im Güterverkehr auf leichte Lkws im Nahverkehr beschränkt zu sein, insbesondere aufgrund der vergleichsweise geringen Reichweiten und des hohen Gewichts von Batterien. Das Leergewicht eines Lkws würde stark erhöht werden, wodurch sich die maximale Zuladung und damit die Effizienz deutlich verringern würde. Batteriewechselsysteme könnten diesen Nachteil verringern.

#### 4.3.5.1 Elektrifizierung des Straßengüterverkehrs

**257.** Zur Elektrifizierung des Straßengüterverkehrs erscheinen dem SRU leitungsgeführte Lkws, sogenannte Trolley-Trucks (E-Trolleys), eine vielversprechende Option zu sein. Ihre Technik ist mit der von Trolley-Bussen (Oberleitungsbusse – Obusse) vergleichbar, wie sie beispielsweise in Genf, Luzern und auch Solingen im öffentlichen Personennahverkehr eingesetzt werden. In einem Trolley-Truck werden Elektromotoren (zentrale Antriebs-einheit oder Radnabenmotoren) mithilfe eines Stromabnehmers und Umrichters über eine fest verlegte Versorgungsleitung mit Elektrizität gespeist, wobei ein Schleifschuh oder eine Schleifleiste im Stromabnehmer an die Versorgungsleitung gedrückt wird. Der Stromabnehmer sollte so flexibel sein, dass Ausweich- oder Überholmanöver möglich sind. Die Versorgungsleitung kann

Abbildung 4-5

### Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Güterverkehrs und Größenordnungen der Reduktionspotenziale verschiedener Maßnahmen



SRU/UG 2012/Abb. 4-5; Datenquelle: ICKERT et al. 2007; BMVBS 2011; IFEU 2008; Öko-Institut und DLR-IVF 2009b; Öko-Institut und Prognos AG 2009

entweder im Straßenkörper neben der Fahrbahn (Stromschiene) oder darüber (Oberleitungen) liegen. Sie wird über regelmäßige Einspeisepunkte elektrisch versorgt.

Entscheidende Vorteile einer Installation der Oberleitung über der rechten Fahrspur gegenüber anderen Installationsarten sind zum Beispiel eine geringere Fehleranfälligkeit, bessere Integration in den Verkehr und niedrigere Kosten. Ein solches System für den Straßengüterverkehr bedarf gegebenenfalls modularer, zum Teil redundanter Übertragungskomponenten und Sicherheitseinrichtungen oder eines flexibel abrufbaren Energiespeichers im Fahrzeug (z. B. Doppelschichtkondensatoren). Diese dienen dazu, Unterbrechungen der Energieversorgung – beispielsweise durch Unfall- oder Baustellen – zu vermeiden und die Flexibilität – beispielsweise für Ausweichvorgänge – zu erhöhen und Gefahren zu minimieren. Insbesondere Fragen der Fehleranfälligkeit und Sicherheit der Verwendung eines solchen Systems im Straßengüterverkehr müssen noch genauer untersucht werden. Hierbei sollte auf Erfahrungen mit ähnlichen Systemen wie der elektrifizierten Bahn oder Obus-Systemen, bei denen alle wesentlichen Sicherheitsfragen seit Jahrzehnten intensiv untersucht worden sind, zurückgegriffen werden.

Ein Trolley-Truck-System kann verhältnismäßig einfach ins bestehende Fernstraßensystem integriert werden. Dafür sind grundsätzlich keine zusätzlichen Fahrspuren erforderlich, wenn bei dreispurigen Fahrbahnen, wie auf den Hauptstrecken der Autobahnen, die rechte Fahrspur mit Oberleitungen ausgestattet wird. Gegebenenfalls bedarf es einer Fahrbahnverstärkung, wenn das durch den Einsatz von Telematik mögliche, deutlich höhere Transportaufkommen durch gleiche Fahrgeschwindigkeit und geringere Lkw-Abstände genutzt wird. Das zu erwartende Güterverkehrswachstum wird entsprechende Fahrbahnverstärkungen jedoch vermutlich ohnehin erfordern, so dass hierdurch keine oder allenfalls geringe Zusatzkosten entstehen würden.

Es spricht vieles dafür, die Trolley-Trucks zusätzlich mit einem Verbrennungsmotor auszustatten, um diese diesel-elektrisch betreiben zu können (Hybrid-Lkw). Diesel-elektrisch betriebene Lkws sind bereits heute erhältlich. Der zusätzliche Verbrennungsmotor erhöht zwar das Fahrzeuggewicht, gewährleistet allerdings eine sehr viel größere Flexibilität. Gleiches gilt für die Ausstattung der Trolley-Trucks mit Doppelschichtkondensatoren, mit deren Hilfe kurze Strecken ohne Oberleitungskontakt überwunden werden können. Beispielsweise würden dadurch gegebenenfalls notwendige Überholmanöver und das Umfahren von Baustellen und Unfällen sowie der Transport zu und von den mit Oberleitungen ausgestatteten Strecken bzw. auf nicht elektrifizierten Strecken ermöglicht.

Hinsichtlich der Kosten schätzen BRAUNER et al. (2003), dass Lkws mit Hybridantrieb etwa das Doppelte kosten wie konventionelle Diesel-Lkws, wobei die Abschätzung auf geringen Stückzahlen und vergleichsweise hohen Kostenannahmen beruht. In BRAUNER et al. (2000) werden die Infrastrukturkosten inklusive Oberleitung und Randabsicherung mit circa 2,5 Mio. Euro/km

bezziffert. Eine schwedische Studie aus dem Jahr 2011 bezziffert die spezifischen Leitungskosten mit 10 Mio. SEK/km (1,1 Mio. Euro/km) (RANCH 2010). Geht man überschlägig davon aus, dass die Hauptmagistralen mit dem größten Verkehrsaufkommen über elektrische Oberleitungen versorgt werden, ergäben sich bei einer Länge von 5.700 km Investitionskosten von 14,25 Mrd. Euro als oberer Wert (Annahme: 2,5 Mio. Euro/km). Investitionen in flächendeckende Oberleitungen, das heißt auch für den Verteilverkehr, erscheinen aus Kostengründen und Gründen der Praktikabilität kaum sinnvoll. Zu denken ist eher an eine Elektrifizierung aller einstellig nummerierten deutschen Autobahnen (A1 bis A9), um eine gute Abdeckung der Güterfernverkehre zu erreichen.

Für den Übergang sollten zunächst Systeme Anwendung finden, die die Vorteile des bisherigen Straßengüterverkehrs mit denen eines Trolley-Systems vereinen, um Brüche zu vermeiden. Eine dieser Optionen ist der Einsatz sogenannter Shuttles. Dabei handelt es sich um elektrisch betriebene Zugmaschinen ähnlich der Trolley-Trucks, die jedoch komplett eingehängte Lkws ziehen. Solche Shuttles haben den Vorteil, dass sie einen elektrisch angetriebenen Güterfernverkehr gewährleisten könnten, der auch mit herkömmlichen dieselgetriebenen Lkws kompatibel ist. Vielversprechend erscheint eine Variante, bei der nur die Auflieger, nicht jedoch die Zugmaschinen der Lkws mithilfe von Shuttles transportiert werden. Dieses Konzept hätte den Vorteil, dass die zu transportierende Last verringert würde. Denkbar ist dabei, dass ein Logistikunternehmen die Wahlmöglichkeit hat zwischen der Investition in eigene neue elektrisch betriebene Zugmaschinen oder aber der Benutzung von Miet-Shuttles auf den Hauptmagistralen.

Dabei handelt es sich jeweils um technische Optionen, die es zu entwickeln und auf ihre Machbarkeit – auch im europäischen Kontext – zu prüfen gilt. So birgt eine europäische Lösung für mit regenerativ erzeugtem Strom versorgte Oberleitungssysteme Potenziale für das Erreichen der europäischen Klimaschutzziele, setzt aber vermutlich langwierige Abstimmungs- und Einigungsprozesse zwischen den Mitgliedstaaten voraus. Bei der Einführung der Oberleitungssysteme im Wege eines deutschen Alleingangs müsste nicht nur die technische Kompatibilität mit den Güterverkehrssystemen in den anderen Mitgliedstaaten gewährleistet, sondern im Hinblick auf die primär- und sekundärrechtlichen Vorgaben insbesondere zum freien Warenverkehr auch eine europaverträgliche Ausgestaltung sichergestellt werden. Shuttlekonzepte könnten auch hier helfen, eine entsprechende Konformität mit den europäischen Vorgaben sicherzustellen.

Im Kontext der angestrebten Verlagerung signifikanter Transportvolumina des Güterfernverkehrs auf die Schiene stellt sich die Frage nach der Konkurrenz zwischen dem Ausbau des Schienengüterverkehrs einerseits und der Elektrifizierung der Straße andererseits. Bei derzeitiger Güterverkehrsleistung wäre zunächst vorwiegend von einer Konkurrenzsituation auszugehen. Angesichts des prognostizierten Anstiegs der Transportleistung und des erforderlichen Zeitbedarfs für die Entwicklung und

den Aufbau eines Oberleitungssystems könnte sich das Verhältnis bis zur Verfügbarkeit der notwendigen Infrastrukturen jedoch zu einer Komplementaritätsbeziehung entwickeln. So könnten einer aggressiven Verlagerungspolitik von der Straße auf die Schiene durch beschränkte Kapazitätsausbaumöglichkeiten bei zum Beispiel exponentiell verlaufenden Ausbaukosten Grenzen gesetzt sein. Zudem könnte die Verlagerung auf die Schiene für manche Transporte aufgrund hoher Umwegfaktoren den Energieverbrauch erhöhen. Daher ist es grundsätzlich denkbar, eine Verlagerungsstrategie auf die Schiene durch den gleichzeitigen Aufbau einer Infrastruktur für E-Trolleys zu ergänzen.

Für Verteilverkehre, für die weder eine Verlagerung auf die Schiene noch eine Oberleitungslösung infrage kommt, erscheint der Einsatz batteriegetriebener Lkws als Option, auch vor dem Hintergrund der für den Straßenpersonenverkehr geführten Diskussion (NPE 2011). Setzt man im Güternahverkehr bei leichten Lkws Wechselbatteriesysteme und im Fernverkehr Trolley-Trucks ein, so verbleibt nur noch ein kleiner Teil des Straßengüterverkehrs, der nicht regenerativ-elektrisch versorgt werden kann, nämlich die mit schweren Lkws durchgeführten Verteil- und Sammelverkehre.

#### 4.3.5.2 Biokraftstoffe

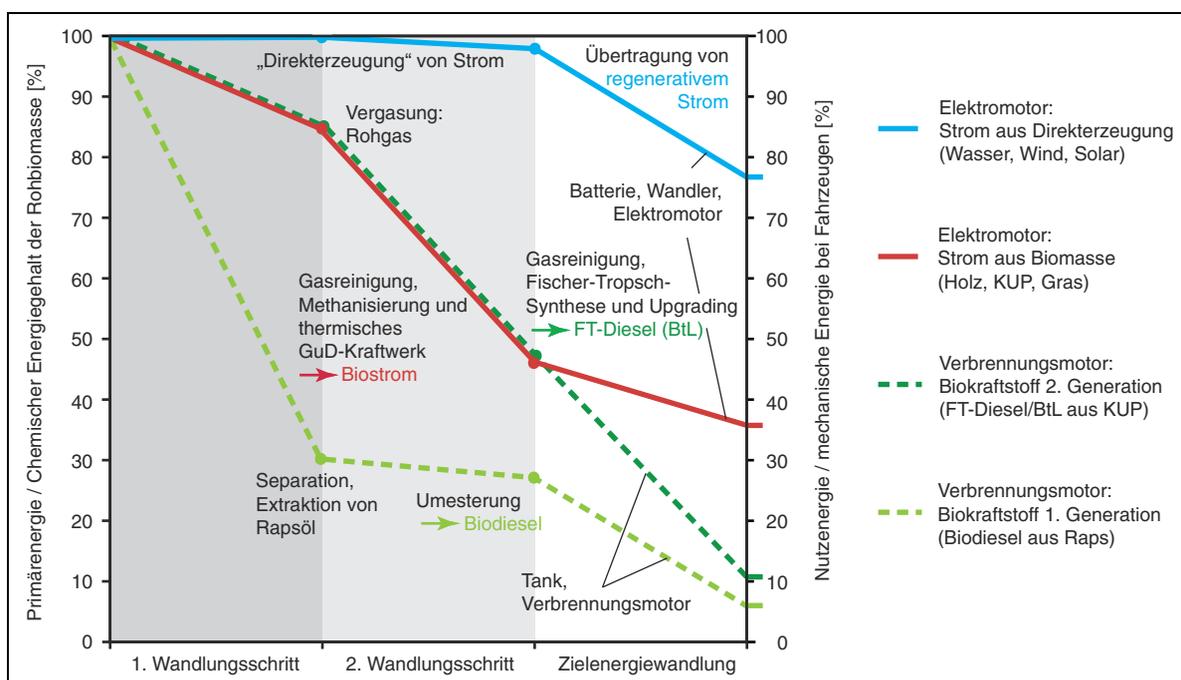
**258.** Es ist wahrscheinlich, dass nicht der gesamte Güterverkehr regenerativ-elektrisch dargestellt werden kann. Wie gezeigt, stoßen eine Verlagerung auf die Schiene (vgl. Abschn. 4.3.4) und auch eine Elektrifizierung des

Güternahverkehrs (vgl. Abschn. 4.3.5.1) an Grenzen. Auch Batteriesysteme scheinen aufgrund eines notwendigen häufigen Batterieladens bzw. -austauschs und eines hohen zusätzlichen Gewichts nur einen Teil der verbleibenden Güterverkehrsleistung decken zu können. Wie groß die verbleibende Güterverkehrsmenge ist, wird insbesondere von der Gesamtentwicklung der Güterverkehrsleistung und vom Elektrifizierungsgrad abhängen. Um die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Güterverkehrs weiter zu senken, müssen auch verbleibende Verkehre weitestgehend CO<sub>2</sub>-neutral dargestellt werden. Hier bietet sich als eine Option grundsätzlich der Einsatz von Biokraftstoffen an.

Biokraftstoffe lassen sich danach unterscheiden, ob nur bestimmte Pflanzenteile (Biokraftstoffe der ersten Generation) oder die gesamte Pflanze (Biokraftstoffe der zweiten Generation) für die Kraftstoffherstellung genutzt werden. Dabei kommen Öl-, Zucker-, Stärke- und Lignozellulosepflanzen zum Einsatz. Zu den Biokraftstoffen der ersten Generation zählen Pflanzenöl, daraus hergestellter Biodiesel sowie Bioethanol auf Basis von Zucker- und Stärkepflanzen. Zu den Biokraftstoffen der zweiten Generation zählen BtL-Kraftstoffe (BtL – Biomass-to-Liquid) und Bioethanol auf Lignozellulosebasis (RODT et al. 2010, S. 53 f.). Letztere befinden sich derzeit noch im Forschungsstadium. Weitere Informationen zu Biokraftstoffen und Umwandlungsverfahren finden sich beispielsweise in einem Gutachten des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU 2009, Abschn. 4.1.1.3) und bei EISEN-TRAUT (2010).

Abbildung 4-6

#### Vergleich verschiedener Konversionspfade im Verkehrssektor in Bezug auf die am Rad nutzbare mechanische Energie



Quelle: WBGU 2009, S. 205

Biokraftstoffe werden wie fossile Kraftstoffe in Verbrennungsmotoren eingesetzt. Ihr Wirkungsgrad ist aufgrund von Verlusten bei der Herstellung und in der Umwandlungskette vergleichsweise gering. Denn nur etwa 5 bis 35 % der in der Pflanze gespeicherten Energie können in nutzbare mechanische Energie umgewandelt werden, wohingegen bei regenerativ-elektrischen Antrieben der Wirkungsgrad mit circa 75 % deutlich höher ist (vgl. Abb. 4-6). Vorteilhaft wäre allerdings, dass herkömmliche Verbrennungsmotoren nur geringfügig technisch verändert werden müssen, um mit Biokraftstoffen angetrieben werden zu können.

**259.** Eine intensive Produktion von Biokraftstoffen steht mit Naturschutzbestrebungen in einem Zielkonflikt. Der Anbau von Pflanzen für die Biokraftstoffproduktion sollte nach Ansicht des SRU nur – wie bei der energetischen Nutzung von Biomasse insgesamt – innerhalb enger ökologischer Grenzen erfolgen. Die Biomassenutzung ist aufgrund der für den Anbau benötigten Flächen, aber auch im Hinblick auf die Ziele des Naturschutzes, die sich im Einzelnen etwa aus dem Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) und der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie 92/43/EWG (FFH-Richtlinie) ergeben, begrenzt (SRU 2005, S. 181 ff.). Die Abschätzung des Potenzials einheimischer Biomasse für die Biokraftstoffherstellung hängt unter anderem stark davon ab, welche naturschutzrechtlichen Restriktionen unterstellt werden. Abschätzungen zeigen, dass das Potenzial zukünftig zwar wachsen wird (u. a. durch Zuwachs bei Flächenerträgen und durch die schrumpfende Bevölkerungsanzahl in Deutschland), jedoch bei etwa der Hälfte des Potenzials der festen Biomasse und auch weit unter dem biogener Reststoffe liegt (SRU 2005, S. 183). Weitere zu berücksichtigende Aspekte sind Flächennutzungskonkurrenzen mit dem Nahrungs- und Futtermittelanbau und dem Anbau von Energiepflanzen für die Strom- und Wärmeerzeugung. In internationaler Perspektive sind – vor dem Hintergrund einer weiterhin wachsenden Weltbevölkerung und der Notwendigkeit der Erhaltung natürlicher Kohlenstoffsinken – Flächennutzungskonkurrenzen als begrenzender Faktor von noch größerer Bedeutung.

Zwar können die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen durch die Verwendung von Biokraftstoffen reduziert werden, hinsichtlich der anderen Umweltwirkungen (z. B. Versauerung von Böden und Eutrophierung von Gewässern) schneiden Biokraftstoffe jedoch zum Teil schlechter ab als Erdölprodukte. Zudem besteht beim Import von Biomasse die Gefahr, dass Umweltprobleme in andere Länder verlagert werden. Hier stellen sich insbesondere Probleme der indirekten Landnutzungsänderung als relevant und komplex dar. Der SRU hat sich in der Vergangenheit bereits eingehend mit dieser Thematik befasst und Vorschläge für Leitplanken und Standards des nachhaltigen Anbaus und der Nutzung von Biomasse entwickelt (SRU 2007, Kap. 4).

Nach Maßgabe der weitgehenden Vermeidung anderer negativer Umweltauswirkungen ist das Potenzial für den Anbau von Pflanzen zur Biokraftstoffproduktion stark begrenzt. Daher sollte ihre Verwendung langfristig vor al-

lem auf jene Bereiche beschränkt werden, in denen sich derzeit noch keine Alternativen zu flüssigen Kraftstoffen für den großflächigen Einsatz abzeichnen. Das sind vor allem der Luft- und der Schiffsverkehr sowie im Straßengüterverkehr zumindest mittelfristig die Restverkehre, die nicht regenerativ-elektrisch betrieben werden können.

#### 4.3.5.3 Wasserstoff und synthetische Kohlenwasserstoffe

**260.** Zukünftig ist die Substitution von erdöl- und erdgasbasierten Kraftstoffen für den Güterverkehr durch regenerativ erzeugte synthetische Kraftstoffe wie Wasserstoff und Methan denkbar. Während die Verwertung dieser Energieträger technisch bereits weitgehend etabliert ist, bedarf es bei der Erzeugung noch der Verbesserung oder sogar noch der grundlegenden Erarbeitung.

Im Mittelpunkt der Erzeugung aller dieser Energieträger steht die Wasserelektrolyse, mit der zum Beispiel überschüssiger Strom aus Wind und Sonne als chemische Energie gespeichert werden kann. Durch weitere Umwandlungsschritte kann mithilfe erneuerbarer Energien Methan aus Wasserstoff und Kohlendioxid hergestellt werden. Aufgrund der bedeutenden Rolle, die Methan bereits heute als Hauptbestandteil des fossilen Erdgases spielt, steht eine ausgebaute Infrastruktur mit hoher Speicherkapazität zur Verfügung. Im Zuge eines Umbaus des Energieversorgungssystems bietet es sich an, diese bestehende Struktur mit ihren ausgezeichneten Eigenschaften auch in Zukunft für regenerative Energiesysteme zu nutzen (STERNER 2009).

Eine weitere Möglichkeit zur Nutzung von regenerativ erzeugten Energieträgern stellt die Speicherung von Wasserstoff in mobilen Systemen dar. Dies kann zukünftig eventuell durch flüssige organische Wasserstoffträgersubstanzen wie zum Beispiel Ethylcarbazol geschehen. Carbazol ist charakterisiert durch seine hohe Speicherfähigkeit von Wasserstoff, der im Bedarfsfall an eine Brennstoffzelle oder auch an einen Wasserstoffmotor abgegeben werden kann. Da die flüssige Trägersubstanz ähnliche physikalisch-chemische Eigenschaften wie Diesel aufweist, kann auf eine bestehende Infrastruktur zurückgegriffen werden (TEICHMANN et al. 2011). Die Verwendung von Carbazol steht derzeit jedoch vor bislang nicht gelösten technischen Herausforderungen wie der Reinheit des Wasserstoffs nach dem Abtrennen vom Trägermedium, Temperaturunterschieden zwischen Abtrennprozess und Brennstoffzelle sowie der Toxizität von Carbazol.

Die genannten Kraftstoffe sind derzeit weit entfernt von einer großflächigen Anwendung im Markt. Eine Potenzialabschätzung ist daher nicht möglich. Die Umwandlungsprozesse sind mit hohen Verlusten behaftet, und die Systemeffizienz ist daher niedrig. Demgegenüber ist der Wirkungsgrad insbesondere von Güterverkehrssystemen, die direkt elektrisch gespeist werden (vgl. Abschn. 4.3.4), deutlich höher und daher synthetischen Kraftstoffen vorzuziehen. Es ist jedoch davon auszugehen, dass weitere Forschung offene, vor allem technische Fragen beantwort-

ten kann und diese regenerativ erzeugten Energieträger eine Rolle im zukünftigen Kraftstoffmix spielen werden.

#### 4.4 Politische Ansätze zur Flankierung der Neuausrichtung des Gütertransports

**261.** Im Folgenden werden einige verkehrs- und umweltpolitische Instrumente dargelegt, die der SRU für geeignet erachtet, um einerseits durch vergleichsweise schnell greifende Maßnahmen bereits kurz- und mittelfristig die Klimabelastung durch den Güterverkehr zu dämpfen und andererseits einen langfristig angelegten Strukturwandel des Gütertransports einzuleiten. Kurz- bis mittelfristig können vor allem finanzielle Anreize, verkehrslenkende Maßnahmen und technische Standards zur Erhöhung der Energie- und CO<sub>2</sub>-Effizienz innerhalb der bestehenden Strukturen des Güterverkehrs beitragen und somit dessen ökologischen Fußabdruck reduzieren. Langfristig ist es essenziell, diese Strukturen aufzubrechen und die gesamte Verkehrsinfrastruktur klimaverträglicher zu gestalten. Hierbei stehen planerische Instrumente und Forschungsaktivitäten im Vordergrund.

##### 4.4.1 Ökonomische Instrumente

**262.** Ziel der hier betrachteten ökonomischen Instrumente ist die Anlastung der externen Kosten, insbesondere der des Straßengüterverkehrs, damit eine möglichst umfassende Kostenwahrheit verwirklicht und ein fairer Wettbewerb der Verkehrsträger innerhalb der gesteckten ökologischen Leitplanken ermöglicht wird. Im Fokus stehen dabei Ansätze zur unmittelbaren Bepreisung des THG-Ausstoßes und zudem Straßenbenutzungsgebühren, die der Anlastung weiterer externer Umwelt- und Infrastrukturkosten dienen. Es ist zu erwarten, dass infolge der Verteuerung von Transportleistungen zunächst vor allem vorhandene Effizienzpotenziale erschlossen werden. Durch die verkehrsträgerübergreifende Anlastung externer Umwelt- sowie Infrastrukturkosten ließe sich jedoch auch die Gesamtverkehrsleistung dämpfen und ein Modal Shift zugunsten umweltfreundlicherer Modi, insbesondere des Schienenverkehrs, induzieren (den BOER et al. 2011, S. 38; de JONG et al. 2010; van ESSEN et al. 2008).

Um faire Wettbewerbschancen zu verwirklichen, müssen die verschiedenen Verkehrsträger allerdings auch mit Blick auf andere kostenrelevante Faktoren gleich behandelt werden. Dies betrifft insbesondere die strenge Einhaltung von Sicherheitsvorschriften sowie allgemeiner Arbeitszeit- und Sozialstandards, beispielsweise der Lenk- und Ruhezeiten im Straßengüterverkehr, durch eine deutlich verbesserte Vollzugskontrolle.

##### 4.4.1.1 Emissionsbepreisung

**263.** Eine tragende Säule der klimapolitischen Strategie der EU ist die finanzielle Belastung der Emission von Treibhausgasen. Eine angemessene Bepreisung verkehrsbedingter CO<sub>2</sub>-Emissionen soll gewährleisten, dass die Emittenten ihren THG-Ausstoß als Kostenfaktor in ihrem wirtschaftlichen Kalkül berücksichtigen. Mithin stimu-

liert die Bepreisung generell alle verfügbaren Hebel zur Emissionsreduktion: Verkehrsvermeidung, Verlagerung zugunsten relativ emissionsarmer Verkehrsträger, Verbesserung der Energieeffizienz der Fahrzeuge und der gesamten Logistikketten, Verminderung der Kohlenstoffintensität der eingesetzten Energieträger. Die Effekte der einzelnen Hebel auf die erreichbare CO<sub>2</sub>-Minderung variieren dabei jedoch in ihrer Stärke und ihrer zeitlichen Wirksamkeit sowie je nach betrachtetem Verkehrsegment. Kurzfristig können durch eine Anlastung von Klimakosten vor allem Effizienzsteigerungen induziert werden. Aufgrund der aus der Produktionsstruktur abgeleiteten Güterverkehrsnachfrage sowie infrastruktureller Trägheiten wirkt die Emissionsbepreisung auf die anderen Hebel vornehmlich erst in längerfristiger Perspektive. Insbesondere um signifikante Verlagerungseffekte zu erreichen, sind zudem andere Instrumente prioritär, vor allem die Entwicklung eines an Nachhaltigkeitskriterien ausgerichteten Verkehrsnetzes.

Idealtypischerweise bemisst sich die Höhe des CO<sub>2</sub>-Preissignals an den marginalen Klimakosten, das heißt den einer zusätzlichen Emissionseinheit (z. B. t CO<sub>2</sub>) zuzurechnenden monetarisierten Schäden. Die Höhe der marginalen Klimakosten von THG-Emissionen lässt sich angesichts einer Kaskade struktureller Unsicherheiten allerdings nicht sinnvoll eingrenzen (WEITZMAN 2010; 2009). Diese reichen von Unsicherheiten über die langfristige Dynamik im Klimasystem, das Ausmaß und die regionale Verteilung der gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Auswirkungen gravierender Temperaturänderungen bis zur Bewertung intra- und intergenerationaler Gerechtigkeitsfragen. Vorhandene Schätzungen der marginalen Schäden des THG-Ausstoßes variieren erheblich in Abhängigkeit von den zugrunde liegenden Annahmen (z. B. TOL 2005; WATKISS et al. 2005; DOWNING et al. 2005). Angesichts dieser Unsicherheiten sieht eine alternative Herangehensweise die – wissenschaftlich informierte und dem Vorsorgeprinzip genügende – Festsetzung einer maximalen Emissionsmenge durch die Politik vor. Durch einen Emissionsbepreisungsmechanismus soll die Einhaltung des maximalen Emissionsbudgets und dessen möglichst effiziente Allokation auf die verschiedenen Emittenten erreicht werden (BAUMOL und OATES 1971).

Grundsätzlich lässt sich die Emissionsbepreisung somit sowohl über die Besteuerung fossiler Energieträger (Festlegung des Preises) als auch mittels Festlegung der Emissionsmenge und der Ermittlung des Preises über ein Emissionshandelssystem umsetzen.

##### Besteuerung

**264.** Die Energiesteuer erfüllt als aufkommensstärkste Verbrauchsteuer eine wichtige fiskalische Funktion und belegt Mineralölzeugnisse, die als Kraftstoffe im Straßenverkehr eingesetzt werden, bereits heute mit einer relativ hohen Steuerlast. Im Rahmen der ökologischen Steuerreform wurden die Steuersätze fossiler Kraftstoffe zwar auch unter Verweis auf klimapolitische Zielstellungen erhöht, dennoch enthält die gegenwärtige Besteue-

zung fossiler Kraftstoffe keine explizite CO<sub>2</sub>-Komponente. In Deutschland und vielen weiteren europäischen Staaten wird Dieselmotorkraftstoff niedriger als Ottomotorkraftstoff besteuert. Diese Struktur der Kraftstoffbesteuerung wird ökologischen Kriterien nicht gerecht. Dieselmotorkraftstoff weist nicht nur eine höhere Energiedichte und Kohlenstoffintensität je Liter auf, sondern seine Verbrennung verursacht zudem in der Regel auch einen höheren Ausstoß gesundheits- und umweltschädlicher Luftschadstoffe. Es findet somit eine ökologisch nicht zu rechtfertigende steuerliche Ungleichbehandlung statt.

Die bestehende Besteuerung fossiler Kraftstoffe ist daher seit Langem reformbedürftig (SRU 2005, Tz. 555). Die von der Europäischen Kommission vorgeschlagene Überarbeitung der derzeitigen Energiesteuerrichtlinie 2003/96/EG, wonach Kraftstoffe gemäß ihres spezifischen Energiegehalts und der bei der Verbrennung entstehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen zu besteuern sind (Europäische Kommission 2011), trüge zum Abbau ökologisch kontraproduktiver steuerpolitischer Verzerrungen bei. Die Bundesregierung sollte eine solche Reform der Steuerstruktur auf europäischer Ebene unterstützen und auf die Festsetzung angemessen hoher Mindeststeuersätze hinwirken. Eine verstärkte Harmonisierung der europäischen Kraftstoffbesteuerung ist auch vor dem Hintergrund des stetig ansteigenden Anteils internationaler Verkehre (Quell-, Ziel-, Transitverkehr) am gesamten Kraftstoffverbrauch geboten, da signifikant divergierende Kraftstoffpreise auf internationalen Güterverkehrsrelationen Ausweichverhalten zur Steuerumgehung induzieren. Führt die Neujustierung der Steuersätze zu einer Erhöhung des absoluten Steuersatzes auf Dieselmotorkraftstoff, würden sowohl – vor allem langfristig wirkende – Anreize zu Vermeidung und Verlagerung als auch Impulse für weitere Effizienzsteigernde Maßnahmen gesetzt. Im Personenverkehr und zum Teil auch im Verteilverkehr mit leichten Nutzfahrzeugen würde die veränderte Steuerstruktur zudem voraussichtlich zu einer Verschiebung der Nachfrage vom Diesel- zum Ottomotorkraftstoff führen.

### Emissionshandel

**265.** Alternativ zur Erweiterung der Kraftstoffbesteuerung um eine explizite CO<sub>2</sub>-Komponente lässt sich der Ausstoß von THG-Emissionen mithilfe des Emissionshandels bepreisen. Der Emissionspreis wird dabei nicht exogen durch die Politik bestimmt, sondern er bildet sich endogen im Markt durch das Zusammenspiel der Nachfrage nach der THG-Aufnahmeleistung der Atmosphäre und des Angebots, das heißt des politisch determinierten Emissionsbudgets. Grundsätzlich lassen sich offene und geschlossene Emissionshandelssysteme für den Straßenverkehr mit jeweils verschiedenen Ausgestaltungsvarianten unterscheiden.

In einem offenen System ließe sich der Straßenverkehr mittels des sogenannten „Upstream-Ansatzes“ mit relativ niedrigen administrativen Kosten in den bestehenden europäischen Emissionshandel (EU ETS) einbeziehen (z. B. BERGMANN et al. 2005; FLACHSLAND et al. 2011; HOLMGREN et al. 2006). Gemäß diesem Ansatz werden

die erstmaligen Inverkehrbringer von Kraftstoffen (Importeure, Raffinerien) zum Nachweis von CO<sub>2</sub>-Zertifikaten, entsprechend des in den Kraftstoffen enthaltenen Kohlenstoffs, verpflichtet. Somit würde der Straßenverkehr bezüglich einer expliziten CO<sub>2</sub>-Bepreisung dem Schienengüterverkehr gleichgestellt, der bereits – sofern elektrisch betrieben – dem EU ETS unterliegt. Angesichts der relativ geringen Preissensitivität der Kraftstoffnachfrage (GRAHAM und GLAISTER 2002; HANLY et al. 2002; SMALL und VAN DENDER 2007) erwarten manche Studien (BLOM et al. 2007; Nordic Council of Ministers 2007) für den Fall eines offenen Handelssystems einen Zertifikatzukauf durch den Verkehrssektor, sodass die Emissionsminderungsvorgaben des Straßenverkehrs partiell von den gegenwärtigen EU ETS-Sektoren (Industrie und Kraftwerksbereich) erbracht würden. Ob und inwieweit sich die Integration des Straßenverkehrs in das EU ETS auf die Zertifikatpreise und die sektorale Allokation der THG-Vermeidungsanstrengungen auswirken würde, ist jedoch umstritten (FLACHSLAND et al. 2011).

In längerfristiger Perspektive – Zeithorizont 2025 – erwächst aus dem zukünftig erwarteten und erforderlichen verstärkten Einsatz alternativer Energieträger (u. a. Strom, Wasserstoff) im Straßenverkehr ein weiteres Argument zugunsten der Integration des Transportsektors in den europäischen Emissionshandel. Diese Energieträger-Diversifizierung geht mit einer zunehmenden Verschmelzung des Elektrizitäts- und Verkehrssektors einher. Die Erfassung sämtlicher Energieträger im europäischen Emissionshandel könnte zur Schaffung eines konsistenten regulatorischen Rahmens beitragen, der gleiche Wettbewerbsbedingungen der verschiedenen Verkehrs- und Energieträger hinsichtlich der Anlastung ihrer Klimakosten gewährleistet.

In einem geschlossenen Handelssystem für den Verkehrssektor (z. B. KLOOSTER und KAMPMAN 2006; DEUBER 2002), das heißt einem ohne Verknüpfung mit dem EU ETS, ist das angestrebte Emissionsziel vollständig durch intrasektorale Vermeidungsanstrengungen zu erreichen, wodurch unmittelbare Wechselwirkungen mit energieintensiven Industriebranchen vermieden werden. Die fehlende Möglichkeit des Zertifikatzukaufs aus anderen Sektoren gewährleistet die Herausbildung eines hinreichend starken Preissignals, um die zur Zielerreichung notwendigen Anpassungsreaktionen innerhalb des Straßenverkehrs anzureizen.

Grundsätzlich stellt der Emissionshandel in längerfristiger Perspektive eine attraktive Regulierungsoption dar, da er eine präzise Mengensteuerung des Emissionspfades erleichtert, was auch im Kontext internationaler Klimaabkommen mit verpflichtenden absoluten Emissionsvorgaben von Nutzen sein kann. Angesichts des bestehenden Steuersystems für Kraftstoffe sowie der noch ungeklärten Fragen zur institutionellen Ausgestaltung eines Emissionshandelssystems für den Straßenverkehr sollte sich die Bundesregierung jedoch zunächst nachdrücklich für eine Reform der Energiebesteuerung nach Maßgabe der klimapolitischen Erfordernisse einsetzen.

## Grenzen der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Emissionsbepreisung

**266.** Maßnahmen zur finanziellen Belastung des THG-Ausstoßes entfalten zwar grundsätzlich auf allen unter Kapitel 4.3 diskutierten Handlungsfeldern eine gewisse Anreizwirkung Emissionen einzusparen. Dennoch sind der Lenkungswirkung preislicher Instrumente hinsichtlich des Erreichens eines gesamtgesellschaftlich langfristig optimalen Mitigationspfades erkennbar Grenzen gesetzt. Die Grenzen liegen vor allem dort, wo staatliche Planungsaufgaben involviert sind (z. B. Gestaltung des Verkehrsnetzes) oder wo Investitionen notwendig sind, die sich erst sehr langfristig amortisieren (z. B. der Aufbau einer alternativen Energieversorgungsinfrastruktur).

Solche sehr langfristig angelegten emissionsmindernden Investitionen leiden insbesondere unter der mangelnden Verbindlichkeit und Glaubwürdigkeit eines politisch gesteuerten Preissignals (BRUNNER et al. 2012). Die Möglichkeit, einen beschlossenen Emissionspreispfad oder ambitionierte Emissionseinsparziele im Zuge geänderter politischer Mehrheiten wieder aufzuweichen, verringert die unternehmerische Bereitschaft zu tief greifenden und zunächst kostenträchtigen Änderungen. Im Gegenzug erhöht dieses Unterlassen rechtzeitiger Weichenstellungen die späteren Kosten der Zielerreichung, wodurch wiederum der politische Druck zur Aufweichung der Ziele wächst. Dieser sich wechselseitig verstärkende Effekt vermindert die langfristig handlungsleitende Wirkung preispolitischer Maßnahmen.

Zudem begünstigen ökonomische Größenvorteile bereits etablierter Technologien, welche zunächst niedrigere Kosten im Vergleich zu technologischen Neuerungen mit sich bringen, das Auftreten sogenannter „Lock-in“-Effekte, das heißt ein Verharren in technologisch inferioren Pfadabhängigkeiten (ARTHUR 2004; 1989; UNRUH 2000; KLINE 2001). Positive Externalitäten bei Lernkurveneffekten können den Übergang zu langfristig überlegenen, emissionsarmen Technologien zusätzlich verzögern, selbst wenn ein stabiles CO<sub>2</sub>-Preissignal vorhanden ist (KALKUHL et al. 2012). Oftmals sind solche Verharrenden auch Folge eines zu hohen Aufwandes für die Koordination der an einem möglichen Systemwechsel beteiligten Marktakteure. So verlangt beispielsweise der Umstieg auf alternative Energieträger (z. B. Elektrizität, Wasserstoff) – parallel zu hohen und unsicheren Investitionen – eine enge und verbindliche Abstimmung diverser Akteure (Energieversorger, Infrastrukturanbieter, Fahrzeughersteller etc.) (BENTO 2010; NYGAARD 2008).

Divergierende Renditeerwartungen privatwirtschaftlicher und staatlicher Akteure sind eine weitere Ursache, weshalb aus gesamtgesellschaftlicher Perspektive langfristig kosteneffiziente Investitionen – trotz Emissionsbepreisung – nicht notwendigerweise auch aus einzelwirtschaftlicher Perspektive attraktiv sind. Obgleich die Bepreisung von THG-Emissionen allein folglich nicht ausreicht, um die notwendigen Emissionsreduktionen im Güterverkehr zu erreichen, ist sie dennoch eine wichtige

Komponente des Instrumentenmix und trägt zur Stärkung der Effektivität komplementärer Politikinstrumente bei.

### 4.4.1.2 Maut und Straßenbenutzungsgebühren

**267.** Straßenbenutzungsgebühren für den Straßengüterverkehr dienen in Europa bisher vornehmlich der Deckung von Infrastrukturkosten. Grundsätzlich ist eine CO<sub>2</sub>-Bepreisung zwar auch über entfernungsabhängige Straßenbenutzungsgebühren denkbar, jedoch sind Mautsysteme zur unmittelbaren Steuerung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes weniger präzise als am tatsächlichen Kraftstoffverbrauch ansetzende Instrumente. Gleichwohl können Mautsysteme bei geeigneter Ausgestaltung einen wichtigen Beitrag zur Verminderung der Umweltbelastungen und zur Erhöhung der Effizienz des Straßengüterverkehrs leisten. Zum einen können Mautgebühren zu einer größeren Kostenwahrheit beitragen, indem den Verkehrsteilnehmern neben den Infrastrukturkosten auch die ökologischen und gesundheitlichen Folgekosten ihrer Verkehrsaktivitäten angelastet werden. Zum anderen erlauben sie bei flexibler Ausgestaltung eine effizientere Kapazitätsauslastung. Damit einher geht eine Senkung unmittelbarer externer Staukosten wie erhöhte Zeitkosten und eine geringere Verlässlichkeit von Reise- und Ankunftszeiten (GOODWIN 2004; SMALL et al. 2005). Ebenso können indirekte Effekte wie vermehrte Umweltbelastungen aufgrund eines staubedingt höheren (spezifischen) Kraftstoffverbrauchs adressiert werden (SANTOS et al. 2000; GREENWOOD und BENNETT 2003).

Vor diesem Hintergrund stellt die Revision der Eurovignetten-Richtlinie 2011/76/EU eine Verbesserung der bisherigen europäischen Rahmensetzung für die Erhebung von Straßenbenutzungsgebühren dar. Erstmals können auch externe Kosten durch Luftschadstoff-Emissionen und Lärmbelastung in die Berechnung der Mauthöhe einbezogen werden. Die Bundesregierung sollte von dieser Möglichkeit zeitnah Gebrauch machen. Um die Effektivität der Lkw-Maut zu erhöhen und ökologisch kontraproduktive Ausweichreaktionen zu vermeiden, empfiehlt der SRU weiterhin die Erhebung von Straßenbenutzungsgebühren bereits für Lkws ab 3,5 t und möglichst umfassend auch auf dem nachgeordneten Straßennetz (SRU 2005, Tz. 563). Die gegenwärtige Zweckbindung der Mauteinnahmen in Deutschland zugunsten der Straßeninfrastruktur ist abzulehnen, da sie eine mit langfristigen Klimazielen im Einklang stehende Investitionspolitik erschwert. Hierfür wäre vielmehr eine Zweckbindung der Einnahmen zugunsten von modusübergreifenden Maßnahmen zur Verminderung der ökologischen Belastungen durch den Güterverkehr geboten.

Ferner sollte die Bundesregierung auf EU-Ebene im Rahmen zukünftiger Revisionsschritte auf weitere Verbesserungen hinwirken, da auch die überarbeitete Richtlinie trotz Fortschritten in wichtigen Punkten hinter einem aus ökologischer Perspektive wünschenswerten Ansatz zurückbleibt. Zentrale Kritikpunkte betreffen den Geltungsbereich und die Verbindlichkeit der überarbeiteten Eurovignetten-Richtlinie. So können die Mitgliedstaaten auch künftig Lkws mit einem zulässigen Gesamtgewicht zwi-

schen 3,5 t und 12 t von der Maut befreien oder weiterhin vollständig auf die Einführung einer Lkw-Maut verzichten.

Als kritisch erweist sich überdies, dass externe Staukosten des Straßengüterverkehrs – entgegen ursprünglichen Planungen – nicht in den Mautgebühren erfasst werden dürfen, obgleich Staukosten auf einigen Streckenabschnitten und in Abhängigkeit von der Verkehrssituation die dominierende Komponente der externen Kosten sein können (MAIBACH et al. 2008, S. 32 ff.; SCHREYER et al. 2004, S. 106). Es ist lediglich eine aufkommensneutrale zeitliche Differenzierung der Infrastrukturgebühren erlaubt. Diese trägt zwar zu einer effizienteren Nutzung der Straßenkapazitäten bei, kann dabei jedoch auch zusätzliche Verkehrsleistung induzieren (KOMANOFF 1997, S. 6 ff.). Demgegenüber ließen sich durch eine streckenspezifische, an den tatsächlichen externen Staukosten orientierte zusätzliche Knappheitsbepreisung gleichzeitig die Verkehrslenkung verbessern und benötigte Finanzmittel für Investitionen in den klimaverträglichen Umbau des Verkehrssystems generieren. In diesem Sinne sollte zudem der derzeitigen Empfehlung der Richtlinie, die zusätzlichen Mauteinnahmen durch die Erfassung externer Kosten für eine nachhaltige Gestaltung des Güterverkehrs zu verwenden, verpflichtender Charakter zukommen.

Des Weiteren sollte bei zukünftigen Revisionen der Eurovignetten-Richtlinie erneut konstruktiv geprüft werden, wie die externen – das heißt die nicht über den Kfz-Versicherungsschutz gedeckten – Unfallkosten zukünftig angemessen in den Mautgebühren erfasst werden könnten. Obwohl die marginalen externen Unfallkosten, insbesondere im nachgeordneten Straßennetz und weniger auf den Autobahnen, signifikant sein können (SCHREYER et al. 2004, S. 90 ff.; MAIBACH et al. 2008, S. 43 ff.; LINDBERG 2002), bleiben sie auch in der überarbeiteten Richtlinie unberücksichtigt.

#### 4.4.2 CO<sub>2</sub>-Standards für schwere Nutzfahrzeuge

**268.** CO<sub>2</sub>-Emissions- bzw. Verbrauchsgrenzwerte für Pkws sind ein weltweit verbreitet eingesetztes Instrument zur Begrenzung der CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie der Ölabhängigkeit des Straßenpersonenverkehrs. Auch die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen leichter Nutzfahrzeuge werden in der EU bereits über solche Standards reguliert, für schwere Nutzfahrzeuge des Straßengüterverkehrs existieren hingegen keine europäischen Grenzwerte für den spezifischen CO<sub>2</sub>-Ausstoß. Diese Beschränkung greift zu kurz, da leichte Nutzfahrzeuge die Nutzfahrzeugflotte zwar hinsichtlich der Fahrzeuganzahl dominieren, der Schwerverkehr mit Blick auf die Gesamtfahrleistung und den Kraftstoffverbrauch jedoch die größte Relevanz hat (LENZ et al. 2010; HILL et al. 2011, S. 73 ff.; BRUNNER 2011).

Obschon die Kraftstoffeffizienz bereits heute ein wichtiges Kriterium bei der Anschaffung schwerer Nutzfahrzeuge ist, zeigen verschiedene Studien das nach wie vor große Potenzial für weitere – größtenteils kosteneffiziente –

Verbesserungen beim spezifischen Kraftstoffverbrauch auf (HILL et al. 2011; JACKSON 2011; LAW et al. 2011; s. a. Tz. 253). Zur Erschließung der vorhandenen Potenziale sollten verpflichtende CO<sub>2</sub>-Grenzwerte für schwere Nutzfahrzeuge erarbeitet und eingeführt werden. Die derzeitigen Bestrebungen seitens der Europäischen Kommission zur Entwicklung von Testprozeduren zur Verbrauchsmessung sind dabei als notwendige Voraussetzung einer solchen Standardsetzung zu begrüßen (BRUNNER 2011). Für eine möglichst effektive instrumentelle Ausgestaltung ist es wichtig, dass der Regulierungsansatz nicht nur die Motoreffizienz, sondern auch die Aufbauten bzw. den gesamten Fahrzeugzug umfasst, da Potenziale zur Verbesserung der Gesamteffizienz schwerer Nutzfahrzeuge vor allem auch im Bereich Aerodynamik, bei der Verringerung des Rollwiderstandes und bei Gewichtseinsparungen liegen (HILL et al. 2011; JACKSON 2011; LAW et al. 2011). In diesen Bereichen erzielte Effizienzsteigerungen sind auch im Hinblick auf eine partielle – direkte und indirekte – Elektrifizierung des Straßengüterverkehrs von nachhaltigem Nutzen, da sie den induzierten Anstieg der Stromnachfrage bremsen.

Die Grenzwertsetzung sollte zwischen verschiedenen Fahrzeugtypen für unterschiedliche Einsatzzwecke differenzieren und sich an der maximalen Zuladung hinsichtlich des Gewichts und des Volumens orientieren. Dazu ist eine Methodik zu entwickeln, welche – unter Zuhilfenahme von Simulationsmodellen – mit vertretbarem administrativem Aufwand eine hinreichend präzise Erfassung der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen verschiedener Fahrzeugkonfigurationen erlaubt. Hierbei kann auf die Erfahrungen in Japan und den Vereinigten Staaten zurückgegriffen werden, wo bereits Standards für schwere Nutzfahrzeuge eingeführt wurden bzw. ihre Einführung bevorsteht (KAJIWARA 2011; EPA 2011).

Aufgrund der vergleichsweise schnellen Flottenerneuerung schwerer Nutzfahrzeuge ließe sich durch anspruchsvolle CO<sub>2</sub>-Standards relativ kurzfristig die CO<sub>2</sub>-Belastung je beförderter Tonne spürbar mindern. Damit sich die Verbesserungen der spezifischen Effizienz auch in einer entsprechenden Minderung der absoluten CO<sub>2</sub>-Emissionen niederschlagen, ist der Rebound-Effekt (d. h. eine durch Effizienzgewinne induzierte Zunahme der Transportleistung) durch geeignete preisliche Instrumente zu adressieren (vgl. Abschn. 4.4.1.1).

Während für neu in Verkehr gebrachte Pkws und leichte Nutzfahrzeuge Informationsbereitstellungspflichten zum Kraftstoffverbrauch und zu den spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen bestehen, existiert in Europa für schwere Nutzfahrzeuge kein vergleichbarer genormter Fahrzyklus zur Ermittlung entsprechender Verbrauchs- und Emissionsangaben (ZIMMER und FRITSCHKE 2008). Daher sollte – parallel zur Einführung von ambitionierten Standards – durch eine verbesserte Bereitstellung von Informationen zum Kraftstoffverbrauch insbesondere auch kleineren Spediteuren die Anschaffung von verbrauchsarmen und für die jeweilige Nutzung optimierten Fahrzeugen erleichtert werden. Dies kann sowohl die Etablierung eines transparenten Labeling-Systems als auch eines öffentlich

zugänglichen Simulationstools zur Berechnung der Gesamtemissionen eines Fahrzeugzugs für verschiedene Konfigurationen umfassen.

#### 4.4.3 Entwicklung eines zukunftsfähigen Verkehrsnetzes

**269.** Zentraler Baustein für einen klimaverträglichen Güterverkehr ist die Verlagerung auf die Schiene. Dafür ist ein entsprechend ausgestaltetes Schienennetz notwendig. Grundsätzlich gilt es daher, bestehende Engpässe zu beseitigen und je nach angestrebtem Verlagerungsumfang neue Schieneninfrastruktur zur Verfügung zu stellen. Das Straßennetz ist hingegen bereits so dicht, dass die Erhaltung Vorrang hat und auch Rückbau nicht ausgeschlossen sein sollte.

Das Planungsverfahren für Bundesverkehrswege ist mehrstufig aufgebaut. Grundsätzlich kann die Klimaproblematik mit den klassischen Mitteln der Konfliktschlichtung in der Planfeststellung – etwa Trassenverlegung – nicht gelöst werden (WINTER 2010, S. 200). Daher gilt es zur Gewährleistung eines klimaverträglichen Güterverkehrs auf höchster Ebene, nämlich der Bundesverkehrswegeplanung, anzusetzen. Denn hier wird die für die Klimaverträglichkeit relevante Frage des Bedarfs an Neu-, Aus- und Rückbau von Verkehrswegen entschieden. Auf den nachfolgenden Stufen können nur noch die negativen (Umwelt-)Auswirkungen von bereits beschlossenen Verkehrsprojekten reduziert werden.

Der Bundesverkehrswegeplan ist derzeit ein Investitionsrahmenplan, der das notwendige Investitionsvolumen für die einzelnen während seiner Laufzeit vorgesehenen Verkehrsprojekte darstellt. Mit ihm wird über den Projektbedarf, nicht jedoch über die konkrete Projektrealisierung entschieden. Er ist Grundlage für die Bedarfsgesetze (Änderungen des Bundesschienenwegeausbau- bzw. des Fernstraßenausbaugesetzes), mit denen der Bundestag beschließt, welche Verkehrsprojekte gebaut werden sollen. Deshalb handelt es sich bei der Bundesverkehrswegeplanung um die entscheidende Weichenstellung. Die Erforderlichkeit der dort aufgenommenen Projekte lässt sich in den nachfolgenden Verfahren nur noch schwer widerlegen.

Für 2015 plant das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) eine Neuauflage des Bundesverkehrswegeplans. Diese sollte genutzt werden, um das Verkehrsnetz auf einen klimaverträglichen Güterverkehr entsprechend den für das Jahr 2050 gesetzten Reduktionszielen für CO<sub>2</sub>-Emissionen auszurichten.

##### 4.4.3.1 Schwächen der Bundesverkehrswegeplanung

**270.** Die Bundesverkehrswegeplanung von 2003 weist strukturelle Schwächen im Hinblick auf die Gewährleistung eines klimaverträglichen Güterverkehrs auf, die allein durch die nach § 14b Absatz 1 Nummer 1 in Verbindung mit Anlage 3 Nummer 1 des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) nun erforderliche

Strategische Umweltprüfung (SUP) nicht ausgeglichen werden können.

#### Fehlerhafte Bedarfsbestimmung

**271.** Grundlage der Bundesverkehrswegeplanung sind zunächst Verkehrsprognosen, die jedoch nicht in Szenarien mit verschiedenen Zeithorizonten verarbeitet werden. Vielmehr wird davon ausgegangen, dass für die prognostizierten Verkehrsströme die entsprechende Infrastruktur zur Verfügung gestellt werden muss, wodurch politische Gestaltungsspielräume negiert werden (SRU 2005, Tz. 398; BORMANN et al. 2010, S. 15). Der Bedarf wird nicht aufgrund zuvor festgelegter Kriterien bestimmt, sondern vielmehr durch die Länder für die Bundesfernstraßen und durch die DB Netz AG für die Schiene angemeldet. In der Folge werden – teils sogar umstrittene – Großprojekte für den Personenverkehr auf der Schiene finanziert, statt prioritär die Beseitigung von Engpässen voranzutreiben (HOLZHEY 2010, S. 164; BORMANN et al. 2010, S. 12). Wegen der Verflechtung zwischen Bund und Ländern in der Bundesverkehrswegeplanung (der Bund finanziert Projekte, die von den Ländern angemeldet werden), bestehen auf Seiten der Länder Anreize einen überzogenen Bedarf anzumelden, wodurch es zur Finanzierung von Verkehrsprojekten von nur regionaler Bedeutung kommt (SRU 2005, Tz. 399).

#### Unzureichende Projektbewertung

**272.** Ein uneingeschränkter Planungsauftrag wird für solche angemeldeten Projekte erteilt, die nach Durchführung einer Raumwirksamkeitsanalyse, einer Umweltrisikoeinschätzung und einer Nutzen-Kosten-Analyse als vordringlicher Bedarf klassifiziert wurden, wobei letztere das zentrale Kriterium für Bauwürdigkeit und Dringlichkeit ist (BORMANN et al. 2010, S. 10). Die Auswirkungen von CO<sub>2</sub>-Emissionen auf das Klima sind im Rahmen der Projektbewertung nicht ausschlaggebend. So finden sie in der ohnehin nur geringe Steuerungswirkung entfaltenden Umweltrisikoeinschätzung keine Berücksichtigung (SRU 2005, Tz. 415). Bei der auf die Bewertung der gesamtwirtschaftlichen Effekte angelegten Nutzen-Kosten-Analyse werden die Klimaauswirkungen zwar mit einem hohen Kostensatz (205 Euro pro ausgestoßener Tonne CO<sub>2</sub>) bedacht, die Senkung der Transport- und Beförderungskosten sowie die Verbesserung der Erreichbarkeit dominieren jedoch (BORMANN et al. 2010, S. 10). Zudem kommt es weder bei der Umweltrisikoeinschätzung noch bei der Nutzen-Kosten-Analyse zu einer ausreichenden verkehrsträgerübergreifenden Alternativenprüfung (BORMANN et al. 2010, S. 15; WINTER 2010, S. 199).

#### Finanzierungsprobleme

**273.** Mit der Fertigstellung der im Bundesverkehrswegeplan 2003 und den entsprechenden Ausbaugesetzen enthaltenen Verkehrswege ist nicht nur wegen der langen Planungszeiträume, sondern vor allem wegen Finanzierungsproblemen erst zwischen 2025 und 2030 für die Bundesfernstraßen bzw. bis 2040 für die Bundesschie-

nenwege zu rechnen (BORMANN et al. 2010, S. 4 und 14). Es fehlt derzeit an einem Finanzierungskonzept. Die Finanzierung neuer Schienenwege erfolgt größtenteils über Haushaltsmittel, ohne dass dabei Einnahmen aus der Lkw-Maut verwendet werden dürften – diese fließen nur in Straßenprojekte (§ 11 Bundesfernstraßenmautgesetz (BFStrMG)).

#### **Keine Steuerungswirkung der Strategischen Umweltprüfung**

**274.** Durch die Pflicht, zukünftig eine SUP durchzuführen, sind positive Impulse für die Bundesverkehrswegeplanung zunächst insofern zu erwarten, als dass auch das globale Klima Schutzgut und daher eine CO<sub>2</sub>-Emissionen berücksichtigende Klimaverträglichkeitsprüfung durchzuführen ist (SRU 2011, Tz. 456). Zudem sind im Rahmen der durchzuführenden Alternativenprüfung nach § 19b Absatz 2 UVPG alternative Verkehrsnetze und alternative Verkehrsträger zu berücksichtigen, zu beschreiben und zu bewerten, wodurch die Prüfung der Umweltauswirkungen von der Projekt- auf die Netzebene verlagert wird (GASSNER 2006, § 19b Rn. 13; HÜNNEKENS in: HOPPE 2012, § 19b UVPG Rn. 24; PETERS/BALLA 2006, § 19b UVPG Rn. 7). Des Weiteren ist die nach § 14i UVPG durchzuführende Öffentlichkeitsbeteiligung nicht nur für die Akzeptanz des Plans wichtig (WAGNER in: HOPPE 2012, § 14i UVPG Rn. 7), sondern kann auch zu verstärkten Diskussionen – auch über die Klima Auswirkungen – in der Öffentlichkeit beitragen und insofern Druck auf die Entscheidungsträger ausüben und damit positive Auswirkungen auf den weiteren Verfahrensverlauf haben (SRU 2011, Tz. 460).

Allerdings vermag die SUP keine Sperrwirkung zu entfalten und kann daher allein keine ausreichende Steuerungswirkung entfalten. Denn nach § 14k Absatz 2 UVPG ist der Umweltbericht lediglich zu berücksichtigen, weswegen es weder zu einer Bindung an den Umweltbericht kommt (PETERS/BALLA 2006, § 14k UVPG Rn. 5), noch den Umweltbelangen abstrakt-genereller Vorrang einzuräumen ist (PETERS/BALLA 2006, § 14k UVPG Rn. 6; BECKMANN in: HOPPE 2012, § 14k UVPG Rn. 11). Vielmehr gehen die im Rahmen der SUP genannten Umweltbelange in die Gesamtentscheidung ein, in deren Rahmen sie auch ganz oder teilweise zurückgestellt werden können (PETERS/BALLA 2006, § 14k UVPG Rn. 5; BECKMANN in: HOPPE 2012, § 14k UVPG Rn. 9).

#### **4.4.3.2 Neuausrichtung der Bundesverkehrswegeplanung**

**275.** Um einen klimaverträglichen Güterverkehr zu gewährleisten, ist ein Paradigmenwechsel in der Bundesverkehrswegeplanung notwendig. Nachfolgend sollen wichtige Eckpunkte dargestellt werden, die für eine Neuausrichtung der Bundesverkehrswegeplanung relevant sind.

#### **Bundesverkehrswegeplanung auf gesetzliche Grundlage stellen**

**276.** Bisher ist das Verfahren für die Bundesverkehrswegeplanung nicht gesetzlich geregelt. Es sollte daher künftig auf eine gesetzliche Grundlage gestellt werden. Durch sie werden wichtige Weichenstellungen vorgenommen, die durch den Gesetzgeber vorstrukturiert sein sollten. Insofern als die wesentlichen Entscheidungen durch den Gesetzgeber selbst zu treffen sind (Wesentlichkeitstheorie), sollten daher nicht nur Gegenstand und Ziel der Planung, sondern auch das Aufstellungsverfahren nebst Entscheidungskriterien vorgegeben werden. Der Bund ist hierzu aufgrund seiner ausschließlichen Gesetzgebungskompetenz für Eisenbahnen des Bundes nach Artikel 73 Absatz 1 Nummer 6a Grundgesetz (GG) und seiner konkurrierenden Gesetzgebungskompetenz für den Straßenverkehr nach Artikel 74 Absatz 1 Nummer 22 GG befugt.

#### **Netzbetrachtung statt Einzelprojektbewertung**

**277.** Statt einen Katalog angemeldeter Einzelprojekte zu überprüfen, sollte im Rahmen der Bundesverkehrswegeplanung künftig eine Netzbetrachtung vorgenommen werden. Dazu gilt es die folgenden Verfahrensschritte durchzuführen:

- *Strategische Vorfestlegungen:* Die in letzter Zeit unter den Stichworten „Bundesmobilitätsplan“ (BORMANN et al. 2010, S. 17 ff.) oder „Strategieplanung Mobilität und Transport“ (Wissenschaftlicher Beirat für Verkehr 2010, S. 20 ff.) diskutierte vorgelagerte strategische Planungsebene sollte im Rahmen der Bundesverkehrswegeplanung als erster Schritt aufgenommen werden. Hier wären nicht nur die Entwicklungsziele für einen klimaverträglichen Verkehr etwa in Anlehnung an die Vorgaben der Nachhaltigkeitsstrategie zu konkretisieren (LAMBRECHT et al. 2009, S. 80; BORMANN et al. 2010, S. 18), sondern auch die Entscheidungskriterien zur materiellen Vorstrukturierung der Planungsentscheidung auszudifferenzieren.
- *Verkehrsprognosen und -szenarien:* Unter Berücksichtigung der gegenseitigen Beeinflussung sollten mehrere Verkehrsprognosen und -szenarien entwickelt werden, die im Hinblick auf die Entwicklungsziele und andere, klar vorgegebene Rahmenbedingungen mehrere Optionen bis zum Jahr 2050 durchspielen. Dabei sollten Anforderungen an die Entwicklung dieser Prognosen und Szenarien aufgestellt werden, mit deren Hilfe ihre Verwendbarkeit sichergestellt werden kann.
- *Bundesverkehrswegeplan:* Unter Zuhilfenahme der Entscheidungskriterien sollte die im Hinblick auf ein gesamtdeutsches Verkehrsnetz erforderliche Schienen- und Straßeninfrastruktur bestimmt werden. Dazu sollten alle bisher noch nicht umgesetzten Projekte aus dem letzten Bundesverkehrswegeplan auf den Prüfstand, die Fernverkehrsinfrastruktur in den Fokus gerückt (BORMANN et al. 2010, S. 26 ff.; SRU 2005, Tz. 423 ff.) und die Einbindung in das transeuropäi-

sche Verkehrsnetz berücksichtigt werden (Artikel 170 ff. AEUV).

### Öffentlichkeitsbeteiligung und Strategische Umweltprüfung

**278.** Um größtmögliche Akzeptanz zu erzielen, sollte – wie für Stromnetze durch § 12a Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) vorgesehen – schon hinsichtlich der Verkehrsprognosen und -szenarien eine Öffentlichkeitsbeteiligung vorgesehen werden (so auch BORMANN et al. 2010, S. 22), wobei jedoch gesetzlich vorab festzulegen wäre, wie mit deren Ergebnissen umzugehen ist. Die für den Bundesverkehrswegeplan durchzuführende SUP umfasst sowohl eine Alternativenprüfung als auch eine Öffentlichkeitsbeteiligung. Erstere verlangt bereits die Berücksichtigung, Beschreibung und Bewertung alternativer Verkehrsnetze und Verkehrsträger, sollte zusätzlich aber auch nicht-infrastrukturelle Maßnahmen wie die Optimierung der Leit- und Sicherungstechnik als Alternative zum Neu- und Ausbau einbeziehen. Hinsichtlich der Öffentlichkeitsbeteiligung ist sicherzustellen, dass sie zu einem Zeitpunkt erfolgt, in dem es nicht nur um die Ausgestaltung, sondern auch um die vorgelagerte Frage der Erforderlichkeit geht. Im Hinblick auf das Ergebnis der SUP wäre eine Steigerung der Verbindlichkeit sinnvoll. Dies könnte zum Beispiel in der Form geschehen, dass die in § 14 Absatz 2 Nummer 2 UVPG vorgesehene Begründungspflicht präzisiert und verschärft wird.

### Erstellung des Bundesverkehrswegeplans: Zuständigkeit und Form

**279.** Die administrative Erarbeitung und Aufstellung des Bundesverkehrswegeplans sollte in Kooperation zwischen den Ressorts Verkehr und Umwelt entweder auf ministerieller oder aber bundesbehördlicher Ebene stattfinden. Dabei sollte die Unterscheidung zwischen dem Bundesverkehrswegeplan und den vom Parlament verabschiedeten Ausbaugesetzen für die Verkehrsträger Schiene und Straße grundsätzlich beibehalten werden, wobei letztere in Zukunft verkehrsträgerübergreifend in einem Bedarfsgesetz zusammengeführt werden sollten. Bei der Ausgestaltung sind die verfassungsrechtlichen Vorgaben, wie sie vom Bundesverfassungsgericht konkretisiert wurden (BVerfGE Bd. 95, S. 1 (17 f.)), zu beachten.

### Nachhaltige Finanzierung der Bundesverkehrswege

**280.** Es sollte ein nachhaltiger Finanzierungsrahmen auf einem – für die notwendige Weiterentwicklung des Verkehrsnetzes – ausreichend hohem Niveau gesetzt werden, der sich an den folgenden Grundsätzen orientiert:

- Die Haushaltsmittel sollten durch Nutzungsbeiträge ergänzt werden. Dabei sollten keine geschlossenen Finanzierungskreisläufe vorgeschrieben, sondern eine verkehrsträgerübergreifende Mittelverwendung ermöglicht werden (BORMANN et al. 2010, S. 25 f.). Daher ist etwa § 11 BFStrMG problematisch, wonach

Einnahmen aus der Lkw-Maut nur in Straßenprojekte fließen dürfen.

- Die Investitionsvolumina sollten verstetigt werden, damit eine stabile finanzielle Basis für den Neu- und Ausbau von Schieneninfrastruktur und die Erhaltung bzw. den Rückbau von Straßen geschaffen wird.
- Grundsätzlich sollten zukünftig die Erhaltung bzw. die Verbesserung der Infrastruktur Vorrang vor Streckenneubauten haben. Im Schienenverkehr lassen sich durch infrastrukturelle Maßnahmen zur Erhöhung der Kapazitäten des Güterverkehrs, insbesondere durch Netzertüchtigung und die Beseitigung von Engpassstellen, mit geringerem Mitteleinsatz häufig höhere Umweltentlastungen als durch teure Neubauvorhaben für den Hochgeschwindigkeitspersonenverkehr erzielen.

### 4.4.4 Flankierende planungs- und ordnungsrechtliche Instrumente

**281.** Wenn eine Güterverkehrsleistung von bis zu 500 Mrd. tkm auf der Schiene realisiert werden soll (vgl. Tz. 255), werden die Bereitstellung einer entsprechenden überörtlichen Infrastruktur und ökonomische Instrumente wie die Emissionsbepreisung oder Mautgebühren als Anreize zur Verlagerung des Straßengüterverkehrs auf die Schiene vermutlich nicht ausreichen. Wichtig wird es vielmehr zum einen sein, dass Wirtschaftsunternehmen, bei denen mit einem An- und Abtransport von Gütern in relevantem Umfang zu rechnen ist (z. B. Güterverkehrszentren, herstellende und verarbeitende Industrie), über private Gleisanschlüsse Zugang zum öffentlichen Schienenverkehrsnetz haben. Zum anderen wird nach Instrumenten zu suchen sein, durch die der Straßengüterverkehr gezielt zugunsten einer Verlagerung auf die Schiene umgelenkt werden kann.

#### Private Gleisanschlüsse ermöglichen

**282.** Um Neu- und Ausbau sowie Reaktivierung privater Gleisanschlüsse voranzutreiben, gilt es zunächst bestehende Förderprogramme (Gleisanschlussförderrichtlinie des BMVBS) zu optimieren (LAMBRECHT et al. 2009, S. 96 ff.). Zugleich sollten in Bauleitplänen (Flächennutzungsplan und Bebauungsplan), insbesondere bei der Ausweisung neuer Industrie- und Gewerbegebiete, entsprechende Flächen für Schienen vorgehalten werden.

Daher sollten zu den bei der Aufstellung von Bauleitplänen zu berücksichtigenden Belangen des § 1 Absatz 6 Baugesetzbuch (BauGB) das Verlagerungsziel und die dazugehörige Anbindung güterintensiver Wirtschaftsunternehmen an das Schienenverkehrsnetz hinzugefügt werden. Denn diesen kommt im Rahmen der Bauleitplanung Orientierungsfunktion zu. Sie sind in die Abwägung – sofern dies der Lage der Dinge entspricht – einzustellen und können sich hier gegen andere öffentliche oder private Belange durchsetzen (SÖFKE in: ERNST/ZINKAHN/BIELENBERG/KRAUTZBERGER et al. 2011, § 1 BauGB Rn. 108, 188; KRAUTZBERGER in: BATTIS/KRAUTZBERGER/LÖHR 2009, § 1 BauGB Rn. 47, 49).

Insbesondere dann, wenn Gleisanschlüsse im Hinblick auf die topografischen Gegebenheiten realisierbar und die Nähe zum überörtlichen Schienennetz zweckmäßig sind, können dann im Rahmen der Bauleitplanung entsprechende Flächen vorgehalten werden. Eine Beeinträchtigung des durch Artikel 28 Absatz 2 GG garantierten kommunalen Selbstverwaltungsrechts, das über die Planungshoheit auch die örtliche Bodennutzung und damit Bauleitplanung umfasst (TETTINGER/SCHWARZ in: von MANGOLDT/KLEIN/STARCK 2010, Artikel 28 GG Rn. 181), ist hierdurch nicht zu befürchten, weil lediglich die zu berücksichtigenden Belange ergänzt, bestehende Planungen jedoch nicht gestört und zukünftige Planungen nicht entzogen werden.

Wichtig für private Gleisanschlüsse ist neben der Vorhaltung entsprechender Flächen, dass die Anbindung an das überörtliche Schienennetz gewährleistet ist. Insofern ist die Anschlussgewährleistungspflicht des § 13 Allgemeines Eisenbahngesetz (AEG), wonach jede Eisenbahn den Anschluss an ihre Schieneninfrastruktur gestatten muss, von besonderer Bedeutung. Hierdurch kann die Verknüpfung der Einzelstrecken zu einem Gesamtnetz und damit die zusammenhängende Nutzbarkeit des gesamten Schienennetzes gewährleistet werden. Negativ kann sich hingegen die Möglichkeit öffentlicher Eisenbahninfrastrukturunternehmen auswirken, die dauernde Einstellung des Betriebs einer Strecke zu beantragen (vgl. § 11 Absatz 1 AEG). Weil zu befürchten ist, dass sich die Netzdichte hierdurch zunehmend reduziert, bedarf es einer Gegensteuerung (kritisch auch REH 2004, S. 42 ff.).

### Anreize und Pflichten zur Verlagerung auf die Schiene diskutieren

**283.** Sollten die bestehenden Anreize zur Verlagerung des Güterverkehrs auf die Schiene in Zukunft nicht ausreichen, um die verfügbaren Kapazitäten auszunutzen, müsste über zusätzliche Instrumente nachgedacht werden. Um den Alpenraum zu schützen, haben sowohl die Schweiz als auch Österreich diskussionswürdige Maßnahmen zur Verlagerung, insbesondere des (Transit-)Güterverkehrs auf die Schiene, diskutiert bzw. auch getroffen:

- *Ökopunktesystem (1992 bis 2003)*: Für den Transitverkehr wurde durch einen Vertrag zwischen Österreich und der damaligen Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft (EWG) sowohl eine Emissionsobergrenze als auch eine mengenmäßige Obergrenze für die mit Lkws durchgeführten Fahrten eingeführt. Zur Durchsetzung der Grenzen wurden Ökopunkte auf die einzelnen Mitgliedstaaten verteilt, die bei Fahrten durch das Land „abgegeben“ werden mussten. Weil dies im Rahmen der Beitrittsverhandlungen so vereinbart wurde, konnte das Ökopunktesystem auch nach dem Beitritt Österreichs zur Europäischen Union zunächst beibehalten werden (vgl. für einen Überblick OBWEXER 2006, S. 300 ff.).
- *Alpentransitbörse (in der Diskussion)*: Vor allem in der Schweiz, aber auch in Österreich werden mehrere

Modelle für die Versteigerung von und den Handel mit Durchfahrtsrechten diskutiert, um zum Schutz der Alpen eine Verlagerung von der Straße auf die Schiene zu bewirken (vgl. für einen kurzen Überblick EPINEY und HEUCK 2009, S. 179 ff.; Bundesamt für Raumentwicklung ARE 2007, S. 85 ff.). Die obere Grenze soll sich dabei entweder an bestimmten Emissionen oder der Anzahl der Fahrten orientieren. In der Schweiz wurde der Bundesrat 2008 durch das sogenannte Güterverkehrsverlagerungsgesetz aufgefordert, entsprechende Verhandlungen mit der Europäischen Union und den Nachbarländern anzustreben.

- *Sektorales Fahrverbot (mehrfache Beanstandung durch den EuGH)*: Schon 2003 hatte das österreichische Bundesland Tirol per Verordnung auf einem Teilstück der Inntalautobahn Lkw-Transporte, insbesondere von Gütern wie etwa Steine und Erden, die zwischen Deutschland und Italien transportiert werden, verboten. Nachdem die Verordnung 2005 durch den Europäischen Gerichtshof (EuGH) aufgehoben wurde (EuGH, Urteil vom 15. November 2005 in der Rechtssache C-320/03, EuZW 2006, S. 50 ff.), hat Tirol 2008 erneut eine solche Verordnung erlassen – nun im Rahmen eines Maßnahmenbündels zur Verbesserung der Luftqualität und nachdem Anstrengungen zur Schaffung von Transportalternativen unternommen wurden. Auch bei dieser Verordnung hat der EuGH einen Verstoß gegen die Warenverkehrsfreiheit festgestellt, weil nicht nachgewiesen werden konnte, dass weniger beschränkende Maßnahmen – wie ständige Geschwindigkeitsbeschränkungen oder eine Ausweitung bestehender Fahrverbote auf weitere Euro-Klassen – zur Gewährleistung der Luftqualität ungeeignet sind (EuGH, Urteil vom 21. Dezember 2011 in der Rechtssache C-28/09).

Diese bis zum Verbot reichenden Maßnahmen lassen sich zwar nicht ohne Weiteres auf die Situation in Deutschland übertragen, liefern aber für die Zukunft interessante Ansatzpunkte. Sie sind im europäischen Kontext zu sehen und müssen daher vor allem mit der Warenverkehrsfreiheit (Artikel 34 AEUV) und dem Diskriminierungsverbot (Artikel 18 AEUV) vereinbar sein. Bei entsprechender Ausgestaltung sind derartige Maßnahmen zur Verlagerung des Güterverkehrs einer Rechtfertigung aus Gründen des Umweltschutzes zugänglich. Dabei wird es hinsichtlich der Verhältnismäßigkeit vor allem auf den richtigen Anknüpfungspunkt für Maßnahmen (Fahrzeugemissionen) und realistische Ausweichmöglichkeiten (ausreichend Schienenkapazitäten) ankommen (vgl. Schlussanträge der Generalanwältin Trstenjak vom 16. Dezember 2010 in der Rechtssache C-28/09). Sofern der Lokal- und Kurzstreckenverkehr und damit inländische Transporteure bevorzugt werden, kann dies nicht mit allein wirtschaftlichen Erwägungen gerechtfertigt werden. Des Weiteren gilt es, die Vereinbarkeit mit der europäischen Eurovignetten-Richtlinie 2011/76/EU sicherzustellen und hier eventuell Modifikationen vorzunehmen.

#### 4.4.5 Forschungsbedarf, Test- und Demonstrationsprojekte

**284.** Seitdem auch der Verkehrssektor verstärkt im klimapolitischen Fokus steht, ist die Diskussion um seine Dekarbonisierung von verschiedenen technologischen „Hypes“ geprägt (Brennstoffzelle, batterieelektrische Fahrzeuge in den Neunzigerjahren, Biokraftstoffe), welche vermeintlich einen Königsweg zur Lösung der CO<sub>2</sub>-Problematik des Sektors versprochen. Die anfängliche Euphorie für die jeweilige Technologie legte sich regelmäßig bereits nach wenigen Jahren oder verkehrte sich gar ins Gegenteil. Der gegenwärtige Stand des Wissens hinsichtlich zukünftiger technologischer Optionen zur Dekarbonisierung des Güterverkehrs erlaubt noch keine Festlegungen zugunsten bestimmter Technologien. Zudem zeigen die bisherigen Erfahrungen, dass sich die Gesellschaft voraussichtlich von der Idee des einen technologischen Königswegs lösen müssen. Wahrscheinlicher ist der Einsatz verschiedener Technologien in Abhängigkeit von den spezifischen Anforderungen der jeweiligen Transportaufgaben.

Angesichts der bestehenden Unsicherheiten über die Entwicklungs-, Realisierungs- und Kostendegressionspotenziale verschiedener Antriebs- und Kraftstoffoptionen ist eine möglichst technologieoffene staatliche Forschungspolitik geboten. Eine frühzeitige Festlegung auf wenige Technologien, die kurzfristig gegebenenfalls kostengünstiger und schneller zu realisieren sind, kann sich langfristig als nicht hinreichend effektiv und wesentlich teurer erweisen als eine breit gefächerte Forschungs- und Entwicklungsstrategie, die auch solche Technologieoptionen umfasst, deren Marktreife derzeit noch weit entfernt und ungewiss ist.

Die Mittelverteilung einer solchen Forschungs- und Entwicklungsförderung sollte sich grundsätzlich an den potenziellen Zielerreichungsbeiträgen und der Notwendigkeit öffentlicher Fördermaßnahmen richten. Mithin sollten vor allem solche Technologien gefördert werden, die erhebliche CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale aufweisen und für deren Entwicklung nicht ausreichend private Mittel bereitgestellt werden. Private Gelder lassen sich umso weniger mobilisieren, je weiter die Technologie von der Marktreife entfernt und desto unsicherer ihr kommerzieller Erfolg ist. Eine solche hohe Unsicherheit und damit hohe Risikokosten privater Investoren sind insbesondere dann gegeben, wenn für die erfolgreiche Markttetablierung der Aufbau umfangreicher Infrastrukturen erforderlich ist, da die erfolgreiche Produktentwicklung allein für einen kommerziellen Erfolg nicht ausreicht.

So sind zum Beispiel für die verschiedenen Optionen zur Elektrifizierung des Güterverkehrs sowohl fahrzeug- als auch infrastrukturseitig noch erhebliche Entwicklungsschritte notwendig. Mit Blick auf ambitionierte klimapolitische Langfristziele, die angesichts des prognostizierten Verkehrsmengenwachstums durch Weiterentwicklungen des Verbrennungsmotors kaum erreichbar sein werden, sollte die Forschung im Bereich alternativer, auf regenerativem Strom basierender Transportkonzepte für den Güterverkehr verstärkt werden. Hierunter fällt auch die För-

derung der weiteren Erforschung und anschließenden Erprobung bisher noch weitgehend unbeachteter Ansätze wie leitungsgebundener elektrisch angetriebener Lkws (Tz. 257).

Zudem sollten die Forschungsaktivitäten zur Weiterentwicklung der verkehrsprognostischen Verfahren und deren Verkopplung mit einer, an umweltpolitischen Gesichtspunkten orientierten, strategischen Verkehrs- und Infrastrukturplanung (Wissenschaftlicher Beirat für Verkehr 2010; BORMANN et al. 2010; vgl. Abschn. 4.4.3.2) verstärkt werden. So ließen sich beispielsweise die in verschiedenen verkehrspolitischen Szenarien auftretenden infrastrukturellen Knappheiten und die dadurch induzierten Verkehrswirkungen durch die Entwicklung eines einstufigen multimodalen Prognoseverfahrens besser abbilden (NAGEL et al. 2010), wodurch die gesamtsystemische Verkehrsplanung auf ein qualitativ höherwertiges Fundament gestellt werden könnte.

#### 4.5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

**285.** Der Güterverkehr, dominiert vom Gütertransport auf der Straße, trägt bereits heute mit 7 % des gesamten THG-Ausstoßes in Deutschland erheblich zur Klimabelastung bei. Angesichts der prognostizierten Wachstumsraten des Güterverkehrs ist zu erwarten, dass dieser Anteil in Zukunft weiter ansteigen wird. Um das langfristig – bis 2050 – angestrebte Ziel einer weitestgehenden Dekarbonisierung des gesamten Wirtschaftssystems zu erreichen, muss auch der Güterverkehr seine Klimabilanz substanziell verbessern. Dazu ist es erforderlich, die Entwicklung auf vier verschiedenen Ebenen grundlegend zu verändern. Es bedarf

- einer Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Verkehrsleistungswachstum,
- einer Verbesserung der Energieeffizienz und CO<sub>2</sub>-Intensität sämtlicher Verkehrsmodi,
- einer Stärkung des Anteils besonders energieeffizienter Verkehrsträger im Modal Split und
- einer weitgehenden Umstellung der Energieversorgung auf erneuerbare Energieträger.

Um diese Veränderungen zu erreichen, ist eine Kombination verschiedener ordnungsrechtlicher, planerischer und fiskalischer Maßnahmen und Instrumente mit unterschiedlichen Zeithorizonten notwendig.

#### Handlungsoptionen

**286.** Die Güterverkehrsleistung in Deutschland wird in den kommenden Jahren weiter steigen, auch wenn eine Fortschreibung vergangener, über dem Wirtschaftswachstum liegender, Wachstumsraten kritisch zu hinterfragen ist. Verschiedene Nachfrage- und Angebotstrends sprechen für eine sich deutlich verlangsamende Wachstumsdynamik. Zu nennen wären hier zum Beispiel die Stabilisierung des wirtschaftlichen Aufholprozesses in Osteuropa oder die Tertiarisierung der Ökonomie auf der Nachfrageseite und steigende Transportkosten oder infra-

strukturelle Knappheiten auf der Angebotsseite. Die Politik kann dabei gezielt bestimmte Entkopplungstendenzen verstärken. Leitbilder für eine Senkung der Verkehrsdensität der Wirtschaft sind eine verstärkte Dematerialisierung, verkehrssparende Raumstrukturen sowie eine verbesserte Effizienz der Logistikketten. Beispielhafte Ansatzpunkte hierzu sind im Hinblick auf ihre Verkehrsauswirkungen optimierte Güterverkehrszentren oder eine verbesserte Kommunikationsinfrastruktur zur Förderung der Zusammenarbeit verschiedener Logistikanbieter. Auch die regionale und die übergeordnete Wirtschaftspolitik können einen Beitrag zur Verstärkung von Entkopplungstendenzen der Verkehrsnachfrage leisten, indem nähräumliche Wirtschaftsverflechtungen und Unternehmenscluster gefördert werden.

Um die Energienachfrage und die THG-Emissionen merklich vom (verbleibenden) Güterverkehrswachstum zu entkoppeln, sind Effizienzverbesserungen unerlässlich. Dies betrifft sowohl technische (z. B. höhere Motoreffizienz) als auch organisatorische (z. B. höhere Fahrzeugauslastung) Effizienzsteigerungen. Zwar sind bei allen Verkehrsträgern weitere Effizienzgewinne nötig und möglich, dem Straßengüterverkehr kommt aufgrund seiner Dominanz bei der Verkehrsmittelwahl allerdings besondere Bedeutung zu. Durch Verbesserungen der Motoren und Antriebstechnologien, aber auch mittels Reduktion von Roll- und Luftwiderstand und Gewichtsminderungen, sind hier erhebliche Steigerungen bei der Energieeffizienz realisierbar. Derartige Verbesserungen der Energieeffizienz sind auch im Hinblick auf eine Elektrifizierung des Straßengüterverkehrs von nachhaltigem Nutzen, da sie den induzierten Anstieg der Stromnachfrage bremsen. Obschon notwendig, sind inkrementelle Strategien, die im Wesentlichen auf Effizienzverbesserungen innerhalb der bestehenden Strukturen des Güterverkehrs fußen, nicht hinreichend. Langfristig sind tiefer greifende systemische Änderungen unverzichtbar.

Dies betrifft zunächst die Verlagerung von Transportleistungen von der Straße auf die Schiene, denn aufgrund der hohen Effizienz des Rad-Schienen-Systems lassen sich so erhebliche Energieeinsparungen erzielen. Eine erste Machbarkeitsuntersuchung für den SRU ergab, dass eine Transportleistung des Schienengüterverkehrs von 300 bis 500 Mrd. tkm bis zum Jahr 2050 grundsätzlich darstellbar ist. Dies setzt aber grundlegende technisch-organisatorische Innovationen in der Abwicklung des Schienengüterverkehrs sowie einen substanziellen, aber finanziell realisierbaren Ausbau der Schieneninfrastruktur voraus. Bereits relativ kurzfristig und mit vergleichsweise geringem Mitteleinsatz können die Kapazitäten für den Schienengüterverkehr durch Netzertüchtigung und die Beseitigung von Engpassstellen erhöht werden.

Vergleicht man die verschiedenen Handlungsoptionen zur Umstellung auf erneuerbare Energien, sollte der leitungsgebundenen Elektrifizierung des Güterverkehrs Priorität eingeräumt werden. Hier kommen neben der Verlagerung auf den etablierten Verkehrsträger Schiene auch oberleitungsgebundene Trolley-Systeme auf wichtigen Autobahnen infrage. Die oberleitungsgeführte Elektrifizierung des

Straßengüterfernverkehrs durch Trolley-Systeme ist eine interessante Option zur Nutzung nahezu emissionsneutralen Stroms aus erneuerbaren Quellen, die ernsthaft geprüft werden sollte. Mögliche Konkurrenz- und Komplementaritätsbeziehungen zwischen den beiden Optionen einer leitungsgebundenen Elektrifizierung sowie Fragen der Integration in den europäischen Güterverkehrsmarkt müssen noch näher untersucht werden. Für die auf der Straße verbleibenden, nicht leitungsgebunden zu versorgenden (Verteil- und Zuliefer-)Verkehre sind nachhaltig produzierte Biokraftstoffe zwar grundsätzlich eine Option, kommen wegen der begrenzten Verfügbarkeit und der Nutzungskonkurrenz zur Luftfahrt jedoch nur in engem Maße infrage. Stattdessen sollten batterieelektrisch- bzw. wasserstoffbasierte Ansätze für die Zuliefer- und Verteilverkehre weiter entwickelt werden.

Solche systemischen Veränderungen erfordern eine aktive Rolle des Staates und können nur über eine abgestimmte Verkehrs-, Infrastruktur-, Wirtschafts-, Forschungs-, Raumordnungs- und Umweltpolitik erreicht werden. Die Notwendigkeit proaktiven staatlichen Handelns ergibt sich dabei zum einen daraus, dass wesentliche Teile der erforderlichen (infra-)strukturellen Anpassungen sowohl planungsrechtlich als auch hinsichtlich ihrer Finanzierung in staatlicher Verantwortung liegen. Zum anderen verhindern Investitionsunsicherheiten oder prohibitiv hoher Koordinationsaufwand oftmals das selbstständige Ausbrechen privater Akteure des Güterverkehrs aus bestehenden Pfadabhängigkeiten bzw. technologischen „Lock-in“-Situationen, sodass ein Systemwechsel ohne entschiedenes staatliches Zutun nicht gelingt. Die infrastrukturellen Weichenstellungen müssen ohne Zeitverzug initiiert werden, da sie eine lange Vorlaufzeit haben und sich die Umstellung von Logistikstrukturen und Transportströmen nur langsam vollzieht. Ohne frühzeitige Weichenstellungen in Richtung einer ambitionierten Verkehrsvermeidungs-, Verlagerungs- und Energieträgersubstitutionsstrategie wird die Politik mit zunehmendem Ehrgeiz der Vermeidungsziele an Grenzen stoßen, die entweder eine Verfehlung der Ziele implizieren oder ein abruptes und sehr teures Umsteuern erfordern.

### Flankierende verkehrspolitische Instrumente

**287.** Wesentliches Instrument zur Weiterentwicklung der Verkehrsinfrastruktur ist die Bundesverkehrswegeplanung, die in ihrer bisherigen Ausgestaltung allerdings keine Steuerung in Richtung eines zukunftsfähigen Verkehrsnetzes zu leisten vermag. Hierzu bedarf es einer Neuausrichtung, die vor allem auch frühzeitige strategische Festlegungen umfasst. Diese betreffen nicht nur die Konkretisierung klimapolitischer Ziele für den Verkehrssektor, sondern auch die Untermauerung durch Kriterien für die Weiterentwicklung insbesondere des Straßen- und Schienennetzes. Erst auf Grundlage solcher Festlegungen ist es sinnvoll, ein gesetzlich determiniertes Verfahren zu etablieren, das ausgehend von Verkehrsprognosen und -szenarien transparent und unter Beteiligung der Öffentlichkeit den Bedarf an Neu-, Aus- und auch Rückbau von Verkehrswegen – unter besonderer Berücksichtigung der betroffenen Umweltbelange – im Sinne einer Netzbe-

trachtung ermittelt. Grundsätzlich sollten dabei zukünftig die Erhaltung bzw. die Verbesserung der Infrastrukturqualität Vorrang vor Streckenneubauten haben. Um den solchermaßen auf eine neue Planungsgrundlage gestellten Umbau der Verkehrsinfrastruktur auch auf eine stabile finanzielle Basis zu stellen, ist zudem eine Verstärkung der Investitionsvolumina unabhängig von der aktuellen Haushaltslage und auf ausreichend hohem Niveau erforderlich.

Um die technologischen Grundlagen für den notwendigen Umbau des Verkehrssystems zu schaffen, ist eine strategische FuE-Förderung (FuE – Forschung und Entwicklung) erforderlich. Angesichts der bestehenden Unsicherheiten hinsichtlich der Potenziale verschiedener technologischer Ansätze zur Dekarbonisierung des Güterverkehrs ist eine breit gefächerte technologieoffene, dabei möglicherweise auch kostenintensivere Förderstrategie einer frühzeitigen technologischen Festlegung vorzuziehen. Konzepte, die auf erneuerbarer Elektrizität basieren, sollten auch hinsichtlich der Energieversorgung des Straßengüterverkehrs verstärkt in den Fokus gerückt werden. Dies erscheint mit Blick auf die langfristig anzustrebenden ambitionierten THG-Minderungen des Güterverkehrs und das begrenzte Zielbeitragspotenzial von Biokraftstoffen erforderlich.

Kurz- bis mittelfristig können vor allem finanzielle Anreize, verkehrslenkende Maßnahmen und technische Standards zur Erhöhung der Energie- und CO<sub>2</sub>-Effizienz innerhalb der bestehenden Strukturen des Güterverkehrs beitragen und somit dessen ökologischen Fußabdruck reduzieren:

- Die Bundesregierung sollte zeitnah die Möglichkeiten der überarbeiteten Eurovignetten-Richtlinie nutzen, um zum einen den Straßengüterverkehr stärker an seinen externen Umweltkosten zu beteiligen und zum anderen durch eine effizientere Verkehrslenkung – unter Zuhilfenahme der Möglichkeiten einer zeitlichen Mautdifferenzierung – staubedingte Umweltkosten des Straßengüterverkehrs zu reduzieren. Um die Effektivität der Maut zu erhöhen und Ausweichreaktionen zu vermeiden, sollten Straßenbenutzungsgebühren bereits für Lkws ab 3,5 t und möglichst umfassend auch auf dem nachgeordneten Straßennetz erhoben werden. Die Maut-Einnahmen sollten verpflichtend in Verwendungen fließen, die mit den langfristigen Klimazielen im Einklang stehen, vornehmlich in den Ausbau und die Verbesserung der Schieneninfrastruktur. Die derzeitige Zweckbindung der Einnahmen aus der Lkw-Maut in Deutschland zugunsten des Straßenverkehrs lehnt der SRU als nicht zielführend ab. Im Rahmen zukünftiger Reformen der Richtlinie sollte die Bundesregierung zudem darauf hinwirken, dass weitere externe Kosten des Straßengüterverkehrs internalisiert werden.
- Die Vorschläge der Europäischen Kommission für eine Reform der Kraftstoffbesteuerung bedeuten einen Schritt in Richtung einer Bepreisung des THG-Ausstoßes durch den Straßenverkehr, der ökologischen Kriterien gerecht wird. Die Bundesregierung sollte die vorgeschlagene Bemessung der Steuersätze gemäß des

Energie- und Kohlenstoffgehalts der Kraftstoffe unterstützen sowie auf angemessen hohe europäische Mindestsätze hinwirken, um Ausweichverhalten der Verkehrsteilnehmer vor allem im grenzüberschreitenden Straßengüterfernverkehr zu vermeiden.

- Auf EU-Ebene sollten CO<sub>2</sub>-Grenzwerte für schwere Nutzfahrzeuge eingeführt werden, um bisher noch ungenutzte Potenziale zur Verbesserung der Kraftstoffeffizienz im Straßengüterverkehr zu erschließen und weitere Fortschritte anzureizen. Es sollte ein möglichst umfassender Regulierungsansatz gewählt werden, der auch Maßnahmen zur Verringerung des Roll- und Luftwiderstandes der Fahrzeuge berücksichtigt.

Abschließend lässt sich festhalten, dass anspruchsvolle klimapolitische Langfristziele nur erreichbar sind, wenn die derzeitigen Emissionstrends im Güterverkehr gebrochen und umgekehrt werden. Dies stellt eine enorme Herausforderung dar, die jedoch erfolgreich bewältigt werden kann, wenn sie entschlossen angenommen wird und die fundamentalen Weichen zur klimaverträglichen Umgestaltung des Güterverkehrssystems jetzt gestellt werden.

#### 4.6 Literatur

Agnolucci, P., Bonilla, D. (2009): UK Freight Demand: Elasticities and Decoupling. *Journal of Transport Economics and Policy* 43 (3), S. 317–344.

Allianz pro Schiene (2011): Investitionen in die Schieneninfrastruktur im europäischen Vergleich. Berlin: Allianz pro Schiene. <http://www.allianz-pro-schiene.de/infrastruktur/europavergleich-schieneninvestitionen/> (17.10.2011).

Anders, N., Knaak, F., Rommerskirchen, S. (2009): Socio-demographic and economic megatrends in Europe and in the World – Overview over existing forecasts and conclusions for long-term freight transport demand trends in Europe. Deliverable 4.1 of FREIGHTVISION – Vision and Action Plans for European Freight Transport until 2050. Basel: ProgTrans.

Arthur, W. B. (2004): Increasing returns and path dependence in the economy. Nachdr. Ann Arbor: University of Michigan Press.

Arthur, W. B. (1989): Competing Technologies, Increasing Returns and Lock-in by Historic Events. *The Economic Journal* 99 (394), S. 116–131.

Battis, U., Krautzberger, M., Löhr, R.-P. (Hrsg.) (2009): Baugesetzbuch. BauGB. Kommentar. 11. Aufl. München: Beck.

Baum, H., Heibach, M. (1997): Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Verkehrsentwicklung. Bonn: Deutsches Verkehrsforum.

Baumol, W. J., Oates, W. E. (1971): The use of Standards and Prices for Protection of the Environment. *The Swedish Journal of Economics* 73 (1), S. 42–54.

- Bento, N. (2010): Is carbon lock-in blocking investments in the hydrogen economy? A survey of actors' strategies. *Energy Policy* 38 (11), S. 7189–7199.
- Bergmann, H., Bertenrath, R., Betz, R., Dünnebeil, F., Lambrecht, U., Liebig, L., Rogge, K., Schade, W., Ewringmann, D. (2005): Emissionshandel im Verkehr. Ansätze für einen möglichen Up-Stream-Handel im Verkehr. Endbericht Köln, Heidelberg, Mannheim, Karlsruhe: FiFo, IFEU, Fraunhofer ISI.
- Blom, M. J., Kampmann, B. E., Nelissen, D. (2007): Price effects of incorporation of transportation into EU ETS. Delft: CE Delft.
- BMVBS (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung) (2011): Verkehr in Zahlen 2010/2011. Hamburg: DVV Media Group.
- BMVBS (2009): Verkehr in Zahlen 2008/2009. Hamburg: Deutscher Verkehrs-Verlag.
- Boer, E. den, Essen, H. van, Brouwer, F., Pastori, E., Moizo, A. (2011): Potential of modal shift to rail transport. Study on the projected effects on GHG emissions and transport volumes. Delft: CE Delft.
- Bormann, R., Bracher, T., Flege, D., Groß, M., Heuser, T., Holzapfel, H., Kerth, H.-S., Knobloch, M., Kountchev, I., Mietzsch, O., Röthke-Habeck, P., Ziesak, M. (2010): Eckpunkte für eine zielorientierte, integrierte Infrastrukturplanung des Bundes. Vom Bundesverkehrswegeplan zur Bundesverkehrsnetzplanung. Berlin: Friedrich-Ebert-Stiftung, Arbeitskreis Innovative Verkehrspolitik.
- Bourcade, K., Herzmann, K. (2006): Normalfall exponentielles Wachstum? Ein internationaler Vergleich. *Zeitschrift für Wachstumsstudien* 2006 (2), S. 4–10.
- Brauner, G., Lenz, H. P., Litzka, J., Pucher, E. (2003): Ökologisch verträglicher Schwerlasttransit in Österreich. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie Forschungsarbeiten aus dem Verkehrswesen 131.
- Brauner, G., Lenz, H. P., Litzka, J., Pucher, E. (2000): LKW-Alpentransit elektrisch? *VDI-Berichte* 1565, S. 605–623.
- Brunner, P. (2011): Reducing CO<sub>2</sub> from Heavy Duty Vehicles: Status quo and steps to policy options. Vortrag, IEA Freight Truck Fuel Economy Workshop – Challenge Bibendum, 20.–21.05.2011, Berlin.
- Brunner, S., Flachsland, C., Marschinski, R. (2012): Credible commitment in carbon policy. *Climate Policy* 12 (2), S. 255–271.
- Bundesamt für Raumentwicklung ARE (2007): Alpen-Transitbörse: Untersuchung der Praxistauglichkeit. Schlussbericht. Bern: Bundesamt für Raumentwicklung ARE.
- Bundesregierung (2002): Perspektiven für Deutschland. Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. Berlin: Presse- und Informationsamt der Bundesregierung.
- Calliess, C., Ruffert, M. (2011): EUV/AEUV. Das Verfassungsrecht der Europäischen Union mit Europäischer Grundrechtecharta. Kommentar. 4. Aufl. München: Beck.
- Deuber, O. (2002): Einbeziehung des motorisierten Individualverkehrs in ein deutsches CO<sub>2</sub>-Emissionshandelsystem. Freiburg: Öko-Institut.
- Deutsche Bahn AG, McKinsey & Company (2010): Zukunftsperspektiven für Mobilität und Transport. Eisenbahn in Deutschland 2035. Berlin: Deutsche Bahn AG, McKinsey & Company.
- Downing, T. E., Anthoff, D., Butterfield, R., Ceronsky, M., Grubb, M., Guo, J., Cameron, Hope, C., Hunt, A., Li, A., Markandya, A., Moss, S., Nyong, A., Tol, R. S. J., Watkiss, P. (2005): Social Cost of Carbon: A Closer Look at Uncertainty. Final project report. London: Stockholm Environment Institute.
- Eck, F., Stark, S. (2011): Bundesverkehrswegeplan 20XX. Fortschreibung oder Reform? *Internationales Verkehrswesen* 63 (1), S. 26–28.
- EEA (European Environment Agency) (2010): The European environment – State and outlook 2010. Synthesis. Copenhagen: EEA.
- Eisentraut, A. (2010): Sustainable Production of Second Generation Biofuels. Potential and perspectives in major economies and developing countries. Paris: IEA.
- EPA (U. S. Environmental Protection Agency) (2011): EPA and NHTSA Adopt First-Ever Program to Reduce Greenhouse Gas Emissions and Improve Fuel Efficiency of Medium-and Heavy-Duty Vehicles. Washington, DC: EPA. <http://www.epa.gov/otaq/climate/documents/420f11031.pdf> (06.03.2012).
- Epiney, A. (2011): Verkehrsrecht. In: Dausen, M. A. (Hrsg.): *Handbuch des EU-Wirtschaftsrechts*. Losebl.-Ausg., 29. Erg.-Lfg., Stand: 09/2011. München: Beck.
- Epiney, A., Heuck, J. (2009): Zur Verlagerung des alpenquerenden Straßengüterverkehrs auf die Schiene: die „Alpentransitbörse“ auf dem Prüfstand des europäischen Gemeinschaftsrechts. *Zeitschrift für Umweltrecht* 20 (4), S. 178–187.
- Ernst, W., Zinkahn, W., Bielenberg, W., Krautzberger, M. (2011): *Baugesetzbuch. Kommentar*. Losebl.-Ausg., 101. Erg.-Lfg., Stand: September 2011. München: Beck.
- Essen, H. P. van, Boon, B. H., Schrotten, A., Otten, M., Maibach, M., Schreyer, C., Doll, C., Jochem, P., Bak, M., Pawlowska, B. (2008): Internalisation measures and policy for the external cost of transport. Produced within the study Internalisation Measures and Policies for all external cost of Transport (IMPACT) – Deliverable 3. Delft: CE Delft.
- Essen, R. van, Rijkee, X., Verbraak, G., Quak, H., Wilmink, I. (2009): EU transport GHG: Routes to 2050? Modal split and decoupling options: Paper 5. Delft: CE Delft.

- Europäische Kommission (2011): Vorschlag für eine Richtlinie des Rates zur Änderung der Richtlinie 2003/96/EG zur Restrukturierung der gemeinschaftlichen Rahmenvorschriften zur Besteuerung von Energieerzeugnissen und elektrischem Strom. KOM(2011) 169/3. Brüssel: Europäische Kommission.
- Europäische Kommission – Generaldirektion für Energie und Transport (2010): EU energy trends to 2030 – UPDATE 2009. Brüssel: Europäische Kommission, Generaldirektion für Energie und Transport.
- EuroStat (Statistisches Amt der Europäischen Union) (2012): Güterverkehrsvolumen im Verhältnis zum BIP. Luxemburg: EuroStat. <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=de&pcode=tsdtr230> (06.03.2012).
- EuroStat (2011): Energy, Transport and Environment Indicators. 2010 ed. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Feige, I. (2007): Transport, Trade and Economic Growth – Coupled or Decoupled. An Inquiry into Relationships between Transport, Trade and Economic Growth and into User Preferences concerning Growth-oriented Transport Policy. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Flachsland, C., Brunner, S., Edenhofer, O., Creutzig, F. (2011): Climate Policies for Road Transport Revisited (II): Closing the Policy Gap with Cap-and-Trade. Energy Policy 39 (4), S. 2100–2110.
- Gassner, E. (2006): Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung. Kommentar. Heidelberg: C. F. Müller. Praxis Umweltrecht 13.
- Gleave, S. D. (2003): Freight Transport Intensity of Production and Consumption. Sevilla: European Commission, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies Report EUR 20684 EN.
- Goodwin, P. (2004): The Economic Costs of Road Traffic Congestion. London: University College London, The Rail Freight Group.
- Graham, D., Glaister, S. (2002): The Demand for Automobile Fuel. A Survey of Elasticities. Journal of Transport Economics and Policy 36 (1), S. 1–26.
- Greenwood, I. D., Bennett, C. R. (2003): The Effects of Traffic Congestion on Fuel Consumption. [http://www.lpcb.org/lpcb-downloads/isohdm\\_rue/1995\\_bennett\\_greenwood\\_congestion\\_fuel.pdf](http://www.lpcb.org/lpcb-downloads/isohdm_rue/1995_bennett_greenwood_congestion_fuel.pdf) (25.01.2012).
- Hanly, M., Dargay, J., Goodwin, P. (2002): Review of Income and Price Elasticities in the Demand for Road Traffic. London: ESRC Transport Studies Unit. ESRC TSU Publication 2002/13.
- Hesse, M. (2007a): Logistischer Wandel in der Region. Standortdynamiken und -strategien der Distributionslogistik im transatlantischen Vergleich. Zeitschrift für Wirtschaftsgeographie 51 (2), S. 93–107.
- Hesse, M. (2007b): The System of Flows and the Restructuring of Space Elements of a Geography of Distribution. Erdkunde 61 (1), S. 1–12.
- Hesse, M., Rodrigue, J.-P. (2004): The transport geography of logistics and freight distribution. Journal of Transport Geography 12 (3), S. 171–184.
- Hill, N., Finnegan, S., Norris, J., Brannigan, C., Wynn, D., Baker, H., Skinner, I. (2011): Reduction and Testing of Greenhouse Gas (GHG) Emissions from Heavy Duty Vehicles. Lot 1: Strategy. Final Report. Didcot: AEA. AEA/ ED46904/Final Report 4.
- Holmgren, K., Belhaj, M., Gode, J., Särholm, E., Zetterberg, L., Åhman, M. (2006): Greenhouse Gas Emissions Trading for the Transport Sector. Stockholm: IVL Swedish Environmental Research Institute. IVL Report B1703.
- Holzhey, M. (2010): Schienennetz 2025/2030. Ausbaukonzeption für einen leistungsfähigen Schienengüterverkehr in Deutschland. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. UBA-Texte 42/10.
- Holzhey, M., Berschin, F., Kühl, I., Naumann, R., Petersen, T. (2011): Modelle für einen nachhaltigen Güterverkehr. Berlin: KCW.
- Hoppe, W. (2012): Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG). Kommentar mit Kommentierung des Umwelt-Rechtsbehelfsgesetz (UmwRG) und Erläuterungen zum Öffentlichkeitsbeteiligungsgesetz und zum Gesetz zur Beschleunigung von Planungsverfahren für Infrastrukturvorhaben. 4., neu bearb. Aufl. Köln: Heymann.
- Ickert, L., Matthes, U., Rommerskirchen, S., Weyand, E., Schlesiner, M., Lilmbers, J. (2007): Abschätzung der langfristigen Entwicklung des Güterverkehrs in Deutschland bis 2050. Schlussbericht. Basel: ProgTrans.
- IEA (International Energy Agency) (2010): World Energy Outlook 2010. Zusammenfassung. Paris: IEA.
- IEA, OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) (2009): Transport, Energy and CO<sub>2</sub> – Moving Toward Sustainability. Paris: OECD/IEA.
- IFEU (Institut für Energie und Umweltforschung) (2008): Fortschreibung und Erweiterung „Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960–2030 (TREMODO, Version 5)“. Endbericht. Heidelberg: IFEU.
- ifmo (Institut für Mobilitätsforschung) (2010): Zukunft der Mobilität – Szenarien für das Jahr 2030. Zweite Fortschreibung. München: ifmo.
- Intraplan Consult, BVU (Beratergruppe Verkehr + Umwelt) (2007): Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2025. München/Freiburg: ITP, BVU.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007): Climate Change 2007: Synthesis Report. Genf: IPCC.

- Jackson, M. D. (2011): Technologies to Improve Fuel Efficiency of Heavy Duty Trucks. Vortrag, Reducing Greenhouse Gas Emissions from Heavy-Duty Vehicles: Policy options, development, and prospects. International Workshop, 10.11.2011, Brüssel.
- Janic, M. (2009): Modelling the Cost Performance of a Given Logistics Network Operating under Regular and Irregular Conditions. *European Journal of Transport and Infrastructure Research* 9 (2), S. 100–120.
- Jong, G. de, Schroten, A., Essen, H. van, Otten, M., Bucci, P. (2010): Price sensitivity of European road freight transport – towards a better understanding of existing results. A report for Transport & Environment. The Hague, Delft: Significance, CE Delft. Report 9012-1.
- Kajiwara, A. (2011): HDV fuel efficiency regulation background and implementation to date. Vortrag, Reducing Greenhouse Gas Emissions from Heavy-Duty Vehicles: Policy options, development, and prospects. International Workshop, 10.11.2011, Brüssel.
- Kalkuhl, M., Edenhofer, O., Lessmann, K. (2012): Learning or Lock-in: Optimal Technology Policies to Support Mitigation. *Resource and Energy Economics* 34 (1), S. 1–23.
- Kline, D. (2001): Positive feedback, lock-in, and environmental policy. *Policy Sciences* 34 (1), S. 95–107.
- Klooster, J., Kampman, B. (2006): Dealing with Transport Emissions. An emission trading system for the transport sector, a viable solution? Stockholm: Swedish Environmental Protection Agency. Report 5550.
- Kluge, T., Schramm, E. (Hrsg.) (2003): Aktivierung durch Nähe. Regionalisierung nachhaltigen Wirtschaftens. München: oekom.
- Komanoff, C. (1997): Environmental Consequences of Road Pricing. A Scoping Paper for The Energy Foundation. New York, NY: Komanoff Energy Associates.
- Kritzinger, S., Drewitz, M., Herz, T., Ickert, L., Matthes, U., Rommerskirchen, S., Stumpf, P., Weyand, E. (2008): Ost-West-Güterverkehre 2030. Analysen, Prognosen und verkehrspolitische Herausforderungen für Deutschland und ausgewählte europäische Länder. Basel: ProgTrans.
- Kveiborg, O., Fosgerau, M. (2007): Decomposing the decoupling of Danish road freight traffic growth and economic growth. *Transport Policy* 14 (1), S. 39–48.
- Lambrecht, M., Erdmenger, C., Bölke, M., Brenk, V., Frey, K., Jahn, H., Kolodziej, A., Kruppa, I., Naumann, S., Salz, D., Schade, L., Verron, H. (2009): Strategie für einen nachhaltigen Güterverkehr. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. UBA-Texte 18/09.
- Law, K., Jackson, M. D., Chan, M. (2011): European Union Greenhouse Gas Reduction Potential for Heavy-Duty Vehicles. Report. Cupertino, Calif.: TIAX LLC. TIAX Reference D5625.
- Lenz, B., Lischke, A., Knitschky, G., Adolf, J., Ceng, F. B., Stöver, J., Leschus, L., Bräuninger, M. (2010): Shell Lkw-Studie. Fakten, Trends und Perspektiven im Straßengüterverkehr bis 2030. Hamburg, Berlin: Shell Deutschland Oil.
- Lindberg, G. (2002): UNITE (UNification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency). Deliverable 9: Marginal accident costs – case studies. Leeds: University of Leeds, Institute for Transport Studies.
- Maibach, M., Schreyer, C., Sutter, D., Essen, H. P. van, Boon, B. H., Smokers, R., Schroten, A., Doll, C., Pawlowska, B., Bak, M. (2008): Handbook on estimation of external costs in the transport sector. Produced within the study Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport (IMPACT). Version 1.1. Delft: CE Delft.
- Mangoldt, H. von, Klein, F., Starck, C. (Hrsg.) (2010): Kommentar zum Grundgesetz. Bd. 2: Art. 20-82. 6., vollst. neubearb. Aufl. München: Vahlen.
- McKinnon, A. C. (2007): Decoupling of Road Freight Transport and Economic Growth Trends in the UK: An Exploratory Analysis. *Transport Reviews* 27 (1), S. 37–64.
- Nagel, K., Winter, M., Beckers, T., Röhling, W., Liedtke, G., Scholz, A. (2010): Endbericht zum Forschungsprojekt FE 96.029/2009 „Analyse der verkehrsprognostischen Instrumente der Bundesverkehrswegeplanung“. Berlin: Technische Universität.
- Nestler, S., Nobel, T. (2011): Ausgezeichnete Logistikstandorte. *Internationales Verkehrswesen* 63 (3), S. 20–22.
- Nordic Council of Ministers (2007): Road Transport Emissions in the EU Emission Trading System. Copenhagen: Nordic Council of Ministers, Nordic Council. Tema-Nord 2007,536.
- NPE (Nationale Plattform Elektromobilität) (2011): Zweiter Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität. Berlin: NPE.
- Nygaard, S. (2008): Co-Evolution of Technology, Markets, and Institutions. The Case of Fuel Cells and Hydrogen Technology in Europe. Lund: Lund University, Centre for Innovation, Research and Competence in the Learning Economy.
- Obwexer, W. (2006): Die Regelung des Transitverkehrs. In: Hummer, W., Obwexer, W. (Hrsg.): 10 Jahre EU-Mitgliedschaft Österreichs. Bilanz und Ausblick. Wien, New York: Springer, S. 299–386.
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) (2006): Decoupling the Environmental Impacts of Transport from Economic Growth. Paris: OECD.
- Öko-Institut, DLR-IVF (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt – Institut für Verkehrsforschung) (2009a): Renewability „Stoffstromanalyse nachhaltige Mobilität im Kontext erneuerbarer Energien bis 2030“. Endbericht. Teil 1: Methodik und Datenbasis. Freiburg, Darmstadt, Berlin: Öko-Institut, DLR-IVF.

- Öko-Institut, DLR-IVF (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt – Institut für Verkehrsforschung) (2009b): Renewability „Stoffstromanalyse nachhaltige Mobilität im Kontext erneuerbarer Energien bis 2030“. Endbericht. Teil 2: Szenario-Prozess und Szenarioergebnisse. Freiburg, Darmstadt, Berlin: Öko-Institut, DLR-IVF.
- Öko-Institut, Prognos AG (2009): Modell Deutschland – Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken. Endbericht. Basel, Freiburg: Prognos, Öko-Institut.
- Peters, H.-J., Balla, S. (2006): Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung. Handkommentar. 3. Aufl. Baden-Baden: Nomos.
- Petersen, M. S., Sessa, C., Enei, R., Ulied, A., Larrea, E., Obisco, O., Timms, P. M., Hansen, C. O. (2009): Report on Transport Scenarios with a 20 and 40 year Horizon. Final report. Copenhagen: DG TREN. TRvCR503\_001.
- Pro Mobilität – Initiative für Verkehrsinfrastruktur (2011): „Investitionen westeuropäischer Staaten in Straßeninfrastruktur“. Deutschland vernachlässigt sein Straßennetz. Studie. Berlin: Pro Mobilität – Initiative für Verkehrsinfrastruktur e.V.
- Ranch, P. (2010): Elektriska vägar – elektrifiering av tunga vägtransporter. Förstudie. Stockholm: Grontmij AB.
- Reh, F. (Hrsg.) (2004): Gleisanschlüsse im Schienenverkehr. Ökonomische Analyse von Gleisanschlussverkehren und Beurteilung alternativer Fördermaßnahmen. Köln: Kölner Wissenschaftsverlag.
- Rodrigue, J.-P. (2006): Challenging the Derived Transport Demand Thesis: Issues in Freight Distribution. *Environment & Planning / A* 38 (8), S. 1449–1462.
- Rodt, S., Georgi, B., Huckestein, B., Mönch, L., Herberner, R., Jahn, H., Koppe, K., Lindmaier, J. (2010): CO<sub>2</sub>-Emissionsminderung im Verkehr in Deutschland. Mögliche Maßnahmen und ihre Minderungspotenziale. Ein Sachstandsbericht des Umweltbundesamtes. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. UBA-Texte 05/10. <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/fpdf-l/3773.pdf> (01.09.2011).
- Santos, G., Rojey, L., Newbery, D. (2000): The environmental benefits from road pricing. Cambridge: Cambridge University, Department of Applied Economics.
- Schade, W. (2010): iTREN-2030. Integrated transport and energy baseline until 2030. The iTREN-2030 Integrated Scenario until 2030. Deliverable D5. Karlsruhe: Fraunhofer Institute Systems and Innovation Research.
- Schippl, J., Leisner, I., Kaspersen, I., Madsen, A. K. (2008): The Future of European long-distance transport. Scenario Report. Bruxelles: European Parliament, Science and Technology Options Assessment. IPOL/A/STOA/2007-07.
- Schreyer, C., Schneider, C., Maibach, M., Rothengatter, W., Doll, C., Schmedding, D. (2004): External Costs of Transport. Update Study. Final Report. Karlsruhe, Zürich: IWW Universität Karlsruhe, INFRAS.
- Sendmeyer, S. (2010): Transport- und Verkehrsrecht. In: Schulze, R., Zuleeg, M., Kadelbach, S. (Hrsg.): Europa-recht. Handbuch für die deutsche Rechtspraxis. 2. Aufl. Baden-Baden: Nomos, S. 1822–1906.
- Small, K., Van Dender, K. (2007): Long Run Trends in Transport Demand, Fuel Price Elasticities and Implications of the Oil Outlook for Transport Policy. Paris: OECD, International Transport Forum. JTRC Discussion Paper 2007-16.
- Small, K. A., Winston, C., Yan, J. (2005): Uncovering the Distribution of Motorists Preferences for Travel Time and Reliability. *Econometrica* 73 (4), S. 1367–1382.
- Sorrell, S., Lehtonen, M., Stapleton, L., Pujol, J., Champion, T. (2009): Decomposing road freight energy use in the United Kingdom. *Energy Policy* 37 (8), S. 3115–3129.
- Sprenger, R.-U., Arnold-Rothmaier, H., Kiemer, K., Pinterits, S., Wackerbauer, J. (2003): Entlastung der Umwelt und des Verkehrs durch regionale Wirtschaftskreisläufe. Berlin: Umweltbundesamt. UBA-Texte 67/02.
- SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen) (2011): Wege zur 100 % erneuerbaren Stromversorgung. Sondergutachten. Berlin: Erich Schmidt.
- SRU (2007): Klimaschutz durch Biomasse. Sondergutachten. Berlin: Erich Schmidt.
- SRU (2005): Umwelt und Straßenverkehr. Hohe Mobilität – Umweltverträglicher Verkehr. Sondergutachten. Baden-Baden: Nomos.
- Statistisches Bundesamt (2011a): Umweltökonomische Gesamtrechnungen. Transportleistungen und Energieverbrauch im Straßenverkehr 2000 – 2008. Ausgewählte Ergebnisse zum Methodenbericht. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Statistisches Bundesamt (2011b): Verkehr. Eisenbahn. Beförderungsmenge nach Hauptverkehrsrelation. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt. <http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Statistiken/Zeitreihen/LangeReihen/Verkehr/Content100/lrvkr001a,templateId=renderPrint.psml> (07.03.2012).
- Statistisches Bundesamt (2011c): Verkehrsleistung. Güterbeförderung. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt. <http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Statistiken/Verkehr/Gueterbefoerderung/Tabellen/Content75/Gueterbefoerderung,templateId=renderPrint.psml> (10.02.2012).
- Statistisches Bundesamt (2010a): Beförderte Gütermenge und Beförderungsleistung (Straßengüterverkehr): Deutschland, Jahre, Verkehrsart, Verkehrswege. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt. [http://opendatalabs.org/destatis/table\\_46231-0004.html](http://opendatalabs.org/destatis/table_46231-0004.html) (07.03.2012).
- Statistisches Bundesamt (2010b): Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Indikatorenbericht 2010. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Sternier, M. (2009): Bioenergy and renewable power methane in integrated 100% renewable energy systems. Li-

- miting global warming by transforming energy systems. Kassel, Universität Kassel, Dissertation.
- Storper, M. (1995): Territories, flows and hierarchies in the global economy. *Aussenwirtschaft* 50 (2), S. 265–293.
- Tapio, P. (2005): Towards a theory of decoupling: degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001. *Transport Policy* 12 (2), S. 137–151.
- Tapio, P., Banister, D., Luukkanen, J., Vehmas, J., Wilamo, R. (2007): Energy and transport in comparison: Immaterialisation, dematerialisation and decarbonisation in the EU15 between 1970 and 2000. *Energy Policy* 35 (1), S. 433–451.
- Teichmann, D., Arlt, W., Wasserscheid, P., Freymann, R. (2011): A future energy supply based on Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHC). *Energy & Environmental Science* 2011 (4), S. 2767–2773.
- Tol, R. S. J. (2005): The marginal damage costs of carbon dioxide emissions: an assessment of the uncertainties. *Energy Policy* 33 (16), S. 2064–2074.
- UBA (Umweltbundesamt) (2009): Daten zum Verkehr. Ausgabe 2009. Dessau-Roßlau: UBA.
- Uerpmann-Witzack, R. (2006): Verkehr. In: Isensee, J., Kirchhof, P. (Hrsg.): *Handbuch des Staatsrechts der Bundesrepublik Deutschland*. Bd. 4: Aufgaben des Staates. 3., völlig Neubearb. und erw. Aufl. Heidelberg: C. F. Müller, S. 783–809.
- UNECE (United Nations Economic Commission for Europe), FAO (Food and Agriculture Organization) (2002): *Forecasts of Economic Growth in OECD and Central and Eastern European Countries for the Period 2000–2040. A study prepared for the European Forest Sector Outlook Study (EFSOS)*. New York, Geneva: United Nations.
- Unruh, G. C. (2000): Understanding carbon lock-in. *Energy Policy* 28 (12), S. 817–830.
- Verny, J. (2007): The importance of decoupling between freight transport and economic growth. *European Journal of Transport and Infrastructure Research* 7 (2), S. 113–128.
- Watkiss, P., Downing, T., Handley, C., Butterfield, R. (2005): *The Impacts and Costs of Climate Change. Final Report*. London, Oxford: AEA Technology Environment, Stockholm Environment Institute.
- Watson, D., Herczeg, M., Acosta, J., Wittmer, D. (2011): *Key messages on material resource use and efficiency in Europe. Insights from environmentally extended input-output analysis and material flow accounts*. Copenhagen: European Topic Centre on Sustainable Consumption and Production. ETC/SCP working paper 3/2011.
- WBGU (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen) (2009): *Welt im Wandel. Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung*. Berlin: WBGU.
- Weitzman, M. L. (2010): *GHG Targets as Insurance Against Catastrophic Climate Damages*. Cambridge, Mass.: Harvard University, Department of Economics. Discussion Paper 10–42.
- Weitzman, M. L. (2009): On Modeling and Interpreting the Economics of Catastrophic Climate Change. *The Review of Economics and Statistics* 91 (1), S. 1–19.
- Winter, G. (2010): Lob des Flaschenhalses. Über Verkehrsbegrenzung durch Straßenplanungsrecht. In: Dolde, K.-P., Hansmann, K., Paetow, S., Schmidt-Assmann, E. (Hrsg.): *Verfassung – Umwelt – Wirtschaft. Festschrift für Dieter Sellner zum 75. Geburtstag*. München: Beck, S. 193–206.
- Wissenschaftlicher Beirat für Verkehr (2010): *Strategieplanung „Mobilität und Transport“*. Folgerungen für die Bundesverkehrswegeplanung. *Internationales Verkehrswesen* 62 (4), S. 20–29.
- Zentrum für Transformation der Bundeswehr (2010): *Streitkräfte, Fähigkeiten und Technologien im 21. Jahrhundert. Umweltdimensionen von Sicherheit. Teilstudie 1: Peak Oil: Sicherheitspolitische Implikationen knapper Ressourcen*. Strausberg: Zentrum für Transformation der Bundeswehr.
- Zimmer, W., Fritsche, U. (2008): *Klimaschutz und Straßenverkehr. Effizienzsteigerung und Biokraftstoffe und deren Beitrag zur Minderung der Treibhausgasemissionen*. Bonn: Friedrich-Ebert-Stiftung, Arbeitskreis Innovative Verkehrspolitik.