

Thomas Puls

Alternative Antriebe und Kraftstoffe

Was bewegt das Auto von morgen?

Thomas Puls

Alternative Antriebe und Kraftstoffe

Was bewegt das Auto von morgen?

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

ISBN 3-602-14718-5

978-3-602-14718-2

Der Autor

Thomas Puls, Dipl.-Volkswirt, geboren 1974 in Preetz in Holstein; von 1995 bis 2002 Studium der Volkswirtschaftslehre in Kiel und Stockholm; seit März 2002 im Institut der deutschen Wirtschaft Köln – Forschungsstelle Ökonomie/Ökologie; Referent im Arbeitsbereich „Verkehr und Umwelt“.

Herausgegeben vom Institut der deutschen Wirtschaft Köln

© 2006 Deutscher Instituts-Verlag GmbH
Gustav-Heinemann-Ufer 84–88, 50968 Köln
Postfach 51 06 70, 50942 Köln
Telefon (02 21) 49 81-4 52
Telefax (02 21) 49 81-4 45
Internet: www.divkoeln.de
E-Mail: div@iwkoeln.de

Druck: Hundt Druck GmbH, Köln

Inhalt

Verzeichnis der Abkürzungen	4
1 Einleitung	7
2 Staatliche Förderung	10
3 Bewertungskriterien	11
3.1 Ökologische Faktoren	12
3.2 Ökonomische Faktoren	15
3.3 Effizienz	18
4 Alternative Antriebe	19
5 Diesel und Benzin	21
6 Erdgas	30
6.1 Compressed Natural Gas (CNG)	32
6.2 Gas to Liquids (GTL)	39
7 Biokraftstoffe	42
7.1 Biodiesel	48
7.2 Ethanol	54
7.3 Sunfuel (BTL)	63
8 Elektrofahrzeuge	68
9 Wasserstoff	70
10 Brennstoffzellen	82
11 Zusammenfassung	90
Literatur	94
Kurzdarstellung / Abstract	99

Verzeichnis der Abkürzungen

Verwendete Abkürzungen

- AFC** Alkalische Brennstoffzelle, ein Brennstoffzellentyp, der mit besonders geringer Temperatur arbeitet (vgl. Übersicht 3).
- BTL** Biomass to Liquids, ein auch als Sunfuel bekannter Biokraftstoff, der mit Hilfe der Fischer-Tropsch-Synthese aus jeglicher Biomasse hergestellt werden kann.
- CGH₂** Unter hohem Druck stehender molekularer Wasserstoff.
- CNG** Compressed Natural Gas, unter hohem Druck stehendes Erdgas.
- dB(A)** Dezibel, eine bewertete Maßeinheit für Schall.
- EDR** Erdgasdampfpreformation, ein Verfahren zur Herstellung von molekularem Wasserstoff aus Erdgas.
- EJ** Exajoule, eine physikalische Einheit zur Messung von Arbeit. Ein EJ entspricht 10^{18} (eine Million Billionen) Joule.
- ETBE** Ethyl Tertiär Butyl Ether, eine aus Ethanol herstellbare Flüssigkeit, die als Kraftstoffadditiv genutzt werden kann.
- FC** Fuel Cell, englisches Wort für Brennstoffzelle.
- FT** Fischer-Tropsch-Synthese, ein chemisches Verfahren, bei dem aus CO und H₂ beliebige Kohlenwasserstoffketten synthetisiert werden.
- GTL** Gas to Liquids, ein auch als Sunfuel bekannter Kraftstoff, der mithilfe der Fischer-Tropsch-Synthese aus Erdgas hergestellt wird.
- GWP** Global Warming Potential, ein Maß für die Treibhauswirksamkeit eines Gases. Das GWP von CO₂ ist gleich 1 gesetzt.
- LH₂** Liquefied Hydrogen, Wasserstoff im flüssigen Aggregatzustand. Zur Herstellung muss Wasserstoff auf -253 °C abgekühlt werden.
- LNG** Liquefied Natural Gas, im flüssigen Aggregatzustand gehaltenes Erdgas. Zur Herstellung muss Erdgas auf -161 °C abgekühlt werden.
- LPG** Liquefied Petroleum Gas, ein Gemisch aus Propan und Butan, das bei geringem Druck in den flüssigen Aggregatzustand übergeht.
- MTBE** Methyl Tertiär Butyl Ether, eine aus Methanol herstellbare Flüssigkeit, die anstatt Blei als Klopfschutzmittel im Kraftstoff verwendet wird.

- PAFC** Phosphoric Acid Fuel Cell, ein relativ einfacher Brennstoffzellentyp (vgl. Übersicht 3).
- PEMFC** Proton Exchange Membran Fuel Cell, ein Brennstoffzellentyp, der als besonders geeignet für den Einsatz als Fahrzeugantrieb gilt (vgl. Übersicht 3).
- RME** Raps Methyl Ester, die heute gängige Form des Biodiesels, bei der Rapsöl die Rohstoffbasis darstellt.
- SOFC** Solid Oxide Fuel Cell, ein Hochtemperaturbrennstoffzellentyp (vgl. Übersicht 3).
- TJ** Terajoule, eine physikalische Einheit zur Messung von Arbeit. Ein TJ entspricht einer Billion Joule.
- VKM** Verbrennungskraftmaschine, konventionelle Otto- und Dieselmotoren.
- WTT** Well to Tank, beschreibt die systematische Erfassung aller Effekte der Kraftstoffbereitstellung vom Bohrloch bis zum Fahrzeugtank.
- WTW** Well to Wheel, beschreibt die systematische Erfassung aller Effekte der Kraftstoffbereitstellung vom Bohrloch bis zur Bewegung der Reifen.

Chemische Nomenklatur

- C** Kohlenstoff.
- CH₄** Methan, ein farb-, geruch- und geschmackloses Gas, das den Hauptbestandteil von Erdgas bildet. Methan ist ungiftig, stellt jedoch ein bedeutendes Treibhausgas dar.
- CO** Kohlenmonoxid, ein farb-, geruch- und geschmackloses Gas, das den Sauerstofftransport im Körper unterbrechen kann. Aufgrund seiner Giftigkeit gilt CO als Schadstoff.
- CO₂** Kohlendioxid, ein farb-, geruch- und geschmackloses Gas, das bei der Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Stoffen entsteht. Kohlendioxid ist ein natürlicher Bestandteil der Luft und nicht giftig. Es ist daher kein Schadstoff. Doch es absorbiert einen Teil der Wärmestrahlung der Sonne, weshalb es zu den Treibhausgasen zählt.
- CO_{2eq}** Kohlendioxidäquivalente, ein Maß für die Klimawirksamkeit einer Gasmenge. Das Klimapotenzial wird mit Hilfe des GWP in einer CO₂-Menge ausgedrückt, um alle Treibhausgase in einer Einheit erfassen zu können.

- H** Wasserstoff, mit nur einem Proton und einem Elektron das kleinste und leichteste Element im Periodensystem.
- H₂** Molekularer Wasserstoff.
- NO_x** Stickoxide, Sammelbegriff für Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen. Stickoxide entstehen bei Verbrennungsprozessen. Manche Formen gelten als Reizgas. NO_x sind ferner an der Entstehung von Ozon, Partikeln, saurem Regen und Smog beteiligt und gelten daher als Schadstoffe.
- N₂O** Distickstoffoxid, ein auch als Lachgas bekanntes farbloses Gas, das zeitweilig als Narkosemittel eingesetzt wurde. N₂O ist nicht giftig, aber ein starkes Treibhausgas.
- O₂** Molekularer Sauerstoff.
- SO₂** Schwefeldioxid, ein farbloses, stechend riechendes, giftiges Gas, das bei der Verbrennung schwefelhaltiger Stoffe entsteht. In größeren Konzentrationen schädigt es die Bronchien und Lungen. Zudem trägt es zum sauren Regen bei und gilt daher als Schadstoff.

1

Einleitung

Ein massiver Anstieg der Rohstoffpreise prägte die Entwicklung der Weltwirtschaft in den letzten Jahren. Einen besonders großen Einfluss hatte der Höhenflug des Ölpreises. Der Preis pro Barrel (159 Liter) bewegt sich seit längerem an der 60-US-Dollar-Grenze. Mittelfristig könnte der Preis des „Schwarzen Goldes“ nach Ansicht mancher Experten noch deutlich steigen. Die hohen Preise haben eine Vielzahl von Gründen, die sich über die gesamte Versorgungskette erstrecken. Auf der einen Seite haben Anschläge, politische Unruhen, Streiks und Wirbelstürme das Angebot verknappt. Auf der anderen Seite ist die Nachfrage deutlich gestiegen. Insbesondere China steigerte seinen Ölverbrauch ganz erheblich. Die Folge ist, dass die weltweiten Erdölförderkapazitäten voll ausgelastet sind. Gleiches gilt für die Transport- und Raffineriekapazitäten. Es kommt noch erschwerend hinzu, dass die Erdölpreise durch massive Spekulationen weiter in die Höhe getrieben wurden. Zieht man zudem in Betracht, dass in den neunziger Jahren etwa dreimal so viel Erdöl verbraucht wurde wie neue Vorkommen entdeckt wurden (Brown, 2004, 28), so kommt man zu dem beunruhigenden Schluss, dass die Zeit des billigen Erdöls wohl unwiederbringlich dem Ende entgegengeht.

Vom hohen Ölpreis besonders betroffen ist der Straßenverkehr, der zu 98 Prozent vom Erdöl als Treibstoffbasis abhängig ist. Aufgrund dieser starken Abhängigkeit hat der Anstieg der Ölpreise dazu geführt, dass die Suche nach alternativen Treibstoffen und Antrieben in den Fokus des öffentlichen Interesses gerückt ist. Heute kommt noch eine Vielzahl von Treibstoffen und Antrieben als Zukunftskonzept in Frage, wobei sich jedoch manche der heute stark geförderten Alternativen bei genauerer Betrachtung als weniger geeignete Option erweisen. Es ist festzuhalten, dass bislang keines der alternativen Antriebs- und Treibstoffkonzepte gegenüber den konventionellen Benzin- und Dieselmotoren einen spürbaren Vorteil aufweist. Die Hauptprobleme der Alternativen liegen in ihren unverhältnismäßig hohen Bereitstellungskosten im Vergleich zu den konventionellen Kraftstoffen, die allerdings heute noch durch Steuersubventionen ausgeglichen werden können. Ein weiteres Grundproblem liegt darin, dass die meisten alternativen Treibstoffe nicht das notwendige Mengenpotenzial besitzen, um die bestehenden Treibstoffe ersetzen zu können. Entgegen der landläufigen Meinung ist auch die Umweltbilanz mancher alternativer Kraftstoffe eher durchwachsen. Eine wirklich massenmarkttaugliche Alternative fehlt bislang, die bestehenden Alternativsysteme können nur Nischen ausfüllen oder aber in Form von Untermischungen den Verbrauch von erdölbasierten Treibstoffen verringern.

Dennoch verdienen die laufenden Forschungen bezüglich alternativer Antriebe und Treibstoffe höchste Priorität, denn die Sicherung von preiswerter Mobilität ist eine wesentliche Voraussetzung für die Erhaltung des gesellschaftlichen Wohlstands in den Industrienationen. Die Auswahl einer ökologisch und ökonomisch tragbaren Alternative zu Benzin und Diesel hat große Bedeutung für die Zukunft, denn sie wird ganz wesentlich den Preis künftiger Mobilität bestimmen. Individuelle Mobilität muss auch in Zukunft für breite Bevölkerungsschichten erschwinglich bleiben. Das wird nur möglich sein, wenn die Alternativen in ausreichender Menge bereitgestellt werden können. Das ist einer der Eckpfeiler der anstehenden Entscheidung über den Treibstoff der Zukunft. Allerdings darf die Betrachtung der denkbaren Alternativen nicht auf den Preis an den Tankstellen verengt werden, denn eine so starke Umstellung in der Automobilindustrie wird auch einen extrem hohen Investitionsbedarf in Erzeugungs- und Versorgungsinfrastruktur auslösen. Gleiches gilt für andere Branchen, die als Zulieferer auftreten, etwa den Maschinenbau. Neben den ökonomischen Folgen, welche die Auswahl einer neuen Energiequelle für den Straßenverkehr mit sich bringt, sind bei der Entscheidung als zweiter Eckpfeiler die ökologischen Auswirkungen zu beachten. Eine langfristige Ausweitung der Treibhausgas- und Schadstoffemissionen gegenüber dem Status quo wäre inakzeptabel und gesellschaftlich nicht vermittelbar. Aufgrund der Schlüsselstellung von Straßenverkehr und Automobilindustrie für Ökonomie und Ökologie sollte der gesamte Entscheidungsprozess unter dem Primat „Do it once – do it right!“ stehen, damit die Umstellung auf einen alternativen Kraftstoff mit möglichst wenig Reibungsverlust vonstatten gehen kann.

Egal für welchen Treibstoff man sich in Zukunft entscheidet, es wird in absehbarer Zeit zu bedeutenden Veränderungen im gesamten Mobilitätssektor kommen. Zwar werden Pkw und Lkw ihre dominante Stellung behalten, doch die Umstellung der Energieversorgung des Straßenverkehrs wird eine kleine wirtschaftliche Revolution auslösen. Bedeutende Wertschöpfungsketten werden sich neu ausrichten müssen, denn die alternativen Kraftstoffe unterscheiden sich zum Teil erheblich von den etablierten. Zudem wird die Bedeutung des Treibstoffverbrauchs der Fahrzeuge für den Autofahrer und die mobile Gesellschaft weiter wachsen. Die Situation erinnert an die Zeit, als das benzinbetriebene Auto seinen Siegeszug antrat und das Pferd als Garanten der individuellen Mobilität verdrängte. Doch es ist eine der wenigen Gewissheiten des Lebens, dass Veränderungen zahlreiche Bedenkenträger auf den Plan rufen, die nachweisen, dass die Alternativen nicht funktionieren oder zu teuer sind. Ein vor über 130 Jahren in den USA verfasster Text über die beginnende technische Revolution im Verkehrssektor illustriert diese Veränderungsängste sehr anschaulich:

„Eine neue Energiequelle mit dem Namen Benzin ist von einem Bostoner Ingenieur erzeugt worden. Dieser Brennstoff wird nicht unter einem Kessel verbrannt, sondern explodiert im Zylinder eines Motors. (...) Die Gefahren sind doch offensichtlich. Benzin in den Händen von Leuten, die vor allem an Profit interessiert sind, stellt eine Feuer- und Explosionsgefahr erster Klasse dar. Pferdelose, von Benzin angetriebene Kutschen können Geschwindigkeiten von 14 oder sogar 20 Meilen pro Stunde erreichen. Die Bedrohung, die von solchen Fahrzeugen ausgeht, die durch unsere Straßen rasen und unsere Atmosphäre vergiften, verlangt nach einer gesetzlichen Antwort, auch wenn die militärischen und ökonomischen Implikationen überwältigend sind. (...) Im Übrigen sind die Herstellungskosten des Benzins jenseits der Finanzkraft unserer privaten Industrie. (...) Außerdem werden durch diese Entwicklung unsere Pferde überflüssig. Dadurch wird unsere Landwirtschaft ruiniert!“¹

In gewisser Weise stellt auch diese Analyse einen Bedenkenträgertext dar, denn aus heutiger Sicht ist Euphorie in Bezug auf die möglichen alternativen Treibstoffe und Antriebe nicht angebracht. Gerade die ökologisch vielversprechendsten Alternativen sind objektiv betrachtet noch weit von der Marktreife entfernt und die eingeführten Stoffe sind oft schlechter als ihr Ruf. Bei den folgenden Betrachtungen wird versucht, auf Basis des heutigen Kenntnisstands über chemische Eigenschaften, technische Potenziale und daraus resultierende Kostenstrukturen eine Einschätzung über die Eignung verschiedener Treibstoffe und Antriebskonzepte zu geben. Der Wert dieser Betrachtungen muss dabei weniger in konkreten Zahlen als in einer konsistenten Abwägung der Alternativen gesehen werden, da sich viele Aspekte aufgrund des technischen Fortschritts und der Entwicklung der Ölpreise im Fluss befinden. Es wird von einer Evolution in der technischen Entwicklung ausgegangen. Technische Revolutionen, etwa die Nutzbarmachung der Kernfusion, würden das Bild massiv verändern, sind jedoch absolut unvorhersagbar. Die Ausführungen beziehen sich primär auf den europäischen Pkw-Verkehr. In anderen Weltregionen könnten sich aufgrund anderer Kostenstrukturen und Anforderungen andere Optima ergeben. Gleiches gilt auch für den Lkw- und den Busverkehr. Aufgrund gänzlich anderer Anforderungs- und Betreiberstrukturen bieten sich hier unter Umständen ganz andere Antriebskonzepte an als im Pkw-Verkehr. Diese unterschiedlichen Anforderungen zu berücksichtigen und dennoch den Aufbau paralleler Versorgungsinfrastrukturen oder die Bildung eines Flickentepichs von nur regional nutzbaren Antriebskonzepten zu verhindern, ist eine zentrale Herausforderung an Politik und Industrie.

¹ Zitiert nach Pehnt, 2002, 60 f.