

Schriftliche Ausarbeitung

über das Thema

Die Zukunft des Automobils

im Rahmen einer Vortragsreihe der

Arbeitsgruppe 3: DIE ZUKUNFT DER ENERGIE

SOMMERAKADEMIE SALEM 2008

Verfasst von: Anton Spies

„Ich glaube an das Pferd, das Automobil ist eine vorübergehende Erscheinung“, Wilhelm II.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
2. Der konventionelle Antrieb – Verbrennungsmotor	4
3. Alternative Kraftstoffe	5
3.1 Biodiesel	5
3.2 Bioethanol.....	5
3.3 Wasserstoff	6
4. Der Elektroantrieb – Eine Wiederentdeckung	6
4.1 Der Elektromotor	6
4.2 Der Energiespeicher – Die Achillesverse des Elektroantriebs	6
5. Der Brennstoffzellenantrieb – Eine Technologie mit Zukunft	7
5.1 Die Brennstoffzelle (BZ)	7
5.2 Der Wasserstoffspeicher – Eine Herausforderung	7
6. Fazit	7
7. Literatur- und Webseitenverzeichnis	8

1. Einleitung

*„Die langfristigen Prognosen über die Weltreserven an Erdöl weisen auf eine zunehmende Verknappung hin. Die vor kaum einem Jahr aufgetretene Versorgungskrise hat uns die Auswirkungen einer solchen Verknappung erstmalig vor Augen geführt. Heute gibt es noch keine wirtschaftlich vertretbare Alternative zum Benzin. Das muß sich langfristig ändern“.*¹

Bereits 1974, ein Jahr nach der ersten Ölkrise, hatte man die Erkenntnis der Notwendigkeit innovativer Kraftstoffe und Automobilantriebe. Dieser Gedanke wurde im Laufe der Jahrzehnte mit zunehmender Abzeichnung der Knappheit fossiler Brennstoffe bei gleichzeitig stetig wachsendem Pkw-Bestand von weltweit etwa 200 Mio. Kraftfahrzeugen 1970 auf über 900 Mio. im Jahr 2007². Und auch in Zukunft soll die Zahl der Automobile bis 2030 je nach Quelle auf 1.600³ bzw. 2.000 Mio.⁴ steigen. Die entscheidende Frage ist jedoch nicht, wie viele Fahrzeuge es tatsächlich sein werden oder wie viele unser Planet noch vertragen kann, sondern viel mehr die Frage wie dieser ökologischen Herausforderung begegnet werden kann. Denn die Tatsache, dass ein wirtschaftlicher Aufschwung einer Region oder eines Landes stets mit zunehmender Motorisierung und steigendem Primärenergieverbrauch einhergeht, konnte in der Vergangenheit beobachtet werden.

Das Automobil ist in den meisten postindustriellen Ländern nach wie vor ein wichtiger volkswirtschaftlicher Faktor. In Deutschland hängt an dieser Schlüsselindustrie jeder siebte Arbeitsplatz⁵. Kaum einem anderen Gebrauchsgegenstand wird eine vergleichbare Wichtigkeit beigemessen, ermöglicht dieser doch die Teilnahme am wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Leben und die Überwindung der durch die Muskelkraft gesetzten Grenzen. Umso wichtiger erscheint vor diesem Hintergrund die Weiterentwicklung alternativer Kraftstoffe und Antriebe, die die individuelle Mobilität auch in Zukunft nicht nur sichern, sondern auch anderen Menschen auf der Welt ermöglichen soll. Denn eines haben alle Prognosen bzw. Zukunftsprojektionen gemein, dass es eine Zukunft ohne das Automobil nicht geben wird.

In den nachfolgenden Punkten werden zunächst der konventionelle Antrieb mit seinen Vor- und Nachteilen vorgestellt und darauf aufbauend mögliche zukunftsweisende Antriebssysteme diskutiert.

2. Der konventionelle Antrieb – Verbrennungsmotor

Seit den Anfängen des Automobils stellten das Antriebssystem und insbesondere der Antriebsmotor die größten Herausforderungen dar. Im Laufe der Zeit konnten viele Probleme der Langlebigkeit, Leistung oder Sparsamkeit der Motoren durch geniale Innovationen und

¹ Bundesministerium für Forschung und Technologie: Neuen Kraftstoffen auf der Spur, Bonn 1974, S. 5.

² Vgl. Gerl, Bernhard: Innovative Automobilantriebe, S. 25.

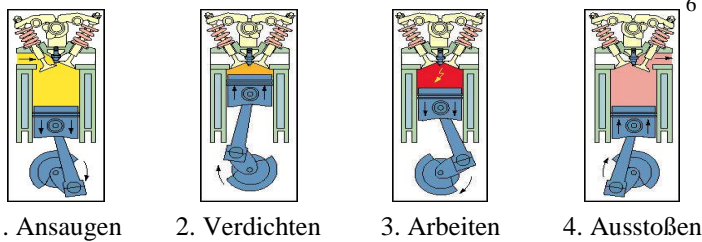
³ Ebd.

⁴ Vgl. Stüvel, Heike: Planet der Autos. Auto Club Europa, Online-Publikation 2007, http://www.ace-online.de/cps/rde/xchg/ace_internet_new/hs.xml/14_12558_DEU_xHTML.htm, 21.02.09.

⁵ Vgl. Verband der Automobilindustrie (VDA), Online-Publikation 2005, <http://www.vda.de/de/meldungen/archiv/2005/09/06/1133/>, Stand: 21.02.09.

technische Meisterleistungen größtenteils behoben werden. Jedoch ist das Antriebssystem nach wie vor der wichtigste Bestandteil eines Fahrzeugs und erfährt vor dem Hintergrund der ökologischen und wirtschaftlichen Problematik, die sich in Form von Ressourcenknappheit und Klimawandel abzeichnen, eine neue strategisch wichtige Stellung.

Mit dem Verbrennungsmotor sind insbesondere zwei Namen verbunden: Otto und Diesel. Nicolaus August Otto (1832 – 1891) übernahm die Idee der Zündung eines Luft-Gas-Gemischs in einem Zylinder von Lenoir (1822 – 1900), einem französischen Erfinder und entwickelte daraus eine atmosphärische Gasmachine (1876) mit einem Viertakt-Arbeitsverfahren, dem Urbild aller heutigen Viertaktmotoren. Die vier Takte sind:



1. Ansaugen

2. Verdichten

3. Arbeiten

4. Ausstoßen

Mit diesem Verfahren konnte durch die Verdichtung der Verbrauch gesenkt, die Leistung gesteigert und die zuvor heftigen und lauten Verbrennungsstöße vermieden werden⁷.

Einige Jahre später entwickelte Rudolf Diesel (1858 – 1913) seine „Neue rationelle Wärmekraftmaschine“ (1897). Das Besondere bei diesem Dieselmotor war die Verdichtung der Luft und nicht eines Luft-Gas-Gemischs. Dabei wird die Luft auf über 700 °C erwärmt und erst im oberen Totpunkt (Schaubild 2) wird der Kraftstoff in den heißen Brennraum eingespritzt. Durch die höhere Verdichtung und den daraus resultierenden höheren thermischen Wirkungsgrad gelang es Diesel im Vergleich zum Ottomotor eine höhere Leistung bei geringerem Verbrauch zu erzielen⁸. Und noch heute werden Selbstzünder als Dieselmotoren und fremdgezündete als Ottomotoren bezeichnet.

Beinahe ausnahmslos werden heutige Automobile von Verbrennungsmotoren angetrieben. Zu diesem Siegeszug verhelfen insbesondere die, z. B. im Vergleich zum Wasserstoff, leicht transportier- und lagerbare Diesel- und Ottokraftstoffe. Zudem weisen diese einen hohen thermischen Energiegehalt (Brennwert), was für den mobilen Einsatz unverzichtbar ist. Dies führte zu einer raschen Weiterentwicklung der gut beherrschbaren Technik und zu einer Verdrängung aller Antriebsansätze wegen höherer Wirtschaftlichkeit und techn. Überlegenheit. Genau diese Vorteile und eine vorhandene Infrastruktur lassen dieses Antriebskonzept auch in naher Zukunft dominieren, jedoch liegt die Zukunft in alternativen Antriebssystemen.

3. Alternative Kraftstoffe

Mit der Erlassung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG, 2000), erlebten viele alternative Sekundärenergieträger einen regelrechten Boom. So vervierfachte sich der Anteil erneuerbarer Energien am Endverbrauch im Zeitraum von 2000 bis 2007. Im Verkehrssektor waren

⁶ Vgl. Kfz-Schulungsstaette, Online-Publikation, <http://www.kfz-schulungsstaette.de/k2/otto/otto.htm#Otto>, Stand: 21.02.09.

⁷ Vgl. Grohe, Heinz: Otto- und Dieselmotoren, 1973, S. 9 ff.

⁸ Ebd.

es die Novellierung des Mineralölsteuergesetzes (2002) und die Europäische Förderrichtlinie für Biokraftstoffe (2003)⁹, die den Einsatz von Biokraftstoffen vorantrieben. Jedoch legte sich die Euphorie mit der stufenweisen Besteuerung von Biokraftstoffen, veranlasst durch das Energiesteuergesetz (2006)¹⁰ ergänzt um das Biokraftstoffquotengesetz zur teilweisen Kompensierung der neuen Steuerlast und Sicherung des jungen Wirtschaftssektors.

3.1 Biodiesel

Biodiesel wird in erster Linie aus Raps hergestellt, da dieser einen Kornertrag von etwa vier Tonnen pro Hektar ermöglicht und die Samen aus 40 – 45% Öl bestehen¹¹. Biodiesel hat einen etwas geringeren Brennwert, jedoch ist es fast schwefelfrei, besitzt eine bessere Schmiereigenschaft und weist eine geringere Ruß-Emission auf. Jedoch wirkt es wie ein Lösungsmittel und kann insbesondere Dichtungen und Schläuche angreifen. Insgesamt weist die Biodieselproduktion eine positive Ökobilanz und damit einen geschlossenen Kohlenstoffdioxidkreislauf auf¹². Zwar könnten auch brachliegende Ackerflächen bebaut werden, jedoch müsste etwa ein Drittel der Fläche der Bundesrepublik mit Raps bebaut werden, um den heutigen Dieselbedarf decken zu können.

3.2 Bioethanol

Bioethanol ist ein Alkohol, welches ausschließlich aus Biomasse, wie Mais, Getreide, Zuckerrüben oder Zuckerrohr hergestellt wird. Ähnlich wie Biodiesel besitzt Bioethanol insbesondere in warmen Anbaugebieten eine positive Ökobilanz. Beim Einsatz als Kraftstoff müssen bei einer Beimischung von über 20 – 25% mehrere Änderungen, wie Einstellungen am Vergaser bzw. Einspritzpumpe, Installation eines Durchflussfilters in Kraftstoffleitungen sowie eventuell eine Umrüstung am Tank, vorgenommen werden¹³. Jedoch muss hier abgewogen werden, wie sinnvoll es ist, Pflanzen, die zur Lebensmittelherstellung benötigt werden, für die Biokraftstoffherstellung zu verwenden. Des Weiteren wird die Klimabilanz von Biokraftstoffen von vielen Umweltschützern und Wissenschaftlern im Vergleich zu fossilen Treibstoffen als negativ eingestuft. Grund ist die Düngung mit Stickstoff, der zum Teil als Lachgas in die Atmosphäre gelangt. Das Lachgas ist ein um den Faktor 300 stärkeres Treibhausgas als Kohlenstoffdioxid¹⁴.

3.3 Wasserstoff

Ein weiterer alternativer Kraftstoff, bei welchem sowohl ein Verbrennungsmotor als auch eine Brennstoffzelle (i.V.m. einem Elektromotor) verwendet werden könnte, ist der Wasser-

⁹ Vgl. Verband der Deutschen Biokraftstoffindustrie e.V., Online-Publikation (aller relevanten Gesetzgebungen), <http://www.biokraftstoffverband.de/de/politik/gesetzgebung.html>, Stand: 21.02.09.

¹⁰ Die anfängliche Steuerbefreiung und Subventionen für die Landwirtschaft hatte den Zweck zur Produktionsankurbelung erfüllt, hätte jedoch bei Fortbestehen eine noch stärkere Wettbewerbsverzerrung bis in den Lebensmittelbereich geführt.

¹¹ Vgl. Geitmann, Sven: Erneuerbare Energien & Alternative Kraftstoffe, S. 57 ff.

¹² Vgl. Gerl, Bernhard: Innovative Automobilantriebe, S. 31 f.

¹³ Vgl. Uhlig, Hans: Biokraftstoffe aus Abfall, S. 133 ff.

¹⁴ Studie eines Wissenschaftlerteams um Nobelpreisträger Paul Crutzen, Online-Publikation, 2007,

http://www.welt.de/wissenschaft/article1246835/Biosprit_schaedlicher_als_herkoemmlisches_Benzin.html, Stand: 21.02.09.

stoff. Wasserstoff ist das leichteste und häufigste Element im Universum und kommt unter Normalbedingungen nur als zweiatomiges Molekül, welches ein großes Bestreben zur Reaktion mit einem Sauerstoffatom zu Wasser hat, vor¹⁵. Zwar findet man überall auf der Welt dieses Element, jedoch nur selten in ungebundener Form, so dass es zunächst extrahiert werden muss. Dafür ist Energie notwendig, die bei erneuter Reaktion wieder frei wird. Deswegen handelt es beim Wasserstoff (H₂) i.d.R.¹⁶ um einen Tertiärenergieträger. Erst eine kostengünstige und effiziente Nutzung von Wind- und insbesondere Sonnenergie könnten ihn zum Energieträger des 21. Jahrhunderts werden lassen.

4. Der Elektroantrieb – Eine Wiederentdeckung

Um die Jahrhundertwende im letzten Jahrtausend konkurrierten viele verschiedene Antriebskonzepte miteinander und zunächst schien der Elektroantrieb dem Verbrennungsmotor überlegen zu sein. Um 1900 gab es in den USA 40 % Dampfwagen, 38 % Elektrowagen und 22 % Benzinwagen¹⁷. Es war auch ein Elektroauto, das im Jahr 1899 zum ersten Mal schneller als 100 km/h fuhr. Jedoch wurde der Elektroantrieb trotz vieler Vorteile wegen der Reichweiten- und Aufladeproblematik vom konventionellen Antrieb überholt und bis auf einige Nischen verdrängt. Doch mit zunehmender Umweltdiskussion und steigenden Energiepreisen erfuhr die Technologie und insbesondere die Erforschung neuer Akkumulatoren neuen Aufschwung und wird als das Konzept der mittelfristigen Zukunft gehandelt¹⁸.

4.1 Der Elektromotor

Der Elektromotor gilt einem gewöhnlichen Verbrennungsmotor in jeder Hinsicht als überlegen. Die Vorteile des Elektromotors basieren auf der Tatsache, dass weder eine Verbrennung eines Kraftstoffs noch ein direkter Kontakt zwischen dem Rotor und dem Stator besteht. Zudem enthält er viel weniger bewegliche Teile und benötigt weder Öl noch die damit verbundene ständige Wartung. Der Elektromotor weist keine lokalen Emissionen auf und ist besonders geräuscharm. Weitere wichtige Vorteile sind die Möglichkeit der Diversifizierung der Energiequellen und der hohe Wirkungsgrad von bis zu 90 % im Vergleich zu etwa 40 % bei Verbrennungsmotoren¹⁹.

4.2 Der Energiespeicher – Die Achillesferse des Elektroantriebs

Eine im Vergleich zum konventionellen Fahrzeug vergleichbare Alltagstauglichkeit hat bis dato der Energiespeicher verhindert. Jedoch bildet sich auf diesem Gebiet eine neue Dynamik. Meldungen über die Weiterentwicklungen des Lithium-Ionen Akkus, wie zum Beispiel die

¹⁵ Vgl. Geitmann, Sven: Erneuerbare Energien & Alternative Kraftstoffe, S. 88 f.

¹⁶ es kann auch als Sekundärenergieträger vorliegen, wenn es z.B. von Algen erzeugt wird, vgl. <http://www.biowasserstoff.de/> oder <http://www.3sat.de/3sat.php?http://www.3sat.de/nano/bstuecke/32233/index.html>, Stand: 21.02.09

¹⁷ Vgl. Möser, Kurt: Die Geschichte des Autos, S 52.

¹⁸ Vgl. <http://www.stern.de/auto/service/:Elektro-Auto-Die-Zukunft-Dose-/604471.html>, Stand: 21.02.09.

¹⁹ Vgl. Babel, Gerhard: Elektrische Antriebe in der Fahrzeugtechnik, S. 6.

Super Charge Ion Battery (SCiB)²⁰ oder die Lithium-Titanat-Akkumulatoren²¹, die beide eine Aufladung in unter zehn Minuten ermöglichen. Auch spielen sogenannte Super- oder Ultrakondensatoren als nicht chemische Speichermedien in der Automobilindustrie eine zunehmend wichtige Rolle.

5. Der Brennstoffzellenantrieb – Eine Technologie mit Zukunft

Bereits in den 1970er Jahren wurde die Brennstoffzelle i.V.m. dem Elektromotor und Wasserstoff als das Zukunftsantriebssystem angesehen²². Im Laufe der Jahre wurde diese Prognose durch mehrere Erprobungs-Prototypen untersucht und weiterentwickelt. Jedoch befindet sich diese Technik nach wie vor im Entwicklungsstadium und könnte eher langfristig eine Rolle spielen. Gründe dafür sind die teuren Brennstoffzellen und die bis dahin ungelöste Problematik der effizienten Wasserstoffproduktion und -speicherung.

5.1 Die Brennstoffzelle (BZ)

Die am häufigsten verwendete und für den mobilen Einsatz am besten geeignete ist die Polymer-Elektrolyt-Brennstoffzelle (PEMFC), da sie bereits ab 20 °C uneingeschränkt arbeiten kann. Eine BZ besteht hauptsächlich aus zwei Elektroden und einem Elektrolyten, auf dem ein Katalysator (z.B. Platin) aufgetragen ist. An der Oberfläche des Elektrolyten wird das H₂-Molekül in zwei pos. geladene Wasserstoffatome und zwei neg. geladene Elektronen, die über einen externen Stromkreis fließen und elektrische Energie liefern, gespalten.

5.2 Der Wasserstoffspeicher – Eine Herausforderung

Grundsätzlich wird Wasserstoff gasförmig in Druckbehältern (bis 700 bar), flüssig in Kryptotanks (bei -253 °C) oder ebenfalls gasförmig in Metallhydriden gespeichert. Wasserstoff ist ein äußerst flüchtiges Element, so dass bei derzeitigen Speicherbehältern stets ein signifikanter Teil des Gases diffundiert. Auch entspricht der Brennwert von einem Liter flüssigen Wasserstoff (LH₂) gerade einmal einem Viertel Liter Benzin. Bei der Verflüssigung wird derzeit i.d.R. ein Drittel der im Wasserstoff speicherbaren Energie verbraucht.

6. Fazit

Es gibt nicht das Zukunftskonzept zur Sicherung der Mobilität, jedoch wird der Hybrid- und Elektroantrieb auch in Zukunft weiter stark an Bedeutung gewinnen. Zudem könnte das Automobil zum Bestandteil des Stromnetzes werden und regenerative Energie speichern²³.

²⁰ Vgl. Toshiba SCiB, Online-Publikation, 2008, <http://www.finanznachrichten.de/nachrichten-2008-09/11852114-toshiba-liefert-scib-tm-eine-sichere-langlebige-und-schnell-aufladbare-batterie-an-cannondale-sports-group-004.htm>, Stand: 21.02.09.

²¹ Vgl. Turbo-Akku ist schneller, besser und haltbarer, Online-Publikation, 2005, <http://www.wissenschaft.de/wissenschaft/news/249773.html>, Stand: 21.02.09.

²² Vgl. Bundesministerium für Forschung und Technologie: Neuen Kraftstoffen auf der Spur, Bonn 1974, S. 246 ff.

²³ Vgl. <http://www.handelsblatt.com/technologie/news/industrie-spielt-das-elektroauto-durch:2157338>, Stand: 21.02.09.

7. Literatur- und Webseitenverzeichnis

[1], [22]

Bundesministerium für Forschung und Technologie: Neuen Kraftstoffen auf der Spur – Alternative Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge, Gersbach & Sohn Verlag, 1974.

[2], [3], [7], [12]

Gerl, Bernhard: Innovative Automobilantriebe – Konzepte auf der Basis von Brennstoffzellen, Traktionsbatterien und alternativen Kraftstoffen, Verlag Moderne Industrie, 2002.

[4]

Prognosen zum Pkw-Bestand, Heike Strüvel, Online-Publikation 2007:

http://www.ace-online.de/cps/rde/xchg/ace_internet_new/hs.xsl/14_12558_DEU_xHTML.htm, Stand: 21.02.09.

[5]

Informationen zur wirtschaftlichen Bedeutung der Automobilindustrie, Verband der Automobilindustrie, Online-Publikation 2005:

<http://www.vda.de/de/meldungen/archiv/2005/09/06/1133/>, Stand: 21.02.09.

[6]

Information zum Ottomotor, Kfz-Schulungsstaette, Online-Publikation:

<http://www.kfz-schulungsstaette.de/k2/otto/otto.htm#Otto>, Stand: 21.02.09.

[7], [8]

Grohe, Heinz: Otto- und Dieselmotoren – Arbeitsweise, Aufbau und Berechnung von Zweitakt- und Viertakt-Verbrennungsmotoren, Vogel-Verlag, 1973.

[9]

Informationen zu relevanten Gesetzen, Verband der Deutschen Biokraftstoffindustrie e.V., Online-Publikation:

<http://www.biokraftstoffverband.de/de/politik/gesetzgebung.html>, Stand: 21.02.09.

[11], [15]

Geitmann, Sven: Erneuerbare Energien & Alternative Kraftstoffe – Mit neuer Energie in die Zukunft, Hydrogeit Verlag, 2005.

[13]

Uhlig, Hans: Biokraftstoffe aus Abfall – Die Anleitung für Auto, Heizung und Stromerzeugung, Goldegg Verlag, 2007.

[14]

Studie eines Wissenschaftlerteams um Nobelpreisträger Paul Crutzen, Online-Publikation, 2007: http://www.welt.de/wissenschaft/article1246835/Biosprit_schaedlicher_als_herkoemmlisches_Benzin.html
Stand: 21.02.09.

[16]

Interessante Information zum Biowasserstoff, Online-Publikationen, <http://www.biowasserstoff.de/> oder <http://www.3sat.de/3sat.php?http://www.3sat.de/nano/bstuecke/32233/index.html>, Stand: 21.02.09.

[17]

Möser, Kurt: Die Geschichte des Autos, Campus Sachbuch, 2002.

[18]

Mögliche Zukunftsentwicklungen, Online-Publikation:
<http://www.stern.de/auto/service/:Elektro-Auto-Die-Zukunft-Dose-/604471.html>,
Stand: 21.02.09.

[19]

Babel, Gerhard: Elektrische Antriebe in der Fahrzeugtechnik, Vieweg Verlag, 2007.

[20]

Informationen zu einer Akkumulatortechnik, Toshiba SCiB, Online-Publikation, 2008,
<http://www.finanznachrichten.de/nachrichten-2008-09/11852114-toshiba-liefert-scib-tm-eine-sichere-langlebige-und-schnell-aufladbare-batterie-an-cannondale-sports-group-004.htm>,
Stand: 21.02.09.

[21]

Weitere Informationen zur Akkumulatortechnik, Turbo-Akku ist schneller, besser und haltbarer, Online-Publikation, 2005, <http://www.wissenschaft.de/wissenschaft/news/249773.html>, Stand: 21.02.09.

[23]

Informationen zu Kooperations- und Entwicklungstendenzen in der Autoindustrie, Online-Publikation, <http://www.handelsblatt.com/technologie/news/industrie-spielt-das-elektroauto-durch;2157338>, Stand: 21.02.09.