

ALTERNATIVE TREIBSTOFFE ZUR SICHERUNG VON ENERGIEVERSORGUNG UND UMWELT

F.X. Söldner

Europäische Kommission, Brüssel

Alternative Treibstoffe sollten nach den Vorstellungen der Europäischen Kommission zur europäischen Energie- und Verkehrspolitik im Jahr 2020 einen Marktanteil von 20% erreichen. Angestrebt wird damit eine Verbesserung der Sicherheit der Energieversorgung durch Substitution von Öl und eine Verringerung der Treibhausgasemissionen. Hauptkandidaten sind Biotreibstoffe, Erdgas und Wasserstoff. Biomasse kann über neue Verfahrenstechnologien mit hoher Ausbeute zu flüssigen Treibstoffen verarbeitet werden und könnte zu einem Grundsockel treibhausgasfreier Eigenversorgung aufgebaut werden. Erdgas als Treibstoff bietet Diversifizierung der Energiequellen und reduzierte Treibhausgasemissionen. Wasserstoff könnte als möglicher universeller Energieträger alle verfügbaren Energiequellen für den Verkehrsbereich erschließen und Treibhausgasemissionen erheblich vermindern. Wasserstoffbetriebene Verbrennungsmotoren könnten die Markteinführung von Wasserstofffahrzeugen vorantreiben. Brennstoffzellensysteme bieten die Perspektive eines hohen Wirkungsgrads. Europäische Demonstrationsprojekte sollen die wesentlichen Elemente einer Wasserstoffwirtschaft zur Marktreife entwickeln.

1. Einleitung

Die Europäische Kommission strebt einen schrittweisen Ersatz von Öl im Verkehrssektor durch alternative Treibstoffe an. Als Ziel wurde ein Marktanteil von 20% im Jahr 2020 in den Rahmenpapieren zur europäischen Energie- und Verkehrspolitik angegeben, dem Grünbuch zur Sicherheit der Energieversorgung [1] und dem Weißbuch zur gemeinsamen Verkehrspolitik [2]. Der Verkehrsbereich, insbesondere der Straßenverkehr, hängt nahezu vollständig von Öl als einziger Energiequelle ab, im Unterschied zu Industrie und Haushalt, wo die verwendete Energie aus unterschiedlichen primären Energiequellen bereitgestellt wird. Der Verkehrssektor gehört auch zu den Hauptquellen für CO₂-Emissionen. Er trägt etwa ein Viertel der Gesamtemissionen bei und hatte bislang die höchsten Zuwachsraten unter allen Wirtschaftssektoren.

Ersatz von Öl durch alternative Treibstoffe im Verkehr soll deshalb zwei Zielen dienen:

- *Verbesserung der Sicherheit der Energieversorgung durch Diversifizierung*
- *Verminderung von Treibhausgasemissionen zum Schutz des Klimas.*

Als Hauptkandidaten für alternative Treibstoffe wurden in einer Mitteilung der Europäischen

Kommission [3] Biotreibstoffe, Erdgas und Wasserstoff benannt. Das langfristige Entwicklungspotential dieser Treibstoffe sollte wesentliche Beiträge zu den oben aufgeführten Hauptzielen erwarten lassen und die Perspektive für eine wirtschaftliche Nutzung der nötigen Investitionen für Produktentwicklung und Infrastruktur bieten.

Ein verstärkter Einsatz von Biotreibstoffen wird gefördert durch zwei kürzlich verabschiedete europäische Richtlinien zu Marktanteil und Besteuerung. Der Marktanteil soll im Jahr 2005 2% erreichen und danach pro Jahr um 0.75% steigen bis zu 5.75% im Jahr 2010 [4]. Steuerliche Vergünstigung kann gewährt werden, um eine wirtschaftlich konkurrenzfähige Marktposition für Biotreibstoffe sicherzustellen [5].

Zur weitergehenden Untersuchung der technischen und wirtschaftlichen Entwicklungsperspektiven der übrigen alternativen Treibstoffe setzte die Europäische Kommission eine Expertengruppe von Vertretern aus Industrie, Forschung und gesellschaftlichen Organisationen als Kontaktgruppe Alternative Treibstoffe ein. Neben einer Bewertung der verschiedenen Optionen sollten auch Empfehlungen für mögliche unterstützende Maßnahmen gegeben werden. Der Schwerpunkt der Arbeiten lag auf Erdgas und Wasserstoff. Neue Methoden der Treibstoffherstellung aus Biomasse wurden ebenfalls untersucht.

Die Bewertung der verschiedenen Treibstoffe stützte sich auf eine Gesamtstudie aller Stufen von der primären Energiequelle bis zum Verbrauch an Bord eines Fahrzeugs in einer sogenannten „well-to-wheels“-Analyse. Diese Studie wurde von einem Konsortium repräsentativer Organisationen der europäischen Öl- und Autoindustrie und des Gemeinsamen Forschungszentrums in enger Zusammenarbeit mit der Kontaktgruppe Alternative Treibstoffe entwickelt. Insgesamt wurden über 400 Energiepfade von der Primärquelle zum Verbraucher untersucht.

Der Bericht der Kontaktgruppe Alternative Treibstoffe zur „Marktentwicklung alternativer Treibstoffe“ [7] gibt einen Überblick über die wesentlichen technischen Entwicklungen und Wirtschaftlichkeitsfragen zum Aufbau von Infrastruktur und Fahrzeugflotten. Abschätzungen über das Potential der wesentlichen alternativen Treibstoffe und ihre möglichen Marktanteile im Hinblick auf einen Zeithorizont bis 2020 zeigen die Bedeutung der Beiträge zur Versorgungssicherheit und zur Reduzierung der Emission von Treibhausgasen auf. Maßnahmen zur Förderung eines einheitlichen europäischen Marktes für alternative Treibstoffe und die zugehörigen Technologien sollten eine rasche Erschließung dieses Potentials ermöglichen.

Die Aussichten für Wasserstoff als möglichen künftigen universellen Energieträger und die dafür erforderlichen Entwicklungen wurden von einer speziell dafür von der Europäischen Kommission eingesetzten Gruppe von hochrangigen Fachleuten aus Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft untersucht und in einem Bericht zu einer möglichen europäischen Wasserstoffwirtschaft vorgestellt [8].

Der nachfolgende Beitrag fasst die technischen und wirtschaftlichen Perspektiven der Hauptoptionen für alternative Treibstoffe zusammen, nämlich Biotreibstoffe, Erdgas und Wasserstoff.

2. Sicherheit der Energieversorgung

Die Energieversorgung Europas wird zunehmend mehr von Importen abhängig. Die derzeitige Importquote von knapp 50% steigt nach Modellrechnungen für die Basistrends bis 2030 auf fast 70% an, wie in Abb. 1 dargestellt ist. Diese Untersuchungen verwenden ein Referenzszenario mit den derzeit gültigen politischen Rahmenbedingungen [9].

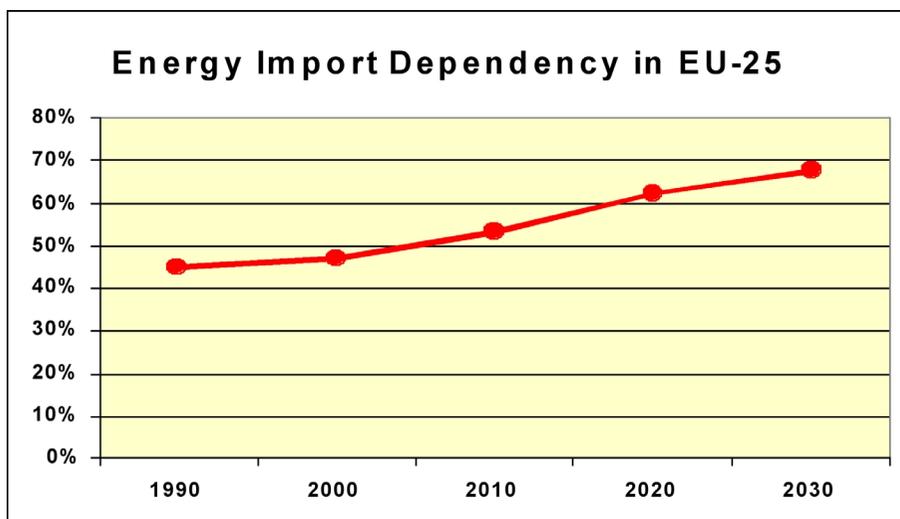


Abb. 1: Entwicklung der Energieimportquote der Europäischen Union (EU-25) nach Modellrechnungen auf Grundlage bestehender Rahmenbedingungen.

Der weiterhin ansteigende Energieverbrauch wird auch 2030 noch überwiegend von fossilen Energieträgern gedeckt werden, an führender Stelle von Öl, wie in Abb. 2 gezeigt. Ölreserven haben andererseits die kürzeste Restreichweite aller Hauptenergieträger, mit 45 Jahren bei gleichbleibender Förderrate, und werden sich mit fortschreitender Ausbeutung auf zunehmend weniger Länder überwiegend im Mittleren Osten konzentrieren. Die Importquote von Öl wird nach dem Referenzszenario für die EU von 76% in 2000 auf 86% in 2020 ansteigen.

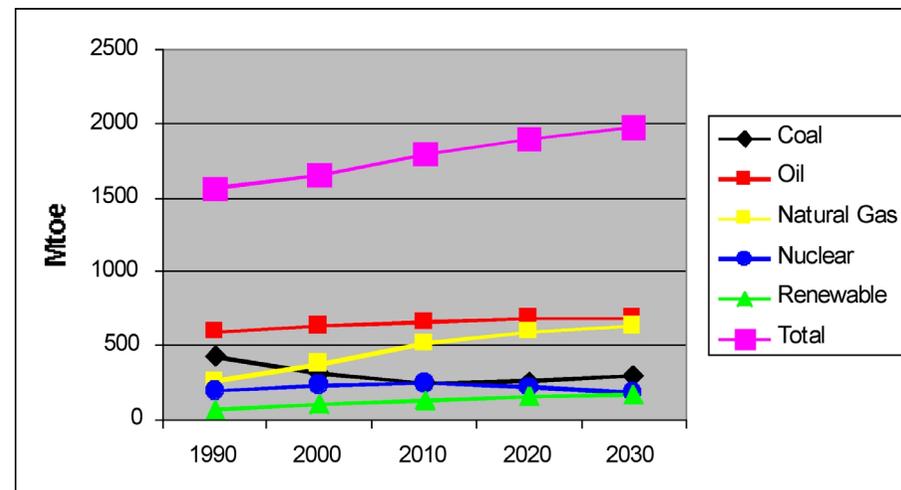


Abb. 2: Entwicklung des Gesamt-Energieverbrauchs und der Beiträge der Hauptenergieträger in der Europäischen Union (EU-25) im Referenzszenario.

Ernstere Schwierigkeiten in der Ölversorgung werden bereits lange vor einer Erschöpfung der geologischen Vorräte erwartet, wenn die Förderung nicht mehr Schritt halten kann mit einer stetig ansteigenden Nachfrage. Diese Situation kann bereits deutlich vor Ende des nächsten Jahrzehnts auftreten. Energie-Sparmaßnahmen können die Grenzen hinausschieben und sollten deshalb in allen Bereichen ergriffen werden. Weitere Verringerung des Treibstoffverbrauchs von Autos durch Entwicklung energieeffizienterer Fahrzeuge kann einen bedeutenden Beitrag liefern und wird deshalb von der Europäischen Kommission u.a. im Rahmen einer Freiwilligen Vereinbarung mit der Autoindustrie vorrangig verfolgt.

Ersatz von Öl durch alternative Treibstoffe sollte bereits deutlich vorangeschritten sein zu einer Zeit, zu der nach dem Standardszenario mit einem Auseinanderlaufen von Förderung und Bedarf zu rechnen wäre. Das Ziel der Europäischen Kommission, eine Substitutionsquote von 20% in 2020 zu erreichen, gibt deshalb eine dringend erforderliche Entwicklung vor. Das Alternativszenario mit den drei Hauptoptionen Biotreibstoffe, Erdgas und Wasserstoff ist in Tabelle 1 aufgeführt. Für Biotreibstoffe gehen die Zielvorgaben von einer raschen Erschließung des Potentials aus, mit einem Aufbau des Marktanteils von 2% in 2005 auf 5.75% in 2010 und einer geringen weiteren Steigerung in den Folgejahren. Erdgas könnte mit einem Ausbau des Tankstellennetzes seinen Marktanteil bis auf 10% in 2020 ausbauen. Wasserstoff benötigt noch längeren Entwicklungsvorlauf und wird mit einem Marktanteil von 5% in 2020 erwartet.

Biotreibstoffe können aus einer Vielzahl von Ausgangsstoffen aus Biomasse produziert werden und bieten durch breite Streuung der Nachzucht die Möglichkeit einer sicheren heimi-

schen Basisversorgung für die meisten Länder. Der Einsatz von Erdgas im mobilen Sektor bewirkt eine Diversifizierung der Versorgungsquellen im Treibstoffsektor, die zur Verbesserung der Versorgungssicherheit beiträgt. Wasserstoff als potentiell universeller Energieträger ermöglicht die Erschließung aller vorhandenen Energiequellen in einem integrierten Energie-/Transportsystem und den Anschluss aller Verbraucher. Der Verkehrssektor könnte damit auf eine völlig neue Grundlage breitest möglicher Energie-Versorgungssicherheit gestellt werden.

Jahr / %	Bio-Treibstoff	Erdgas	Wasserstoff	Gesamt
2005	2			2
2010	5.75	2		8
2015	(7)	5	2	(14)
2020	(8)	10	5	(23)

Tabelle 1: Szenario zum Ausbau der Marktanteile alternativer Treibstoffe in Europa.

3. Treibhausgasemissionen

Die Europäische Union ist mit der Ratifizierung des Kyoto-Protokolls im Jahr 2002 die Verpflichtung eingegangen, die Treibhausgasemissionen bis zum Zeitraum 2008-2012 um 8% gegenüber 1990 zu reduzieren. Der Verkehr trägt derzeit etwa 26% zu den gesamten CO₂-Emissionen der EU bei und hatte bislang die höchsten Zuwachsraten aller Wirtschaftsbereiche. Für die Zukunft wird eine Abflachung des Anstiegs erwartet. Dennoch wird der Verkehrssektor zusammen mit der Stromerzeugung zunehmend weiter vor allen anderen Wirtschaftssektoren an der Spitze liegen, wie Abb. 3 für die Entwicklung nach dem Referenzmodell zeigt. Nach diesen Modellrechnungen werden die Treibhausgasemissionen aus dem Verkehrsbereich im Kyoto-Zeitraum etwa 40% über dem Niveau von 1990 liegen.

Entschlossene Maßnahmen zur Verminderung der Treibhausgasemissionen sind deshalb insbesondere im Verkehrssektor erforderlich. Am erfolgsversprechendsten ist im Bereich der technischen Möglichkeiten ein Doppelansatz mit weiterer Verbesserung der Energieeffizienz von Fahrzeugen auf der einen Seite und einer Verringerung der Treibhausgasintensität auf der anderen Seite durch einen allmählichen Ersatz fossiler durch kohlenstoffärmere oder -freie Energieträger. Für fossile Energieträger kann die Treibhausgasbilanz durch Abtrennung und Einlagerung von Kohlenstoff verbessert werden. Erneuerbare und nukleare Energiequellen bieten einen Weg zu inhärent niedriger Emission.

Alternative Treibstoffe können einen wesentlichen Beitrag zur Verminderung der CO₂-Emission im Verkehrssektor bringen.

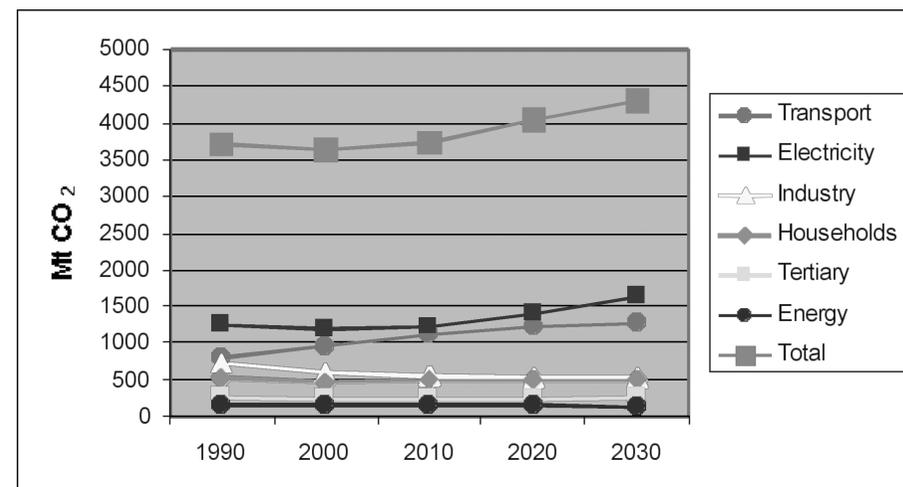


Abb. 3: Entwicklung der gesamten CO₂-Emission und der Beiträge der wichtigsten Wirtschaftssektoren in der Europäischen Union (EU-25) nach Modell-Rechnungen auf Grundlage bestehender Rahmenbedingungen.

4. Schadstoffemissionen

Die europäische Gesetzgebung zur Emission von Schadstoffen aus Fahrzeugen und zur Qualität von Treibstoffen hat im Lauf des vergangenen Jahrzehnts deutliche Verbesserungen bewirkt. Alle geregelten Schadstoffe konnten deutlich reduziert werden und haben im Mittel zu einer erheblichen Verbesserung der Luftqualität geführt. Die größten Fortschritte wurden bei Personenkraftwagen erreicht, wie der Überblick in Abb. 4 für Stickoxidemissionen der verschiedenen Fahrzeugkategorien zeigt. Dieser Rückgang der Emissionen wird sich in Zukunft fortsetzen mit der kontinuierlichen Erneuerung des Fahrzeugbestands und des damit verbundenen Zuwachses zunehmend sauberer Fahrzeuge. Bis zum Jahr 2010 wird etwa ein Drittel des Niveaus der Emissionen von 1990 erreicht werden. Weitere Maßnahmen zur Verminderung des allgemeinen Niveaus der Schadstoffemissionen sind deshalb im europäischen Rahmen weniger dringlich als in der Vergangenheit.

Alternative Treibstoffe könnten jedoch von Interesse sein, soweit sie zur Verbesserung der verbliebenen Problembereiche beitragen, nämlich Emission von Rußteilchen und Stickoxid von Dieselfahrzeugen und Überschreitung gesetzlicher Grenzwerte in Städten mit hoher Verkehrsdichte. Die Markteinführung alternativer Treibstoffe würde deshalb den meisten Nutzen bringen mit einem anfänglichen Schwerpunkt bei Fahrzeugen, die überwiegend im städti-

schen Verkehr eingesetzt werden (Taxis, Busse, Lieferfahrzeuge, Servicefahrzeuge) und bei Fahrzeugen mit hohem Jahresverbrauch.

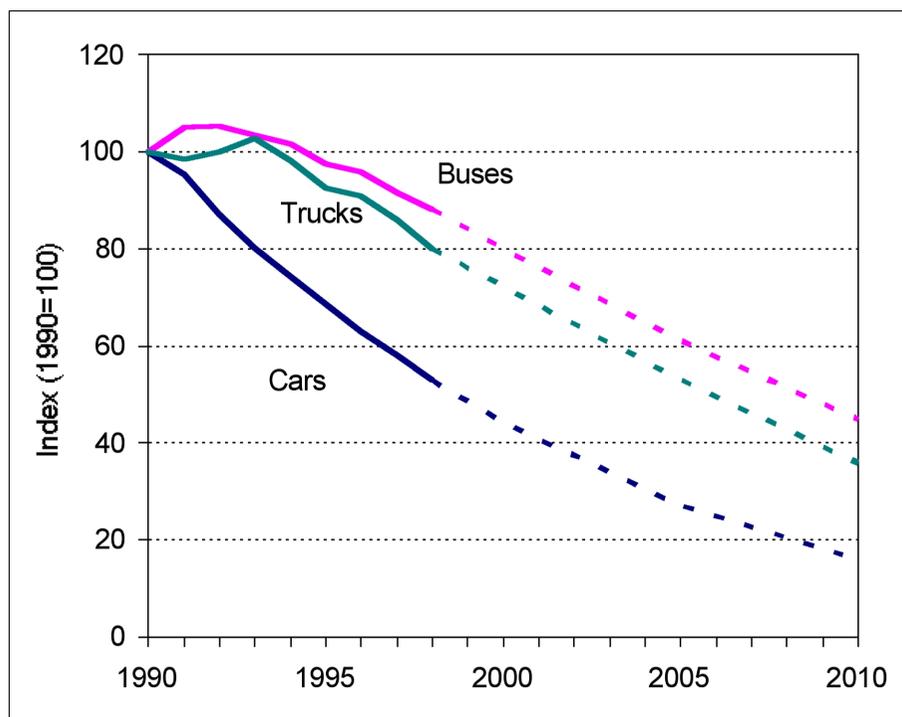


Abb. 4: Entwicklung der Stickoxidemissionen im Straßenverkehr in der Europäischen Union (EU-25) nach Modell-Rechnungen auf Grundlage bestehender Rahmenbedingungen.

5. Bewertung alternativer Treibstoffe

Die Gesamtbewertung von Treibstoffen muss verschiedene Kriterien mit einbeziehen. Hauptziele sind eine langfristige Sicherung der Energieversorgung für den Verkehrsbereich, Verminderung der Treibhausgasemissionen, weitere Verbesserung der Luftqualität vor allem in dicht besiedelten städtischen Bereichen, aber auch die internationale Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Wirtschaft, die Sicherung und Vermehrung von Arbeitsplätzen innerhalb Europas und eine regional ausgewogene Wirtschaftsentwicklung. Eine Wichtung dieser unterschiedlichen Gesichtspunkte kann nicht nach einem einfachen numerischen Schema durchgeführt werden. Damit ist klar, dass ein Vergleich der verschiedenen Optionen sich nicht auf einen einzigen Parameter reduzieren lässt. Der Versuch einer verengten Bewertung nach nur einem der oben genannten Aspekte kann zu völlig verzerrten Ergebnissen führen.

Eine Gesamtbewertung muss auch die gesamte Produktkette einbeziehen, da eine Beurteilung nach dem Verhalten in einem Teilabschnitt zu irreführenden Ergebnissen führen kann. Dies lässt sich am Beispiel einer Bewertung deutlich machen, die allein die Treibhausgasemissionen beim Einsatz eines Treibstoffs im Fahrzeug zugrunde legt. Biotreibstoffe würden danach keinen Vorteil gegenüber Benzin oder Diesel bieten, da vergleichbare Mengen von CO₂ in die Atmosphäre emittiert werden. Erst die Einbeziehung der Treibstoffgewinnung und -aufbereitung bringt den Vorteil der Biotreibstoffe zur Geltung, da die bei der Verbrennung freigesetzten Mengen an CO₂ bei der Nachzucht der zur Gewinnung der Treibstoffe eingesetzten Biomasse wieder der Atmosphäre entzogen werden und in der Summe über die Gesamtproduktkette damit zu keinem Nettoeintrag in die Atmosphäre führen. Wasserstoff andererseits würde bei einer verkürzten Betrachtung allein der Verwendung an Bord eines Fahrzeugs als vollkommen CO₂-frei eingestuft werden. Da zur Herstellung von Wasserstoff aber alle Energiequellen einschließlich fossiler verwendet werden können, wird die Auswirkung des Einsatzes von Wasserstoff im wesentlichen von den Vorstufen der Wasserstoffgewinnung bestimmt. Dies zeigt, dass eine sinnvolle Beurteilung nur aufgrund einer Untersuchung der Gesamtproduktkette erfolgen kann.

Eine umfassende Bewertung muss die wesentlichen wirtschaftlichen, sozialen und umweltbezogenen Aspekte einzeln behandeln. Die übergeordnete politische Entscheidung muss dann die verschiedenen Gesichtspunkte gegeneinander abwägen und kann auf der Grundlage einer breiten wissenschaftlichen Untersuchung eine rational begründete nachvollziehbare Prioritätensetzung vornehmen.

Die Kontaktgruppe Alternative Treibstoffe hat für die Hauptoptionen Biotreibstoffe, Erdgas und Wasserstoff und die Referenzkraftstoffe Benzin und Diesel Energieverbrauch, Treibhausgasemission und Kosten beurteilt. Wesentliche Grundlage dafür war eine neue Studie zur Gesamtproduktkette durch ein Konsortium von repräsentativen Organisationen der europäischen Ölindustrie und Autoindustrie und dem Gemeinsamen Forschungszentrum der Europäischen Union. Dabei wurden die zwei Abschnitte von der primären Energiequelle zum Treibstofftank und vom Tank zum Fahrzeugantrieb getrennt erfasst und verglichen. Insgesamt wurden 75 Wege der Treibstoffherstellung untersucht, die mit einer Reihe von Fahrzeugtechnologien zu insgesamt über 400 Einzelpfaden verfaltet wurden. Zur realitätsnahen Beschreibung künftiger Markteinführungsszenarien wurde ein Ansatz „marginaler Änderungen“ gewählt, bei dem die Effekte von Veränderungen gegenüber einem Referenzszenario mit Benzin und Diesel als einzigen Treibstoffen untersucht und nicht Mittelwerte über gesamte Marktsektoren verwendet wurden.

Die wesentlichen Ergebnisse der Gesamtbewertung von Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen sind in Abb. 5 für alle Treibstoffe und die zugehörigen Fahrzeugtechnologien zusammengestellt. Die Daten geben jeweils die im Fahrbetrieb pro km anfallenden Werte an unter Aufrechnung der zur Treibstoffbereitstellung erforderlichen Prozesse ab primärer Ener-

giequelle. Die Punkte sammeln sich in Punktescharen mit der jeweiligen primären Energiequelle als Scharparameter. Die quantitative Korrelation zwischen Energieverbrauch und CO₂-Emission und damit die Steigung der Kurven in Abb. 5 wird durch die Kohlenstoffintensität der primären Energiequelle festgelegt. Bei gleichem Energieeinsatz fallen die höchsten Treibhausgasemissionen bei Verwendung von Kohle an. Mineralöl liegt knapp darunter. Danach folgen Erdgas, konventionelle Biotreibstoffe und am unteren Ende neue Biotreibstoffe, Windkraft und Kernenergie. Die Variation entlang der Kurven wird durch den Herstellungsprozess der Treibstoffe und die verwendete Fahrzeugtechnologie bestimmt. Die Referenzdaten für Benzin- und Diesel-Fahrzeuge liegen innerhalb des Kastens im linken unteren Bereich von Abb. 5.

Der Übergang von den bislang verwendeten Kraftstoffen auf Mineralölbasis zu alternativen Treibstoffen kann die CO₂-Emissionen deutlich reduzieren, führt aber in vielen Fällen zu höherem Energieverbrauch, wie die Vielzahl der Lösungen zeigt, die außerhalb des Mineralölkastens liegen. Das begrenzte Potential alternativer und erneuerbarer Energiequellen erfordert deshalb eine Optimierung der Energieeffizienz bei der Treibstoffbereitstellung und bei der Verwendung in Fahrzeugen. Beide Bereiche sind genauso wichtig wie die Wahl des Treibstoffes selbst.

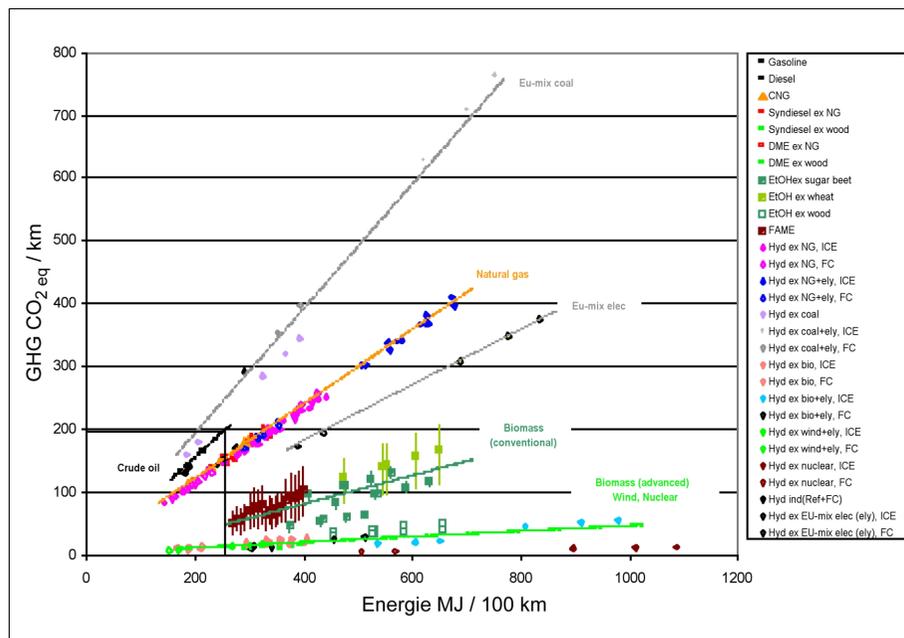


Abb. 5: CO₂-Emissionen und Energieverbrauch für verschiedene Energieträger und Fahrzeugtechnologien.

6. Biotreibstoffe

Der Einsatz von Biomasse zur Treibstoffherstellung bietet in den meisten Ländern die Perspektive eines heimischen Grundbeitrags zur Energieversorgung in einem Wirtschaftssektor, der bislang überwiegend vom Import von Öl abhängt. Die Verwendung von Biotreibstoffen ist weitgehend Treibhausgas-neutral. Die bei der Verbrennung von Biotreibstoffen freigesetzten Mengen an CO₂ werden bei der Nachzucht der benötigten Biomasse wieder der Atmosphäre entzogen. Nettoemissionen bis zu etwa 15% des Niveaus mineralischer Kraftstoffe können jedoch bei der Rohmaterialgewinnung und -verarbeitung entstehen. Die Kosten liegen mit derzeit 600-800 €/to etwa einen Faktor 2.5-3 über dem Mittelwert der letzten Jahre von 250 €/to für mineralische Kraftstoffe.

Die Bedeutung des Beitrags der Biotreibstoffe hängt entscheidend vom Potential ab, das land- und forstwirtschaftlich erschlossen werden kann, von der Flächenausbeute an Biomasse und dem Wirkungsgrad der Verarbeitung zu Kraftstoffen. In größerem Maß werden derzeit Bioäthanol und Biodiesel aus Zuckerrüben, bzw. Rapsöl hergestellt. Diese konventionellen Biotreibstoffe könnten bei Verwendung aller dafür in der Europäischen Union erreichbaren landwirtschaftlichen Flächen etwa 7-8% des Kraftstoffmarktes abdecken [3].

Zwei neue Technologien werden derzeit in Demonstrationsprojekten untersucht: die Umwandlung von Biomasse zu Äthanol mit Hilfe von Enzymen und die Herstellung von synthetischem Diesel über einen Zweistufenprozess mit Vergasung von Biomasse zu Synthesegas, bestehend aus Wasserstoff und Kohlenmonoxid, und nachfolgender Verflüssigung in einem Fischer-Tropsch Prozess. Ausgangsmaterial könnten Abfälle aus Land- und Forstwirtschaft und holzverarbeitender Industrie sein oder speziell gezüchtete Energiepflanzen. Damit könnte insgesamt ein wesentlich größeres Rohstoffpotential erschlossen werden. Die Kontaktgruppe Alternative Treibstoffe hat bei Einschluss synthetischer Kraftstoffe einen möglichen Marktanteil europaweit von 15% für Biotreibstoffe abgeschätzt.

Synthetischer Diesel aus Biomasse bietet eine Reihe von Vorzügen. Sein Einsatz könnte die Raffinerien entlasten, die wegen der kontinuierlich steigenden Nachfrage nach Diesel ein zunehmend ungünstiges Produktverhältnis von Diesel und Benzin einstellen, was bereits zu einer Verschlechterung der Energie- und Treibhausgasbilanz von Diesel gegenüber Benzin führt. Weiterhin könnte synthetischer Diesel als besonders hochwertiger Treibstoff die Entwicklung effizienterer und sauberer Motoren unterstützen. Schließlich kann synthetischer Diesel in jedem beliebigen Mischungsverhältnis mineralischem Diesel beigemischt werden und ermöglicht damit eine sehr flexible Marktgestaltung. Die Umweltverträglichkeit der Produktkette ist hoch, da jede Form von Biomasse verwendet werden kann, und damit ein extensiver landwirtschaftlicher Anbau möglich ist.

Weitere Demonstrations- und Pilotprojekte sollten die Technologie der Treibstoffherstellung vorantreiben und die gesamte Kette der Rohmaterialversorgung optimieren. Dabei sollte auch die Möglichkeit einer Koproduktion von synthetischem Biodiesel und Wasserstoff untersucht werden. Wasserstoff ist im Synthesegas enthalten, das durch die Biomassevergasung entsteht, und könnte aus dieser Phase extrahiert werden. Damit könnte ein aussichtsreicher Weg zur Herstellung von Wasserstoff aus erneuerbaren Energiequellen erschlossen werden.

7. Erdgas

Ein stärkerer Einsatz von Erdgas als Treibstoff könnte durch eine Diversifizierung der Energiequellen die Versorgungssicherheit im Transportsektor erhöhen, Treibhausgas-Emissionen vermeiden und die Schadstoffemissionen von Fahrzeugen vermindern.

Erdgas könnte nach dem von der Europäischen Kommission ins Auge gefassten Szenario zum Aufbau alternativer Treibstoffe auf mittlere Sicht den Hauptanteil liefern, mit 10% im Jahr 2020 die Hälfte der angestrebten Substitutionsrate von 20% [3]. Das Potential für den Einsatz von Erdgas als Kraftstoff im Verkehrsbereich ist nicht durch die Rohstoffversorgung begrenzt. Ein Anteil von 10% im Treibstoffmarkt würde nur 5% des für 2020 erwarteten Gesamtverbrauchs an Erdgas in der EU darstellen. Das für die Versorgung von Industrie und Haushalten aufgebaute europäische Gasverteilungsnetz könnte deshalb im wesentlichen ohne spezielle Ausbaumaßnahmen die zusätzliche Nachfrage für den Verkehrsbereich mit abdecken.

Geringere Treibhausgasemissionen bei der Verwendung von Erdgas beruhen auf dem niedrigeren spezifischen Kohlenstoffgehalt in Methan (CH_4), dem Hauptbestandteil von Erdgas. Die Verbrennung von Erdgas in Motoren setzt deshalb pro Energieeinheit weniger CO_2 frei als die Ölprodukte Benzin und Diesel. Der höhere Anteil an Wasserstoff im Methan wird zu Wasserdampf umgesetzt.

Energieverbrauch und CO_2 -Emissionen von Erdgasfahrzeugen sind in der aus der europäischen Lebenszyklusstudie [6] entnommenen Abb. 6 für verschiedene Gasversorgungswege und Fahrzeugtechnologien mit Benzin- und Dieselaautos verglichen, sowohl für derzeit auf dem Markt befindliche Modelle als auch für Technologien, die für den Zeitraum nach 2010 erwartet werden.

Bei heutiger kommerzieller Fahrzeugtechnologie liegt die CO_2 -Emission von Erdgas betriebenen PKWs („CNG(4000 km) - 2002“) etwa 20% niedriger als bei Benzinautos und auf vergleichbarem Niveau wie Dieselaautos. In Zukunft wird vor allem bei Ottomotoren eine weitere Verbesserung des Wirkungsgrads erwartet, während für Dieselmotoren nur noch ein geringes Entwicklungspotential gesehen wird. Für 2010 werden deshalb etwa gleicher Wirkungsgrad

und gleiches Niveau von CO_2 -Emissionen für Benzin- und Diesel-PKW's erwartet. Erdgasautos mit konventioneller Ottomotoren-Technik („CNG(4000 km) - 2010“) sollten damit 15% geringere CO_2 -Emissionen verursachen. Weitere Verbesserungen könnten erzielt werden mit einer Optimierung von Motoren für die Eigenschaften von Erdgas, die eine höhere Kompression erlauben. Solche heute nur in Prototypformen existierenden Maschinen könnten bei Erdgasautos bis zu etwa 30% Einsparung von Treibhausgasemissionen ermöglichen. Hybridtechnologie zur Wirkungsgradverbesserung mit einem kombinierten Antrieb von Verbrennungs- und Elektromotoren kann in allen Fällen eingesetzt werden und ermöglicht, wie aus dem oberen Teil des Balkendiagramme in Abb. 6 ersichtlich, eine weitere Absenkung von Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen. Substitution eines Teils der wachsenden Nachfrage nach Diesel durch Erdgas könnte auch zu einer Verbesserung der Energieeffizienz auf Seiten der Raffinerien und einer Reduzierung ihrer Treibhausgasemissionen beitragen, da der zunehmend höhere Dieselanteil einen steigenden Energieeinsatz im Herstellungsprozess erfordert.

Geringere Schadstoffemissionen sind ein zusätzlicher Vorteil von Erdgasfahrzeugen. Von großem Interesse ist insbesondere die im Vergleich zu Dieselmotoren geringere Partikelemission. Damit könnte der Einsatz von Erdgasfahrzeugen vor allem in dicht besiedelten Ballungsräumen zu einer Verbesserung der Luftqualität beitragen. Die für die Zukunft zu erwartenden strengeren Emissionsvorschriften können von Erdgasfahrzeugen auch ohne Zusatzeinrichtungen, wie etwa Partikelfilter, eingehalten werden.

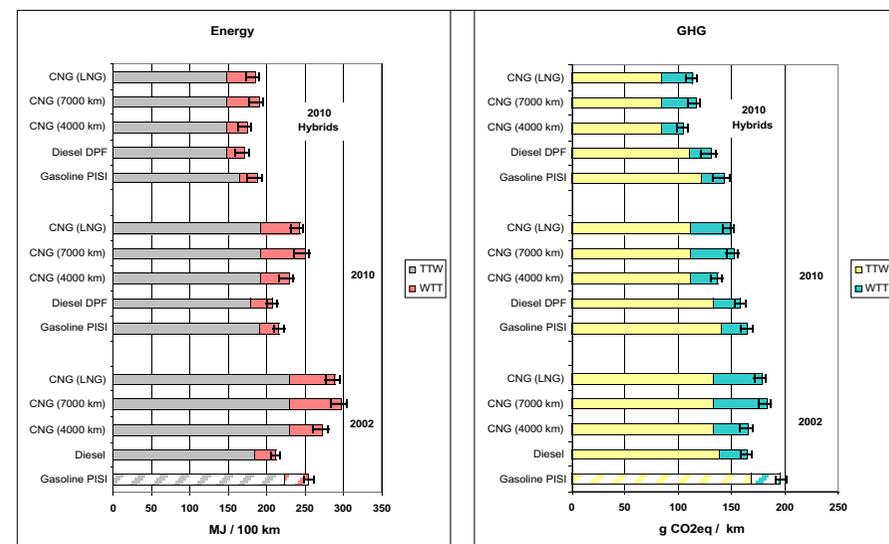


Abb. 6: Energieverbrauch und CO_2 -Emission für Erdgas-, Benzin- und Dieselaautos.

Die Fahrzeugtechnologie für den Einsatz von Erdgas als Kraftstoff ist ausgereift. Eine Reihe von Modellen existiert auf dem Markt, die dual sowohl mit Erdgas als auch mit Benzin betrieben werden können. In den letzten Jahren sind von mehreren großen Herstellern Varianten speziell für Erdgas entwickelt worden. Diese Verbreiterung der Produktpalette ist Voraussetzung für die Ankurbelung einer wachsenden Nachfrage auf Seiten des Verbrauchers.

Entscheidend für die Erschließung des Verkehrsbereichs für Erdgas als Treibstoff ist ein rascher Aufbau der erforderlichen Tankstelleninfrastruktur. Marktuntersuchungen zeigen, dass für einen Anteil von 10% am Treibstoffverbrauch etwa 25% der Tankstellen mit Erdgas ausgestattet sein sollten. Ein Netz dieser Dichte ermöglicht auch bereits eine flächendeckende Versorgung, die weiteres Wachstum im Verbrauch abdecken kann.

Wirtschaftliche Unterstützung für die Marktentwicklung von Erdgas als Treibstoff kann die Voraussetzungen schaffen für Investitionen in den Aufbau der Infrastruktur und für Kaufentscheidungen der Verbraucher zugunsten von Erdgasfahrzeugen. Bereits bei einem Marktanteil von einigen Prozent könnte Erdgas als Treibstoff dann wegen des im Vergleich zu Öl geringeren Rohstoffpreises wirtschaftlich konkurrenzfähig werden.

Planungssicherheit für Industrie und Verbraucher durch langfristige gesetzgeberische Vorgaben und die Entwicklung eines europäischen Marktes könnten Erdgas zu einer führenden Rolle als alternativer Treibstoff verhelfen.

8. Wasserstoff

Wasserstoff kann potentiell die Rolle eines universellen Energieträgers übernehmen und Energie von jeder primären Quelle zu jedem möglichen Verbraucher liefern. Die damit erreichbare Flexibilisierung des gesamten Energiesystems bietet ein Höchstmaß an Versorgungssicherheit, insbesondere in Phasen der Umstellung zwischen Hauptenergiequellen. Diese Funktion ist von besonderer Bedeutung in Hinblick auf künftig mögliche unzureichende Ölförderungsraten und eine zunehmende Erschließung erneuerbarer Energiequellen. Wind- und Sonnenenergie liefern ihre Beiträge unabhängig von der Verbrauchsnachfrage und benötigen umfangreiche Energiespeicherung und Polygenerationsanlagen. Wasserstoff und die dafür besonders geeigneten Brennstoffzellensysteme bieten hier eine aussichtsreiche Systemlösung.

Keine unmittelbaren Treibhausgasemissionen treten beim Einsatz von Wasserstoff in Energiekonversionsanlagen auf. Ausschlaggebend für Energieverbrauch und Emissionen sind jedoch die Vorstufen der Wasserstoffbereitstellung. Eine Gesamtanalyse der Produktkette von der Quelle zum Verbraucher ist deshalb unerlässlich für eine angemessene Bewertung. Die Ergebnisse der europäischen Referenzstudie [6] sind im folgenden zusammengefasst.

Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen sind in Abb. 7 für die zwei Antriebsarten von Wasserstoffautos, Verbrennungsmotor (ICE) und Brennstoffzellensysteme (FC), zusammen mit Benzin-, Diesel- und Erdgasautos (CNG) aufgeführt. Ein deutlicher Paradigmenwechsel ist erkennbar von verbraucherseitig dominierten Bilanzen (TTW) bei Benzin, Diesel und Erdgas zu stark, bei Treibhausgasemissionen sogar ausschließlich, produktionssseitig bestimmten Bilanzen (WTT) im Fall von Wasserstoff als Treibstoff.

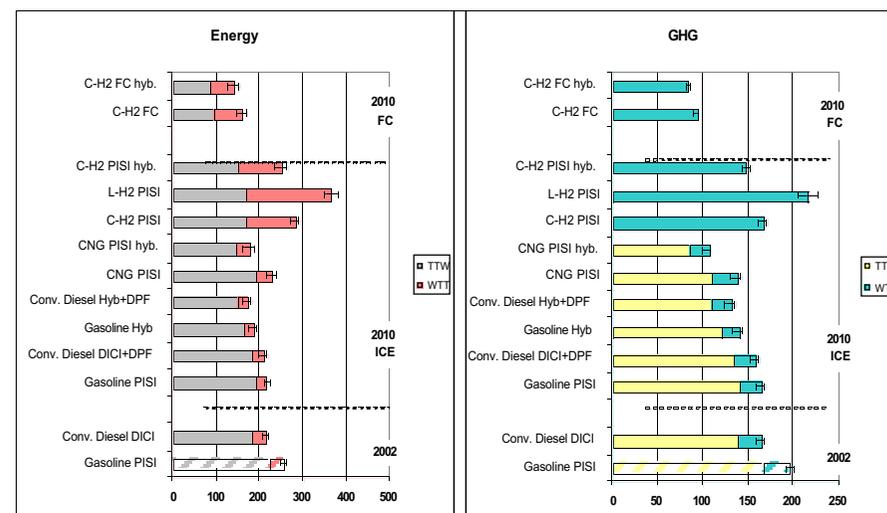


Abb. 7: Energieverbrauch und CO₂-Emission von Wasserstoffautos für verschiedene Antriebstechnologien im Vergleich zu Erdgas-, Benzin- und Dieselaautos.

Die höchsten Werte für Energieverbrauch und Emissionen ergeben sich für interne Verbrennungsmaschinen mit Flüssigwasserstoffspeicherung an Bord (L-H2 PISI). Die niedrigsten Werte werden mit Brennstoffzellensystemen erreicht (FC). Die Treibhausgasemissionen dafür liegen mit der für 2010 zu erwartenden Technologie gut 40% unter den Daten für konventionelle Benzin- und Dieselaautos. Dies ist besonders bemerkenswert, da für die in Abb. 7 vorgestellte Untersuchung Wasserstoffherstellung aus fossilen Quellen über Dampfreformierung von Erdgas angenommen ist. Diese heute gängigste und bei weitem wirtschaftlichste Methode der Wasserstoffgewinnung kann damit in Verbindung mit einem hocheffizienten Brennstoffzellensystem immer noch zu erheblichen Einsparungen in der Treibhausgasemission von Kraftfahrzeugen führen.

Wasserstoffherstellung durch Dampfreformierung von Erdgas, Kohlevergasung und Elektrolyse von Wasser sind ausgereifte und seit langem verwendete großindustrielle Verfahren. Die mit dem Rückgriff auf fossile Energievorräte verbundenen CO₂-Emissionen könnten durch den Einschluss von CO₂-Sequestrierung weitgehend – um ca. 90% – reduziert werden. Die

Frage einer sicheren Langzeitlagerung von CO₂ bedarf aber noch weiterer Forschungs- und Entwicklungsarbeit. Für eine Herstellung von Wasserstoff aus erneuerbaren Energiequellen erscheint eine Koproduktion zusammen mit synthetischen Kohlenwasserstoffen in großen Biomasseverarbeitungsanlagen besonders aussichtsreich wegen der Möglichkeit einer flexiblen verbrauchsangepassten Produktsteuerung und eines hohen Konversionswirkungsgrades. Strom aus erneuerbaren Energiequellen wie Wind und Sonneneinstrahlung wird in der Regel wesentlich effizienter direkt ins Netz eingespeist. Sein Einsatz zum Betrieb von Elektrolyseanlagen ist wegen der weiteren Konversionsprozesse mit hohen Energieverlusten verbunden und sollte nur in Nischenanwendungen und zur Abdeckung von Spitzenverbrauch vorgesehen werden.

Zwei unterschiedliche Antriebssysteme werden für den Einsatz von Wasserstoff als Treibstoff entwickelt, wasserstoffbetriebene Verbrennungsmotoren und Brennstoffzellensysteme in Verbindung mit Elektromotoren. Hohe Wirkungsgrade werden für Brennstoffzellensysteme erwartet, insbesondere im Teillastbetrieb, wie er für städtische Verkehrsverhältnisse typisch ist. Zwei bis drei Entwicklungsgenerationen von ca. 7 Jahren sind jedoch voraussichtlich noch erforderlich, bis eine breite Serienfertigung solcher Fahrzeuge zu erwarten ist. Autos mit Wasserstoffverbrennungsmotoren könnten möglicherweise bereits nach einer weiteren Testgeneration auf den Markt gebracht werden.

Szenarien zum Aufbau einer europaweiten Wasserstoffinfrastruktur und zur Marktentwicklung von Wasserstoffautos wurden in EU-Forschungsprojekten untersucht. Die Investitionskosten für die Infrastruktur sind vergleichsweise gering, mit ca. 500 € pro Fahrzeug bei einer Kundenbasis von ca. 500 Fahrzeugen pro Tankstelle. Die Betriebskosten für Wasserstoff könnten bei Einsatz hocheffizienter Brennstoffzellensysteme vergleichbar mit den heutigen Kraftstoffkosten sein. Das Hauptproblem liegt bei den Fahrzeugen, bei denen die weitere technische Entwicklung eine erhebliche Reduzierung der Kosten und eine Verbesserung von Zuverlässigkeit und Haltbarkeit erreichen muss.

Integrierte Großprojekte, sogenannte Leuchtturmprojekte, sollten in den nächsten ca. zehn Jahren einen zuverlässigen Rahmen bieten für die gezielte Entwicklung und marktnahe Erprobung aller wesentlichen Elemente, die erforderlich sind für eine Entscheidung zum Start einer breiten Serienproduktion von Wasserstofffahrzeugen.

9. Zusammenfassung

Alternative Treibstoffe sollten schrittweise stärker in den Markt eingeführt werden, um die Energieversorgung für den Verkehrssektor langfristig zu sichern und die Treibhausgasemissionen zu reduzieren. Möglichkeiten zu einer Verminderung der Schadstoffemissionen sollten für weitere Verbesserungen der Luftqualität genutzt werden. Maßnahmen dazu sind wichtig,

da bereits lange vor einer Erschöpfung der Ölvorräte Schwierigkeiten zu erwarten sind, die Förderraten auf das beständig steigende Nachfrageniveau hochzufahren. In dieser Phase sollten alternative Treibstoffe und Technologien ausreichend entwickelt sein, wirtschaftliche Instabilitäten durch unzureichende und schwankende Energieversorgung zu vermeiden. Treibhausgasemissionen aus dem Verkehrsbereich liegen zusammen mit dem Energiesektor an der Spitze und hatten in der Vergangenheit die höchsten Zuwachsraten. Energieeinsparung und Ersatz fossiler Energiequellen haben deshalb hohe Bedeutung.

Das von der Europäischen Kommission anvisierte Ziel eines Marktanteils von 20% von alternativen Treibstoffen im Jahr 2020 gibt deshalb einen angemessenen Rahmen für den erforderlichen Systemwechsel vor. Eine Paketlösung erscheint zumindest für einen langen Übergangszeitraum als unumgänglich, da keiner der in Frage kommenden alternativen Treibstoffe alle Aufgaben allein in der gesetzten Entwicklungszeit erfüllen kann. Das vorgeschlagene Szenario zur Marktentwicklung alternativer Treibstoffe mit den drei sukzessive an Bedeutung gewinnenden Hauptträgern Biotreibstoffe, Erdgas und Wasserstoff hat das Potential, das angestrebte Ziel zu erreichen und eine darüber hinausgehende Perspektive für einen weiteren kontinuierlichen Ausbau.

Der in diesem Fall durch alternative Treibstoffe ersetzte Marktanteil von Öl entspricht mit 70 Mto in etwa der gesamten voraussichtlichen EU-Ölproduktion in der Nordsee zu dieser Zeit. Die damit eingesparten CO₂-Emissionen in Höhe von 80 Mto CO_{2, eq} pro Jahr betragen ca. 10% aller derzeitigen Emissionen im Verkehrsbereich. Alternative Treibstoffe können demnach einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung der Sicherheit der Energieversorgung und zur Vermeidung von CO₂-Emissionen leisten.

Maßnahmen zur Stärkung der Marktposition alternativer Treibstoffe sind auf den unterschiedlichen Entwicklungsstand abzustimmen. Biotreibstoffe stehen in Form der konventionellen Kraftstoffe Bioäthanol und Biodiesel bereit für eine schrittweise Produktionserhöhung entsprechend den von der Europäischen Kommission vorgegebenen quantitativen Zielen, mit einem Anstieg von 2% Marktanteil in 2005 auf 5.75% in 2010. Erdgas kann auf ausgereifte Fahrzeugtechnologien setzen, erfordert aber für einen nennenswerten breiten Ausbau im Treibstoffmarkt einen erheblichen Ausbau des Tankstellennetzes und eine breitere Palette an optimierten Erdgasfahrzeugen, um den Verbraucher zu überzeugen. Wasserstoff benötigt für einen Einstieg als Energieträger im Verkehrsbereich vor allem kostengünstige Fahrzeuge hoher Zuverlässigkeit und Standfestigkeit, die im Rahmen großer integrierter Leuchtturmprojekte zur Serienreife entwickelt werden sollen.

Gemeinsame Aktionen von Industrie und Öffentlicher Hand sind erforderlich, um die nötigen Ressourcen zu mobilisieren und dem Verbraucher eine überzeugende Perspektive einer langfristigen Marktentwicklung zu geben. Dies soll auch die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Wirtschaft und die Schaffung von Arbeitsplätzen in Europa langfristig sichern.

Referenzen

- [1] Mitteilung der Europäischen Kommission, Hin zu einer europäischen Strategie für Energie-Versorgungssicherheit, KOM(2000) 769.
- [2] Mitteilung der Europäischen Kommission, Europäische Verkehrspolitik für 2010: Zeit zu entscheiden, KOM(2001) 370.
- [3] Mitteilung der Europäischen Kommission zu alternativen Treibstoffen im Straßenverkehrssektor und Maßnahmen zur Förderung des Gebrauchs von Biotreibstoffen, KOM(2001) 547.
- [4] Richtlinie zum Marktanteil von Biotreibstoffen, 2003/30/EC.
- [5] Richtlinie zur Besteuerung von Energieprodukten, 2003/96/EC.
- [6] Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Power Trains in the European Context, CONCAWE/EUCAR/JRC, <http://ies.jrc.cec.eu.int/Download/eh/>
- [7] Market Development of Alternative Fuels, Report of the Alternative Fuels Contact Group, 2003, http://europa.eu.int/comm/energy_transport/en/envir_en.html
- [8] Wasserstoffenergie und Brennstoffzellen – Eine Zukunftsvision, EUR 20719, Brüssel, 2003.
- [9] „European Energy and Transport Trends to 2030“, Nationale Technische Universität Athen für Generaldirektorat Energie und Transport der Europäischen Kommission, Brüssel, 2003.