

Alternative Kraftstoffarten im Straßenverkehr

Dominika
Kalinowska
dkalinowska
@ diw.de

Der Pkw-Verkehr in Deutschland ist in den letzten Jahrzehnten ständig gestiegen. Auch künftig dürfte das Auto für den überwiegenden Teil der Bevölkerung eine unverzichtbare Rolle spielen. In Anbetracht der Endlichkeit der Erdölvorräte, deren Lage in oftmals politisch instabilen Regionen sowie der zunehmenden Klimabelastung aus dem weltweit weiter steigenden Straßenverkehr gewinnen alternative Antriebs- und Kraftstoffarten an Bedeutung.

Neben motortechnischen Effizienzverbesserungen werden kurz- und mittelfristig vor allem Biokraftstoffe und Erdgas ihren Anteil an der Energieversorgung im Verkehrsbereich steigern, damit aber konventionelle Kraftstoffarten nur teilweise ersetzen können. Langfristig wird die Lösung in der Nutzung von Wasserstoff als Energieträger gesehen, doch sind hier noch viele Fragen offen und entscheidende technische und infrastrukturelle Probleme ungelöst.

Energie- und umweltpolitische Herausforderungen im Straßenverkehr

Der motorisierte Verkehr auf Deutschlands Straßen hat in den vergangenen Jahrzehnten immer mehr zugenommen. Trotz spürbarer Preiserhöhungen bei Benzin und Diesel verliert der Pkw nicht an Beliebtheit bei der Wahl als individuelles Verkehrsmittel.¹ Da hier die Mobilität offensichtlich einen sehr hohen Stellenwert besitzt und Verkehrsvermeidungsstrategien nur sehr schwer durchzusetzen sind, ist es notwendig, den Verkehrssektor mittel- bis langfristig auf eine umweltfreundlichere, vor allem emissionsärmere, versorgungssichere und zugleich wirtschaftliche Energiebasis zu stellen.

Dringender Handlungsbedarf besteht insbesondere zur Verringerung von Treibhausgasemissionen. Dazu sind zwar erste verbindliche Ziele mit dem inzwischen ratifizierten Kyoto-Protokoll vereinbart worden,² doch wird dies nicht ausreichen, um den befürchteten Klimawandel aufzuhalten. Daher werden weiter gehende Emissionsminderungsziele unabdingbar sein. Dazu wird auch der Verkehr seinen Beitrag leisten müssen, dessen besondere Klimaschutzpolitische Relevanz sich schon daraus ergibt, dass er in Deutschland mit einem Anteil an den gesamten energiebedingten CO₂-Emissionen von rund einem Fünftel (2003) der zweitgrößte Emittent ist – nach dem Energiesektor, aber noch deutlich vor dem produzierenden Gewerbe und den privaten Haushalten (Abbildung 1).³

¹ Vgl. dazu auch Jutta Kloas, Hartmut Kuhfeld und Uwe Kunert: Straßenverkehr: Eher Ausweichreaktionen auf hohe Kraftstoffpreise als Verringerung der Fahrleistungen. In: Wochenbericht des DIW Berlin, Nr. 41/2004, S. 602–612.

² Vgl. dazu auch Hans-Joachim Ziesing: Nach wie vor keine sichtbaren Erfolge der weltweiten Klimaschutzpolitik. In: Wochenbericht des DIW Berlin, Nr. 37/2004.

³ Immerhin ist seit 1999 eine leichte absolute wie relative Emissionsminderung zu konstatieren.

72. Jahrgang/2. Februar 2005

2. Bericht

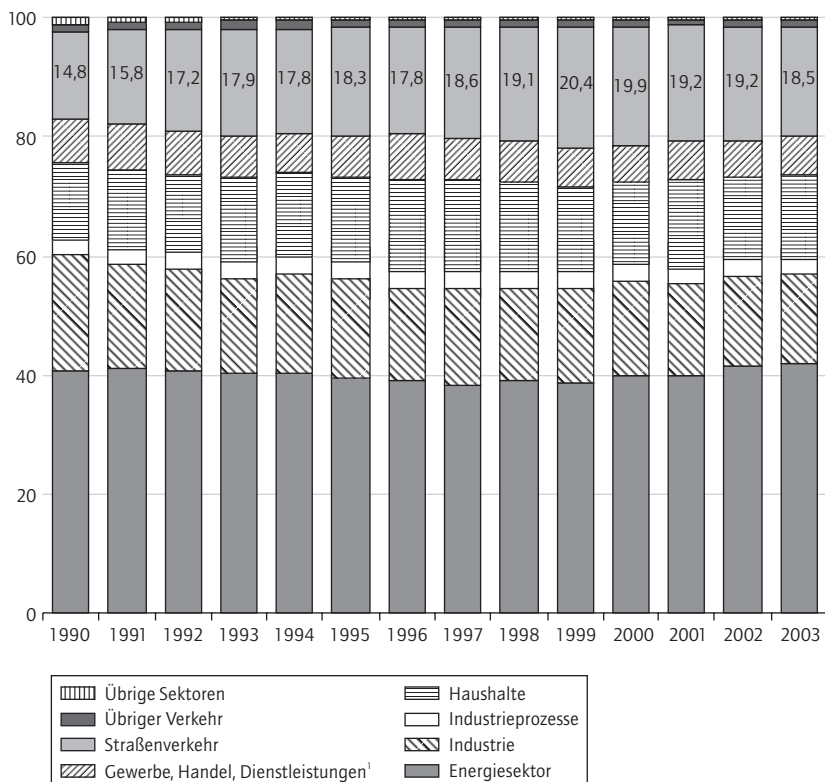
Alternative Kraftstoffarten im Straßenverkehr

Seite 87

Abbildung 1

Energiebedingte CO₂-Emissionen (nicht temperaturbereinigt) in Deutschland 1990 bis 2003 nach Sektoren

Verteilung nach Emittentengruppen in %



Quellen: Umweltbundesamt; Berechnungen des DIW Berlin.

DIW Berlin 2005

Die umweltpolitisch motivierte Zielsetzung, Mineralölprodukte durch Kraftstoffalternativen wie Erdgas, Biomasse oder Wasserstoff (zusammen mit den entsprechenden Bereitstellungstechnologien sowie Antriebsvarianten – besonderes Augenmerk liegt hier auf Brennstoffzellen sowie Hybridantrieben) zu ergänzen oder zu ersetzen, hat auch eine energiepolitische Komponente. Gemeint ist damit die längerfristig angestrebte Abkoppelung von den prinzipiell begrenzten und überwiegend über Importe aus politisch instabilen Regionen bereitgestellten Ölvorkommen, von denen der Verkehrssektor in Deutschland zu rund 97% abhängig ist.⁴

Die verkehrswirtschaftliche Energiestrategie

Vor diesem Hintergrund haben Unternehmen der Automobil- und Energiewirtschaft mit Beteiligung der Bundesregierung die Projektgruppe „Verkehrswirtschaftliche Energiestrategie“ (VES) initiiert, deren Aufgabe es war, Lösungen für die Umsetzung der gemeinsamen umwelt- und energiepolitischen

Ziele zu entwickeln.⁵ Dabei geht es insbesondere um die Suche nach geeigneten Kraftstoffalternativen.

Im Rahmen der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie 2004 der Bundesregierung hat die VES als Mitglied in der Expertengruppe „Kraftstoffmatrix“ eine umfangreiche Potentialanalyse für die Verwendung von acht unterschiedlichen Kraftstoffarten für die Zeithorizonte bis 2010 und 2020 durchgeführt, von der die weitere Diskussion maßgeblich geprägt wird.⁶

Für die Kraftstoffstrategie wurden der Analyse folgende Ziele zugrunde gelegt:

- Verringerung der Erdölabhängigkeit zur Erhöhung der Versorgungssicherheit,
- Reduktion verkehrsbedingter Treibhausgasemissionen zur Verbesserung des Klimaschutzes,
- Identifizierung jener alternativen Kraftstoffe sowie Antriebe, die die höchsten Mengenpotentiale unter Berücksichtigung von Innovations- und Wirtschaftlichkeitsaspekten aufweisen, und schließlich
- Bestimmung und programmatische Darstellung des Handlungsspielraums zur Weiterentwicklung und Realisation ausgewählter Alternativen.

Der Leitfaden der Expertengruppe berücksichtigt die Kriterien Klimarelevanz, Verfügbarkeit bzw. Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit, wobei das erstgenannte Kriterium als Ergebnis einer Energiepfadanalyse von der Primärenergiequelle (*Well*) bis zur Nutzung des bereitgestellten Kraftstoffes im Fahrzeugantrieb (*Wheel*) in die Bewertung eingeflossen ist. Nur eine umfassende Auswertung des jeweils gesamten Fahrzeug-, Antriebs- und Kraftstoffkonzepts, von der Produktion über

⁴ Vgl. hierzu Richtlinie 2003/30/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Mai 2003 zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor unter www.europa.eu.int/eur-lex/pri/de/oj/dat/2003/L_123/L_12320030517de00420046.pdf; Weißbuch der Europäischen Kommission: Die europäische Verkehrspolitik bis 2010: Weichenstellung für die Zukunft. Amtsblatt der Europäischen Union L 123/42 vom 17. Mai 2003.

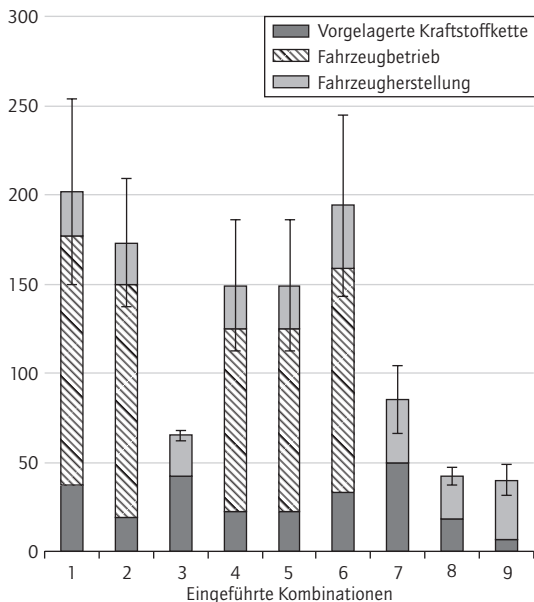
⁵ Die VES ist eine seit Mai 1998 bestehende Initiative der Automobilunternehmen BMW, DaimlerChrysler, General Motors Europe (Opel), MAN und Volkswagen sowie der Energieunternehmen ARAL, BP, RWE, Shell und TotalFinaElf, die von der Bundesregierung federführend durch das Bundesministerium für Verkehrs-, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW) unterstützt wird (vgl. www.bmvbw.de/Mobilitaet-643.2458/.htm, 10. 10. 2004).

⁶ Vgl. dazu auch den Bericht der Unterarbeitsgruppe „Kraftstoffmatrix“ zum „Matrixprozess“. In: Perspektiven für Deutschland – Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. Fortschrittsbericht 2004, Kapitel E, Abschnitt III: Die Kraftstoffstrategie – Alternative Kraftstoffe und innovative Antriebe. Berlin 2004.

Abbildung 2

Vergleich der Emissionen verschiedener Antriebs-/Kraftstoffkombinationen

Klimagasemissionen (CO₂-Äquivalent) in g/km



Zugrunde gelegt ist ein Pkw der Golf-Klasse.

Antriebs-/Kraftstoffkombinationen

Eingeführte Kombinationen

- 1 Benzin aus Rohöl im Verbrennungsmotor
- 2 Diesel aus Rohöl im Verbrennungsmotor
- 3 Diesel aus Restholz im Verbrennungsmotor
- 4 Druckerddgas im Verbrennungsmotor

Kombinationen in Erprobung

- 5 Flüssigerddgas (Import) im Verbrennungsmotor
- 6 Benzin aus Rohöl und Brennstoffzelle
- 7 Ethanol aus Zuckerrüben und Brennstoffzelle
- 8 Flüssigwasserstoff aus Windkraft und Verbrennungsmotor
- 9 Druckwasserstoff aus Windkraft und Brennstoffzelle

Quellen: L-B-System-Technik GmbH;
Berechnungen des DIW Berlin.

DIW Berlin 2005

den Betrieb bzw. Verbrauch und gegebenenfalls bis zur Wiederverwertung ermöglicht eine Abschätzung des tatsächlichen kumulierten Energieaufwandes und der Treibhausgasemissionen (Abbildung 2).⁷ Alle Kriterien wurden in einer Auswertungsmatrix anhand ökologischer und volkswirtschaftlicher Kennziffern konkretisiert und systematisiert. Zu den evaluierten Kraftstoffmerkmalen zählen z. B. das Treibhausgasreduktionspotential, die Bereitstellungskosten sowie die Möglichkeit zur Nutzung der vorhandenen Betankungsinfrastruktur.⁸

Aus der Fülle der Bewertungsergebnisse lassen sich die folgenden Aussagen über die zukunftsfähigsten Kraftstoffpotentiale ableiten.

Perspektiven alternativer Kraftstoffe

Nach den Ergebnissen der Potentialanalysen wird sich die Kraftstoffmarktstruktur bis 2010 insbesondere im Hinblick auf die Anteile alternativer Kraftstoffe gegenüber heute nur wenig verschieben. Dabei scheidet eine schnellere Marktdurchdringung von bereits angebotenen Kraftstoffalternativen wie Erdgas (CNG) und Autogas (LPG) am schleppenden Ausbau der Versorgungsinfrastruktur bzw. an der Erschließung von neuen Bereit- und Herstellungskapazitäten. Vergleichbares gilt für Biokraftstoffe wie Biodiesel und Bioethanol sowie für die synthetischen Designer-Kraftstoffe wie *Biomass-to-Liquid*- oder *Gas-to-Liquid*-Kraftstoffe (BTL oder GTL).⁹ Die Expertengruppe geht davon aus, dass die in der EU künftig bereitgestellten Mengenpotentiale für die genannten Biokraftstoffe nicht ausreichen (obwohl sie im Wesentlichen nur als Beimischungen eine Zukunft haben), um die Zielsetzung der Union zu erfüllen, deren Anteil bis auf 5,75 % des gesamten Kraftstoffverbrauchs bis 2010 zu erhöhen.¹⁰

Um sich den vereinbarten Reduktionszielen der Treibhausgasemissionen zu nähern, wird man in den kommenden fünf Jahren primär auf eine weitergehende Verbrauchsminderung durch Effizienzsteigerungen bei den konventionellen Antriebsarten bauen müssen.¹¹ Mit ihrer Selbstverpflichtungser-

⁷ Zur Beurteilung des Energieverbrauchs bzw. der CO₂-Emissionen sowie der Performanz der jeweiligen Antriebstechnologie in der gesamten *Well-to-Wheel*-Phase (ursprünglich „vom Bohrloch bis zum Rad“) ist die Einbeziehung variierender Fahrzyklen von entscheidender Bedeutung. Des Weiteren können physische Fahrzeugmerkmale, z. B. das Gewicht je nach Karosserievariante, durchaus unterschiedliche Einflüsse auf den Kraftstoffverbrauch haben. Vergleichbares gilt für die jeweils unterstellten Antriebs- bzw. Fahrzeugtechnologien, wo es durchaus zweckmäßig ist, die realisierten Energiepfade zu evaluieren.

⁸ Zwei weitere Aspekte verdienen es, im Zusammenhang mit der Nachhaltigkeit- bzw. der Kraftstoffstrategie genannt zu werden. Zum einen darf bei der Bewertung einzelner Kraftstoffalternativen nicht vernachlässigt werden, dass diese nicht selten mit dem Strom- und Wärmesektor um knappe Energiequellen im Wettbewerb stehen. Das führt dazu, dass bei der Gesamtbeurteilung der alternative Energieeinsatz unter dem Effizienzgesichtspunkt mitbetrachtet werden muss. Zum anderen wird bei der Begutachtung alternativer Kraftstoffe und Antriebsarten auf das immanente Innovationspotential bezüglich möglicher Beschäftigungs- und Wachstumseffekte hingewiesen. Besonders präsent ist dieses Begleitargument bei der Diskussion um biogene Kraftstoffe, deren Anbau – trotz des umstrittenen negativen Effekts des Flächenverbrauchs – als „Rettungsanker“ für den nationalen Agrarsektor zitiert wird.

⁹ Bei den synthetischen Designer-Kraftstoffen handelt es sich um aus regenerativen Quellen erzeugte Kraftstoffarten. Dabei werden biogene Ressourcen wie Biomasse aus Restholz mittels thermo-chemischer Vergasung, Reinigung und Konditionierung des gewonnenen Gases und im letzten Schritt über Synthese in flüssigen Kraftstoff umgewandelt (vgl. Bericht der Unterarbeitsgruppe „Kraftstoffmatrix“ zum „Matrixprozess“, a. a. O., S. 3–20 f.).

¹⁰ Vgl. hierzu Richtlinie 2003/30/EG, a. a. O. Die Wahrscheinlichkeit, dass Deutschland 2005 das Ziel der EU, den Anteil biogener Kraftstoffe am Gesamtkraftstoffverbrauch auf 2 % zu erhöhen, realisieren kann, wird derzeit als sehr hoch angesehen (vgl. Bericht der Unterarbeitsgruppe „Kraftstoffmatrix“ zum „Matrixprozess“, a. a. O., S. 4–31).

¹¹ Derzeit fährt ein durchschnittliches benzinbetriebenes Kraftfahrzeug mit einem Wirkungsgrad zwischen 13,4 % und 14,7 %, was schätzungsweise ein Drittel unter dem liegt, was technisch realisierbar wäre (21 %). Vgl. L-B-System-Technik GmbH: Endbericht: Vergleich verschiedener Antriebskonzepte im Individualverkehr im Hinblick auf Energie- und Kraftstoffeinsparungen. Ottobrunn 2002, S. 5–27 (www.lbst.de).

Kasten

Alternative Kraftstoffe und Antriebsarten

Wasserstoff

Wasserstoff ist keine Energiequelle, sondern muss erst auf der Basis anderer Energieträger erzeugt werden. Insofern handelt es sich um keinen Primärenergieträger. Eine Möglichkeit besteht in der Zerlegung von Wasser mithilfe der Elektrolyse. Die in diesem Prozess zugeführte elektrische Energie wird vom Wasserstoff als Träger übernommen. Der so gewonnene Wasserstoff kann später in einer „kalten Verbrennung“ in der Brennstoffzelle mit Sauerstoff reagieren, die zu seiner Erzeugung eingesetzte Energie zum Antrieb eines Elektromotors wieder freisetzen oder nach vorangegangener Verflüssigung direkt in einem konventionellen Motor mit Abgasnachbehandlung verbrannt werden. Das Reaktionsprodukt ist Wasser statt CO₂. Die Besonderheit von Wasserstoff gegenüber anderen alternativen sowie konventionellen Kraftstoffarten besteht primär in der Vielfalt seiner Herstellungsoptionen. Werden zur Produktion von Wasserstoff fossile und nicht regenerative Energiequellen verwendet, ergeben sich kaum ökologische Vorteile, da im Vergleich zur direkten Verbrennung im Motor erhebliche Umwandlungs- und Transportverluste entstehen.¹

Ein weiterer Aspekt in der Wasserstofftechnologie ist die Speicherung des zunächst gasförmigen Energieträgers. Die dabei überwiegend eingesetzten Verfahren sind Komprimierung in Druckbehältern oder Verflüssigung mittels Abkühlung.²

Im mobilen Bereich tendiert die Entwicklung der Speichertechnologien hin zu flüssigem Wasserstoff (*liquid hydrogen*), der in Kryotanks oder Kryospeichern gelagert wird. Nachteilig ist hierbei der zur Verflüssigung oder Komprimierung des Wasserstoffs notwendige Energieaufwand.³

Erdgas

Erdgas ist wie Benzin oder Diesel ein fossiler Energieträger, weist aber einen niedrigeren spezifischen Kohlenstoffgehalt als die beiden konventionellen Kraftstoffe auf. Erdgasfahrzeuge gibt es überwiegend als die bivalente Variante; sie können also sowohl mit Erdgas als auch mit Benzin angetrieben werden. Motor-technisch sind sie mit konventionellen Kraftfahrzeugen vergleichbar und können mittlerweile unter dem Aspekt Tankreichweite, Leistungsverhalten oder Sicherheit mit Diesel-Pkw oder Benzinern konkurrieren. Vorteile weisen sie auch in Bezug auf die Kosten, geringere Emissionswerte und einen geräuschärmeren Motorbetrieb auf.⁴ Des Weiteren ist die Motortechnik von Erdgasfahrzeugen so ausgelegt, dass sie gleichzeitig mit aus erneuerbaren Ressourcen erzeugtem Bio-Methan angetrieben werden können.⁵ Durch die Anbringung moderner Unter- oder Niederflurgastanks ist bei den neuen Gasfahrzeugmodellen eine uneingeschränkte Nutzung des Fahrzeuginnenraums und des Kofferraums möglich.

Biodiesel

Bevor mit einem konventionellen Dieselmotor reiner Biodiesel getankt werden kann, muss der Motor vom Hersteller auf einen solchen Betrieb ausgelegt und für diesen freigegeben worden sein. Nach Schätzungen gibt es derzeit in Deutschland 2,5 bis 3 Mill. solcher „Biodieselfahrzeuge“⁶ Einige Hersteller wie die VW AG erteilen seit dem Modelljahr 1995 eine serienmäßige Freigabe für ihre Dieselfahrzeuge, da die aktuell noch geltenden Abgasgrenzwerte ohne technische Zusatzmaßnahmen auch bei der Betankung

1 Ein Vorteil hierbei könnte lediglich sein, dass die CO₂-Emissionen zentral am Ort der Produktionsstätte anfallen, was theoretisch ein Auffangen des schädlichen Treibhausgases und seine spätere Entsorgung ermöglicht. Allerdings besteht auch hinsichtlich der CO₂-Entsorgung derzeit noch erheblicher Forschungs- und Weiterentwicklungsbedarf. Der Umweltvorteil von Wasserstoff hängt also entscheidend von der Art der Wasserstoffherstellung ab.

2 Zur Speicherung kann der Wasserstoff auch in Metallhydriden oder Kohlefaserröhren – auch Nanotubes genannt – gebunden werden.

3 Für weitere Informationen zu den Themen Herstellung und Speicherung von Wasserstoff vgl. www.diebreinstoffzelle.de/wasserstoff/herstellung/index.shtml, www.diebreinstoffzelle.de/wasserstoff/speicherung.shtml sowie www.diebreinstoffzelle.de/downloads/index.shtml, 25.01.2005.

4 Die Reichweite eines monovalenten Erdgasfahrzeuges beträgt mit einer Tankfüllung heute in der Regel über 600 km. Bei bivalent ange-

triebenen Fahrzeugen erreicht die Gastankreichweite etwa 450 km und wird durch die zusätzliche Benzintankreichweite von rund 150 km erweitert. Im Vergleich dazu liegen bei Flüssiggasfahrzeugen die durchschnittlichen Tankfüllungreichweiten bei 120 bis 150 km (vgl.: Das Erdgasfahrzeug, <http://62.138.193.41/cgi-bin/WebObjects/Erdgas2004.woa/1/wa/DirectoryWithId/1000029.html?wosid=JQ6DKf3kf48zhLY6xNZOxw>, 25.01.2005).

5 Biomethan ist aufgrund seiner Klimaneutralität und der biogenen Quelle in Deutschland von der Mineralölsteuer befreit (vgl. Richtlinie 2003/30/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Mai 2003 zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor unter http://europa.eu.int/eur-lex/pri/de/oj/dat/2003/L_123/L_12320030517de00420046.pdf).

6 Vgl. Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e. V., www.ufop.de/3567.htm, 25.01.2005.

mit Biodiesel erreicht werden können. Mit dem Inkrafttreten der verschärften EU-Abgasnormen (die ab 2005 bzw. 2008 gelten) und den damit einhergehenden veränderten technischen Rahmenbedingungen wird die serienmäßige Freigabeerteilung zwangsläufig auslaufen. Eine Freigabe für Biodiesel wird von diesem Zeitpunkt an nur noch mit einer zusätzlichen technischen Ausstattung gegen Aufpreis möglich sein, was das ursprüngliche Kundenpotential für Biodiesel stark beeinflussen wird.⁷

Hybridfahrzeuge

Auf dem Markt existieren bereits erste Hybridfahrzeuge, bei denen Verbrennungs- und Elektromotor angepasst an die jeweiligen Fahrbedingungen abwechselnd oder gemeinsam als Antrieb fungieren. Durch die Existenz zweier unterschiedlicher Antriebsarten kann die Energieverfügbarkeit und -effizienz verbessert werden. Bei der Verknüpfung der Antriebsarten gibt es die Kombination eines Elektromotors sowohl mit einem Otto- wie auch mit einem Dieselmotor. Der Vorteil dieser Ausrüstung mit gleichzeitig zwei Antriebstechnologien ist in einem geschätzten Kraftstoffeinsparpotential von bis zu 30 % zu sehen, das unter anderem durch die Wiedergewinnung und Speicherung der beim Bremsen frei werdenden Energie ermöglicht wird. Die Hybridtechnologie könnte sich als günstige Übergangs- und Markteintrittsstrategie für alternative Antriebe und Kraftstoffe erweisen.

⁷ Vgl. Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e. V., www.ufop.de/3178, 25.01.2005.

klärung ist die Automobilwirtschaft bereits einen ersten Schritt in die erwünschte Richtung gegangen.¹²

Gleichwohl wird die bisher absehbare Entwicklung verbrauchseffizienter Motoren und Treibstoffe angesichts steigender Fahrleistungszahlen im motorisierten Individualverkehr und des Trends hin zu leistungsstärkeren Fahrzeugen für den Straßenverkehr nicht ausreichen, ohne zusätzliche Anstrengungen einen wesentlichen Beitrag zu den für Deutschland vereinbarten CO₂-Reduktionszielen zu leisten.¹³

Auch langfristig müssen die Bemühungen um Effizienzsteigerungen fortgesetzt werden, zumal selbst für den Zeithorizont bis 2020 von der Untergruppe „Kraftstoffmatrix“ nur eine verhaltene Entwicklung alternativer Kraftstoffe erwartet wird. Dabei wird für Erdgas (CNG) und Autogas (LPG) eine Ausweitung des Marktanteils auf bis zu 5 %, verbunden mit einer Treibhausgasreduktion um etwa 2 %, als wahrscheinlich erachtet. Als Erweiterung oder Ersatz von Erdgas wird komprimiertes Methan (CMG) aus Biogas mit einem Mengenpotential von 2 bis 4 % genannt.¹⁴

Wasserstoff hat den Vorteil, weitgehend emissionsfrei zu sein. Der Vorteil kommt voll zum Tragen, wenn auch seine Herstellung auf der Basis regenerativer Energiequellen erfolgt (Kasten). Der großtechnische Einsatz von Wasserstoff ist noch mit Unsicherheiten bei der künftigen Entwicklung der dazu erforderlichen Technologien verbunden. Dies stellt die Marktfähigkeit der Wasserstoffwirtschaft im mobilen Bereich noch bis 2020 infrage. Von

einigen Kraftstoffexperten wurde aus Kostenerwägungen diskutiert, zunächst den Einsatz des Energieträgers in Verbrennungsmotoren voranzutreiben und für die damit entstehende Nachfrage die notwendige Angebotsinfrastruktur aufzubauen. Damit könnte der Übergang auf die effizienteren – allerdings noch nicht marktreifen – Brennstoffzellentechnologien erleichtert werden.

Wasserstoffwirtschaft im Verkehrsbereich – Entwicklungsstand heute

Die unter klimapolitischen Gesichtspunkten wichtigsten Herstellungsoptionen von Wasserstoff basieren auf regenerativen Rohstoffquellen, weil nur

¹² Laut Selbstverpflichtung der deutschen Automobilindustrie gegenüber der Bundesregierung soll der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch der von deutschen Herstellern ab 2005 auf den Markt gebrachten Fahrzeuge um 25 % gegenüber 1990 reduziert werden. Des Weiteren gibt es eine Selbstverpflichtung der europäischen Automobilhersteller (Association des Constructeurs Européens d'Automobiles, ACEA), die mittleren CO₂-Emissionen neu zugelassener Pkw von 187 g/km im Jahre 1995 um 25 % auf 140 g/km im Jahre 2008 zu vermindern (vgl. Umweltdaten Deutschland Online, Umweltbundesamt, www.env-it.de/umweltdaten/jsp/index.jsp?content=%2Fumweltdaten%2Fjsp%2Fquestionnaire.jsp%3Fevent%3Dshow%26ident%3D2083, 23.09.2004).

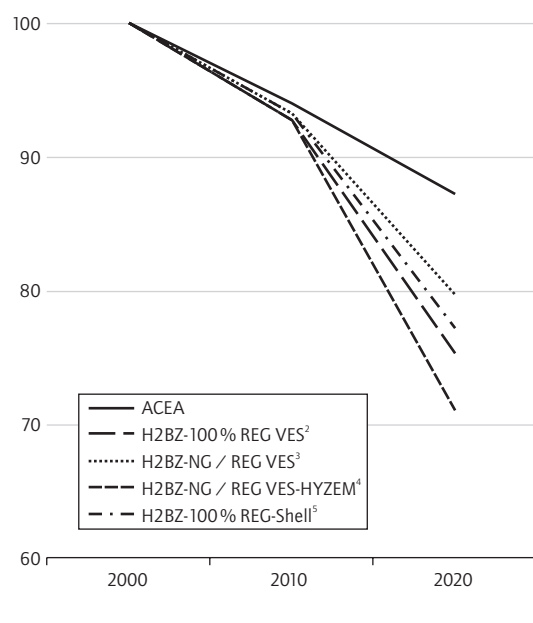
¹³ Nach Berichten der Association des Constructeurs Européens Automobiles (ACEA) konnten im Zeitraum 1995 bis 2000 zwar die CO₂-Emissionen pro erstmals neu zugelassenes Fahrzeug von durchschnittlich 186 g/km auf 169 g/km von den Automobilherstellern verringert werden, zugleich hat aber bei den Käufern ein Trend hin zur Anschaffung von immer massiveren Fahrzeugen mit höherer Motorleistung und größerem Hubraum eingesetzt. Damit fällt der derzeit erreichte Wirkungsgrad insgesamt schlechter aus, als nach technischem Potential möglich wäre (vgl. Endbericht, a. a. O.).

¹⁴ Für Einschätzungen künftiger Entwicklungen im Verkehrsbereich vgl. auch Rainer Hopf und Ulrich Voigt: Tendenzen der Verkehrsnachfrage, des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen im Zeitraum 2050. In: Verkehr, Energieverbrauch, Nachhaltigkeit, Umwelt und Ökonomie, Bd. 36. Heidelberg 2004, S. 143 ff.

Abbildung 3

Entwicklungsszenarien der CO₂-Äquivalent-Emissionen im Pkw-Verkehr in Deutschland (H2BZ-Szenarien: Wasserstoff-Brennstoffzellen-Pkw-Szenarien)

Reduktion gegenüber 1990 in %



- 1 Basisszenario (Europäischer Verband der Automobilhersteller).
- 2 Verkehrswirtschaftliche Energiestrategie (VES), 100% regenerative Energie (H2BZ-100% regenerative Energie – VES).
- 3 VES, 50% regenerative Energie und 50% Erdgas (H2BZ-Erdgas und regenerative Energie – VES).
- 4 VES – Hybrid Technology Approaching. Efficient Zero Emission, 50% regenerative Energie und 50% Erdgas (H2BZ-Erdgas und regenerative Energie – VES-HYZEM).
- 5 Shell, 100% regenerative Energie (H2BZ-100% regenerative Energie – Shell).

Quelle: L-B-System-Technik GmbH.

DIW Berlin 2005

dies nachhaltige Potentiale zur Reduktion des CO₂-Ausstoßes sowie zur Minderung der Energieversorgungsrisiken eröffnen könnte (Abbildung 3).¹⁵

Der Wasserstoffeinsatz im Verkehrsbereich ist heute schon technisch machbar. Das zeigen die in international durchgeführten Pilot- und Demonstrationsprojekten präsentierten Busse, Pkw und Kleintransporter, die mit unterschiedlichen Wasserstoffversorgungstechnologien, einem Brennstoffzellenantrieb, aber auch einem konventionellen Verbrennungsmotor ausgestattet waren. Dennoch sind die bisher entwickelten Verfahren zur Wasserstoffherstellung, -speicherung und zum -vertrieb noch in der Entwicklung oder stark optimierungsbedürftig und weit von der Wirtschaftlichkeit entfernt. Daher kann heute noch nicht von der Marktreife dieser Systeme gesprochen werden. Vergleichbares gilt für die alternativen Antriebstechnologien, etwa den über Brennstoffzellen versorgten Elektroantrieb.

Große Hoffnungen werden derzeit daher in den Einsatz von wasserstoffbetriebenen Automobilen im depotgestützten Nutzfahrzeugsegment gesetzt. Hier existieren am ehesten günstige Betriebsbedingungen hinsichtlich der Wartung und Betankung der Fahrzeuge – der Aufbau einer flächendeckenden Netzstruktur ist nicht erforderlich.¹⁶

Was Erdgas und Biodiesel derzeit attraktiv macht

Kurz- und mittelfristig werden von den diskutierten Kraftstoffalternativen in erster Linie Erdgas und Biodiesel eine Rolle spielen. Die 2003 beim Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) gemeldeten rund 19 800 mit Gas angetriebenen Pkw fallen allerdings mit einem Anteil von 0,5% am Pkw-Gesamtbestand kaum ins Gewicht. Bemerkenswert ist aber die dynamische Entwicklung, denn 1997 waren erst rund 1 750 Fahrzeuge gemeldet (Abbildung 4). Neben dem Umweltvorteil des Erdgases von bis zu 30% geringeren Treibhausgasemissionen gegenüber dem Ottokraftstoff (Vergleich in g/km) wird dem flüchtigen Energieträger eine besondere Bedeutung als Übergangskraftstoff bei der Umstellung der Energieversorgung (insbesondere der Verteilungsinfrastruktur) von endlichen auf regenerative Quellen und allen voran auf Wasserstoff zugeschrieben.

Die bisherige Attraktivität von Biodiesel lässt sich an der Erhöhung des Biodieselverbrauchs von 10 000 Tonnen im Jahre 1993 auf etwa 1 Million Tonnen im Jahre 2004¹⁷ und dem sich deutschlandweit verdichteten Tankstellennetz für den Biokraftstoff von rund 250 (1994) auf derzeit 1 400 Zapfsäulen ablesen.¹⁸

Der entscheidende Faktor bei der Ausbreitung von Erdgas und Biodiesel ist ihr Preisvorteil gegenüber den konventionellen Benzinarten sowie dem mineralölbasierten Dieselmotor. Dieser Vorteil beruht aber hauptsächlich auf den jeweiligen staat-

¹⁵ Für ausführliche Informationen zu Bereitstellungspfaden von Wasserstoff vgl. Deutscher Wasserstoff-Verband, www.dwv-info.de/publikationen/2003/tanknetz.pdf, www.hyweb.de/indexd.html (10. 12. 2004) sowie www.hynet.info/hydrogen_e/index00.html (10. 12. 2004).

¹⁶ Zu den genannten Fahrzeugeinsatzformen zählen beispielsweise Lieferdienste oder Bus- und Taxiflotten, bei denen die Automobile in aller Regel regelmäßig zu einem zentralen Standort zurückkehren, wo sie mit dem unkonventionellen Kraftstoff versorgt werden können und somit zum einen nicht auf eine ausgebaute Tankstelleninfrastruktur angewiesen sind, und sich zum anderen nicht im Langstreckenbetrieb bewähren müssen.

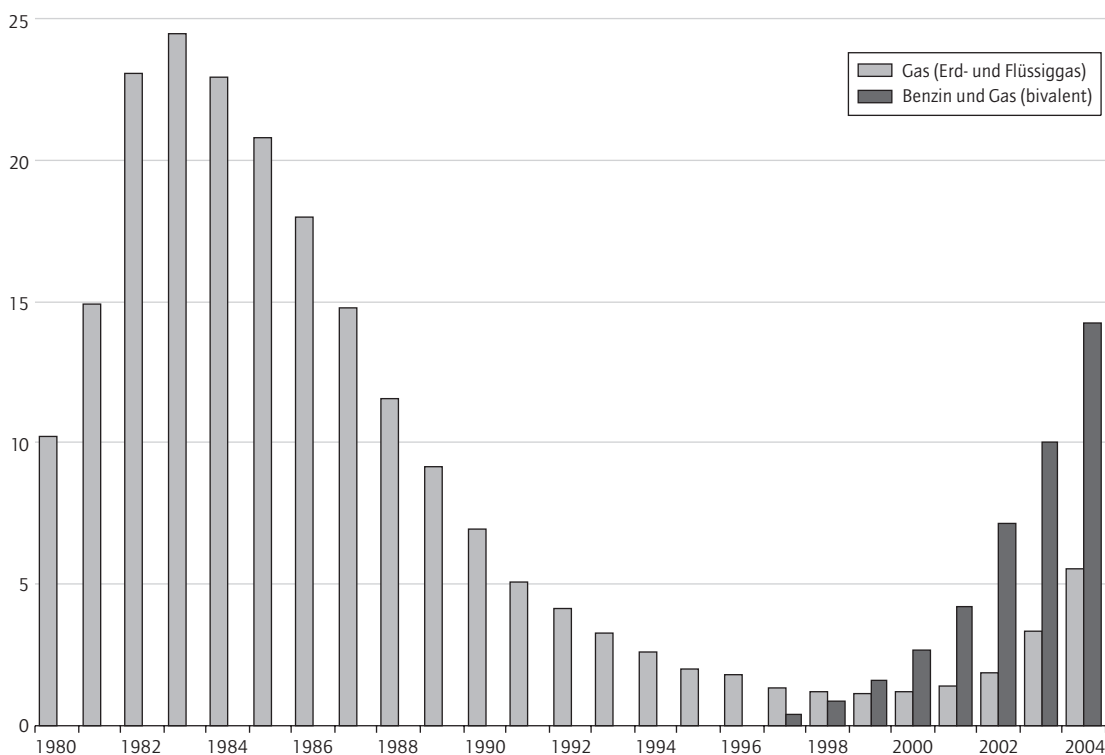
¹⁷ Schätzwert des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) vom November 2004.

¹⁸ Trotz der rückblickend positiven Entwicklung von Biodieselabsatzmengen als Kraftstoff hängt seine Perspektive von den ab 2005 bzw. 2008 neu geltenden motor- und abgastechischen Anforderungen der EU ab (vgl. Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e. V., www.ufop.de/3178, 25. 01. 2005).

Abbildung 4

Gemeldeter Pkw-Bestand in Deutschland 1980 bis 2004

Gasantrieb: mono- und bivalent, in Tausend Pkw



Quellen: Kraftfahrt-Bundesamt; Berechnungen des DIW Berlin.

DIW Berlin 2005

lichen Fördermaßnahmen in Form von zeitlich befristeten Steuervergünstigungen.¹⁹

Den relativ geringen variablen Kosten stehen nicht selten höhere Anschaffungspreise oder Aufpreise für eine Nachrüstung gegenüber. Deshalb fördert die Bundesregierung ebenfalls die Anschaffung von Erdgasfahrzeugen oder Investitionen in den Ausbau des Erdgastankstellennetzes über zinsvergünstigte Kredite für Gewerbetreibende. Neben dieser bundesweiten Förderung existieren diverse Programme einzelner Bundesländer sowie die finanzielle Unterstützung zahlreicher lokaler Gasversorgungsunternehmen, die sich primär auf die Anschaffungskosten konzentrieren und tendenziell in vereinzelt Regionen – anstatt flächendeckend – implementiert werden.²⁰ Dies gilt allerdings nicht für Biodiesel-Fahrzeuge, für deren Anschaffung es keine Förderung gibt.

Fazit

Der Straßenverkehr, insbesondere der motorisierte Individualverkehr, steht vor großen energie- und umweltpolitischen Herausforderungen. Trotz des nach außen kommunizierten Konsenses aller Betei-

ligten über die Notwendigkeit der Reduktion der Treibhausgasemissionen beim Energieverbrauch im Verkehr sowie einer stärkeren Diversifizierung bei den Versorgungsressourcen ist die Art und Weise der Umsetzung diskutierter Handlungsszenarien bzw. Energieversorgungsalternativen noch weitgehend offen.

Die angestrebte Verbesserung der Energieeffizienz der Fahrzeugantriebe wie der konventionellen Kraftstoffe reicht allein weder für eine nachhaltige Abkoppelung vom Mineralöl noch für einen wesentlichen Beitrag zur Minderung der Treibhausgasemissionen aus. Abgesehen von möglichen Strategien zur Verkehrsvermeidung wird die Suche nach alternativen Kraftstoffen, die dem Postulat

¹⁹ Als Genehmigungsgrundlage für Ermäßigungen bei der Mineralölsteuer dient der Kostenvorteil bei der Herstellung von konventionellen gegenüber unkonventionellen Kraftstoffarten. Die Steuersatzermäßigung bei Flüssiggas ist bis zum 31. Dezember 2009 und bei Erdgas bis 31. Dezember 2020 befristet. Die Mineralölsteuerbefreiung für Biodiesel und andere biogene Kraftstoffe – ob als Beimischung oder in reiner Form – läuft Ende 2020 aus (vgl. Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e. V., www.ufop.de/3233.htm, www.bundesfinanzministerium.de/Service/Lexikon-Steuern-A-Z-580.1378/Lexikon/Mineraloelsteuer.htm?abc=M, 25. 01. 2005).

²⁰ Vgl.: Das Erdgasfahrzeug, <http://62.138.193.41/cgi-bin/WebObjects/Erdgas2004.woa/1/wa/DirectoryWithId/1000139.html?wosid=JQ6DKf3kf48zhY6xNZOxw>, 25. 01. 2005.

der Energieversorgungssicherheit und der Klimaverträglichkeit genügen, auch in Zukunft nicht an Relevanz verlieren.

Mit Blick auf die Alternativkraftstoffe sind unterschiedliche Zeitperspektiven zu beachten: Kurz- und mittelfristig handelt es sich dabei vornehmlich um Erdgas und Biodiesel. Der Wasserstoff, der heute schon von manchen als vor dem Durchbruch stehend gesehen wird, dürfte schon aus Kostengründen erst längerfristig eine Rolle spielen.

Ein weiterer Aspekt, der über den Erfolg ausgewählter alternativer Kraftstoffe (insbesondere von Wasserstoff) sowie unkonventioneller Antriebsarten (z. B. Brennstoffzelle) entscheidet, ist die Frage nach ihren derzeitigen und künftigen Her- bzw. Bereitstellungskosten. Dabei ist auch die schwer vorzuschätzende Kostenentwicklung fossiler

Kraftstoffe mit in das Bewertungskalkül einzubeziehen. Vom Demonstrationsobjekt bis zur serienmäßigen Marktreife steht dem Einzug der Wasserstoffwirtschaft in den Fahrzeugbereich wohl noch ein langer Weg bevor, der neben den großen noch zu bewältigenden technologischen Herausforderungen – wie die weitflächige Verfügbarkeit der notwendigen Infrastruktur – weitere Hürden, unter anderem bei der Nutzerakzeptanz und bei Standardisierungsproblemen, bereithält.

Alles in allem erfordert die Einführung alternativer Kraftstoffe im Verkehr eine langfristig angelegte Strategie. Auch wenn eine solche Strategie nur in kleinen Schritten realisiert werden kann, ist sie ein wichtiges Element auf dem Weg zu einer nachhaltigen Verkehrswirtschaft und sollte deshalb künftig konsequent fortgeführt werden.

Aus den Veröffentlichungen des DIW Berlin

Diskussionspapiere

Erscheinen seit 1989

Nr. 456

An Economic Analysis of Security Policies

Von Tilman Brück

November 2004

Nr. 457

What Causes Cross-Industry Differences of Technical Efficiency? An Empirical Investigation

Von Michael Fritsch und Andreas Stephan

November 2004

Nr. 458

Are Migrants More Skilled than Non-Migrants? Repeat, Return and Same-Employer Migrants

Von Jennifer Hunt

November 2004

Nr. 459

Gewinnen arbeitgeberseitige Entlassungen an Bedeutung?

Von Marcel Erlinghagen

November 2004

Nr. 460

European Labour Mobility: Challenges and Potentials

Von Klaus F. Zimmermann

November 2004

Nr. 461

Productivity and the Natural Rate of Unemployment

Von Jiri Slacalek

Dezember 2004

Nr. 462

Economic, Environmental and International Trade Effects of the EU Directive on Energy Tax Harmonization

Von Michael Kohlhaas, Katja Schumacher, Jochen Diekmann, Dieter Schumacher und Martin Cames

Dezember 2004

Nr. 463

Spillovers from Foreign Firms through Worker Mobility: An Empirical Investigation

Von Holger Görg und Eric Strobl

Dezember 2004

Die Volltextversionen der Diskussionspapiere liegen von 1998 an komplett als pdf-Dateien vor und können von der entsprechenden Website des DIW Berlin heruntergeladen werden (www.diw.de/deutsch/produkte/publikationen/diskussionspapiere).

Hinweis auf eine Veranstaltung



Joint Lecture Watson Wyatt – DIW Berlin

Die Joint Lecture ist eine gemeinsame Veranstaltungsreihe des DIW Berlin und dem internationalen Consulting-Unternehmen Watson Wyatt Worldwide zur Rentenpolitik. Sie findet einmal jährlich statt.

Joint Lecture 2005

Die nächste Joint Lecture findet statt am Mittwoch, 16. Februar 2005, 12.00 bis 14.00 Uhr.

Vortragende ist Professor Alicia H. Munnell. Sie ist Direktorin am Center of Retirement Research und lehrt an der Carroll School of Management am Boston College, USA. Professor Munnell hat die Peter F. Drucker-Professur für Management Sciences. Sie trägt vor zum Thema „Coming Up Short: Lessons from US Private Pensions for Germany“.

Veranstaltungsort

Max-Liebermann-Haus
Pariser Platz 7
10117 Berlin-Mitte

Kontakt und Anmeldung

Die Teilnahme ist mit einer persönlichen Einladung verbunden. Wenn Sie gerne an unserer Veranstaltung teilnehmen möchten, wenden Sie sich bitte an

Ralf Messer
DIW Berlin
Stabsabteilung Information und Organisation
Königin-Luise-Str. 5
14195 Berlin
Tel. +49 - 30 - 897 89-569
E-Mail: rmesser@diw.de

Impressum

DIW Berlin
Königin-Luise-Str. 5
14195 Berlin

Herausgeber

Prof. Dr. Klaus F. Zimmermann (Präsident)
Prof. Dr. Georg Meran (Vizepräsident)
Dr. Tilman Brück
Dörte Höppner
Dr. Kurt Hornschild
Prof. Dr. Claudia Kemfert
Dr. Bernhard Seidel
Prof. Dr. Viktor Steiner
Prof. Dr. Alfred Steinherr
Prof. Dr. Gert G. Wagner
Prof. Axel Werwatz, Ph. D.
Prof. Dr. Christian Wey
Dr. Hans-Joachim Ziesing

Redaktion

Dr. habil. Björn Frank
Dr. Elke Holst
Jochen Schmidt
Dr. Mechthild Schrooten

Pressestelle

Renate Bogdanovic
Tel. +49 - 30 - 897 89-249
presse@diw.de

Vertrieb

DIW Berlin Leserservice
Postfach 74
77649 Offenburg
leserservice@diw.de
Tel. 01805 - 19 88 88 *dtms/12 Cent./min.

Bezugspreis

Jahrgang Euro 180,-
Einzelheft Euro 7,-
(jeweils inkl. Mehrwertsteuer und Versandkosten)
Abbestellungen von Abonnements
spätestens 6 Wochen vor Jahresende

ISSN 0012-1304

Bestellung unter leserservice@diw.de

Konzept und Gestaltung

kognito, Berlin

Satz

Wissenschaftlicher Text-Dienst (WTD), Berlin

Druck

Druckerei Conrad GmbH
Oranienburger Str. 172
13437 Berlin