

# **Technologischer und ökonomischer Wandel biogener Treibstoffe in der Automobilindustrie**

Diplomarbeit  
zur Erlangung des akademischen Grades eines Magisters  
der Sozial- und Wirtschaftswissenschaften  
an der Karl-Franzens Universität Graz

vorgelegt von  
Gerwin J. Leitner

Eingereicht bei  
o. Univ. Prof. Dr. Stefan P. Schleicher

Graz, im Juli 2002

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benützt und die den benützten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, im Juli 2002

## Vorwort

Mit der Diplomarbeit will ich einen Einblick in die Umweltproblematik der fossilen Treibstoffe geben und gleichzeitig mögliche Auswege aufzeigen, auch wenn diese noch weit in der Zukunft liegen mögen. Meiner Meinung ist es genau der richtige Zeitpunkt diese Arbeit zu verfassen, da die Problematik und die Unsicherheit die mit Erdöl verbunden ist, derzeit wieder einmal zu Tage tritt. Aus Gründen der Stabilisierung der Konjunktur, der Versorgungssicherheit sowie des Umweltschutzes ist es notwendig, langsam einen alternativen Weg im Energiesektor zu beschreiten.

Mein Dank gilt besonders Herrn Dipl.-Ing. Klaus Nutz, der mich auf das Potential alternativer Treibstoffe aufmerksam gemacht hat, und der mir während des Verfassens der Diplomarbeit mit Rat und Tat zur Seite gestanden ist. Im Weiteren danke ich Dr. Stefan Schleicher für die Betreuung.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. EINLEITUNG</b>	<b>1</b>
<b>2. GRÜNDE FÜR DIE SUBSTITUTION FOSSILER TREIBSTOFFE</b>	<b>3</b>
<b>TEIL 1 – EMISSIONSFREIE TREIBSTOFFE</b>	<b>15</b>
<b>3. WASSERSTOFF</b>	<b>15</b>
<b>3.1. Grundlagen</b>	<b>15</b>
3.1.1. Geschichte des Wasserstoffs	16
3.1.2. Erzeugung von Wasserstoff	17
3.1.3. Verwendung von Wasserstoff	19
3.1.4. Alltagstauglichkeit	20
3.1.5. Normierung	21
3.1.6. Umweltproblematik	21
<b>3.2. Einsatz des Wasserstoffs im Auto anhand des BMW 750hl</b>	<b>23</b>
3.2.1. Energiedichte des H <sub>2</sub> im Vergleich zu anderen Kraftstoffen	25
3.2.2. Vergleich H <sub>2</sub> -Benzin bezüglich Tankgewicht	26
<b>3.3. Grundlagen der Brennstoffzellentechnologie</b>	<b>27</b>
3.3.1. Funktionsweise der Brennstoffzelle	28
3.3.2. "Methanolisierter" Wasserstoff	31
3.3.3. Methanol-Brennstoffzelle	32
3.3.4. Benzin	33
3.3.5. Gefahr zusätzlicher Nebel- und Glatteisbildung eines wasserstoffbetriebenen Kfz - Verkehrs	33
<b>3.4. Einsatz der Brennstoffzelle</b>	<b>34</b>
3.4.1. Chancen und Ziele der Brennstoffzelle	35
<b>4. ELEKTROFAHRZEUGE</b>	<b>37</b>
<b>4.1. Grundlagen</b>	<b>37</b>
4.1.1. Lithium Ionen	40
4.1.2. Nickel-Cadmium (NiCd)	41
4.1.3. Nickel-Metall-Hydrid	41
4.1.4. Bleiakku	42
4.1.5. Natrium-Nickelchlorid-Batterien	42
<b>4.2. Einsatz im Automobil</b>	<b>43</b>
4.2.1. Purpose- vs. Conversion-Design	44
<b>TEIL 2 – TREIBSTOFFE MIT GERINGEREN EMISSIONSWERTEN ALS FOSSILE BRENNSTOFFE</b>	<b>46</b>
<b>5. ERDGAS</b>	<b>46</b>
<b>5.1. Grundlagen</b>	<b>46</b>
5.1.1. Entstehung des Erdgases	48
5.1.2. Speicherung des Erdgases	50
5.1.3. Umwelt	51

<b>5.2. Einsatz des Erdgases</b>	<b>52</b>
5.2.1. Wirtschaftlichkeit	54
5.2.2. Erdgas-Flüssiggas	56
5.2.3. Sicherheit	57
<b>TEIL 3 – ERNEUERBARE ENERGIETRÄGER</b>	<b>59</b>
<b>6. PFLANZENÖL</b>	<b>59</b>
<b>6.1. Grundlagen</b>	<b>60</b>
6.1.1. Pflanzliche Öle	63
6.1.2. Verschiedene Ölpflanzen	66
6.1.3. Pflanzenölmethylester	68
6.1.4. Normierung	70
6.1.5. Eigenschaften des Pflanzenöls	71
<b>6.2. Einsatz des Pflanzenöls</b>	<b>72</b>
6.2.1. Probleme beim Betrieb	72
6.2.2. Die Wirtschaftlichkeit	76
6.2.3. Elsbett-Motor	77
6.2.4. Wasserstofftechnologie und Biokraftstoffe im Vergleich	78
<b>7. ALKOHOLE</b>	<b>81</b>
<b>7.1. Grundlagen</b>	<b>81</b>
7.1.1. Kraftstoffkomponenten aus Alkoholen	82
7.1.2. Mischkraftstoffe mit geringen Alkoholanteilen	83
7.1.3. Mischkraftstoffe mit hohen Alkoholanteilen	83
7.1.4. Reine Alkohole	84
<b>TEIL 4 – SPEKULATIVE ÜBERLEGUNGEN</b>	<b>85</b>
<b>8. WASSERAUTO</b>	<b>85</b>
<b>9. LUFTAUTO</b>	<b>87</b>
<b>TEIL 5 – ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>90</b>
<b>10. GEGENÜBERSTELLUNG DER VORGESTELLTEN ALTERNATIVEN</b>	<b>90</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>97</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b>	<b>98</b>
<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>99</b>
<b>ANHANG</b>	<b>104</b>

## Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
Abs.	Absatz
ATS	Österreichischer Schilling
CARB	California Air Resources Board
CFPP	Grenzwert der Filtrierbarkeit
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
c <sub>p</sub>	spezifische Wärmekapazität
c <sub>v</sub>	spezifische Wärmekapazität
c <sub>w</sub> -Wert	Strömungswiderstand
E	Ethanol
EMF	electromagnetic fluid oil
ESP	Einspritzpumpe
ETBE	Ethyl Tertiär Butyl Ether
EZEV	Equivalent Zero Emission Vehicle
g	Gramm
GH <sub>2</sub>	gasförmiger Wasserstoff
h	Stunde
H <sub>2</sub>	Wasserstoff
K	Kalium
kJ	Kilojoule
Korr.Grad	Korrosionsgrad
KPa	Kilopascal
kw	Kilowatt
KW	Kohlenwasserstoffe
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LH <sub>2</sub>	flüssiger Wasserstoff
Li-Ion	Lithium-Ionen
Lkw	Lastkraftwagen
M	Methanol

---

m <sup>3</sup>	Kubikmeter
Mio.	Million
MJ	Megajoule
mm <sup>2</sup>	Quadratmillimeter
Mrd.	Milliarden
MTBE	Metyl Tertiär Butyl Ether
mWh	Megawattstunde
MwSt.	Mehrwertssteuer
N <sub>2</sub> O	Distickstoffmonoxid (Lachgas)
NaNiCl <sub>2</sub>	Natrium Nickelchlorid
NiCl <sub>2</sub>	Nickel-Chlorid
NiMH	Nickel-Metall-Hydrid
Nm	Newtonmeter
NO <sub>x</sub>	Stickstoffoxid
O <sub>3</sub>	Ozon
OPEC	Organisation of Petroleum Exporting Countries, Organisation erdölexportierender Länder
PEMFC	Membran-Brennstoffzelle
PME	Pflanzenmethylester
RME	Rapsmethylester
SULEV	Super Ultra-Low Emissions Vehicle
SUV	Sport-Utility-Vehicles
t	Tonne
u.a.	unter anderem
Upm	Umdrehungen pro Minute
USD	United States Dollar
VOC	volatile organic compounds, flüchtige organische Verbindungen
W	Watt
Wh	Wattstunde
Z	Ziffer
ZEV	Zero Emission Vehicle

## 1. Einleitung

Das erhöhte Verkehrsaufkommen ist nicht nur eine Belastung für die Nerven der Verkehrsteilnehmer, wenn sie im Stau stecken, sondern auch eine Gefahr für die menschliche Gesundheit durch die Autoabgase. Diese sind aber auch eine nicht zu unterschätzende Gefahr für die Umwelt. Autoabgase vergiften die Luft der Städte und deren Einwohner mit einem Giftcocktail aus Benzol, Stickoxid, Dieselruß und anderen Schadstoffen. Schadstoffe aus den Auspuffrohren der Autos sind maßgeblich verantwortlich für das Waldsterben. Erste Anzeichen einer globalen Klimaänderung sind bereits heute unübersehbar. Hauptverantwortlich für die künstliche Erderwärmung ist die massive Zunahme der vom Menschen verursachten sogenannten Treibhausgase. Sie verhindern in der Atmosphäre die Rückstrahlung von Wärme ins Weltall, die Hitze staut sich wie unter einem großen Treibhausdach. Dürren, Wirbelstürme und extreme Überschwemmungen sind fatale Folgen. Über 50 Prozent des künstlichen Treibhauseffektes gehen auf das Konto des Treibhausgases Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>). Der Autoverkehr zählt zu den Hauptverursachern von CO<sub>2</sub>. Bereits heute stoßen die weltweit 500 Millionen PKW vier Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub> aus - rund 20 Prozent der gesamten vom Menschen verursachten Menge.<sup>1</sup> Und die Autoflotte wächst rapide - derzeit doppelt so schnell wie die Weltbevölkerung. Prognosen gehen davon aus, dass die Zahl der PKW weltweit bis zum Jahr 2030 auf über 2 Milliarden ansteigen wird. Damit wird sich der Treibstoffverbrauch und die CO<sub>2</sub>-Emissionen weiter erhöhen. Nicht nur die stetig wachsenden CO<sub>2</sub>-Emissionen machen das Auto zum Umweltproblem Nummer eins. Benzin und Diesel werden aus Erdöl gewonnen, wobei der Autoverkehr über die Hälfte des weltweit geförderten Rohöls verbraucht. Wie Unfälle mit Öltankern oder Bohrinseln sowie Lecks in Pipelines gezeigt haben, ist diese Energieform äußerst gefährlich.

In einer Studie der WHO (1999) wurden die Gesundheitskosten ermittelt, welche in Österreich durch die verkehrsbedingte Luftverschmutzung hervorgerufen werden. Obwohl die Studie nur die Luftverschmutzung durch den Straßenverkehr berücksichtigt, wurde festgestellt, dass in Österreich etwa 2.400 Todesfälle pro Jahr auf Luftverschmutzung durch den Straßenverkehr zurückzuführen sind. Damit sterben mehr als doppelt so viele Personen an straßenverkehrsbedingten Luftschadstoffen wie bei Verkehrsunfällen. Die durch

---

<sup>1</sup> [http://www.greenpeace.de/GP\\_DOK\\_3P/BROSCHUE/THEMEN/C09ZT02.HTM](http://www.greenpeace.de/GP_DOK_3P/BROSCHUE/THEMEN/C09ZT02.HTM), geladen am 09.05.02, um 16:00 Uhr.

straßenverkehrsbedingte Luftverschmutzung hervorgerufenen Kosten belaufen sich auf etwa 40 Mrd. Schilling.<sup>2</sup>

Eine Substitution fossiler Treibstoffe durch alternative Antriebsstoffe wie Pflanzenöl, Wasserstoff etc. vermeidet einige der oben genannten Probleme. In meiner Diplomarbeit werden alternative Treibstoffe beschrieben und deren Einsatz in Automobilen beleuchtet. Nach einer Erklärung der Gründe, die zu einem Umdenken beim Einsatz von fossilen Treibstoffen in der Automobilindustrie führen sollten, wird auf die einzelnen alternativen Formen eingegangen, wobei eine Teilung vorgenommen wurde. Der erste Teil beschäftigt sich mit emissionsfreien Antriebskonzepten, bzw. mit Treibstoffen, die rückstandslos verbrennen und keine Belastung für die Umwelt bedeuten. Es geht dabei um Fahrzeuge mit Batteriebetrieb bzw. um Wasserstoff als Energieträger. Treibstoffe, bei denen zwar umweltschädliche Abgase, aber in geringerem Ausmaß, als dies bei fossilen Ölen der Fall ist, entstehen, werden im Punkt zwei beschrieben. Hier geht es in erster Linie um den Einsatz von Erdgas. Der dritte Abschnitt befasst sich mit erneuerbaren Energieträgern wie Pflanzenöl und Alkohole. Im vierten Punkt werden zwei „außergewöhnliche“ Autos vorgestellt. Es handelt sich dabei um Fahrzeuge, die mit Wasser bzw. Luft betrieben werden. Im abschließenden Abschnitt zeigt eine Gegenüberstellung sämtlicher Konzepte in Bezug auf Erzeugung, Sicherheit, Technik, Umwelt und Wirtschaftlichkeit der Energieträger. Innerhalb der Kapitel über die verschiedenen Technologien wird eine Zweiteilung in 1. allgemeine Informationen über die Treibstoffe und in 2. dem Einsatz im Automobil getroffen.

---

<sup>2</sup> [http://www.ubavie.gv.at/publikation/diverseukb6/10\\_verkehr.pdf](http://www.ubavie.gv.at/publikation/diverseukb6/10_verkehr.pdf), geladen am 09.05.02, um 16:15 Uhr.

## 2. Gründe für die Substitution fossiler Treibstoffe

Das Problem der Begrenztheit der fossilen Energievorräte ist zur Zeit kein Gesprächsthema. Politik, Industrie, Presse und Umweltgruppen scheinen sich in dem Punkt einig, dass das Ressourcenproblem im Hinblick auf die nächste Generation keine großen Auswirkungen auf den Lebensstandard haben wird. Obwohl der Club of Rome die Öffentlichkeit bereits Anfang der 70er Jahre für das Thema sensibilisiert hatte und die Welt in den Jahren 1973/74 und 1979/80 zwei Ölkrisen erlebte, die jedoch innerhalb weniger Jahre überwunden werden konnten, ist heute fast überall das Gefühl verbreitet, dass das Problem nicht aktuell sei und keine große Aufmerksamkeit verdiene.<sup>3</sup>

Laut IEA steigt der weltweite Erdölprimärverbrauch um jährlich 1,9% bis auf 115 Mio. Barrel<sup>4</sup> pro Tag im Jahr 2020. In den Nicht-OECD-Ländern wächst der Verbrauch dreimal so rasch wie im OECD-Raum und klettert bis 2020 auf 55% des gesamten Weltölverbrauchs, trotzdem werden die nordamerikanischen OECD-Länder mit einer Bevölkerung von 350 Millionen immer noch mehr Öl verbrauchen als China und Indien mit einer Bevölkerung von zusammen 2,7 Milliarden.<sup>5</sup> Der Großteil des zusätzlichen Öls wird in den nächsten zwanzig Jahren vom Verkehrssektor nachgefragt, wobei im OECD-Raum praktisch die gesamte Ölverbrauchssteigerung auf diesen Sektor entfällt.

Problematisch ist, dass der drastische Anstieg der Erdölpreise seit März 1999 den Aufschwung der europäischen Wirtschaft verlangsamt. Dies zeigt die zunehmende Energieabhängigkeit der EU. Ohne eine aktive Energiepolitik wird die Union ihren Energiebedarf in 20 bis 30 Jahren zu 70% mit eingeführten Produkten decken, gegenüber 50% zum gegenwärtigen Zeitpunkt.<sup>6</sup> 1973 war der Grad der Abhängigkeit bereits bei 60% angelangt. Dieser Umstand wirkt sich negativ auf alle Wirtschaftszweige aus, vom Verkehr bis hin zu den Privathaushalten.

Geopolitisch betrachtet stammen 45% der Erdöleinfuhren aus dem Mittleren und Nahen Osten, 40 % der Erdgaseinfuhren aus Russland, wobei die Europäische Union noch nicht über

---

<sup>3</sup> [http://www.umweltjournal.de/fp/archiv/AfA\\_technik/treibstoffmangel1.shtml](http://www.umweltjournal.de/fp/archiv/AfA_technik/treibstoffmangel1.shtml), geladen am 13.03.02 um 17:45 Uhr.

<sup>4</sup> 1 Barrel entspricht 158,97 Liter

<sup>5</sup> OECD/IEA, Weltenergieausblick 2000, S. 65.

<sup>6</sup> Grünbuch, Hin zur europäischen Strategie für Energieversorgung, Komm(2000)769, S. 2.

ausreichende Möglichkeiten verfügt, auf den Weltmarkt Einfluss zu nehmen. Die Sicherung der Versorgung zielt keineswegs darauf ab, ein Höchstmaß an Energieautarkie zu erzielen oder die Abhängigkeit auf das geringst mögliche Niveau zu drosseln, sondern darauf, die mit dieser Abhängigkeit verbundenen Risiken zu mildern. Anzustreben sind unter anderem die Ausgewogenheit und Diversifizierung der verschiedenen Energiequellen (nach Energieträgern und geographischen Zonen) sowie der Beitritt der Erzeugerländer zur WTO.

Innerhalb der Europäischen Union ist die Nordsee das zur Zeit bedeutendste Fördergebiet von Rohöl. Die Förderung des Nordseeöls ist aber aufgrund der Logistik kostspielig – die Förderkosten der europäischen Produktion liegen 2001 bei etwa 7-11 USD pro Barrel gegenüber 3-4 USD im Mittleren Osten<sup>7</sup> - und man geht derzeit davon aus, dass die verfügbaren Reserven nach etwa 25 Jahren erloschen sind.<sup>8</sup> Norwegen und das Vereinigte Königreich förderten im Jahr 1999 ung. 288 Mio. t Öl. Damit produzierten sie rund 8,3 % der weltweit geförderten Menge. Die drei größten innereuropäischen Ölimporteure Deutschland, Italien und Frankreich führten aber schon 291 Mio. t Öl ein.<sup>9</sup> Die Gemeinschaftsproduktion reicht also nicht zur Deckung des Energiebedarfs der Europäischen Union aus, weshalb die Abhängigkeit von Importen ständig wächst. Der jährliche Energiebedarf der EU-Mitgliedsstaaten steigt seit 1986 um 1-2%. Die Bewerberländer erwartet nach Aufnahme in die EU ein deutliches Wirtschaftswachstum, was mit einem Anstieg des Energiebedarfs von 4-6% bis zum Jahr 2010 einhergeht.<sup>10</sup> Kurzum, der Energieverbrauch steigt unweigerlich. In den OECD-Staaten entfällt die gesamte Steigerung des Erdölverbrauchs auf den Verkehrssektor.<sup>11</sup>

Die Auswirkungen von exzessivem Energieverbrauch werden auf internationalen Tagungen diskutiert und sind auch für jeden in Form von Abgasen sichtbar und über die damit erfolgte Klimaerwärmung auch spürbar. Aus diesem Grund wird die geforderte Nachhaltigkeit von Energiesparmaßnahmen oft mit Emissionsproblemen gerechtfertigt. Doch wie es eigentlich mit dem Umfang der Öl-Ressourcen insgesamt aussieht kann nicht seriös beantwortet werden. Im Jahr 1940 betrug die weltweit bestätigten Reserven<sup>12</sup> 6 Milliarden Tonnen und die sich auf Grund des damaligen Verbrauchs ergebende Reichweite 21 Jahre. Nach diesen 21 Jahren,

<sup>7</sup> <http://www.iea.org/weo/insights.htm#chart>, geladen am 06.06.02, um 09:00 Uhr.

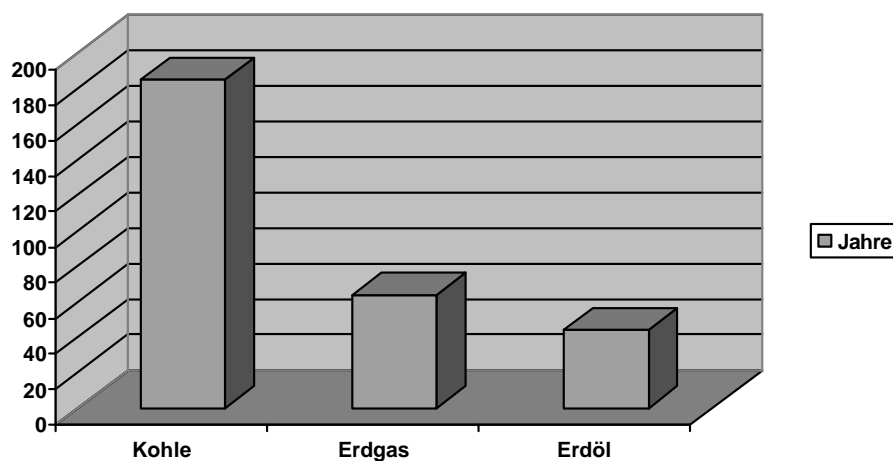
<sup>8</sup> KOM(2000)769, S. 22.

<sup>9</sup> KOM(2000) 769 – C5-0145/2001 – 2001/2071(COS), S. 12.

<sup>10</sup> KOM(2000) 769, S. 16, geladen am 05.06.02, um 14:30 Uhr.

<sup>11</sup> OECD/IEA, Weltenergieausblick 2000, S. 36.

im Jahr 1960, waren die bestätigten Reserven auf das 5fache, sprich auf 41 Milliarden Tonnen gestiegen, die Reichweite erhöhte sich trotz erheblicher Zunahme des jährlichen Verbrauchs auf 38 Jahre. Nach Ablauf dieser Zeit, im Jahr 1998, war der Bestand an bestätigten Reserven – trotz zwischenzeitlich weiter stark gestiegenen Verbrauchs – auf 140 Milliarden Tonnen, die etwa 40 Jahre entsprechen, gestiegen. Im Jahr 2000 wuchs diese Reichweite bereits auf 41 Jahre.<sup>13</sup> Die Möglichkeit von Engpässen bei Erdöl muss also vermehrt in der EU in Betracht gezogen werden. Im Jahr 2020 liegt die Abhängigkeit Europas von Erdölimporten bei 70%.<sup>14</sup> Obwohl die Erdgasvorkommen weltweit gleichmäßiger verteilt sind, verfügt die EU über etwa 2%, was nach derzeitigen Stand etwa 20 Verbrauchsjahre bedeutet.



**Abbildung 1: Verfügbarkeit verschiedener fossiler Brennstoffe in Jahre**

Quelle: [www.bgr.de/b4/aktthema/reswww/reswww98.htm#reservepolster](http://www.bgr.de/b4/aktthema/reswww/reswww98.htm#reservepolster)

In den USA ist die Situation annähernd gleich. Wie die EU sind die Vereinigten Staaten von Erdölimporten abhängig. 1997 stand einem Gesamtverbrauch von 20,2 Mio. Barrel am Tag eine Produktion von 10,6 Mio. Barrel gegenüber. Dieses Ungleichgewicht verschlechtert sich bis ins Jahr 2020 auf Verbrauchszahlen von 26,1 Mio. Barrel/Tag die einer Produktion von 9

<sup>12</sup> Teil des Gesamtpotentials, der mit großer Genauigkeit erfasst wurde und mit den derzeitigen technischen Möglichkeiten wirtschaftlich gewonnen werden kann.

<sup>13</sup> [http://www.esso.de/ueber\\_uns/info\\_service/publikationen/downloads/files/energie2001.pdf](http://www.esso.de/ueber_uns/info_service/publikationen/downloads/files/energie2001.pdf), geladen am 23.04.02, um 14:00 Uhr.

<sup>14</sup> OECD/IEA, Weltenergieausblick 2000, S. 79.

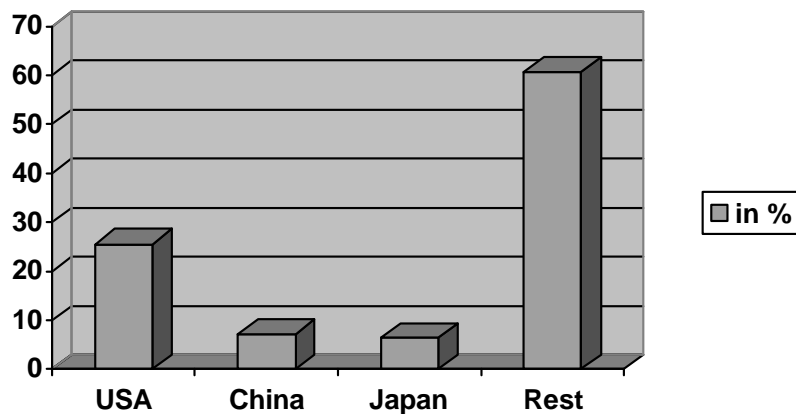
Mio. Barrel/Tag gegenüberstehen.<sup>15</sup> Durch die in letzter Zeit wieder zum Vorschein gekommenen Differenzen mit der arabischen Welt, die ja bekanntlich die Hauptexporteure des Rohöls sind, macht sich innerhalb der amerikanischen Elite Unbehagen über diese Situation bemerkbar. Eine stärkere Unabhängigkeit wird gefordert. Durch gesteigerte Eigenproduktion ist eine Emanzipation aber unmöglich. Die traditionelle Förderung im Golf von Mexiko, Texas, Kalifornien etc. ist also am Zenith angekommen. Es treten nun mit Mexiko und vor allem Brasilien neue Handelspartner in den Vordergrund. Durch neue Technologien wie Tiefwasser-Offshorebohrungen werden bisher unerschlossene Erdölvorkommen abgeschöpft. Dazu kommt noch die synthetische Rohölherstellung aus den Ölsandvorkommen in Regionen wie Alberta oder Kanada. Bei Rohölpreisen von 12-15 USD je Barrel stellt die Gewinnung synthetischen Rohöls anscheinend eine rentable Investition dar, was an der wachsenden Zahl der angekündigten neuen Projekte abzulesen ist. Durch die erhöhte Nachfrage wird der Rohölpreis überdies steigen und derlei Erschließungsvorhaben werden 2010 noch attraktiver werden.<sup>16</sup> Die erwartete Produktionsleistung in Nordamerika bleibt bis 2010 im Wesentlichen unverändert, während sie danach laut IEA allmählich 2020 sinkt. Die Abhängigkeit von Erdölimporten hat laut IEA im Jahr 2020 bereits 58% erreicht.

Im Weiteren werden große Anstrengungen in Energiesparmaßnahmen gelegt. Im Bereich der Automobilindustrie macht Kalifornien mit den unten genauer beschriebenen Zero Emission Vehicle – Gesetzen einen Vorstoß. Gerade die USA als weltweit größter Energieverbraucher tut gut daran an dieser Situation des Energieverschwendens etwas zu ändern.

---

<sup>15</sup> OECD/IEA, Weltenergieausblick 2000, S. 71.

<sup>16</sup> OECD/IEA, Weltenergieausblick 2000, S. 70.



**Abbildung 2: Ölverbrauch im Jahr 2000 in Prozent**

Quelle: British Petrol, Okt. 2001

Neben den ökonomischen Bedenken, der erhöhten Erdölpreise durch die zu große Abhängigkeit der EU bzw. der USA treten auch ökologische Bedenken in den Vordergrund. Tankerunfälle mit austretendem Erdöl, nukleare Unfälle und ähnliches haben die Bevölkerung für die Gefahren von Umweltschäden sensibilisiert, welche die Nachteile fossiler Brennstoffe und der Kernenergie aufzeigen. Im Weiteren wird der Bekämpfung der globalen Erwärmung große Bedeutung beigemessen, was sich in den festgesetzten Zielen des Kyoto-Protokolls widerspiegelt. Zwar ist es der Europäischen Union im Jahre 2000 gelungen, ihre Treibhausgasemissionen zu stabilisieren; in Zukunft aber werden sie in der Union ebenso zunehmen wie weltweit. Die Rückkehr zu einem raschen Wirtschaftswachstum auf beiden Seiten des Atlantik und in Asien, sowie die Energieverbrauchsmuster unserer heutigen Lebensweise (vor allem Stromverbrauch und Verkehrssektor) tragen dazu bei, dass die Treibhausgasemissionen (insbesondere CO<sub>2</sub>) zunehmen. Jährlich setzen Verkehr und Industrie weltweit rund sechs Milliarden Tonnen Kohlendioxid in die Atmosphäre frei.<sup>17</sup> Dr. Peter Cox, Klimaforscher am Hadley Centre, hat Modelle entwickelt, die die Folgen des CO<sub>2</sub>-Anstiegs auf den Treibhauseffekt untersuchen. Alle Modelle zeigen eine Erwärmung irgendwo zwischen zwei und sechs Grad bis zum Ende des Jahrhunderts – abhängig davon, wie schnell wir fossile Brennstoffe verbrauchen. Hauptspeicher des CO<sub>2</sub> ist der tropische Regenwald. Der Regenwald gibt aber in Trockenperioden mehr CO<sub>2</sub> ab, als er aufnimmt. Der

<sup>17</sup> <http://moderntimes.orf.at/>, geladen am 10.05.02, um 10:00 Uhr.

Grund liegt im größeren Baumsterben in diesen Perioden. Cox geht der Frage nach, wie hoch die Speicherkapazität tatsächlich ist. Zu diesem Zweck wurde simuliert, wie viel CO<sub>2</sub> Ozeane und Festland bei Klimaänderungen aufnehmen. Das Ergebnis war, dass sehr viel weniger Kohlenstoff aufgenommen wird, als bisher angenommen. Somit ist es im worst-case Szenario möglich, dass das Weltklima um das Jahr 2050 eine kritische Schwelle erreicht. Der Amazonas-Regenwald beginnt abzusterben und setzt dabei große Mengen an Kohlendioxid in die Atmosphäre frei. Bis 2100 würde der CO<sub>2</sub>-Gehalt auf das dreifache des heutigen Werts steigen. Die Umweltschutzpolitik wird hierdurch stark beeinträchtigt. Die Mitgliedsstaaten sind heute zu Maßnahmen zur Eindämmung des Klimawandels angehalten. Die Deutsche Bundesregierung rechnet durch die Preissteigerung von Treibstoffen (siehe dazu Anhang – Abbildung 10), die durch die sogenannte Ökosteuer ausgelöst wurde, mit einem Rückgang des Verkehrsaufkommens in Verbindung mit einer Senkung des CO<sub>2</sub>-Austoßes um 8-10 Mio. t bis zum Jahr 2005.<sup>18</sup>

Der Energieverbrauch der EU im Jahr 2000 setzt sich wie folgt zusammen:

<i>Energieform</i>	<i>Anteil in %</i>
Erdöl	41
Erdgas	22
Feste Brennstoffe (Steinkohle, Braunkohle, Torf)	16
Kernenergie	15
erneuerbare Energie (Wasserkraft, Windenergie, Erdwärme, Sonnenenergie etc.)	6

**Tabelle 1: Energieverbrauch der EU im Jahr 2000**

Quelle: KOM(2000)769, Grünbuch - Hin zu einer europäischen Strategie für Energieversorgungssicherheit

<sup>18</sup> <http://www.spdfraktion.de/archiv/oekosteuer3/informationen.html>. geladen am 04.02.02 um 09:52 Uhr.

Tritt kein Umdenken im Rahmen der Energiepolitik ein, verändert sich zum Jahr 2030 kaum etwas in der Energiebilanz. Der Anteil der erneuerbaren Energien steigt lediglich auf 8%.<sup>19</sup> Und dies trotz eines jährlichen Wachstums des Sektors von 3% und spektakulärer Wachstumswahlen, etwa der Windenergie von 2000% in 10 Jahren. Österreich liegt mit einem Anteil an erneuerbaren Energien von 23,3% nach Schweden mit 28,5% bereits an zweiter Stelle. Die Kommission hat sich zum Ziel gesetzt, den Anteil der erneuerbaren Energieträger am Gesamtenergieverbrauch von 6 % im Jahre 1997 auf 12% im Jahre 2010 zu verdoppeln.<sup>20</sup>

Wird jedoch der Weg nachhaltiger Energiepolitik beschritten, liegt das Hauptaugenmerk auf einer Veränderung im Bereich neuer und erneuerbarer Energiequellen, einschließlich der Biobrennstoffe. Bis zum Jahr 2010 sollte ihr Anteil an der Energiebilanz von 6 auf 12% steigen. Im Grünbuch „Hin zu einer europäischen Strategie für Energieversorgungssicherheit“ werden finanzielle Maßnahmen im Sinne von Beihilfen, Steuerermäßigungen etc. vorgeschlagen, um die Forcierung erneuerbarer Energiequellen zu unterstützen. Stützungszahlungen, die etwa für den Kohleabbau an der Tagesordnung stehen, sollten auch im Bereich Alternativenergien gezahlt werden.

Diese Diplomarbeit will die alternativen Wege zur Aufrechterhaltung der Mobilität unter dem Gesichtspunkt der Energie- und Umweltproblematik beschreiben und deren Vor- bzw. Nachteile herausarbeiten. Das große Problem rührt daher, dass dieser Markt fast ausschließlich (98%) vom Erdöl abhängig ist. Dies entspricht etwa 2/3 des Gesamtbedarfs. Zudem gibt es konjunkturbedingt immer wieder starke Anstiege des Energiebedarfs. Zwischen 1985 und 1998 stieg der Bedarf an Energie von 203 auf 298 Mio. t. Rohöl, wobei die Anzahl der Kraftfahrzeuge von 132 auf 189 Mio. zunahm. Die Energieintensität des Sektors stieg zwischen 1985 und 1998 um 10%.<sup>21</sup> Auf Dekadenfrist wird das geschätzte Jahreswachstum mit 2% beziffert. In den Bewerberländern stellt sich dieser Zuwachs aufgrund des wirtschaftlichen Rückstands noch dynamischer dar. Es wird mit einem jährlichen Wachstum von 5-6% in den kommenden 10 Jahren gerechnet, das über 170 Millionen neue Bürger auf einem Gebiet von zusätzlich 1,86 Mio. km<sup>2</sup> mitmachen. Weltweit dürfte sich der Automobilbestand bis zum Jahr 2020 verdoppeln. Wie schon oben angedeutet, wird sich dieser Zuwachs im Besonderen in den Entwicklungsländern – die wirtschaftlich aufholen – abspielen. Während in OECD-Staaten etwa 6 Kraftfahrzeuge auf 10 Einwohner

---

<sup>19</sup> KOM(2000)769, S. 4.

<sup>20</sup> KOM (2000)769, S. 57.

<sup>21</sup> KOM(2000)769, S. 18.

kommen, beläuft sich dieses Verhältnis in den meisten Ländern außerhalb der OECD auf 2 : 100. Selbst bei langsamen Aufholen dieser Bilanz wird ein großer Druck auf den Erdölbereich ausgeübt werden.

Die Entwicklung der Automobilindustrie hin zu geringerem Verbrauch bzw. zu alternativen Antriebstechnologien wird im Besonderen durch diesen hohen Energiebedarf gefördert. Hinzu kommt noch die schon erwähnte gestiegene Umweltsensibilität der Konsumenten. Es gibt sechs Treibhausgase anthropogenen Ursprungs: Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), auf das der größte Anteil entfällt (80%), Stickstoffoxid (N<sub>2</sub>O), Methan (CH<sub>4</sub>), fluorierte Kohlenwasserstoffe (HFC), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFC) und Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>). Auf den Verkehrssektor entfallen 28% der CO<sub>2</sub>-Emissionen wobei die vorausgesagte drastische Zunahme der Emissionen zu 90% auf das Konto dieses Sektors gehen.<sup>22</sup> Dazu sei gesagt, dass laut EU in allen anderen Sektoren mit sinkenden Emissionen zu rechnen ist. Im Automobilsektor jedoch mit steigenden. Ein Mittelklassewagen etwa stößt jedes Jahr zwei- bis dreimal sein Gewicht an CO<sub>2</sub> aus. Wenn nichts unternommen wird, um den Trend zur Zunahme des Verkehrs umzukehren, bzw. weiter fossiler Brennstoff getankt wird, dürften nach den aktuellsten Schätzungen die durch den Verkehr verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen zwischen 1990 und 2010 um ungefähr 50% steigen und ein Niveau von 1114 Mio. Tonnen erreichen. Der Straßenverkehr trägt mit 84% der durch den Verkehr verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen bei, während der Anteil des Luftverkehrs beispielsweise nur 13% ausmacht.<sup>23</sup> Auch der gestiegene Benzinpreis trägt zu einem Umdenken bei. Ansätze einer Ressourcenschonung kommen in der Produktion von Automobilen mit geringem Verbrauch bzw. die mit Alternativtreibstoffen angetrieben werden, zum Ausdruck. Die Volkswagen AG stellte kürzlich ein 1-Liter Auto vor.

---

<sup>22</sup> KOM(2000)769, S. 64.

<sup>23</sup> KOM(2000)769, S. 64.

<i>Emissionen</i>	<i>Welt</i>	<i>OECD</i>	<i>Reformländer</i>	<i>Entwicklungsländer</i>
1990	20.878	10.640	4.066	6.171
1997	22.561	11.467	4.066	8.528
2010	29.575	13.289	2.566	13.195
2020	36.102	14.298	3.091	17.990
Anstieg	1997-2020	1997-2020	1997-2020	1997-2020
Stromerzeugung	5.816	1.369	466	4.001
Industrie	1.698	-91	193	1.597
Verkehr	3.577	1.285	254	2.038
Sonstige	2.450	268	354	1.826
Insgesamt	16.541	2.831	1.247	9.462

**Tabelle 2: Weltweite CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Regionen und Sektoren in Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>**

Quelle: Weltenergieausblick 2000, OECD/IEA

Wie aus der obigen Tabelle hervorgeht, steigen aufgrund des erhöhten Ölverbrauchs im Verkehrssektor die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Projektionszeitraum 1997-2020 um 75%. Im Jahr 2020 ist der Verkehrssektor für rund ein Viertel der globalen energie-bezogenen Emissionen verantwortlich.<sup>24</sup>

Der gestiegene Umweltschutzgedanke der Konsumenten wird auch von der öffentlichen Hand wahrgenommen, die beispielsweise immer strengere Abgasnormen einführt oder den

Öffentlichen Verkehr mit Alternativenergiemobilen abwickelt. Dies geschieht nicht zuletzt unter dem Hintergrund, dass sich die Europäische Union als Gesamtheit verpflichtet hat, im Zeitraum 2008-2012 ihre Treibhausgasemissionen um 8% gegenüber dem Niveau von 1990 zu vermindern, was einer Reduzierung um 346 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> gleichkommt. Laut "Environment at the turn of the century"<sup>25</sup> der Europäische Umweltagentur werden die Treibhausgasemissionen der EU-Fünfzehn, immer unter der Voraussetzung, dass nichts unternommen wird, zwischen 1990 und 2010, aber insgesamt voraussichtlich um etwa 5,2% zunehmen.

In Europa wurde bereits 1996 ein CO<sub>2</sub>-Emissionsziel von 120 g CO<sub>2</sub>/km für Neuwagen bis zum Jahr 2005 bzw. spätestens bis 2010 vorgegeben<sup>26</sup>, was einer durchschnittlichen Senkung des Kraftstoffverbrauchs von Neuwagen um 35% gegenüber dem Wert von 1995 entspricht.<sup>27</sup> Durch die geplante Einführung der EURO-IV-Norm hofft man, das Emissionsproblem bis ins Jahr 2005 zu lösen. Der Stickstoffoxid-Ausstoß bei einem Erdgas-Pkw beispielsweise bei 0,015 g/km wird bei benzinbetriebenen Fahrzeugen nach Einführung von EURO-IV bei 0,08 g/km liegen, Diesel bei 0,25 g/km. Hinzu kommen noch die Forderungen des Weißbuchs 7% Biokraftstoffe bis 2010 zu erreichen, und für 2020 das Ziel von 20% für sämtliche Ersatzstoffe festzulegen. Dies soll vor allem durch steuerliche Maßnahmen erreicht werden. Zudem sollen sich die Mineralölgesellschaften verpflichten, den flächendeckenden Vertrieb von Biokraftstoffen zu erleichtern. Insgesamt belief sich der Anteil an Biokraftstoffen am Gesamtverbrauch an Kraftstoffen auf Erdölbasis auf 0,15% im Jahr 1998.<sup>28</sup> Durch Zwang von gesetzlichen Regelungen wird es einem „einfacher“ gemacht, sich für die umweltfreundlichere Alternative zu entscheiden. In den USA spielt das California Air Resources Board (CARB) im Bereich der Luftreinhaltungspolitik eine entscheidende Rolle. Es sind dies besonders die Konzepte des Zero Emission Vehicle (ZEV). Für das Jahr 2003 schreibt die kalifornische Regierung den Automobilherstellern vor, dass 10 % der Neuwagenverkäufe reine ZEV-Fahrzeuge mit Elektroantrieb oder Brennstoffzelle mit Wasserstoff sein müssen. Dieser Wert soll bis ins Jahr 2018 auf 16% gesteigert werden. Ab 2007 werden in die Quotenberechnung auch Sport-Utility-Vehicles (SUV), Pick-Up-Trucks

---

<sup>24</sup> OECD/IEA, Weltenergieausblick 2000, S. 60.

<sup>25</sup> [http://europa.eu.int/comm/environment/newprg/sec991942\\_de.pdf](http://europa.eu.int/comm/environment/newprg/sec991942_de.pdf), geladen am 05.06.02, um 20:30 Uhr.

<sup>26</sup> Umweltrat vom 25.6.1996.

<sup>27</sup> KOM(2001) 547, S. 4.

<sup>28</sup> KOM(2000)769, S. 59.

und Vans einbezogen.<sup>29</sup> Dieser Einstieg war genügend groß, um Investitionen in die Forschung und Entwicklung zu forcieren. Neue Batterietechnologien für Elektroautos wurden realisiert. Da „eine Subventionierung der Elektrofahrzeuge oder sonstiger Incentives durch den amerikanischen Gesetzgeber nicht in Aussicht“<sup>30</sup> gestellt wird, werden diese Bemühungen, durch die hohen Investitionskosten nicht ohne Anfangsverluste vor sich gehen. Der Innovations- und Technologievorsprung wird sich für die Automobilfirmen aber mittel- bis langfristig in Form von sog. First Mover Advantages sicherlich bezahlt machen. Dazu kommen noch Image- und Marketingvorteile. Von diesem Vorstoß angetan, werden sich auch weitere Bundesstaaten der USA und auch Kanada dieser Gesetzgebung anschließen und über kurz oder lang werden auch Staaten außerhalb Nordamerikas folgen. Gerade die USA sind mit Abstand die größten Energieverschwender und könnten mit dieser Initiative ihre unrühmliche Spitzenposition langfristig verlieren.

In der Europäischen Union insgesamt liegt der Anteil der Biokraftstoffe relativ gering bei 0,15% (im Jahr 1998) des Gesamtverbrauchs an Kraftstoffen auf Erdölbasis. Dieser Wert soll bis zum Jahr 2010 auf 7% des Gesamtverbrauchs gesteigert werden.<sup>31</sup> Dabei wird unter anderem gefordert, dass mehr Forschung im Bereich der alternativen Antriebstechnologien betrieben wird. In diesem Zusammenhang müssen nochmals die ZEV-Gesetze angesprochen werden, wo eine Forschung zwangsläufig erfolgen muss, um die gesetzlich festgelegten Mindestabsatzzahlen der Automobile einhalten zu können. Die Fahrzeuge müssen so weit gebracht werden, dass man sie zu konkurrenzfähigen Preisen absetzen kann. Aus einem reinen Umweltschutzgedanken allein wird man sich eine Investition in der Größenordnung eines Pkws genau überlegen und auch sehr preissensibel reagieren.

Die OECD stellte im Jahr 2000 im Rahmen der „environmentally sustainable transport“<sup>32</sup> Richtlinien folgende Kriterien auf, die auf die Umweltgefahren des Verkehrssektor bei gleichbleibender Anwendung fossiler Kraftstoffe aufmerksam machen. Durch vermehrte Nutzung von Biokraftstoffen - wie aus den Beschreibungen der verschiedenen alternativen Antriebsstoffen hervorgehen wird - könnten folgende Probleme schneller und besser gelöst werden.

---

<sup>29</sup> <http://www.arb.ca.gov/msprog/zevprog/zevprog.htm#laws>, geladen am 06.05.02, um 11:00 Uhr.

<sup>30</sup> Rahmenbedingungen und Zukunft der E-Mobile aus der Sicht des Herstellers, S. 1.

<sup>31</sup> KOM(2000)769, S. 59.

<sup>32</sup> <http://www1.oecd.org/env/ccst/est/currect/vienna2000/viennaindex.htm>, geladen am 06.05.02, um 10:00 Uhr.

### Klimaschutz: Das CO<sub>2</sub> und VOC<sup>33</sup> Kriterium

Der CO<sub>2</sub>-Ausstoß durch den Straßenverkehr wird bei unverändertem Verbrauch fossiler Brennstoffe bis in das Jahr 2030 im Vergleich zum Jahr 1990 um 300% steigen. Die Steigerung in den OECD-Staaten wird – aufgrund der striktere Umweltauflagen – hingegen nur mit 56% beziffert.

### Regionale Luftqualität: Das NO<sub>x</sub> Kriterium

Durch Einführung der EURO-IV Norm wird der für die Ozonschicht schädliche Stickstoffausstoß bis zum Jahr 2030 um 40-70% sinken. Die OECD fordert noch strikere Abgasvorschriften, um Umweltschäden besser vorzubeugen.

### Regionale Luftqualität: Das Partikel Kriterium

Durch verbesserte Katalysatoren besonders bei Diesel-Pkws werden die Ruß-Partikel-Emissionen bis zum Jahr 2030 zurückgehen. Der feine Partikelstaub führt zu Gesundheitsschäden.

Die Zielvorstellung im Verkehrssektor ist, dass Verkehr nicht die Gesundheit und Ökosysteme gefährdet und dass der Treibstoff entweder aus erneuerbaren Energieträgern (below their rates of regeneration) oder aus nicht erneuerbaren Ressourcen (below the rates of development of renewable substitutes) besteht.<sup>34</sup>

---

<sup>33</sup> Flüchtige organische Verbindungen

<sup>34</sup> OECD, Environmentally Sustainable Transport Guidelines, S 19.

## Teil 1 – Emissionsfreie Treibstoffe

In diesem Teil werden völlig emissionsfreie Antriebskonzepte vorgestellt. Die bereits angesprochene Umweltproblematik was die Abgase von fossilen Treibstoffen betrifft, ist bei diesen Technologien nicht gegeben. Es handelt sich dabei um Wasserstoff (H<sub>2</sub>) als Energieträger, entweder in Form eines Direktbetriebs des Pkws – eine Umrüstung des Motors ist nicht notwendig – oder um den Einsatz einer Brennstoffzelle als Energieeinheit. Im weiteren existiert auch bei Fahrzeugen mit Batteriebetrieb keine Emissionsproblematik.

Diese Entwicklungen sind im Besonderen für den Einsatz in urbanen Gebieten geeignet. Dies hängt erstens mit der Abgasfreiheit zusammen und zweitens mit noch nicht gelösten Reichweitenproblemen. Beide Antriebe haben eine deutlich geringere Reichweite als fossile Treibstoffe, was man auch als selbstverständlich ansieht.

### 3. Wasserstoff

*„Was werden wir später einmal statt Kohle verbrennen?“, fragte der Seemann. „Wasser“, antwortete Smith. „Wasserstoff und Sauerstoff werden für sich oder zusammen zu einer unerschöpflichen Quelle von Wärme und Licht werden, von einer Intensität, die die Kohle überhaupt nicht haben könnte; das Wasser ist die Kohle der Zukunft.“*

Jules Verne, "Die geheimnisvolle Insel", 1874

#### 3.1. Grundlagen

Wasserstoff<sup>35</sup> ist keine neue Erfindung - er wurde schon im 18. Jahrhundert als Element identifiziert und ist seit 100 Jahren ein wichtiger Rohstoff der Chemieindustrie. Es handelte

---

<sup>35</sup> Wasserstoff war das erste Element im Universum und ist bis heute mit 75 % das häufigste. Auch die großen Planeten wie Jupiter und Saturn bestehen überwiegend aus Wasserstoff oder wasserstoffreichen Verbindungen (Methan). In der Erdkruste bis 16 km Tiefe ist Wasserstoff auf die Masse bezogen mit 0,9 % das neunthäufigste Element, auf die Zahl der Atome bezogen mit 15,4 % das dritthäufigste. Aus der Erdatmosphäre hat sich

sich dabei jedoch nie um eine Energiequelle, die beispielsweise wie Erdöl genutzt wurde. Heute jedoch tritt seine potenzielle Rolle als Energieträger immer mehr in den Vordergrund, besonders in einer auf erneuerbare Primärenergien gestützte Energiewirtschaft. Hier wird der Wasserstoff benötigt, weil er die Speicherung und den Transport der Primärenergie ermöglicht.

Erneuerbare Energien sind im Prinzip reichlich vorhanden, doch stehen sie nicht immer an den Orten zur Verfügung, wo sie verbraucht werden sollen, und auch nicht immer zu den gewünschten Zeiten. Mit Hilfe des Energieträgers Wasserstoff können diese örtlichen und zeitlichen Lücken zwischen Angebot und Nachfrage überbrückt werden. Er ergänzt als Transportmittel den Strom, der in der Regel die Methode der Wahl ist und auch bleiben wird. Jedoch kann man nicht jeden Ort ans E-Netz anschließen und besonders nicht mobile Energieverbraucher wie Pkws und Nutzfahrzeuge. Darüber hinaus ist die Speicherung von Elektrizität nur begrenzt möglich, bzw. nicht alle erneuerbaren Energiequellen – etwa Biomasse - liefern unmittelbar Strom.

### ***3.1.1. Geschichte des Wasserstoffs***

Anfang des 16. Jahrhunderts soll Paracelsus bei Versuchen mit Metallen und Säuren ein brennbares Gas gewonnen haben, das nach Lage der Dinge eigentlich nur Wasserstoff gewesen sein kann. Auch Robert Boyle berichtete im 17. Jahrhundert darüber. Als Element wurde er 1769 durch Cavendish erkannt. Der in vielen Sprachen so oder ähnlich übliche Name "Hydrogenium" (griechisch, wörtlich: "Wassermacher") stammt von Lavoisier.<sup>36</sup>

Wegen seiner geringen Dichte wurde das Gas bald als Auftriebsmittel benutzt. Am 1. Dezember 1783, nur 10 Tage nach dem Heißluftballon der Brüder Montgolfier, startete in Paris der erste bemannte Wasserstoffballon mit Jacques Alexander Charles. 1785 überquerte Jean-Pierre-François Blanchard mit einem solchen Gefährt erstmals den Ärmelkanal und führte dabei auch die erste Luftpost der Geschichte mit. Spätestens 1793 hatte das französische Revolutionsheer Balloneinheiten zu Aufklärungszwecken, die entscheidend zum Sieg bei Fleurus in jenem Jahr beigetragen haben sollen. Die Geschichte vom Grafen

---

Wasserstoff wegen seiner geringen Dichte schon lange abgesetzt und kommt bei uns fast nur chemisch gebunden vor (Wasser, organische Stoffe)

<sup>36</sup> <http://www.dwv-info.de/grundsatz.htm>

Zeppelin dürfte bekannt sein. Die auf ihn zurückgehenden Luftschiffe sind bis heute die größten Objekte, die der Mensch je in die Luft gebracht hat. Bis jetzt – zur Zeit befinden sich noch größere Luftschiffe der deutschen CargoLifter AG im Projektstadium. Sie werden unter anderem deshalb so groß sein, weil sie mit Helium fliegen, das einen geringeren Auftrieb hat.

Die erste Verflüssigung von Wasserstoff gelang 1898 James Dewar in London. Danach wurde Wasserstoff etwa ein halbes Jahrhundert lang für die Erzeugung tiefer Temperaturen für Forschungszwecke verwendet.

### ***3.1.2. Erzeugung von Wasserstoff***

Wasserstoff ist auf der Erde in praktisch unbegrenzten Mengen vorhanden, allerdings fast ausschließlich in chemischen Verbindungen wie Wasser, Säuren, Kohlenwasserstoffe und andere organische Verbindungen.

Der größte Teil der heutigen Wasserstoffproduktion entsteht als Neben- oder Koppelprodukt in Prozessen der chemischen Industrie und wird auch von dieser selbst in anderen Prozessen wieder verbraucht, vor allen Dingen in der Petrochemie.<sup>37</sup> Wenn er im industriellen Maßstab gezielt erzeugt wird, geschieht das zur Zeit hauptsächlich durch Reformierung von Erdgas. Dieses Verfahren stützt sich also auf einen fossilen und nicht dauerhaft vorhandenen Rohstoff. Darüber hinaus ist es mit erheblichen CO<sub>2</sub>-Emissionen verbunden. Der große Nachteil des Wasserstoffs ist, dass er kein Primärenergieträger ist und daher eigens energieaufwendig erzeugt werden muss. Dies wird durch Abspalten des Elements Wasserstoff aus wasserstoffhaltigen Brennstoffen, wie z.B. Methan und Methanol realisiert. Dazu ist es immer notwendig Energie zuzuführen.

### **Technisches**

Bei der Verwendung von Wasserstoff statt Diesel bzw. Schweröl als Kraftstoff von Großdieselmotoren müssen die charakteristischen Eigenschaften des Wasserstoffs in einem angepassten Verbrennungskonzept berücksichtigt werden. Wasserstoff unterscheidet sich von herkömmlichen Kohlenwasserstoffen durch extrem weite Zündgrenzen von 4 bis 75 Volumenprozent Wasserstoff in der Luft, wobei die Brenngeschwindigkeit des Wasserstoffs

---

<sup>37</sup> <http://www.dwv-info.de/grundsaz.htm>, geladen am 12.05.02, um 14:00 Uhr.

unter geeigneten Bedingungen auf mehrere hundert Meter pro Sekunde ansteigen kann.<sup>38</sup> Diese Eigenschaften lassen sich dazu ausnutzen, sehr magere Gemische mit sehr geringer Stickoxidemission zu verbrennen und trotzdem eine hohe Effizienz zu erreichen. Allerdings können diese Eigenschaften auch zu ungewollt harten Verbrennungen führen, wenn etwa eine weichablaufende Deflagration<sup>39</sup> in eine Detonation übergeht.<sup>40</sup> Die damit verbundenen starken Druckamplituden sind mit einer erheblichen mechanischen Beanspruchung des Brennraumes und der bewegten Teile verbunden. Um ein schonendes, effizientes und zuverlässiges Brennverfahren zu erzielen, sind grundlegende Kenntnisse über den Einfluss von Temperatur, Druck, Turbulenz, Gaszusammensetzung und Strömungsverhältnissen von großer Bedeutung.

---

<sup>38</sup> <http://www.hydrogeit.de/grundwissen.htm>, geladen am 12.05.02, um 13:45 Uhr.

<sup>39</sup> Ist eine verhältnismäßig langsam erfolgende Explosion.

<sup>40</sup> [http://www.thermo-a.mw.tu-muenchen.de/Lehrstuhl/Forschung/dorer\\_precht.html](http://www.thermo-a.mw.tu-muenchen.de/Lehrstuhl/Forschung/dorer_precht.html), geladen am 12.05.02, um 08:30 Uhr.

<i>Eigenschaften</i>	<i>H<sub>2</sub></i>
Siedetemperatur bei 101,3 kPa	-253 °C (20 K)
Schmelztemperatur	-259 °C (14 K)
kritische Temperatur	-240 °C (23 K)
kritischer Druck	13 kPa
Dichte bei 101,3 kPa	0,089 g/l
Dichte der Flüssigkeit	0,0708 kg/l
Energiegehalt je m <sup>3</sup>	0,267 kWh/m <sup>3</sup>
Energiegehalt je kg	33.3 kWh/kg
spezifische Wärmekapazität c <sub>p</sub>	14,32 kJ/(kg*K)
spezifische Wärmekapazität c <sub>v</sub>	10,17 kJ/(kg*K)
Wärmeleitfähigkeit	0,184 W/(m*K)

**Tabelle 3: Eigenschaften des Wasserstoffs**

Quelle: Alternative Antriebe & Erneuerbare Energien - [www.hydrogeit.de](http://www.hydrogeit.de)

### **3.1.3. Verwendung von Wasserstoff**

Wasserstoff wird in seiner Rolle als Energieträger mehr und mehr an Bedeutung gewinnen. Nach einer Studie der Deutschen Shell ist zu erwarten, dass im Jahre 2050 etwa 50 % der Weltenergieerzeugung aus erneuerbaren Quellen kommen werden, wobei aber der

Absolutverbrauch erheblich ansteigen wird.<sup>41</sup> Davon wiederum werden ca. 50 % der Energie voraussichtlich in Wasserstoff umgewandelt werden, um zum Verbraucher zu kommen.

Die gesamte Fahrzeugindustrie arbeitet in Erwartung immer schärferer Vorschriften über die Emissionen von CO<sub>2</sub> intensiv an Wasserstoff-Antrieben. Dabei ist es von großer Bedeutung zu unterscheiden, zwischen Wasserstoff als Energieträger, um Verbrennungsmotoren anzutreiben - diese Entwicklungslinie wird von BMW verfolgt – und Wasserstoff als Energieträger für Brennstoffzellen, die dann Elektrofahrzeuge antreiben. DaimlerChrysler und Ford setzen auf diese Technologie.

So weit es sich um Busse oder andere Nutzfahrzeuge handelt, wird der Wasserstoff komprimiert oder tiefkalt verflüssigt mitgeführt. Bei PKW wollen viele Hersteller zumindest in den ersten Modellen Methanol tanken, das an Bord reformiert wird. BMW setzt aber beispielsweise aufgrund von Reichweitenvorteilen auch auf flüssigen Wasserstoff.

#### ***3.1.4. Alltagstauglichkeit***

Der sichere Umgang mit Wasserstoff ist in industriellen Anwendungen seit langer Zeit Stand der Technik. Auch der Transport auf Straße, Schiene und Wasser oder durch Pipelines wirft keine grundsätzlichen Probleme auf. Wenn es zu einer Explosion kommt, ist diese aber so heftig, dass nicht mehr viel von dem Schiff oder der Pipeline übrigbleibt. Für den Aufbau einer Infrastruktur kommt es darauf an, alltagstaugliche Geräte, Anlagen und Systeme zu entwickeln, in denen das vorhandene Wissen verwendet wird. Für das Betanken von Fahrzeugen bieten sich zum Beispiel automatische Systeme an, wie sie zur Zeit am Flughafen München in der praktischen Erprobung sind. Durch die Automatisierung werden viele fehlerträchtige Arbeitsgänge vermieden. Die Betankung der mit Wasserstoff betriebenen Vorfeldbusse am Münchner Flughafen erfolgt aber manuell durch die Fahrer.

Fahrzeuge mit Flüssigwasserstoff dürfen nicht in Tiefgaragen oder Tunnels fahren.<sup>42</sup> Der Energieaufwand für die Verdichtung beträgt pro kg 10 kW/h, das ist der tägliche Stromverbrauch des deutschen Durchschnittshaushalts. Die Verflüssigung von Wasserstoff

---

<sup>41</sup> [http://www2.shell.com/home/Framework?siteId=ch-de&FC1=&FC2=&FC4=&FC5=&FC3=/ch-de/html/iwgen/productsservices/erneuerbare/energydir/wasserstoff\\_09241237.html](http://www2.shell.com/home/Framework?siteId=ch-de&FC1=&FC2=&FC4=&FC5=&FC3=/ch-de/html/iwgen/productsservices/erneuerbare/energydir/wasserstoff_09241237.html), geladen am 12.05.02, um 09:00 Uhr.

<sup>42</sup> <http://www.gibgas.de/german/fakten/gasarten.html>, geladen am 05.04.02, um 11:15 Uhr.

vernichtet mindestens 25% der enthaltenen Energie.<sup>43</sup> Von großer Bedeutung für den Autobau ist das Gewicht der Wasserstofftanks. Für 100 l Inhalt können etwa folgende Speichergewichte angesetzt werden, wobei aber täglich 2-3% Gas verloren gehen:<sup>44</sup>

- Für Stahlflaschen etwa 100 kg (Gasförmiger Wasserstoff)
- Für Alu/Compositflaschen etwa 65 kg (Gasförmiger Wasserstoff)
- Für moderne Vollverbundflaschen etwa 30 kg (Gasförmiger Wasserstoff)
- Für Flüssigwasserstofftanks etwa 90 kg

### ***3.1.5. Normierung***

Besondere Gefahren gehen von Wasserstoff nicht aus, so dass es in Österreich und Deutschland gar kein wasserstoffspezifisches Regelwerk gibt.<sup>45</sup> Normierungsbedarf entsteht in absehbarer Zeit vor allem durch seine Einführung als Treibstoff in den Verkehr (Zulassungsvorschriften). Außerdem werden allgemein verstärkt Druckbehälter aus faserverstärktem Kunststoff oder anderen neuen Werkstoffen eingesetzt werden. Hier treten andere Sicherheitsfragen auf als bei der herkömmlichen Gasflasche aus Stahl oder Aluminium.

### ***3.1.6. Umweltproblematik***

*„Die Entwicklung von Wasserstoff als Kraftstoff würde es ermöglichen, die Luftverschmutzung durch den Straßenverkehr und unsere Abhängigkeit von Erdölprodukten zu reduzieren.“* Loyola de Placaio, EU-Kommissarin für Energie- und Verkehrspolitik, Brüssel, 6. Februar 2001 (Reuters-Meldung)

Wasserstoff ist physiologisch unbedenklich, wenn man davon absieht, dass er die Atmung nicht unterstützt. Der Kontakt mit tiefkaltem Wasserstoff oder mit durch ihn oder durch kaltes

---

<sup>43</sup> <http://www.biocar.de/info/info8.htm>, geladen am 12.05.02, um 09:15 Uhr.

<sup>44</sup> <http://www.hydrogen.org/Wissen/w-i-energie2.html>, geladen am 05.04.03, um 09:00 Uhr.

<sup>45</sup> <http://www.dwv-info.de/grundsaz.htm>, geladen am 12.05.02, um 14:30 Uhr.

Gas abgekühlten Gegenständen (Rohrleitungen) führt zu verbrennungsartigen Reaktionen der Haut.

Der Verbrauch von Wasserstoff ist mit geringen oder gar keinen Emissionen verbunden.<sup>46</sup> Er verbrennt zu Wasser, aus dem er im Prinzip wieder gewonnen werden kann; somit geht er nicht verloren und ist ein dauerhaft verfügbarer Energieträger. In Verbrennungsmotoren entstehen im Luftbetrieb geringe Mengen an Stickoxiden. Durch die weiten Möglichkeiten der Wahl der Arbeitsbedingungen beim Wasserstoffmotor kann die Bildungsrate allerdings weit niedriger gehalten werden als bei der Verbrennung von Kohlenwasserstoffen. Bei der Brennstoffzelle mit ihrer niedrigeren Betriebstemperatur entfällt auch dieses Problem. Emissionen entstehen hier allenfalls durch periphere Komponenten, etwa bei der Brennstoffaufbereitung, was die Versorgung mit Erdgas betrifft.

Wasserstoff ist nicht explosiv, zerfallsfähig (wie Acetylen), oxidierend<sup>47</sup> (wie Sauerstoff oder Chlor), giftig, radioaktiv, übelriechend, ansteckend, ätzend, wassergefährdend, krebserregend, fruchtschädigend usw.<sup>48</sup>

Nur seine Gemische mit Sauerstoff oder anderen oxidierenden Gasen (Chlor) in geeigneten Konzentrationen und bei ausreichender Zündenergie können explodieren. Das Molekül an sich ist stabil. Damit unterscheidet sich Wasserstoff zum Beispiel vorteilhaft von einem verbreiteten Brenngas wie Acetylen, das auch ohne Sauerstoff zerfallsfähig ist, oder von Sprengstoffen, die den Sauerstoff im Molekül haben. Wasserstoff ist, wie die meisten anderen brennbaren Gase, als Sprengstoff völlig ungeeignet. Selbst massive Energiezufuhr bewirkt keine Reaktion, so lange kein Sauerstoff anwesend ist. Da dies in einem Wasserstoffbehälter nicht der Fall ist, sind sie grundsätzlich sicherer als Benzin- oder Heizöltanks, in denen die verbrauchte Flüssigkeit durch Luft ersetzt wird. Es gab aber spektakuläre Wasserstoffexplosionen, wie etwa im Jahr 1937 die Explosion der Hindenburg oder im Jahr 1986 die Explosion der Raumfähre Challenger.

---

<sup>46</sup> <http://www.hydrogen.org/Neuigkeiten/MANHyweb.html>, geladen am 12.05.02, um 14:45 Uhr.

<sup>47</sup> brandfördernd

<sup>48</sup> <http://www.dwv-info.de/wissen.htm>, geladen am 12.05.02, um 09:30 Uhr.

### 3.2. Einsatz des Wasserstoffs im Auto anhand des BMW 750hl

BMW setzt weiter auf den herkömmlichen Verbrennungsmotor, der aber auch mit Wasserstoff angetrieben werden kann. Die vorhandene Brennstoffzelle dient lediglich zur Bordstromversorgung für beispielsweise die Sicherheitselektronik oder die HiFi-Anlage.

Aufgrund der Tatsache, dass der 140 Liter flüssigen Wasserstoff fassende Tank im Automobil untergebracht wurde, entschied man sich für den Einbau in die Premiumklasse, den BMW 750. Zur Zeit befinden sich zwölf BMW 750hl auf den Straßen.<sup>49</sup> Mit dem 5,4 Liter Triebwerk verringert sich die Leistung von 240 kw im Normalbetrieb auf 150 kw im Wasserstoffbetrieb, wobei dieser Wert bei flächendeckendem Einsatz des Wasserstoffs problemlos durch Modifikation des Motors erhöht werden kann. Vor allem durch die Erweiterung der Reichweite setzt BMW auf Flüssigwasserstoff, anstatt gasförmigen Wasserstoff. Das bedeutet, dass sich die Reichweite mit dem 140 Liter fassenden Tank von 50 km auf ca. 350 km erhöht, was einen Durchschnittsverbrauch von 40 l H<sub>2</sub>/100 km ergibt. Der Wasserstofftank befindet sich im Kofferraum des Fahrzeuges. Durch den Einsatz von 70 Lagen Glasfasermatten mit Aluminiumfolien im luftleeren Raum zwischen den beiden Tankwänden wird der -253 °C kalte Treibstoff vor Erwärmung geschützt. Steigt der Druck überdies über vier Bar, öffnet sich automatisch ein Sicherheitsventil. Der abgelassene Wasserstoff oxidiert durch chemische Umwandlung wieder zu Wasser. Was die Betankung betrifft, hat sich BMW u.a. mit ARAL und Linde zusammengetan und am Münchner Flughafen die weltweit erste öffentliche Robottankstelle gebaut. Die Kosten der am 5. Mai 1999 eröffneten Tankstelle beliefen sich auf 34 Millionen Mark, wobei die Hälfte der Summe vom Land Bayern in Form einer Technologieförderung kam. Das Auto wird vollautomatisch in ca. drei Minuten betankt. „Auch die manuelle Betankung ist möglich, wir wollten aber mit dem Roboter ein Highlight bieten“ erklärte Karl-Miktat Kara von der Projektbetreuung Clean Energy der BMW AG.

Sollte der Wasserstoff zur Neige gehen und keine Tankstelle in der Nähe sein, schaltet man auf Benzinbetrieb um. Diese Bifuel-Technologie wird vor allem mit der fehlenden Infrastruktur gerechtfertigt. Im Weiteren wird sich das Konzept laut Dipl.-Ing. Reinhold Wurster – Projekt Manager Hydrogen bei der L-B- Systemtechnik GmbH - nur durchsetzen können, wenn „vom Start weg zehn Prozent der existierenden Infrastruktur für diesen neuen Kraftstoff umgerüstet

---

<sup>49</sup> <http://www.bmwworld.com/models/750hl.htm>, geladen am 12.05.02, um 15:00 Uhr.

haben.<sup>50</sup> Dies erfordert laut TU-Berlin Mehrkosten von 200.000 bis 400.000 € pro umgerüstete Tankstelle.

Unter Berücksichtigung der Steuer rechnet BMW damit, dass der Einsatz von regenerativem Wasserstoff innerhalb eines Zeithorizontes von fünf bis zehn Jahren wettbewerbsfähig sein wird. Dies würde auch einen Schub für den Einsatz dieser Technik in anderen Sparten geben. Laut Dipl.-Ing. Wurster ist das größte Problem, „dass Wasserstoff nicht flächendeckend über das ganze Land zur Verfügung steht.“<sup>51</sup> Einen Schub für den Durchbruch des Wasserstoffs wäre eine anfängliche Befreiung von der Mineralölsteuer. Dies macht den preislichen Unterschied zu fossilen Treibstoffen noch signifikanter.

Um jedoch wirklich Umweltprobleme zu lösen, muss der Weg zum Brennstoff H<sub>2</sub> ein umweltfreundlicher sein. Die Elektrolyse ist derzeit wohl der erfolgreichste Weg Wasserstoff aus der Natur zu gewinnen. Nur wenn der notwendige Strom für die Elektrolyse langfristig aus Wasserkraft, Windkraft oder Sonnenenergie stammt, wäre die Energiebilanz von der Erzeugung des Kraftstoffs bis zu seiner Verwendung im Fahrzeug ebenfalls emissionsfrei.<sup>52</sup>

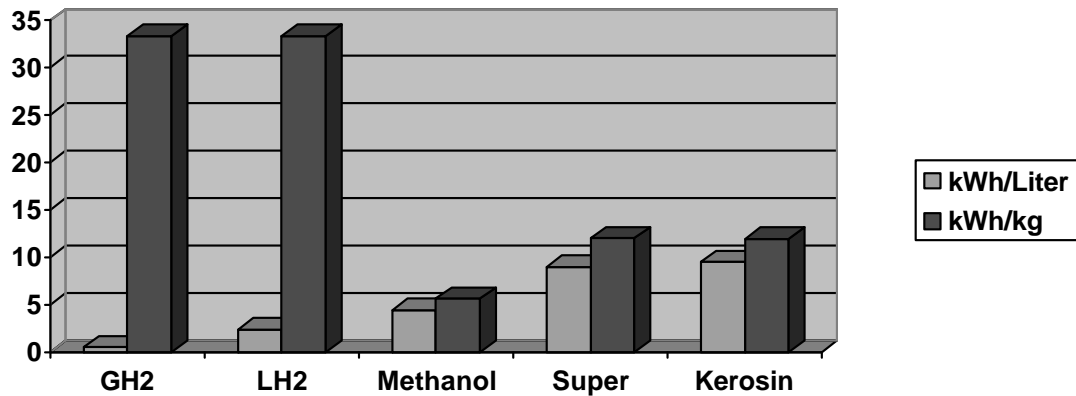
---

<sup>50</sup> Clean Energie, BMW-Group, S. 24.

<sup>51</sup> Clean Energie, BMW-Group, S. 24.

<sup>52</sup> [http://www.daimlerchrysler.com/index\\_g.htm?/products/products\\_g.htm](http://www.daimlerchrysler.com/index_g.htm?/products/products_g.htm), geladen am 20.3.02. um 09:00 Uhr.

### 3.2.1. Energiedichte des H<sub>2</sub> im Vergleich zu anderen Kraftstoffen



**Abbildung 3: Energiedichte des Wasserstoffs im Vergleich zu anderen Kraftstoffen**

Quelle: Wasserstoff als Energieträger –

<http://home.t-online.de/home/chamaeleo/hydro/home.html>

GH2 ... gasförmiger Wasserstoff bei 200 Bar

LH2 ... flüssiger Wasserstoff bei –253 °C

Wie das Diagramm zeigt, ist die volumenbezogene Energiedichte von gasförmigem Wasserstoff mit maximal 0,49 kWh/Liter und von Wasserstoff im flüssigen Zustand mit 2,36 kWh/Liter sehr niedrig und verlangt somit bei vergleichbarer Reichweite ein sehr großes Tankvolumen. Wenn der Platzbedarf eine große Rolle spielt, ist die Verwendung von Wasserstoff evtl. mit Nachteilen, wie z.B. einem verkleinerten Laderaum oder verringerter Reichweite verbunden.

Die gewichtsbezogene Energiedichte ist hingegen mit 33,3 kWh/kg bei gasförmigem und flüssigem Wasserstoff höher als bei jedem anderen Energieträger. Deshalb ist Wasserstoff umso besser geeignet, je mehr auf das Eigengewicht des Treibstoffs geachtet werden muss.

### 3.2.2. Vergleich H<sub>2</sub>-Benzin bezüglich Tankgewicht

Gasförmiger H<sub>2</sub> hat ein spezifisches Gewicht von 0,0899 g/l, während Flüssigwasserstoff ein spezifisches Gewicht von 70,99 g/l aufweist.<sup>53</sup> Damit hat Wasserstoff von allen Brenn- und Treibstoffen die höchste massebezogene Energiedichte. Zum Vergleich: 1 kg Wasserstoff enthält ebensoviel Energie wie 2,1 kg Erdgas oder 2,8 kg Benzin. Bei Fahrzeugen spielt neben Gewicht und Volumen des Kraftstoffs selbst auch Gewicht und Volumen des Tanks eine bedeutende Rolle. Das Gewicht von 10 l Normalbenzin beträgt laut OMV 7,418 kg, wobei das von 10 l Diesel 8,374 kg beträgt.<sup>54</sup> Beim folgenden Beispiel wurde das Gewicht des Benzins mit 750 kg/m<sup>3</sup> festgesetzt.

In Abb. 4 wird das Gewicht verschiedener Benzintanks mit gleicher Energiemenge verglichen, wobei diese für etwa 350 km Reichweite genügt. Dies entspricht bei Zugrundelegung von einem durchschnittlichen Verbrauch von 10,5 l/100 km ungefähr 33 Liter Benzin, also 24,75 kg. Plus etwa 5 kg für den Tank – wo Masse und Volumen kaum ins Gewicht fallen - ergibt sich ein Gesamtgewicht von rund 40kg. 33 l Benzin entspricht etwa der Energie von 8,1 kg Wasserstoff. Da der Tank von drei Liter flüssigem Wasserstoff 20 kg wiegt, ist davon auszugehen, dass er für 8,1 kg etwa 55 kg wiegt.<sup>55</sup> Bei gasförmigem Wasserstoff liegt der Umrechnungsfaktor – aufgrund des größeren Volumens – etwa bei 12. Er wiegt also 480 kg. Durch das höhere Sicherheitsrisiko (wie oben beschrieben) ist dies bei der Speicherung von H<sub>2</sub> jedoch anders.

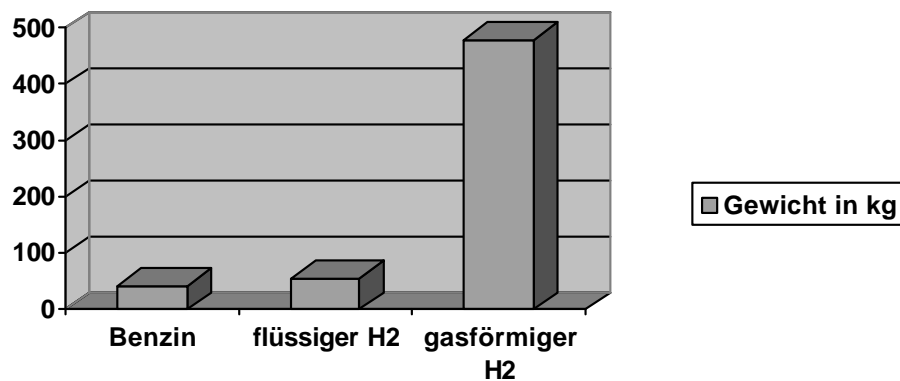
Der Tank mit gasförmigem H<sub>2</sub> bei 200 bar ist im Vergleich am größten. Da er das größte Volumen umschließt und einem hohen Druck standhalten muss, ist er auch noch mehr als 12mal so schwer wie ein Benzintank mit gleicher Energiemenge. Die Angaben im Diagramm gehen von Gasflaschen aus modernen Verbundwerkstoffen aus.

Bei Speicherung von flüssigem Wasserstoff wird das 3,8-fache Tankvolumen benötigt. Wegen der Superisolation, die für die tiefen Temperaturen von nur 20 °C über dem absoluten Nullpunkt benötigt wird, würde ein solcher Tank insgesamt etwa 5mal soviel Platz benötigen und etwas schwerer ausfallen als ein vergleichbarer Benzintank. Für größere Tanks ergeben sich günstigere Werte, da große Körper ein besseres Verhältnis zwischen Oberfläche und Volumen aufweisen.

<sup>53</sup> <http://www.hydrogen.org/Wissen/w-i-energie2.html>, geladen am 12.05.02, um 09:45 Uhr.

<sup>54</sup> Die Messung wurde bei 15 °C in der 12. Kalenderwoche des Jahres 2002 durchgeführt.

<sup>55</sup> [http://www.k-tz.de/tz2/Brennstoffzellen/PKW/body\\_pkw.html](http://www.k-tz.de/tz2/Brennstoffzellen/PKW/body_pkw.html), geladen am 29.03.02 um 11:00 Uhr.



**Abbildung 4: Gewicht der verschiedenen Tanks bei gleicher Energiemenge**

Quelle: eigene Darstellung

### 3.3. Grundlagen der Brennstoffzellentechnologie

Über keine Technologie wurde in den letzten Jahren in den Medien so viel berichtet wie über diese Technologie. Im Vergleich zur herkömmlichen indirekten Stromerzeugung mittels Verbrennung fossiler Brennstoffe, Umwandlung der dabei entstehenden thermischen Energie in mechanische Energie und Wandlung dieser mechanischen Energie mittels Generator in elektrische Energie, wird bei der Brennstoffzellen-Technologie der Strom auf direktem Weg über eine elektro-chemische Umwandlung erzeugt.<sup>56</sup>

Brennstoffzellen-Antriebe gelten unter den alternativen Antriebsmöglichkeiten als die vielversprechendsten, da sie bei hohem Wirkungsgrad äußerst emissionsarm oder sogar völlig emissionsfrei - je nach Kraftstoff - arbeiten.

Der Wirkungsgrad eines Ottomotors - in dem eine Verbrennung, also ein thermodynamischer Prozess stattfindet - ist grundsätzlich durch ein physikalisches Gesetz begrenzt, den sogenannten Carnot-Wirkungsgrad<sup>57</sup>. Im Gegensatz dazu gewinnt die Brennstoffzelle den Strom für den Motor in einem elektrochemischen Prozess. Sie wandelt dabei die im Kraftstoff

<sup>56</sup> [http://www.bhkw-infozentrum.de/innovative/bz\\_gl.html](http://www.bhkw-infozentrum.de/innovative/bz_gl.html), geladen am 12.05.02, um 15:15 Uhr.

chemisch gespeicherte Energie hocheffizient direkt in elektrische Energie um: Bei Teillast bis über 70 % der Energie, bei Volllast rund 50 %.<sup>58</sup> Mit der selben Menge Wasserstoff kann man deshalb mit einer Brennstoffzelle rund doppelt so weit fahren als mit einem Ottomotor.

Der mittlere Wirkungsgrad bei der Umwandlung der chemischen in elektrische Energie in der Zelle ist dabei über 60 % und damit höher als beim Verbrennungsmotor mit Benzin oder Diesel. Denn grundsätzlich sind Brennstoffzellen-Fahrzeuge mit verschiedenen Kraftstoffen denkbar. Sie können den Wasserstoff zur Stromerzeugung entweder im Tank tragen oder ihn mit Hilfe eines Reformers aus flüssigen Treibstoffen wie Methanol gewinnen.

Emissionsfrei fahren Brennstoffzellen-Autos und Brennstoffzellen-Busse, die den Wasserstoff entweder als komprimiertes Gas oder als -253 Grad Celsius kalte Flüssigkeit an Bord haben. Sie produzieren neben Strom und Wärme nur reines Wasser, arbeiten besonders effizient und kommen mit einer vergleichsweise unkomplizierten Technik aus.

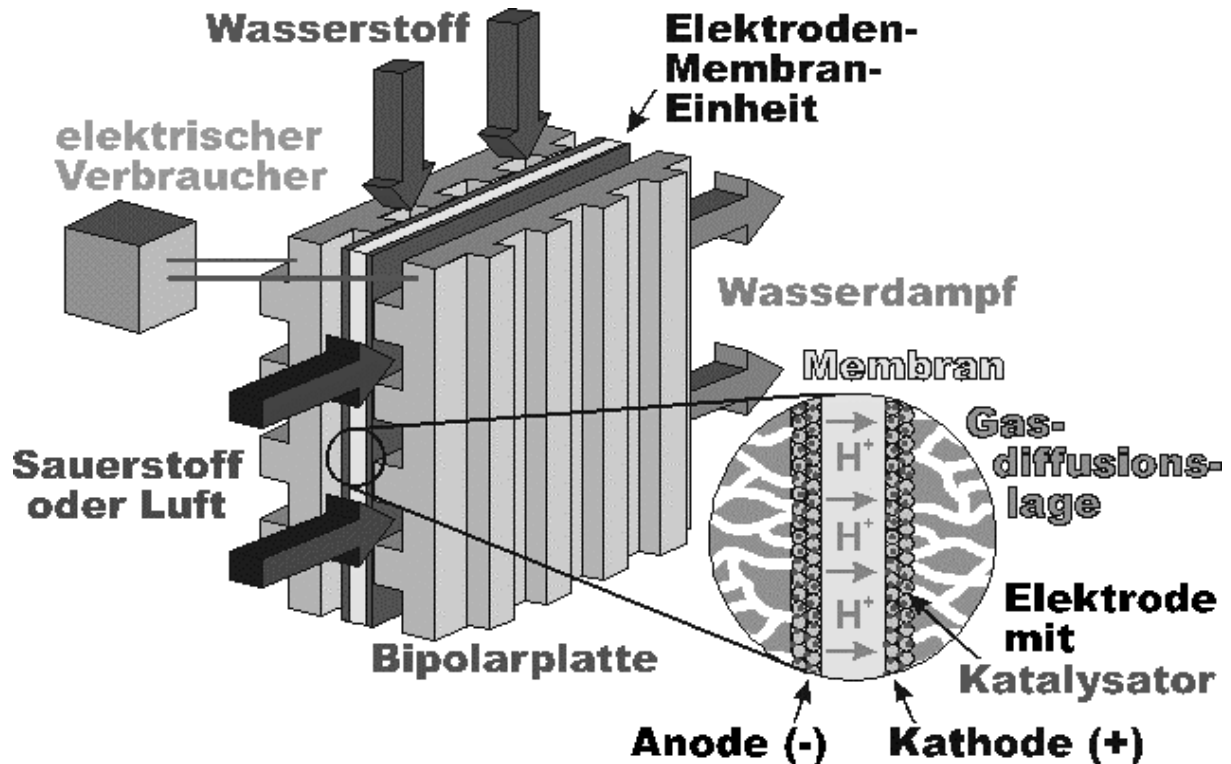
### ***3.3.1. Funktionsweise der Brennstoffzelle***

Eine Brennstoffzelle besteht im Wesentlichen aus einer sandwichartig angeordneten Dreierschicht Anode/Elektrolyt/Kathode, welche auf der Anodenseite durch die reduktive Gasatmosphäre (Wasserstoff) und auf der Kathodenseite durch die oxidative Atmosphäre (Luftsauerstoff) umspült wird.

---

<sup>57</sup> Dieser gibt den Rahmen vor, in dem sich der Wirkungsgrad einer Wärmekraftmaschine äußerstenfalls bewegen kann. Der *maximale* Wirkungsgrad hängt von der Temperatur der Wärmequelle  $T_1$  und der Temperatur der Umgebung  $T_2$  nach der folgenden Beziehung ab: Carnot-Wirkungsgrad =  $1 - T_2/T_1$

<sup>58</sup> <http://strombasiswissen.bei.t-online.de/SB131-02.htm>, geladen am 05.04.02, um 12:00 Uhr.



**Abbildung 5: Schematische Darstellung einer Brennstoffzelle**

Quelle: Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung

<http://www.zsw-bw.de/docs/research/ECW/>

Der elektro-chemische Prozess der Brennstoffzelle verläuft prinzipiell wie eine umgekehrte Elektrolyse. Der Brennstoff Wasserstoff wird kontinuierlich der Anode zugeführt. Dort wird er in Anwesenheit eines Katalysators in Elektronen und Ionen aufgespalten, wobei die Ionen durch den Elektrolyten zur Kathode transportiert werden. Bedingt durch die Potentialdifferenz zwischen Brenngas (Anodenseite) und Sauerstoff (Kathodenseite) fließen die Elektronen über einen externen Stromkreis (elektrischer Verbraucher) zur Kathode und verrichten dabei elektrische Arbeit. An der Kathode verbinden sich die Ionen und Elektronen mit dem der Kathode zugeführten Sauerstoff zu Wasser, welches als Wasserdampf abgeführt wird.<sup>59</sup>

<sup>59</sup> <http://www.hwk-muenchen.handwerk.de/beratung/tt/lexi/bsa.htm>, geladen am 05.04.02, um 12:15 Uhr.

Die Brennstoffzelle erzeugt Gleichstrom, der wiederum in einem Wechselrichter in Wechselstrom umgewandelt werden kann. Die Potentialdifferenz einer einzelnen Brennstoffzelle ist sehr gering (ca. 0,7 Volt). Um diesen Nachteil zu umgehen und eine höhere Spannung zu erhalten werden mehrer Brennstoffzellen zu einem Stack (Stapel) in Reihe geschaltet. Die Abwärme der Brennstoffzelle wird über einen Kühlkreislauf ausgekoppelt und kann zu Heizzwecken abgegeben werden.

Brennstoffzellen werden in Abhängigkeit ihrer Betriebstemperaturen und des verwendeten Elektrolyten klassifiziert. Grundsätzlich unterscheidet man hinsichtlich der Betriebstemperaturen zwischen Nieder- und Hochtemperatur-Brennstoffzellen. Erstere benötigen Reformier, die etwa 20% der eingesetzten Energie für den Reformierungsprozess verwenden, wobei bei letzteren aufgrund der hohen Temperaturen eine Direktreformierung möglich ist.

Die Brennstoffzellen-Technologie weist in einigen Bereichen deutliche Vorteile gegenüber den konventionellen KWK-Technologien<sup>60</sup> auf. So besitzt die Brennstoffzelle vergleichsweise hohe elektrische Wirkungsgrade, welche auch im Teillastbetrieb nahezu konstant bleiben. Die Leistungsanpassung ist aufgrund des modularen Aufbaus – sog. Stacks - hervorragend realisierbar. Grundsätzlich sind Brennstoffzellen sehr gut regelbar, scheinen einen geringen Wartungsaufwand aufzuweisen und zeichnen sich durch geringe Schadstoff- und Lärmemissionen aus.

Es gibt aber auch Nachteile bei dieser Technologie. Problematisch sind einerseits noch die geringen Betriebserfahrungen, der fehlende Nachweis einer hohen Lebensdauer und die hohen spezifischen Investitionsvolumina.

Brennstoffzellen selbst arbeiten völlig emissionsfrei: Bei der Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser, elektrischer Energie und Wärme entstehen keinerlei Schadstoffe.<sup>61</sup> Als "Abgas" entweicht bei Brennstoffzellen-Fahrzeugen, die den Wasserstoff direkt im Tank tragen, nur reiner Wasserdampf.

---

<sup>60</sup> Die Kraft-Wärme-Kopplung zeichnet sich dadurch aus, dass gleichzeitig Energie und Wärme produziert wird.

<sup>61</sup> [http://www.physik.tu-muenchen.de/lehrstuehle/E19/th\\_eu\\_bza.html](http://www.physik.tu-muenchen.de/lehrstuehle/E19/th_eu_bza.html), geladen am 12.05.02, um 15:15 Uhr.

### 3.3.2. "Methanolisierter" Wasserstoff

Wasserstoff ist gasförmig und benötigt deshalb große Tanks und besondere Tankstellen. Ein flüssiger Wasserstoffspeicher wie Methanol - "methanolisierter" Wasserstoff - als Kraftstoff hat den Vorteil, dass er sich ähnlich handhaben lässt wie heute Benzin oder Diesel. Ein sogenannter Reformer gewinnt aus ihm an Bord des Fahrzeugs Wasserstoff für die Reaktion in der Brennstoffzelle. Dazu wird der Kraftstoff mit Wasser vermischt, verdampft und in Wasserstoff und Kohlendioxid zerlegt.<sup>62</sup> Bevor das Gasgemisch anschließend in die Brennstoffzelle gelangt, wird es in einer weiteren Stufe gereinigt. Wieviel Wasserstoff jeweils im Reformer entsteht, bestimmt der Druck auf das Gaspedal. Diese Technologie wird – wie oben dargestellt – von BMW verwendet.

Wasserstoff-Fahrzeuge brauchen jedoch voluminöse Tanks und eine besondere Tankstelleninfrastruktur. Deshalb eignen sich Autos wie der BMW 750hl oder Brennstoffzellen-Busse vor allem für Flotten, also Lieferdienste oder Stadtbusse, die zum Tanken immer wieder zur selben Zentrale zurückkehren und nur Reichweiten von bis zu 350 Kilometern benötigen.

Die Kraftstoff-Lösung für den Individualverkehr könnte also Methanol - "methanolisierter" Wasserstoff - sein. Es hat eine höhere volumenbezogene Energiedichte als flüssiger Wasserstoff.<sup>63</sup> Ein Liter methanolisierter Wasserstoff enthält im Vergleich mehr Wasserstoff-Atome. Und weil der Kraftstoff bei normalen Umgebungstemperaturen flüssig ist, lässt er sich ähnlich wie Benzin oder Diesel transportieren, lagern und handhaben. Die bestehende Infrastruktur ließe sich also nach einer Anpassung weitgehend nutzen.

Wie Wasserstoff ist auch methanolisierter Wasserstoff nicht von Erdöl abhängig. Er kann prinzipiell aus jeder Kohlenstoffquelle erzeugt werden. Die Industrie stellt den Stoff heute überwiegend aus Erdgas her. Erdgas fällt beispielsweise als Nebenprodukt in der Erdölförderung an und wird heute oft abgefackelt. Es ließe sich direkt am Bohrloch in flüssiges Methanol umwandeln und zum Verbraucher transportieren. Ein Punkt, der für diese Anwendung spricht ist, dass die Produktionskapazitäten bisher nur teilweise ausgelastet sind.<sup>64</sup>

---

<sup>62</sup> <http://www.energieinfo.de/eglossar/node21.html>, geladen am 12.05.02, um 15:30 Uhr.

<sup>63</sup> <http://www.hydrogen.org/Wissen/w-i-energie/w2.html>, geladen am 05.04.02, um 13:00.

<sup>64</sup> <http://www.lets-project.com/projekt/comenius/Necar5.htm>, geladen am 12.05.02, um 15:45 Uhr.

Im Vergleich zu Wasserstoff sind Fahrzeuge mit Methanolbetrieb zwar nicht vollkommen emissionsfrei, aber sie erzeugen fast keine Schadstoffe und erheblich weniger Kohlendioxid als Verbrennungsmotoren. Eine neutrale Kohlendioxid-Bilanz ergibt sich, wenn der methanolisierte Wasserstoff regenerativ gewonnen wurde - beispielsweise aus nachwachsenden organischen Rohstoffen, Biomasse wie Holzabfällen oder aus Abluft der chemischen Industrie. Methoden dazu werden heute etwa im Sekundärrohstoff-Verwertungszentrum "Schwarze Pumpe" bei Cottbus oder in Island bereits erfolgreich getestet.<sup>65</sup>

### **3.3.3. Methanol-Brennstoffzelle**

Die Direktmethanol-Brennstoffzelle kann bei der nächsten Generation von Methanol-Antrieben den Reformer überflüssig machen. Sie gewinnt den Strom unmittelbar aus Methanol.<sup>66</sup> Damit ermöglicht sie eine erhebliche Systemvereinfachung und weitere Vorteile bei Verbrauch und Emissionen. Der Brennstoffzelle wird auf der einen Seite ein flüssiges Gemisch aus Methanol und Wasser, auf der anderen Seite Luft zugeführt. Ein Edelmetall-Katalysator sorgt dafür, dass der Kraftstoff sich ohne Zwischenschritte aufspaltet.<sup>67</sup> Dabei entsteht neben reinem Wasserdampf, Strom und Wärme nur Kohlendioxid. Im Vergleich zum Ottomotor ist der Kohlendioxid-Ausstoß um ein Drittel niedriger, und durch den Einsatz von regenerativ hergestelltem Methanol wäre die Bilanz sogar neutral. In rund zehn Jahren könnte das neue System einsatzfähig sein.

Bei methanolbetriebenen Brennstoffzellen-Fahrzeugen entstehen geringe Mengen von Abgasen bei der Methanolumwandlung im Reformer - jedoch weit weniger als bei Verbrennungsmotoren, weil sie bei sehr viel niedrigeren Temperaturen arbeiten. Ihr Einsatz könnte die Kohlendioxid-Emissionen um rund ein Drittel und die Schadstoffemissionen gegen Null senken.<sup>68</sup> So entstehen keine umweltbelastenden Stickoxide, kein Schwefeldioxid und keine Rußpartikel. Kohlenwasserstoff- oder Kohlenmonoxidemissionen sind kaum nachweisbar. Die Werte bleiben weit unter den Standards für das kalifornische Super Ultra-

---

<sup>65</sup> [http://www.daimlerchrysler.com/index\\_g.htm?/specials/necar/antrieb/methanol\\_g.htm](http://www.daimlerchrysler.com/index_g.htm?/specials/necar/antrieb/methanol_g.htm), geladen am 05.04.02, um 12:15 Uhr.

<sup>66</sup> <http://www.innovation-brennstoffzelle.de/>, geladen am 05.04.02, um 12:30 Uhr.

<sup>67</sup> <http://www.diebrennstoffzelle.de/zelltypen/dmfc/index.shtml>, geladen am 12.05.02, um 10:00 Uhr.

<sup>68</sup> <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/brennstoffzelle.htm>, geladen am 05.04.02, um 12:45 Uhr.

Low Emissions Vehicle (SULEV), den strengsten Standards weltweit. Es besteht sogar die Chance, dass auch methanolbetriebene Brennstoffzellen-Fahrzeuge in Kalifornien als Zero Emission Vehicle (ZEV) eingestuft werden.

#### **3.3.4. Benzin**

Brennstoffzellen lassen sich grundsätzlich auch mit einem speziellen, reineren Benzin antreiben. Bis die Methode alltagstauglich wird, sind aber noch etliche technische Hürden zu überwinden. Die Benzinreformierung benötigt höhere Temperaturen und komplexere Systeme als die Methanolreformierung. Der Antrieb würde daher weniger effizient arbeiten und mehr Emissionen erzeugen. Zudem wäre die Kaltstartfähigkeit eingeschränkt. Ob die Brennstoffzelle also auch mit Benzinbetrieb ein wirkliches Plus gegenüber dem Verbrennungsmotor sein kann, ist noch offen.

BMW stellte im Jahr 2001 die erste Benzin-Brennstoffzelle vor, mit deren Hilfe man unabhängig vom Motor Strom erzeugen kann für den Betrieb der Klimaanlage, der Heizung etc.<sup>69</sup> Bis 2005 soll diese Entwicklung zur Serienreife gelangen.

#### **3.3.5. Gefahr zusätzlicher Nebel- und Glatteisbildung eines wasserstoffbetriebenen Kfz - Verkehrs**

Die Frage nach zusätzlicher Nebel- und Glatteisbildung kommt nicht von ungefähr. Dazu ein Beispiel der Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH zur Abschätzung der lokalen Emissionen durch Auspuffgase in München, das ein tägliches Autoaufkommen von ca. 500.000 Kfz hat. Zugrundegelegt wird eine tägliche Fahrstrecke von durchschnittlich 20 km bei einem Energieverbrauch von ca. 1 kWh/km. Daraus ergibt sich eine Wasserdampfemission von ca.  $0,5 \times 10^6 \times 20 \times 365 \times 0,27 \text{ kg/a} = 0,985 \text{ Mio. t}$  Wasserdampf pro Jahr, falls diese Fahrzeuge mit Wasserstoff betrieben werden. Gemittelt auf das Stadtgebiet von ca. 400 km<sup>2</sup> entspricht dies einer Flächenemission von ca. 2 kg/m<sup>2</sup>·a. Der heutige Straßenverkehr mit Benzin- und

---

<sup>69</sup> [http://www.auto-news.de/auto2/bmw\\_brennstoffzelle.htm](http://www.auto-news.de/auto2/bmw_brennstoffzelle.htm), geladen am 05.04.02, um 13:00 Uhr.

Dieselmotoren verursacht in diesem Beispiel eine Flächenemission von etwa  $1 \text{ kg/m}^2 \times a$ . Die jährliche Niederschlagsmenge beträgt etwa  $950 \text{ mm/a}$  [11], also etwa  $950 \text{ kg/m}^2 \times a$ .<sup>70</sup>

Der von Wasserstoffautos zusätzlich gebildete Wasserdampf liegt also im Promillebereich des natürlich produzierten Wasserdampfs. Durch diesen geringen Anteil ergeben sich keine Auswirkungen auf Städte bezüglich der Nebel- und Glatteisbildung.

### 3.4. Einsatz der Brennstoffzelle

Im Individualverkehr-Bereich stellt das brennstoffzellenbetriebene Elektroauto eine interessante Alternative dar, an der weltweit von verschiedenen Kraftfahrzeugherstellern – wie Daimler-Chrysler, Ford oder Nissan - intensiv und mit hohem Investitionsaufwand gearbeitet wird. Der Fahrzeugantrieb wird derzeit als das wichtigste potentielle Anwendungsfeld der Membran-Brennstoffzelle<sup>71</sup> (PEMFC) angesehen, die aufgrund ihrer hohen Leistungsdichte und ihres großen Kostensenkungspotenzials favorisiert wird.<sup>72</sup>

Brennstoffzellen-Fahrzeuge werden mehr als den gewohnten Komfort bieten. Da sie mit einem Elektromotor fahren, benötigen sie keine Gangschaltung, sondern nur eine einstufige Übersetzung und den Park-Modus. Ölwechsel gehören der Vergangenheit an. Und dank weniger beweglicher Teile im Vergleich zum herkömmlichen Auto sind sie nicht nur sehr viel geräuschärmer; sie können aufgrund der geringeren mechanischen Belastungen auch noch zuverlässiger und langlebiger sein. Mit der Brennstoffzelle als leistungsstarker Stromquelle an Bord kann zum Beispiel eine Standklimatisierung oder auch ein mobiles Büro betrieben werden.

Seit 1990 wird schon mit dieser Technologie gearbeitet. Grundsätzlich ist mit einer Einführung von Brennstoffzellen-Fahrzeugen erst in der zweiten Hälfte der Dekade zu rechnen. Im Bereich des öffentlichen Personennahverkehrs könnte dies bereits zu einem früheren Zeitpunkt realisiert werden. So wurde vor kurzem ein Projekt mit einer Demonstrationsflotte von 30 Brennstoffzellen-Bussen in verschiedenen europäischen Städten

---

<sup>70</sup> <http://www.hydrogen.org/Wissen/Dampf.htm>, geladen am 25.02.02, um 09:30 Uhr.

<sup>71</sup> Die Membran Brennstoffzelle (Proton Exchange Membrane Fuel Cell) ist eine Niedertemperaturbrennstoffzelle, die bei Betriebstemperaturen unter 100 Grad Celsius arbeitet.

<sup>72</sup> <http://people.freenet.de/Dyck/brennstoffzelle.html>, geladen am 12.05.02, um 16:15 Uhr.

(u.a. Stuttgart und Hamburg) gestartet. 2002 wird DaimlerChrysler die ersten Brennstoffzellen-Busse in Kundenhand abgeben.<sup>73</sup>

Der letzte Schritt zur Serienreife wird über den NECAR gesetzt. Ab 2003 wird das Wasserstoff-Auto basierend auf der Mercedes A-Klasse unter Alltagsbedingungen auf kalifornischen Straßen bis zu 40.000 Kilometer zurücklegen und dabei kontinuierlich Betriebsdaten liefern. Kern ist der optimierte Brennstoffzellen-Stack mit 75 Kilowatt Leistung. Mit einer Tankfüllung von rund zwei Kilogramm Wasserstoff fährt der NECAR rund 200 Kilometer weit und erreicht dabei Höchstgeschwindigkeiten von 145 km/h. 2004 werden die ersten Autos mit Brennstoffzellen-Antrieb auf den Markt gebracht.

Bereits im Oktober 2000 zeigte DaimlerChrysler den Jeep Commander 2, ein Sport Utility Vehicle (SUV), mit Brennstoffzelle. Der Tank enthält im Gegensatz des NECAR aber "methanolisierten" Wasserstoff.

Um die Brennstoffzellen-Technologie weiter voran zu bringen, plant die EU-Kommission einen Großversuch mit Brennstoffzellen-Autos. Laut EU-Energiekommissarin Loyola de Palacio soll damit der Einsatz der wasserstoffbetriebenen Motoren unter Marktbedingungen erprobt werden.<sup>74</sup>

### ***3.4.1. Chancen und Ziele der Brennstoffzelle***

Das Problem stellt sich insofern dar, dass die Chancen und das Risiko zwischen den beteiligten Gruppen - Fahrzeugindustrie (inkl. Zulieferer), Mineralölwirtschaft, Betreiber von Tankstellen, andere Energiebranchen (z.B. Gasversorger, Stromwirtschaft), Staat und Öffentlichkeit – ausgeglichen verteilt sein müssen.

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht müssen Anlaufverluste wegen anfänglicher Kapazitätsunterauslastungen genauso in die Rechnung einbezogen werden wie aus volkswirtschaftlicher Sicht die Fiskalabgänge bei Verzicht auf Einhebung der Mineralölsteuer.

---

<sup>73</sup> Strom aus Wasserstoff und Sauerstoff, DaimlerChrysler Research & Technology, S. 4.

<sup>74</sup> <http://science.orf.at/science/news/5423>, geladen am 11.05.02, um 22:30 Uhr.

In absehbarer Zeit wird die breite Einführung der Technologie durch die Zusammenarbeit zwischen Privatwirtschaft und öffentlicher Hand realistischer. Die Automobilhersteller etwa würden die First Mover Vorteile generieren und ihre Kompetenz im Bereich der Forschung und Entwicklung unter Beweis stellen. Die Anwendungen des H<sub>2</sub> im Bereich der Kfz liegen aber auch durchaus im öffentlichen Interesse. Hier ist neben der Nachhaltigkeit der Energieversorgung und dem Umweltschutz auch an Wertschöpfung und Arbeitsplätze zu denken. Die Umsetzung der Brennstoffzellen-Technologie wäre beispielsweise Auslöser für Infrastruktur-Investitionen, die wiederum Arbeitsplätze, Konsumeffekte und Steuereinnahmen bringen.

## 4. Elektrofahrzeuge

Batteriebetriebene Elektrofahrzeuge haben sich aus vielen Gründen kaum am Markt durchgesetzt. Es sind dies u.a. die zu geringe Reichweite, nicht zufriedenstellende Fahrleistungen, zu geringe Lebensdauer der Batterie in Verbindung mit zu langen Ladezeiten und nicht zuletzt der immer noch hohe Preis. Vorteile, wie etwa die Geräuscharmheit und Abgasfreiheit werden von den Konsumenten kaum gewürdigt. Um die Motivation der Automobilhersteller zu fördern, setzt der Bundesstaat Kalifornien in den USA auf Gesetze (siehe Punkt 2). Damit werden die Hersteller „gezwungen“, ihre Autos zu Marktpreisen zu verkaufen, was am Beginn mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht ohne Verluste auf Grund der hohen Kosten für Forschung und Entwicklung vonstatten gehen wird. Der kalifornische Fahrzeugmarkt eignet sich hervorragend als Pilotmarkt für die Einführung neuer Kraftstoffe und Antriebe. Ford hat sich als erster namhafte Autobauer dieser Herausforderung gestellt und dem Programm zugestimmt.<sup>75</sup> Damit ist ein Einstieg in die Marktdurchdringung alternativer Antriebskonzepte geschafft.

Die von Verbrennungsmotorfahrzeugen gewohnten Parameter, wie etwa Nutzraum, Zuladung, Fahrkomfort, Ausstattung, Sicherheit verbunden mit Reichweite, Beschleunigung und Höchstgeschwindigkeit werden auch bei der Bewertung von Elektrofahrzeugen ins Treffen geführt. Was die Fahrleistungen betrifft, ist besonders die Weiterentwicklung der Batterie anzumerken.

### 4.1. Grundlagen

Die von den Mobiltelefonen bereits bekannten verschiedenen verbesserten Akkus wie Nickel Metallhydrid (NiMH), Natrium Nickelchlorid (NaNiCl<sub>2</sub>) oder der Litium Ionen Akku werden auch in Autos eingesetzt. Welche Technologie sich durchsetzen wird, hängt neben der Leistungs- und Energiedichte auch von Kosten, Lebensdauer, Alltagstauglichkeit oder auch Handling in Kundenhand ab. Im Weiteren ist die Anordbarkeit der einzelnen Zellen in ein Package besonders unter Design Gesichtspunkten zu beachten. Somit wurden Batteriesysteme entwickelt, die aus einzelnen Zellen aufgebaut sind und flexibel angeordnet werden können.

---

<sup>75</sup> [http://www.avd.de/news/2001/februar/mid2001\\_10\\_002.htm](http://www.avd.de/news/2001/februar/mid2001_10_002.htm), geladen am 12.05.02, um 17:15 Uhr.

Das Design des Autos ist somit nicht durch die Unterbringung von klobigen Energiespeichern beschränkt. Im Gegensatz dazu haben Hochtemperaturbatterien (z.B.  $\text{NaNiCl}_2$ ) in der Regel eine monolithische Bauweise. Neben dem Problem einer nachträglichen Integration in ein vorhandenes Design erhöht das Teilen des Batteriesatzes z.B. zur Unterbringung im Motor- und Kofferraum den Aufwand bei gleichzeitiger Zunahme der thermischen Verluste. Ein weiterer wesentlicher Aspekt beim Einsatz im Fahrzeug ist das Batteriemanagement, also die thermische Überwachung, verbunden mit einer aktiven Temperierung, die ein Abkühlen bzw. Beheizen der Batterie steuert. Neben der Anzeige des Ladezustands für die Reichweitenprognose muss auch immer dafür gesorgt werden, dass das Temperaturgefälle zwischen den einzelnen Zellen so gering wie möglich gehalten wird, sonst werden aufgrund der Temperaturabhängigkeit der Kapazität einzelne Zellbereiche überladen oder tiefentladen, so dass langfristig mit dem Versagen dieser Zellen zu rechnen ist.<sup>76</sup> 1998 ist man bei den Batteriekosten von 500 DM/kWh ausgegangen.<sup>77</sup>

---

<sup>76</sup> <http://www.ika.rwth-aachen.de/ueberuns/publikat/hdtmue/hdtmue.htm>, geladen am 22.03.02 um 14:30 Uhr.

<sup>77</sup> Rahmenbedingungen und Zukunft der E-Mobile aus der Sicht des Herstellers, S. 5.

Jahr		1993	1998	>2003
<b>Fahrzeug</b>	Leergewicht* (kg)	1034	1060	915
	$c_w$ -Wert <sup>78</sup>	0,34	0,30	0,25
<b>Batterie</b>	Bauart	Blei-Gel	USABC (Mid Term Goal)	USABC (Long Term Goal)
	Gewicht (kg)	480	330	210
	Energiedichte (Wh/kg)	22	85	220
	Leistungsdichte (W/kg)	50	150	400
<b>Antrieb</b>	Nennleistung (kW)	25	50	85
	Max. Drehmoment (Nm)	75	180	200
	Getriebe	Mehrgang	Eingang <sup>79</sup>	Eingang
<b>Höchstgeschwindigkeit</b>		100 km/h	130 km/h	130 km/h
<b>Beschleunigung 0-100 km/h</b>		60 sek.	19 sek.	12,5 sek.
<b>Reichweite</b>		50 km	170 km	280 km

\*) Gewicht ohne Batterie

#### **Tabelle 4: Fortschritte der E-Mobile**

Quelle: Volkswagen AG

<sup>78</sup> Ist ein Maß für den Strömungswiderstand des Körpers und hängt von der Querschnittsfläche, der Strömungsgeschwindigkeit und der Dichte des Strömungsmediums ab.

<sup>79</sup> Durch das hohe Gewicht und dem schlechten Wirkungsgrad geht der Trend zum Direktantrieb mit einer festen Gangstufe.

Folgende Eigenschaften sind für die Auswahl der Batterie im E-Mobil besonders zu berücksichtigen:

- Niedriges Gewicht und Volumen bei maximaler Bereitstellung des geforderten Energieinhaltes
- Hohe Maximalleistung
- Einfache Temperierung für den Betrieb bzw. auch für das Laden und Entladen
- Schnellladefähigkeit der Batterie
- Eine Stilllegung sollte unbeschadet möglich sein
- Hohe Zyklen- und Kalenderlebensdauer
- Geringer Preis pro Energieeinheit
- Die Umweltverträglichkeit im Allgemeinen und im Speziellen bei der Entsorgung der Batterien

Die unten kurz vorgestellten Batterien werden bereits in Elektrofahrzeugen eingesetzt bzw. befinden sich bei diversen Herstellern in der Erprobungsphase. Blei-Gel und Nickel-Cadmium-Batterien werden zur Zeit für den Serienbetrieb eingesetzt. Andere Systeme wie Nickel-Metallhydrid oder Hochtemperatursysteme befinden sich noch in der Entwicklungsphase. Sind vorwiegend kürzere Fahrstrecken mit hoher Dynamik und Leistungsbedarf zurückzulegen, bieten sich Nickel-Cadmium (NiCd) oder Nickel-Metallhydrid-Systeme an.

#### ***4.1.1. Lithium Ionen***

Die Lithium-Ionen Batterie hat eine Energiedichte (siehe Tabelle 5), die zweimal so hoch ist wie die der Nickelcadmium Batterie, und das bei gleichem Laststrom. Zusätzlich hat die Li-Ionen ein sehr gutes Tiefentladungsverhalten. Sie ist, was den Bereich der Lade- und Entladeeigenschaften angeht, der NiCd-Batterie sehr ähnlich. Umwelttechnisch stellt die

Entsorgung der Batterie dahingehend ein Problem dar, da sie durch eindringende Feuchtigkeit eine hohe Explosionsgefahr birgt. Weniger problematisch ist der giftige Metallgehalt. Insgesamt stellt diese Batterie aber eine gute Lösung für den Einsatz im E-Mobil dar.

#### **4.1.2. Nickel-Cadmium (NiCd)**

Die NiCd gehört schon zu den älteren Technologien. Sie ist seit 1950 auf dem Markt und hat sich als Traktionsbatterie in verschiedenen Fahrzeugen bewährt. In Frankreich wird sie in Serienfertigung für Elektrofahrzeuge gefertigt. Die wesentlichen Vorteile der NiCd-Batterie sind das schnelle und einfache Laden in Verbindung mit einer großen Anzahl von Lade- und Entladezyklen. Bei richtiger Wartung hat die NiCd ein Zyklusleben von einigen tausend Zyklen. Dies ist auch nach längerer Stilllegung bzw. Lagerung der Batterie möglich. Hinzu kommt noch die hohe Leistung unter Last bei niedrigen Temperaturen. Ein weiterer wichtiger Grund für den Einsatz der NiCd liegt im niedrigen Anschaffungspreis.

Ein Nachteil der NiCd-Batterie ist aber der Memoryeffekt<sup>80</sup>. Um diesen zu umgehen ist es notwendig, die Batterie nach der Ladung vom Ladegerät abzustecken. Dies ist beim Einsatz im Automobilbereich aber problematisch, da aus Bequemlichkeitsgründen die Ladung während der Nacht durchgeführt wird.

#### **4.1.3. Nickel-Metall-Hydrid**

Die Nickel-Metall-Hydrid (NiMH) stellt eine gute Lösung für den Einsatz in E-Mobilen dar. Neben dem Kapazitätvorteil von 30% bei kleinerem Volumenbedarf gegenüber der NiCd Batterie ist dies vor allem der seltener auftretende Memoryeffekt.<sup>81</sup> Dadurch müssen regelmäßige Lade- und Entladezyklen nicht so häufig vorgenommen werden. Umweltvorteile ergeben sich aus dem geringeren Gehalt an giftigen Metalle. Der Hauptnachteil ist aber die vergleichsweise niedrige Lebenserwartung von ca. 500 Ladezyklen. Die Lebensdauer hängt direkt von der Tiefe der Entladung ab. Außerdem dauert das Schnellladen der NiMH länger als jenes der NiCd. Diese Batterie hat die besten Eigenschaften, wenn sie während der

---

<sup>80</sup> Der Memoryeffekt ist die Kristallbildung in den Zellen, der zu einem starken Leistungsabfall führt. Hervorgerufen wird dieser Effekt beim Unterlassen der völligen Entladung.

<sup>81</sup> <http://www.akkufit.de/knowhow/akkutypen.htm>, geladen am 12.05.02, um 17:45 Uhr.

Nutzung nicht völlig entladen wird. Die Kosten der NiMH-Batterie liegen ca. 50% über der NiCd.

#### **4.1.4. Bleiakku**

Eine andere, oft genutzte Technologie für Elektrofahrzeuge ist der Bleiakku. Einer der wichtigsten Gründe dafür ist, dass er die preiswerteste Batterie auf dem Markt ist. Doch langfristig gesehen ist er für den Einsatz in Elektrofahrzeugen ungeeignet.<sup>82</sup> Der Bleiakku zeigt zwar keinen Memoryeffekt. Auch wenn die Batterie über längere Zeit im Ladeerhaltungs-Modus steckt, zeigen sich keine nachteiligen Auswirkungen. Wichtig ist, dass die Batterie immer im geladenen Zustand gelagert wird. Andernfalls ist ein starkes Sulfatieren<sup>83</sup> nicht zu vermeiden. Eine Wiederherstellung ist unmöglich. Im Gegensatz zu der NiCd sollte der Bleiakku nie völlig entladen werden. Dies hätte eine zusätzliche Belastung zur Folge und verringert die Anzahl der möglichen Ladezyklen.

Ein zusätzlicher Nachteil der Bleiakkus war der relativ niedrige Laststrom. Durch neue Technologien wurde die Hochstromfestigkeit wesentlich verbessert. So zeigt ein Bleiakкумуляtor mit gewickelten Zellen ein ähnliches Verhalten wie NiCd Zellen und kann mit hohen Strömen entladen und auch geladen werden. Im Vergleich zu anderen Batterien ist allerdings die Energiedichte sehr niedrig, dadurch ist eine längere Einsatzdauer nicht möglich. Das Gewicht ist bei diesem Batterietyp aber sehr hoch, was sich sofort auf die Leistung des PKW auswirkt.

#### **4.1.5. Natrium-Nickelchlorid-Batterien**

Da Nickel-Chlorid ( $\text{NiCl}_2$ ) als aktives Material für die positive Elektrode benutzt wird, sind für Natrium-Nickelchlorid-Batterien Zwischenelektrolyte notwendig. Durch den Einsatz von Zwischenelektrolyten, die aus geschmolzenem Salz bestehen, ist ein Überladen und Über-Entladen einer Zelle möglich.<sup>84</sup> Zudem wird eine defekte Zelle überbrückt. Ein Zellenstrang

---

<sup>82</sup> [http://www.akasol.de/info/arbeiten/auswahl\\_eines\\_antriebes\\_fuer\\_das\\_elektromobil\\_akabine/4\\_2.htm](http://www.akasol.de/info/arbeiten/auswahl_eines_antriebes_fuer_das_elektromobil_akabine/4_2.htm), geladen am 12.05.02, um 18:00 Uhr.

<sup>83</sup> Ein undurchdringbarer Belag von Blei-Schwefel-Kristallen bildet sich nach und nach an der positiven Platte, der keinen Stromfluss mehr zulässt. Dieser Teil der Batterie wird nutzlos.

<sup>84</sup> Vorzugsweise wird Natrium-Aluminiumchlorid ( $\text{NaAlCl}_4$ ) eingesetzt.

bleibt so trotz ausgefallener Zellen einsatzfähig, aber mit reduzierter Spannung. Die Entwicklung dieses Batteriesystems wurde unter dem Namen Zebra-Batterie von der Anglo African Oil Company in Südafrika eingeleitet. Zur Zeit ist eine größere Anzahl solcher Batterien in Fahrzeugtests eingebunden.<sup>85</sup>

<i>Eigenschaften</i>	<i>Nickel-Cadmium (NiCd)</i>	<i>Nickel-Metall-Hydrid (NiMH)</i>	<i>Lithium-Ionen (Li-Ion)</i>
Energiedichte (Wh/kg)	45-80	60-120	110-160
Innenwiderstand (mW)	100-200 <sup>1</sup>	200-300 <sup>1</sup>	150-250 <sup>1</sup>
Selbstentladung pro Monat	20% <sup>2</sup>	30% <sup>2</sup>	10% <sup>2</sup>
Beste Zykluslebensdauer	1500 <sup>3</sup>	300-500 <sup>4</sup>	500-1000 <sup>4</sup> oder 2-3 Jahre

**Tabelle 5: Charakteristiken der NiCd, NiMH und des Li-Ionen Akkus in Bezug auf wichtige Eigenschaften**

Quelle: Batteries in a Portable World - <http://www.buchmann.ca/Article9-Page1-german.asp>

## 4.2. Einsatz im Automobil

Trotz der Leistungssteigerung von 25 kW auf 85kW (siehe Tabelle 4) und die zu erwartende Steigerung der Fahrzeugperformance sind die Einschränkungen im Vergleich zum Verbrennungsmotorfahrzeug nach wie vor vorhanden. Da sich das Elektroauto aber besonders für den Stadtverkehr eignet, nähern sich die beiden Konzepte doch merklich an und die Kaufschwelle für den Konsumenten sinkt entscheidend.

<sup>85</sup> [http://www.varta.com/de/navigation/index.html?content=magazine/spezialreport/report\\_01.html](http://www.varta.com/de/navigation/index.html?content=magazine/spezialreport/report_01.html), geladen

Die Optimierungspotentiale sind vor allem im Gewicht, beim Fahrwiderstand und dem  $c_w$ -Wert zu suchen. Innovationen, die etwa für die Realisierung des „1-Liter“-Autos beigetragen haben, können auch bei den E-Mobilen übernommen werden. Wobei im Speziellen darauf zu achten ist, dass beispielsweise bei einem geringeren Gewicht die Leistung der Batterie, um die gleiche Performance zu erhalten, gesenkt werden kann, bzw. dass sich die Performance des Autos durch diese Synergieeffekte etwa in Bezug auf die Reichweite stärker erhöht. Eine weitere Innovation ist etwa die Energierückgewinnung durch Bremsen, die bei etwa 20% liegt. Sollte der Komfort der Insassen durch Weglassen der Klimatisierung oder Servolenkung eingeschränkt werden, lassen sich weitere Energiesparmaßnahmen realisieren. „Entscheidend für die Akzeptanz von Elektrofahrzeugen durch den Kunden sind letztlich seine Einstellung und die zu tragenden Gesamtkosten.“<sup>86</sup>

In der Hauptverwaltung der Steiermärkischen Elektrizitäts AG steht für Dienstfahrten in die Stadt Graz und nähere Umgebung ein Fahrzeug mit Elektroantrieb zur Verfügung. Es handelt sich dabei um einen Citroen Saxo electrique, der für 4 Personen zugelassen ist und eine Reichweite von 80 km besitzt. Der Energieverbrauch beträgt ca. 17 kWh für 100 km. Auf Basis des Schwachlasttarifes (Aufladung während der Nacht) entstehen dadurch Kosten von derzeit ATS 19,20/100 km. Dazu kommt noch, dass ein Motorservice, Ölwechsel, Abgastest etc. nicht erforderlich ist. Durch die Bremswirkung des E-Motors, verbunden mit Energierückgewinnung, kommt es auch zu keinem Verschleiß der Bremsen.<sup>87</sup>

#### ***4.2.1. Purpose- vs. Conversion-Design***

Man steht vor einem Tradeoff zwischen „Purpose-Design“ und „Conversion-Design“. Wird ein bestehendes Fahrzeug auf Elektroantrieb umgestellt, spricht man von einem 'Konversionsfahrzeug', also Conversion-Design. Im Gegensatz dazu zeichnet sich ein 'Purpose-Design'-Fahrzeug durch die völlige Neukonstruktion aus.

Vorteil bei der Konversion ist etwa die Möglichkeit, dass auf bewährte sicherheitstechnisch überprüfte Karosseriestrukturen zurückgegriffen werden kann. Sicherheits-, Komfort-, Service- und Zuverlässigkeitsstandards bedürfen keiner weiteren Entwicklung. Der Nachweis,

---

am01.04.02, um 16:30 Uhr.

<sup>86</sup> <http://www.ika.rwth-aachen.de/ueberuns/publikat/hdtmue/hdtmue.htm>, geladen am 23.03.02 um 11:30 Uhr.

<sup>87</sup> <http://www.steg.co.at/eauto.htm>, geladen am 12.05.02, um 18:00 Uhr.

dass bei einem Unfall die Insassen durch die Batterie nicht gefährdet werden, muss aber erbracht werden. Zudem entfallen die erheblichen Kosten für den Prototypenbau. Nachteilig ist, dass der Energiespeicher Batterie wesentlich größer und schwerer als der ursprüngliche Kraftstofftank ist. Hierdurch werden Zuladung und Laderaum erheblich eingeschränkt.

Das Grundsätzliche beim „Purpose-Design“ ist die völlige Neukonzeption des Elektrofahrzeugs. Die speziellen Anforderungen an Technik, Ökologie und Ökonomie werden schon im Konzeptansatz berücksichtigt. Die möglicherweise entscheidende Stimme für diese Form des Autobaus ergibt sich aus der Möglichkeit der Unterfluranordnung der Batterie. Die Batterie ist hier durch umlaufende Rahmenstrukturen im Unterflurbereich geschützt eingebaut und kann so für die Insassen nicht gefährlich werden.

Unabhängig von etwaigem Komfort bzw. Leistungseinbußen kann durch Hybridfahrzeuge die Performance eines E-Mobiles verbessert werden. Zur Batterie kommen als zusätzliche Antriebs- bzw. Energieversorgungseinheit entweder eine Brennstoffzelle oder ein Verbrennungsmotor, der wiederum mit energiefreundlichen Treibstoffen betrieben werden kann. Durch Zuschaltung dieser Systeme kann z.B. die Reichweite erheblich gesteigert werden. Denkbar wäre der Einsatz der Batterie im Stadtverkehr, wo es eher auf Geräuscharmheit, Umweltfreundlichkeit etc. ankommt, im Gegensatz dazu wird bei Überlandfahrten die zusätzlich benötigte Energie aus dem Tank genommen.

## **Teil 2 – Treibstoffe mit geringeren Emissionswerten als fossile Brennstoffe**

Treibstoffe, bei denen zwar umweltschädliche Abgase, aber in geringerem Ausmaß, als dies bei fossilen Ölen der Fall ist, entstehen, werden im Punkt zwei beschrieben. Hier geht es in erster Linie um den Einsatz von Erdgas.

### **5. Erdgas**

Erdgas weist in der weltweiten Energieverbrauchsstruktur nach den erneuerbaren Energieträgern (ohne Wasserkraft) das zweitschnellste Wachstum auf. Der Erdgasverbrauch steigt im Projektionszeitraum um 2,7% jährlich, und sein Anteil am weltweiten Primärenergieverbrauch klettert von heute 22% auf 26% im Jahr 2020.<sup>88</sup> Es wird also davon ausgegangen, dass weit größere Reserven vorhanden sind, als dies bei Erdöl der Fall ist. Das grundsätzliche Problem, dass Erdgas kein erneuerbarer Energieträger ist, bleibt aber bestehen.

#### **5.1. Grundlagen**

Erdgas besteht zu 85 bis 98 Prozent aus Methan und höheren Kohlenwasserstoffverbindungen wie Äthan, Propan und Butan. Das von Natur aus gasförmige Erdgas bietet ein 4:1 Verhältnis seiner maßgebenden Inhaltsstoffe von Wasserstoff zu Kohlenstoff, was eine vollkommene Verbrennung und eine niedrige CO<sub>2</sub>-Bildung begünstigt. Es hat von allen fossilen Energieträgern den geringsten Kohlenstoffgehalt und den höchsten Wasserstoffanteil.<sup>89</sup> Bereits durch diese chemische Zusammensetzung hat Erdgas für die Umwelt günstige Eigenschaften.

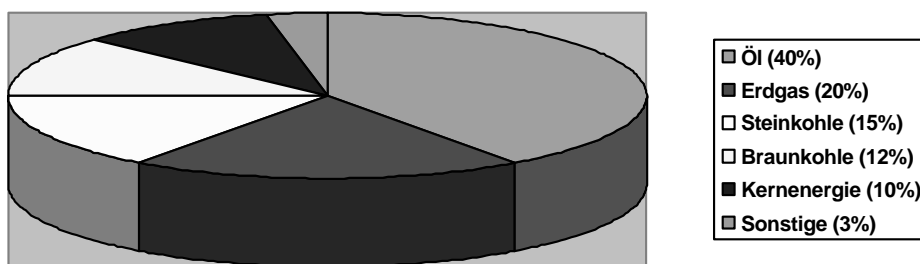
Erdgas ist im Vergleich zu Wasserstoff Primärenergie, wird also in seinem ursprünglichen Zustand verwendet. Es substituiert somit Heizöl oder Strom. Die Umweltbelastungen, die normalerweise bei Umwandlung zu Strom entstehen, entfallen bei dieser Energie.

---

<sup>88</sup> OECD/IEA, Weltenergieausblick 2000, S. 37.

<sup>89</sup> [http://www.lkw-kitzingen.de/content/erdgas/erdgas\\_leistungsumfang.htm](http://www.lkw-kitzingen.de/content/erdgas/erdgas_leistungsumfang.htm), geladen am 12.05.02, um 16:00 Uhr.

In Deutschland liegt der Anteil des Erdgases am Gesamtverbrauch der Primärenergie bei rund 18,3 Prozent. Der Haupteinsatzbereich liegt im Bereich der Heizung. Mittlerweile werden 43 % der Wohnungen in Deutschland mit Erdgas beheizt.<sup>90</sup> Diese Entwicklung ist zu einem großen Teil auf das stetig gewachsene Umweltbewusstsein der Bevölkerung zurückzuführen. Denn immer mehr Menschen legen großen Wert auf eine umwelt- und klimaschonende Energieversorgung. Diese Welle erfasst auch in immer breiterem Maße den Automobilsektor. Diverse Hersteller, wie z.B. Fiat, Opel, Volvo oder auch VW, bieten bereits Fahrzeuge auf Erdgasbasis an.



**Abbildung 6: Primärenergieverbrauch in Prozent**

Quelle: eigene Darstellung

Das Problem eines flächendeckenden Einsatzes im Automobilsektor ist jedoch die fehlende Infrastruktur. Erdgas wird in der Regel in gasförmigem Zustand transportiert. Häuser und Wohnungen sind über unterirdische Leitungsnetze miteinander verbunden.

In Deutschland gibt es Ende März 2002 nur 251 öffentlich zugängliche Erdgastankstellen.<sup>91</sup> Diese Unterversorgung hat u.a. auch BMW in den 90iger Jahren dazu veranlasst, sich mehr auf den Wasserstoffantrieb als auf den Erdgasantrieb zu konzentrieren. Die Tankstellen konzentrieren sich besonders auf Ballungszentren, wo unter Umweltgesichtspunkten Erdgas für den Straßenverkehr eine attraktive Alternative darstellt. Es sind bereits viele Busse, Taxen, Müll- oder andere kommunale Fahrzeuge mit Erdgasantrieb unterwegs. In Deutschland waren im September 2001 ung. 12.000 Pkws angemeldet. Mit nur rund 50

<sup>90</sup> Stiftung Warentest, test 8/2000.

Tankstellen mehr als in Deutschland fahren in Italien bereits 300.000 Erdgasfahrzeuge.<sup>92</sup> Weltweit fahren zur Zeit etwas über 1,5 Millionen mit Erdgas betriebene Kfz. Die EU geht davon aus, dass für die Schaffung eines ordentlichen Tankstellennetzes in Europa weitere 1.450 Erdgas-Tankstellen benötigt werden, die mit Investitionskosten von insgesamt rund 800 Mio. Euro zu Buche schlagen.<sup>93</sup>

Ein weiteres Problem liegt in der Reichweite. Ein Fahrzeug, ausgerüstet mit einem üblichen 80 Litertank, hat eine tägliche Reichweite von 200 – 300 km.<sup>94</sup> Tagesfahrleistungen typischer Flottenfahrzeuge in den Städten oder Gemeinden unterschreiten diese Reichweitenbeschränkung in der Regel, somit steht dem Einsatz in dieser Form nichts im Wege. Theoretisch können auch bedeutend größere Tanks eingebaut werden, dies scheitert aber oft am Design und natürlich am Höchstgewicht des Fahrzeuges. Der Fahrzeugpreis würde sich durch Einsatz stabilerer Stoffe beträchtlich erhöhen.

Da der Konsument aber längere Intervalle zwischen den einzelnen Tankfüllungen gewohnt ist, werden die meisten Erdgas-Pkw derzeit noch bivalent betrieben. Das bedeutet, dass das Fahrzeug wahlweise mit Erdgas oder auch mit Benzin betrieben werden kann. Dies erhöht die Reichweite des Fahrzeuges beträchtlich, und auch längere Strecken stellen kein Problem dar, selbst wenn keine Erdgastankstelle in der Nähe sein sollte.

### ***5.1.1. Entstehung des Erdgases***

Erdgas ist vor ungefähr 600 Millionen Jahren aus organischen Stoffen entstanden. Man geht davon aus, dass abgestorbene Kleinorganismen, Plankton und Algen, die sich vor Jahrmillionen auf dem Grund riesiger Ozeane abgelagerten, von Gesteins- und Erdschichten überdeckt wurden. Unter Luftabschluss und unter hohem Druck – durch das Aufschieben des Gebirges - setzte dann ein langwieriger chemischer Prozess ein, der die organischen Substanzen in gasförmige Kohlenwasserstoffe umwandelte.<sup>95</sup> Anders gesagt enthält Erdgas eigentlich die von Pflanzen in Form von Kohlenstoffen und Kohlenwasserstoffen gespeicherte

---

<sup>91</sup> [http://www.erdgasfahrzeuge.de/starhtml/erdgasfahrzeug\\_tankstelle.html](http://www.erdgasfahrzeuge.de/starhtml/erdgasfahrzeug_tankstelle.html), geladen am 29.03.02 um 16:15 Uhr.

<sup>92</sup> KOM(2001) 547, S. 9.

<sup>93</sup> KOM(2001) 547, S. 10.

<sup>94</sup> [http://www.erdgasfahrzeuge.de/starhtml/erdgasfahrzeug\\_fahrz\\_reich.html](http://www.erdgasfahrzeuge.de/starhtml/erdgasfahrzeug_fahrz_reich.html), geladen am 12.05.02, um 16:15 Uhr.

<sup>95</sup> <http://www.biologie-lk.de/referate/erdoel.htm>, geladen am 12.05.02, um 16:30 Uhr.

Energie, die die Sonne vor Millionen von Jahren abgestrahlt hat. Die ältesten Dokumente berichten schon 3000 v. Chr. über ausströmendes Gas, das sich entzündet hatte.

Weltweit ist Russland mit knapp 24% der größte Produzent von Erdgas. Gefolgt von den USA und Norwegen. Auch Österreich produziert Erdgas, im Jahr 2000 waren es rund 1,8 Mrd. m<sup>3</sup>.<sup>96</sup> Im Vergleich dazu produziert Deutschland mehr als das zehnfache jährlich.

Die Erdgasmengen, die in den letzten Jahrmillionen entstanden und von der Natur gelagert wurden, sind riesig. Die heute bekannten, sicher gewinnbaren Erdgasreserven auf der ganzen Welt haben im Verhältnis zur heutigen Jahresförderung eine Reichweite von ca. 160 Jahren, wobei zusätzlich gewinnbare Ressourcen eingerechnet sind.<sup>97</sup>



**Abbildung 7: Erdgasreserven I**

Quelle: Ruhrgas – [www.ruhrgas.de](http://www.ruhrgas.de)

Experten schätzen beim heutigen Verbrauchs- und Preisniveau die sicheren Erdgasvorräte eine Reichweite von 60- 65 Jahren, wobei sich der Großteil der Reserven auf Russland und

<sup>96</sup> [http://www.oil-gas.at/pages/aufbringung\\_erdgas.html](http://www.oil-gas.at/pages/aufbringung_erdgas.html), geladen am 29.03.02 um 19:00 Uhr.

<sup>97</sup> [http://www.bundesverband-gas-und-wasser.de/bgw/presse/pressemitteilungen/bgw\\_presse\\_00312.html](http://www.bundesverband-gas-und-wasser.de/bgw/presse/pressemitteilungen/bgw_presse_00312.html), geladen am 12.05.02, um 16:45 Uhr.

der Arabischen Halbinsel aufteilt.<sup>98</sup> Der Rest verteilt sich auf Nord- und Südamerika, Afrika, Asien und Europa.

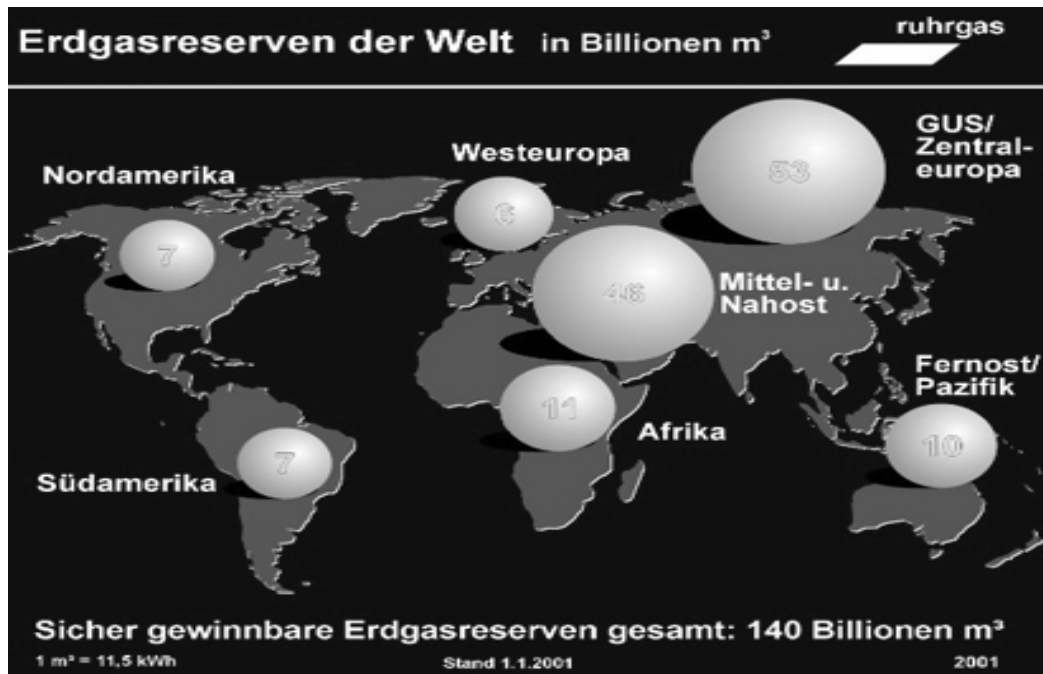


Abbildung 8: Ergasreserven II

Quelle: Ruhrgas – [www.ruhrgas.de](http://www.ruhrgas.de)

### 5.1.2. Speicherung des Erdgases

Man unterscheidet zwischen kleinen oberirdischen Speichereinrichtungen und großen Untergrundspeichern. In Österreich betreiben OMV und RAG AG Untertag-Speicher mit insgesamt 1700 Mio. m³. In Deutschland werden in insgesamt 31-40<sup>99</sup> Untergrundspeichern 11,5 Mrd. m³ Erdgas gespeichert.

Untergrundspeicher werden grundsätzlich in Porenspeicher und Kavernenspeicher unterschieden.

Die **Porenspeicher** (Aquifer-Speicher) bestehen aus porösem Gestein und nehmen, ähnlich wie ein Schwamm, das Gas in ihren Poren auf. Eine geschlossene Deckschicht sorgt dafür,

<sup>98</sup> [http://www.umweltschutz.co.at/ins03\\_2002\\_08.cfm](http://www.umweltschutz.co.at/ins03_2002_08.cfm), geladen am 12.05.02, um 17:00 Uhr.

dass kein Gas nach oben ausströmen kann. Nach unten wird der Gasaustritt durch wasserführendes Erdreich verhindert.

Im **Kavernenspeicher** (Salzstockspeicher) lagert das Gas in Hohlräumen, die durch den Salzabbau entstanden sind. Durch die Salzwand kann das Gas nicht entweichen.

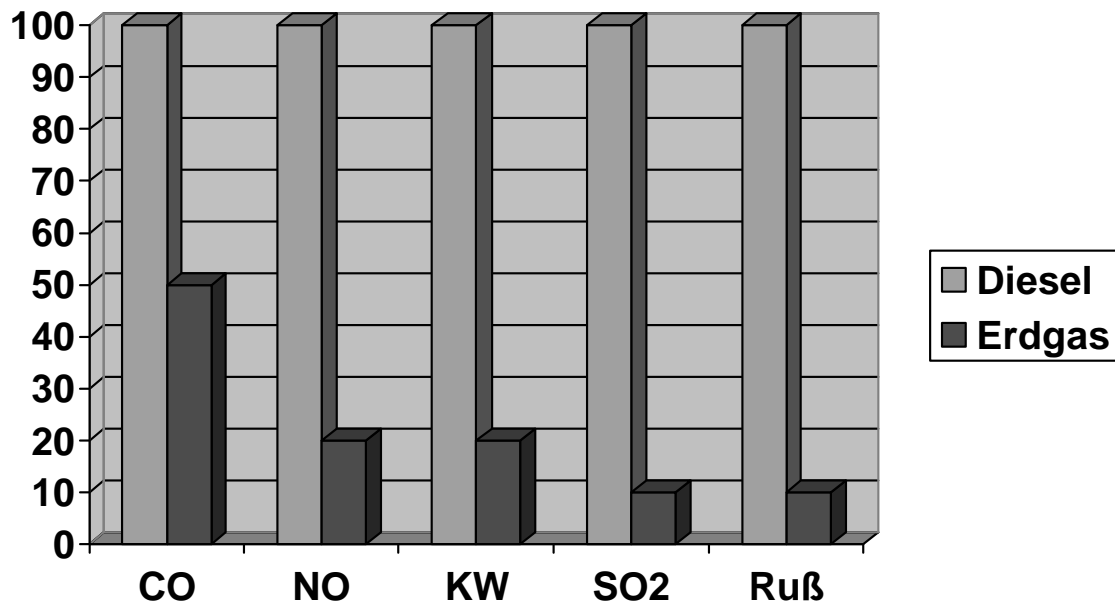
### **5.1.3. Umwelt**

Die verkehrsbedingten Emissionen haben ein Niveau erreicht, das vor allem in Ballungsgebieten zu erheblichen Umweltbelastungen führt. Insbesondere die Begriffe "Sommersmog" und "Saurer Regen" haben in den vergangenen Jahren des öfteren im Mittelpunkt des Interesses gestanden. Da, wie schon oben gesagt, der Straßenverkehr zu einem Großteil an Smog und anderen negativen Umweltauswirkungen beteiligt ist, misst die EU und auch die einzelnen Staaten der Minderung der verkehrsbedingten Emissionen eine hohe Bedeutung bei. In Deutschland werden Statistiken darüber geführt, dass etwa 1999 fast 60% der Gesamtemissionen an Stickstoffoxiden (NO<sub>x</sub>) und 70% der Kohlenmonoxid Emissionen (CO) aus dem Straßenverkehr stammen. Waldsterben etc. kann im Wesentlichen dem hohen Verkehrsaufkommen zugeschrieben werden. Nur eine drastische Reduzierung der Abgaswerte wird eine spürbare Verbesserung bringen. Wie schon oben angedeutet, bietet der Betrieb von Fahrzeugen mit Erdgas gegenüber Benzin und Diesel deutliche Umweltvorteile. Durch Erdgasfahrzeuge werden die fahrzeugspezifischen Emissionen, wie z.B. NO<sub>x</sub>, (CO), höhere Kohlenwasserstoffe (KW) und auch die Geräuschemissionen deutlich vermindert. Damit besteht die Möglichkeit zu einer erheblichen Verbesserung der Umweltsituation in den besonders hoch belasteten innerstädtischen Gebieten. Emissions-Grenzwerte werden von Erdgasmotoren deutlich unterschritten, obwohl das Entwicklungspotential von Erdgasmotoren bei Weitem so noch nicht ausgeschöpft ist. Es entstehen bei der Verbrennung deutlich weniger Kohlenmonoxide, fast keine Schwefeldioxid-Emissionen sowie kaum Ausstoß von Ruß und anderen Partikeln.<sup>100</sup> Ebenso werden deutlich weniger ozonbildende Stoffe wie etwa Stickoxide und höhere Kohlenwasserstoffe ausgestoßen. Die bodennahe Ozonbildung wird im Vergleich zu Benzin und Diesel um über 80 Prozent gesenkt.

---

<sup>99</sup> Aktuelle Angaben unterscheiden sich beträchtlich.

<sup>100</sup> <http://www.umweltministerium.bayern.de/service/lexikon/e.htm>, geladen am 12.05.02, um 17:15 Uhr.



**Abbildung 9: Umweltbelastungen verschiedener Gase in Prozent**

Quelle: Erdgas Information - [www.erdgasonline.de](http://www.erdgasonline.de)

CO ... Kohlenmonoxid

NO ... Stickstoffoxid

KW ... Kohlenwasserstoffe

SO2 ... Stickstoffdioxid

## 5.2. Einsatz des Erdgases

Die meisten Erdgasfahrzeuge werden auf Bifuelbasis betrieben. Die Verwendung von Erdgas stellt die gleichen Ansprüche, wie dies der Ottotreibstoff macht. Aus diesem Grund werden Benzinmotoren für den Erdgasbetrieb einfach optimiert. Dies bringt den Vorteil für die Hersteller, dass die Kosten für die komplette Neuentwicklung entfallen, und man hat vor allem schon Erfahrung mit der Technik. Für den Konsumenten entstehen dadurch nicht unbedingt erhebliche Mehrkosten. Er hat vor allem den Vorteil zwischen den beiden Antriebsarten wählen zu können. In der Stadt entscheidet er sich aus Umweltgründen für den

Einsatz des Erdgases als Treibstoff und auf Überlandstrecken ist der Betrieb mit Benzin aufgrund der Reichweitenvorteile besser, da der konventionelle Benzintank noch zusätzlich im Fahrzeug vorhanden ist. Das Umschalten von einem Kraftstoff auf den anderen erfolgt aber für gewöhnlich automatisch, sobald einer der beiden Kraftstoffe verbraucht ist. Die Leistung moderner Erdgasfahrzeuge ist mit der von konventionellen nahezu identisch. Leistungseinbußen sind bei bivalenten Motoren im Erdgasbetrieb durch die Optimierung für zwei Kraftstoffe aber vorhanden.

Bei älteren Erdgasfahrzeugen wurde der Tank oftmals im Koffer- oder Laderaum untergebracht, was natürlich Platzeinbußen mit sich brachte. Die Unterbringung unter der Rücksitzbank führt ebenfalls zu keinem großen Platzverlust. Aus diesem Grund erfolgte die Entwicklung dahingehend, das bei monovalenten als auch bivalenten Pkws der Erdgastank platzsparend, z.B. im Fahrzeugboden (Unterflur) integriert wird.<sup>101</sup> Somit bleibt das Ladevolumen wie beim konventionellen Benzin- oder Diesel-Modell ohne Raumverlust erhalten.

Die eingesetzten Erdgastanks sind entweder Druckbehälter aus Stahl oder was einen Gewichtsvorteil bringt, sog. Kompositedruckbehälter<sup>102</sup>. Im Weiteren sind noch leichtgewichtige Kunststoffdruckbehälter von der EU zugelassen. Bei all diesen Druckbehältern wird das Erdgas unter einem Druck von maximal 200 bar gespeichert, wobei die verwendeten Bauteile aus sicherheitstechnischen Gründen aber dem 3-fachen Druck, also bis 600 bar, standhalten müssen.<sup>103</sup> Der Erdgastank muss je nach Bauart nach 5 bis 10 Jahren gesondert überprüft werden, wobei die Kosten etwa in der Höhe von ca. 250 € bis 500 € liegen. Über spezielle Sicherheitsventile wird das Gas bei Unfällen abgelassen. Zwischen Erdgasfahrzeugen und konventionellen Fahrzeugen besteht im Bereich der Sicherheit kein wesentlicher Unterschied.

Nicht zuletzt wegen den hohen Sicherheitsstandards unterscheiden sich Herstellergarantien für Erdgasfahrzeuge nicht von gewöhnlichen Pkws. Bei nachträglichem Umbau wird auf die neu eingebauten gasrelevanten Bauteile die übliche Garantie gegeben. Da sich Erdgas-Pkws grundsätzlich nicht von ihren benzinbetriebenen Schwestermodellen unterscheiden, fallen auch keine übermäßigen Wartungsarbeiten an. Dies gilt auch für bivalente Fahrzeuge.

---

<sup>101</sup> [http://www.bundesverband-gas-und-wasser.de/bgw/presse/pressemitteilungen/bgw\\_presse\\_00490.html](http://www.bundesverband-gas-und-wasser.de/bgw/presse/pressemitteilungen/bgw_presse_00490.html), geladen am 12.05.02, um 16:30 Uhr.

<sup>102</sup> Faserverstärkte Verbundwerkstoffe werden Komposite genannt.

### 5.2.1. Wirtschaftlichkeit

Der Abgabepreis des Erdgases wird in kg und nicht in Liter berechnet. Auf Grund des höheren Energiegehalts entspricht 1 kg Erdgas etwa 1,5 Liter Benzin und ca. 1,4 Liter Diesel.<sup>104</sup> Der durchschnittliche Preis beträgt an den Tankstellen zwischen 0,62 und 0,70 €/kg (Erhebungszeitraum 10.03.2002 - 15.03.2002). Damit kann man sagen, dass nach Miteinbeziehung des Energiegehalts Erdgas etwa halb so teuer ist wie Benzin und etwa 30% billiger als Dieselmotorkraftstoff. Die Gründe dafür liegen darin, dass nach dem Mineralölsteuergesetz § 3 Abs. 2 Erdgas nicht zu den Kraftstoffen im Sinne des Bundesgesetzes gezählt werden, es somit steuerbefreit ist. Wurde die Mineralölsteuer entrichtet, ist sie laut § 64a auf Antrag des Steuerschuldners zu erstatten.<sup>105</sup> In Deutschland ist die Mineralölsteuer für Erdgas bis 2010 auf ein Minimum reduziert, da die Deutsche Bundesregierung den Umweltschutz aktiv unterstützen will.<sup>106</sup>

Bei der Anschaffung eines Erdgasfahrzeugs bei vergleichbarer Leistung ist mit Mehrkosten in der Größenordnung von ca. 1.500 € - 3.500 € für PKW und ca. 3.500 € - 5.500 € für Kleintransporter zu rechnen, wobei bei heutigen Serienfahrzeugen nicht mit PS-Zahlen über 200 zu rechnen ist. VOLVO bietet seinen VOLVO V70 Bi-Fuel, der mit Methan – also Erdgas – und Benzin angetrieben wird und eine Leistung von 140 PS verspricht für 27.413,79 € exkl. MwSt. in der Basisversion an. Die Beschleunigung von 0-100 km/h bei Methanbetrieb mit 11,0 sek. unterscheidet sich nur marginal von der Beschleunigung im Benzinbetrieb mit 10,5 sek. Der Preis entspricht etwa dem benzinbetriebenen 180 PS-igen V70.<sup>107</sup> Bei größeren Nutzfahrzeugen – Lkws oder Busse - schlägt der Aufpreis mit 10-20% zu Buche.<sup>108</sup> Über die verminderten Kraftstoffkosten rechnet sich das Fahrzeug aber nach wenigen Jahren. Zudem hat man das Gefühl, sich aktiv am Umweltschutz zu beteiligen. Möglicherweise ist man einer der glücklichen Neuwagenbesitzer, die eine Förderung von Gasversorgungsunternehmen bei der Anschaffung ihres Erdgasfahrzeugs erhalten haben. Zu diesen Unternehmen gehört

---

<sup>103</sup> <http://www.fireworld.at/Themen/Gasautos/Gasautos.htm>, geladen am 12.05.02, um 17:00 Uhr.

<sup>104</sup> [http://www.bundesverband-gas-und-wasser.de/bgw/presse/pressemitteilungen/bgw\\_presse\\_00466.html](http://www.bundesverband-gas-und-wasser.de/bgw/presse/pressemitteilungen/bgw_presse_00466.html), geladen am 01.04.02, um 09:00 Uhr.

<sup>105</sup> <http://www.ris.bka.gv.at/bundesrecht/>, geladen am 01.04.02, um 09:15 Uhr.

<sup>106</sup> [http://www.erdgasfahrzeuge.de/starthtml/erdgasfahrzeug\\_faq.html](http://www.erdgasfahrzeuge.de/starthtml/erdgasfahrzeug_faq.html), geladen am 01.04.02, um 09:30 Uhr.

<sup>107</sup> [http://sc2.vcc.m.volvocars.se/de/vcc/VCC-41F5927B-0615-11D6-A57D-00508BCF3722/preisliste\\_volvo\\_v70.pdf](http://sc2.vcc.m.volvocars.se/de/vcc/VCC-41F5927B-0615-11D6-A57D-00508BCF3722/preisliste_volvo_v70.pdf), geladen am 01.04.02, um 09:45 Uhr.

<sup>108</sup> <http://www.hamburger-bildungsserver.de/welcome.phtml?unten=/klima/energie/kraft05.htm>, geladen am 12.05.02, um 17:30 Uhr,

beispielsweise die GASAG Berliner Gaswerke Aktiengesellschaft, die in Form von Kraftstoffgutschriften den Einsatz der Erdgasfahrzeuge fördert.<sup>109</sup>

<i>Energieträger</i>	<i>Speicherform</i>	<i>Massenbezogene Energie- dichte in (kWh/kg)</i>	<i>Volumenbezogene Energiedichte in (kWh/l)</i>
Wasserstoff	flüssig (-253 °C)	33,3	2,36
Diesel	flüssig	11,6	9,7
Benzin	flüssig	12,7	8,76
Methanol	flüssig	5,6	4,42
Erdgas	flüssig (-162 °C)	13,9	5,8

**Tabelle 6: Massen- und volumenbezogene Energiedichte von Wasserstoff im Vergleich zu anderen Energieträgern**

Quelle: Hydrogen and Fuel Cell Information System - <http://www.hydrogen.org/Wissen/w-i-energiew2.html>

Der Tankvorgang dauert genauso lange wie bei einer Diesel- oder Benzinbetankung (ca. 3-5 min.) und ist diesem sehr ähnlich. Anstelle einer herkömmlichen Zapfpistole ist die Erdgaszapfsäule mit einer Füllkupplung ausgestattet. Diese Kupplung wird leicht auf den Tanknippel des Gastanks am Fahrzeug gesetzt und durch eine einfache 180°- Drehung des Griffs sicher verbunden.<sup>110</sup>

<sup>109</sup> <http://www.gasag.de/de/alle/service/foerderprogramme/>, geladen am 01.04.02, um 10:00 Uhr.

<sup>110</sup> [http://www.erdgasfahrzeuge.de/starhtml/erdgasfahrzeug\\_faq.html](http://www.erdgasfahrzeuge.de/starhtml/erdgasfahrzeug_faq.html), geladen am 12.05.02, um 17:45 Uhr.

### 5.2.2. Erdgas-Flüssiggas

Der Unterschied liegt im Aggregatzustand. Da das Erdgas (Methan) bei ca.  $-162\text{ °C}$  in den flüssigen Aggregatzustand übergeht, würde dies enorme Isolierungsmaßnahmen mit sich führen. Durch den bedeutend höheren Platzbedarf wäre das Design erheblichen Schranken unterworfen. Das Volumen reduziert sich aber auf 1/600 des Ausgangsvolumens. Dies bedeutet aber nicht, dass nun der Tank viel kleiner sein kann. Fahrzeuge mit Flüssiggasantrieb arbeiten mit einem Behälterdruck von 20 bar. Herkömmliche Erdgasfahrzeuge arbeiten hingegen mit 200 bar Druck. Beim eigentlichen Einsatz im Motor gibt es aber fast keine Unterschiede. Treibstoffführende Leitungen, der Tank etc. müssen aber auf alle Fälle an die spezifischen Anforderungen angepasst werden.

<i>Eigenschaften</i>	<i>Flüssiggas</i>	<i>Erdgas</i>
Aggregatzustand im Tank	flüssig	gasförmig
Gasart	Propan/Butan	Methan
Fülldruck im Tank	20 bar	200 bar
Zündtemperatur	470 °C / 365 °C	550 – 650 °C
Kraftstoffdichte (kg/l)	0,54	0,17

**Tabelle 7: Vergleich der Treibstoffe Flüssiggas-Erdgas**

Quelle: Fire-World Online-Magazin

<http://www.fireworld.at/Themen/Gasautos/Gasautos.htm>

### 5.2.3. Sicherheit

"Fahren mit Erdgas ist genauso sicher wie mit Benzin oder Diesel, die Brand- oder Explosionsgefahr ist sogar geringer", bestätigt der TÜV Süddeutschland.<sup>111</sup> Den vorgeschriebenen Berstdruck von 600 bar erreichen die Konstrukteure durch spezielle Verbundstoffe in Verbindung mit Verschraubungen. Ähnlich wie beim Wasserstofftank sorgen Sicherheitsventile im extremen Schadensfall für ein gezieltes Abblasen oder bei Hitzeeinwirkung für Abbrennen des Erdgases und verhindern damit mögliche Explosionen. Zusätzlich hat der Durchflussmengenbegrenzer die Aufgabe, bei plötzlichem Druckabfall einen weiteren Austritt von Gas zu verhindern. Somit unterliegen Erdgasautos keinen Beschränkungen, die das Abstellen des Fahrzeuges betreffen. Es gibt kein Verbot des Abstellens in Park- oder Tiefgaragen. Der Naturkraftstoff Erdgas hat mit 650 °C eine vergleichsweise hohe Zündtemperatur, wobei es allerdings auch auf das Gemisch des Erdgases mit Luft ankommt. Ist der Erdgasanteil in der Luft geringer als 4%, kann es nicht gezündet werden, liegt der Anteil aber über 16%, ist eine Zündung ebenfalls nicht möglich.<sup>112</sup> Die Konsequenz: Gegenüber konventionellen Fahrzeugen ist die Unfallgefahr bei potentiellen Leckagen deutlich geringer.

---

<sup>111</sup> [http://www.bundesverband-gas-und-wasser.de/bgw/presse/pressemitteilungen/bgw\\_presse\\_00459.html](http://www.bundesverband-gas-und-wasser.de/bgw/presse/pressemitteilungen/bgw_presse_00459.html), geladen am 22.04.02, um 12:00 Uhr.

<sup>112</sup> <http://www.stadtwerke-erfurt.de/SWEGas/HTML/Erdgas/zahlen.htm>, geladen am 29.03.02 um 20:15 Uhr.

<i>Treibstoff</i>	<i>Flammpunkt<sup>113</sup> in °C</i>	<i>Zündtemperatur<sup>114</sup> in °C</i>
Alkohol	12	425
Benzin	-20	220-450
Diesel	55	200-350
Erdgas	60-80	600-650
H <sub>2</sub> flüssig	-240	585
H <sub>2</sub> gasförmig	-240	585
Rapsöl	200-320	>220
RME	55-135	>200

**Tabelle 8: Vergleich verschiedener Treibstoffe hinsichtlich Flammpunkt und Zündtemperatur**

Quelle: Merck, [http://rapsoel.onlinehome.de/images/de.was\\_ist\\_was.htm#flammpunkt](http://rapsoel.onlinehome.de/images/de.was_ist_was.htm#flammpunkt),  
Energietechnik GmbH, <http://dc2.uni-bielefeld.de/dc2/auto/flamzuen.htm>

<sup>113</sup> Der Flammpunkt (auch Flammtemperatur) ist die Temperatur, bei der soviel Brennstoff verdunstet, dass sich mit Luft durch Fremdzündung entflammbare Gemische bilden können.

<sup>114</sup> Bei der Zündtemperatur entzündet sich das entflammbare Gemisch ohne äußeren Zündfunken von selbst.

## Teil 3 – Erneuerbare Energieträger

In diesem Abschnitt werden erneuerbare Energieträger, wie Pflanzenöl und Alkohole, genauer beschrieben. Wie schon angesprochen liegt beispielsweise das Problem der E-Mobile, obwohl sie völlig abgasfrei arbeiten, darin, dass sie mit Strom geladen werden, der zumeist aus nicht erneuerbaren Energieformen gewonnen wird. Somit ist ein wichtiges Element des Umweltschutzes nicht gegeben – die Ressourcenschonung. Auch die angestrebte Unabhängigkeit von Energieimporten vieler Staaten kann dadurch nicht auf Dauer gewährleistet werden. Bei Treibstoffen, wie Pflanzenöl oder Alkoholen, sind diese zwei Nachteile unter der Voraussetzung eines Funktionierens der Landwirtschaft nicht gegeben.

### 6. Pflanzenöl

Die Idee, reines natürliches Pflanzenöl als Kraftstoff für Dieselmotoren zu verwenden, ist so alt wie der Dieselmotor selbst. Schon Rudolf Diesel hat seine ersten Motoren unter anderem mit Pflanzenöl betrieben. Auf der Pariser Weltausstellung 1900 wurde ein kleiner mit Erdnussöl betriebener Dieselmotor ausgestellt. Die Frage des Kraftstoffes war am Beginn der Dieselmotorentwicklung also noch nicht entschieden. In den ersten Jahrzehnten der Entwicklung des Dieselmotors wurden pflanzliche Öle in den Kolonien genauso eingesetzt wie mineralische Öle in den Ländern, die Vorkommen an Mineralöl hatten.

Erst das Auffinden umfangreicher billiger, leicht erschließbarer mineralischer Ölquellen (Texas, Naher Osten) ermöglichte einen weltweiten massenhaften Konsum. Folglich wurden pflanzliche Öle als Treibstoff in ihrer Bedeutung zurückgedrängt.

Durch den exzessiven Konsum, besonders in den Industrieländern und hier vor allem in den USA, geht man heutzutage jedoch davon aus, dass die Hälfte der billig und leicht abschöpfbaren mineralischen Öle verbraucht sind. Im Jahr 2000 ging man davon aus, dass man 2041 nicht mehr Öl als flächendeckende Energiequelle einsetzen kann.<sup>115</sup>

---

<sup>115</sup> [http://www.esso.de/ueber\\_uns/info\\_service/publikationen/downloads/files/energie2001.pdf](http://www.esso.de/ueber_uns/info_service/publikationen/downloads/files/energie2001.pdf), geladen am 23.04.02, um 14:00 Uhr.

## 6.1. Grundlagen

Pflanzenöl ist ein Triglyzerid und enthält im Gegensatz zu fossilem Kohlenwasserstoff bereits 10% Sauerstoff, der für die Verbrennung nützlich ist. Es enthält pro Liter mehr Energie als Benzin. Der Heizwert liegt zwar mit 37,2 MJ/kg unter dem des Benzin mit 42 MJ/kg, aber die Dichte<sup>116</sup> des Pflanzenöls liegt mit 900-930 kg/m<sup>3</sup> (siehe Anhang - Tabelle 17) gegenüber der Dichte des Benzins<sup>117</sup> von 726-760 kg/m<sup>3</sup> deutlich darüber. Somit ergibt sich der volumenbezogene Energievorteil. Blei, Benzol und Schwefel ist in Pflanzenöl nicht enthalten, im Weiteren ist es nicht am "Sauren Regen" beteiligt und ungiftig. Es gibt keine Verdunstungsverluste und beim Tanken bzw. Transport entstehen keine toxischen Gase. Das Eindringen von Pflanzenöl in den Boden verursacht keine immensen Regenerierungskosten wie bei fossilem Öl. Gelangt Pflanzenöl in unsere Flüsse und Seen, dient es den Fischen als Nahrung.

Dem uneingeschränkten Einsatz des Pflanzenöls stehen immer noch einige Probleme entgegen. Nach langer Zeit der unterschiedlichen Pflanzenölqualitäten wurde nun eine Norm für Pflanzenöl (siehe 3.2.3.) - ähnlich wie für Benzin oder Diesel - eingeführt. Noch längst sind nicht alle Pflanzenöle getestet. Der exzessive landwirtschaftliche Anbau von Ölsaaten ohne Einsatz von Düngemitteln und Herbiziden als Nonfood-Produkt ist nicht hinreichend erforscht und somit wird ein großes Kosteneinsparungspotential nicht genutzt. Einen globalen Konsens über die Verteilung der Energie wie bei Erdöl gibt es für Pflanzenöl nicht. Aus heutiger Sicht harren ungewöhnliche Möglichkeiten noch ihrer Erprobung, gebrauchtes Küchenöl und Grillfett, zum Beispiel, muss nicht entsorgt werden, sondern dient nach Wiederaufbereitung als Kraftstoff. Im steirischen Heiligenkreuz am Waasen wird im Rahmen eines Sammelkreislaufs gebrauchtes Altspiseöl und Altfett gesammelt. Das aufbereitete Altspisefett wird in den Raffinerien Asperhofen und Zistersdorf zu Bio-Diesel verarbeitet und dann in Kommunalfahrzeugen eingesetzt.<sup>118</sup> Auch Schlachtfett und Fischöl kommen als Ressourcen in Betracht. Der irische Senator McDonald fährt mit einigen Elsbett-Autos (dazu unten mehr) bereits seit vielen Jahren viele 100.000 km in Irland und England mit tierischen Fetten.

Oft werden ethische Bedenken ins Feld geführt: Angesichts des Hungers in der Welt sollte Pflanzenöl doch besser als Nahrungsmittel dienen. Doch auch die Kirchen haben längst

---

<sup>116</sup> Bei einer Temperatur von 15°C und einem Druck von 1 bar.

<sup>117</sup> [http://www.fnr.de/de/leitfaden/kap3/3\\_2\\_5.pdf](http://www.fnr.de/de/leitfaden/kap3/3_2_5.pdf), geladen am 08.05.02, um 11:00 Uhr.

erkannt, dass eine intakte Umwelt die Voraussetzung für das Leben auf unserem Planeten ist. Viele Entwicklungsländer geben einen Großteil ihrer erwirtschafteten Devisen für den Ankauf von Energie aus. Die Versorgung mit Lebensmitteln scheitert nicht am Mangel von landwirtschaftlich nutzbarer Fläche, sondern am Fehlen von Energie. Oft verfault die Ernte auf den Feldern, weil sie aus Kraftstoffmangel weder geerntet noch transportiert werden kann. Im Gegensatz dazu sieht man, dass selbst in den dicht besiedelten Industrieländern noch landwirtschaftliche Überschüsse in solchen Mengen entstehen, die dann den Preis erheblich senken, dass man sich ihrer nur durch teure Vernichtung entledigen kann. Die armen Länder würden schon durch die Substitution ihrer Ölimporte, durch eigene nachwachsende Produktion genügend harte Währung frei bekommen zur Linderung des Hungers. Zusätzlich könnten sie genauso wie die OPEC-Staaten Öl exportieren, mit dem Unterschied, dass ihre Ressourcen sich nicht erschöpfen.

Die schwach entwickelten Länder finden in Pflanzenöl eine Chance, den Aufbau einer Energieversorgungsstruktur zu vereinfachen, denn die Energie ist vor Ort auf dem Acker verfügbar, auch ohne Straßen- und Stromnetz.

Den Bauern, auch in Deutschland und Österreich, müsste über die Möglichkeit des Pflanzenölanbaus eine neue finanzielle Perspektive eröffnet werden, anstatt staatliche Gelder dafür auszugeben, Ackerland in Brache umzuwandeln. Dies ist auch nach der EU-Osterweiterung, wo die Landwirtschaft hohe Fördermittel erhalten wird, ein wichtiger Punkt. Würden Ölpflanzen angebaut, könnte der Ölimport verringert werden und der Staat Geld sparen. Die EU geht davon aus, dass Biomasse maximal 8 % des derzeitigen Ottokraftstoffverbrauchs im Straßenverkehr ersetzen kann, wenn die Herstellung von Biokraftstoffen auf eine Fläche von 10 % der landwirtschaftlichen Fläche beschränkt wäre. Im globalen Zusammenhang ist das Vordringen der Sahara in Richtung Äquator u.a. zu stoppen, wenn man mit Ölpflanzen gegensteuert, die besonders für Trockengebiete geeignet sind, wie z.B. die Purgiernuß. Rückstände und Preßkuchen bei der Ölgewinnung können hier - wie überhaupt - als Bodendünger und Tierfutter dienen. Damit wäre auch der Kreislauf der Spurenelemente und Mineralien wieder geschlossen. Derzeit importiert die EU jährlich an die 30 Mio. t Ölsaaten vornehmlich als Futtermittel für Tiere.<sup>119</sup> Man könnte sich einen Großteil

---

<sup>118</sup> <http://www.heiligenkreuz.at/na-02-2.htm>, geladen am 08.05.02, um 10:00 Uhr.

<sup>119</sup> KOM(2001) 547, S. 6.

der Kosten dafür ersparen, wenn man Ölpflanzen innerhalb der Europäischen Union anbauen würde.

Die Vereinten Nationen schätzen den Umsatz des illegalen Drogenhandels auf jährlich 300 bis 500 Milliarden US-Dollar, d.h. zwischen 4,6 und 7,6 Prozent des Welthandels.<sup>120</sup> Dies entspricht nicht ganz dem Umsatz der Erdölbranche, ist aber eine große Wirtschaftssparte. Den Bauern bietet der Anbau von Marihuana, Haschisch oder Opium ein erträgliches Einkommen. Ölpflanzen wären das perfekte Substitut für Drogen. Würden sie zu einem für die Bauern vernünftigen Preis abgenommen, hätte dies eine Belebung der örtlichen Wirtschaft, Entkriminalisierung und nicht zuletzt Produktion von alternativem Kraftstoff zur Folge.

Im Jahr 1998 betrug der Anteil flüssiger Biobrennstoffe am gesamten Dieserverbrauch der EU nur 0,3 %. Aufgrund der mäßigen Beteiligung der Mitgliedsstaaten bei der Förderung von Biobrennstoffen wurden nur rund 452.000 t Rohöl produziert, wobei Frankreich mit 58 % den größten Anteil hat. Es folgen Deutschland mit 21 %, Italien mit 18 % und Österreich mit 3 %. Die Produktion muss jedoch drastisch erhöht werden, um die Vorgaben der EU den Anteil der Biobrennstoffe bis 2010 auf 5 % zu erhöhen. Dies würde etwa eine geforderte Produktion von 18 Mio. t Rohöl bedeuten.<sup>121</sup>

In Österreich wird seit dem Jahr 1973 im Bereich Biodiesel geforscht und entwickelt. Die Bundesanstalt für Landtechnik in Wieselburg war eine der Wegbereiter für den Einsatz des Rapsöls als Dieselmotorkraftstoff. Lohn der Forschungen waren 1990 die weltweit ersten Freigaben von Traktorenherstellern für den Betrieb mit Biodiesel. Industrielle Produktionsanlagen wurden in Betrieb genommen u.a. in Aschach in Oberösterreich. Heute werden in Österreich jährlich 28.000 t Biodiesel erzeugt.<sup>122</sup> Daneben gibt es in Österreich einige Kleinanlagen, die sich im Besitz von landwirtschaftlichen Genossenschaften, z.B. der SEEG-Südsteirische Energie und Eiweißerzeugung, befinden, mit Verarbeitungskapazitäten zwischen 1.000 und 3.000 t jährlich. Es wird in erster Linie Raps Methylester produziert.

Seit dem Jahr 2000 werden in Graz bereits 43 Autobusse mit Biodiesel betrieben. Gerechtfertigt wird dies mit den besseren Emissionswerten im Vergleich zu Fossildiesel<sup>123</sup>:

---

<sup>120</sup> [http://www.gfbv.de/voelker/suedam/coca\\_1.htm](http://www.gfbv.de/voelker/suedam/coca_1.htm), geladen am 21.03.02 um 10:30 Uhr

<sup>121</sup> KOM(2001) 69, S. 9 ff.

<sup>122</sup> <http://www.eva.wsr.ac.at/projekte/ren-in-a08.htm>, geladen am 08.05.02, um 08:30 Uhr.

<sup>123</sup> <http://www.lev.at/index.asp?S=Biomasse/Biodiesel-GVB&S1=1>, geladen am 27.05.02, um 10:30 Uhr.

	<i>Fossildiesel</i>	<i>Biodiesel</i>
Schwefeldioxid (SO <sub>2</sub> )	100 %	12 %
Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> )	100 %	15 %
Ruß	100 %	50 %
biologische Abbaubarkeit (innerhalb von 21 Tagen)	70 %	99,6 %

**Tabelle 9: Vergleich Fossildiesel und Biodiesel der Grazer Verkehrsbetriebe**

Quelle: Grazer Verkehrsbetriebe

### **6.1.1. Pflanzliche Öle**

Die Energie, die den Wagen betreibt, wird nicht mehr über Bohrtürme aus der Tiefe geholt, sondern wächst auf den Feldern. Diese Vorstellung wird möglicherweise in nächster Zukunft für einen großen Teil der Diesel-Pkw-Fahrer Realität.

Pflanzliche Öle sind volumenbezogen der dichteste verfügbare, reproduzierbare Energiespeicher in flüssiger Form. Dieser Energiespeicher dient als motorisches Antriebsmittel und kann überdies reproduziert werden. Pflanzenöle sind Teil des Natursystems und wurden von der Natur im Laufe der Evolution als Energiespeicher für das Samenkorn entwickelt. Bei schwindenden Mineralölreserven gewinnen die natürlichen Pflanzenöle zwangsläufig an Aufmerksamkeit. Es ist beobachtbar, dass zunehmend - vor allem im landwirtschaftlichen Bereich - motorische Verbrennungssysteme für pflanzliche Öle konzipiert und eingesetzt werden.

Pflanzliche Öle haben volumenbezogen einen vergleichbaren Energieinhalt wie Mineralöle: Bei der Verbrennung von einem Liter Rapsöl wird der Heizwert von 33,7 MJ freigesetzt, das entspricht 94 % des Heizwertes von Dieselkraftstoff. Benzin zum Vergleich besitzt einen Heizwert von 42 MJ/kg.<sup>124</sup> Für einen genauen Vergleich verschiedener Eigenschaften zwischen Diesel, Rapsöl und Rapsmethylester siehe Anhang – Tabelle 16. Für charakteristische Eigenschaften des Rapsöls siehe Anhang – Tabelle 17.

Überdies binden pflanzliche Öle deutlich mehr Wasserstoff, was verbrennungstechnisch gesehen vorteilhaft ist. Sie verbrennen bei gleichmäßigerer Druckabgabe in kürzerer Zeit. Gewinnungs- und herstellungstechnisch sind pflanzliche Öle den mineralischen Ölen überlegen. Es gibt keine Verunreinigungen durch Schwefel und Schwermetalle. Der Energiebedarf zur Herstellung von pflanzlichen Ölen liegt niedriger als bei der Benzin- und Dieselherstellung und das Verhältnis von Energieausbeute zum Einsatz von Energie bei der Herstellung fällt eindeutig positiv aus.

Pflanzenöl kann praktisch weder explodieren noch brennen, die Entflammbarkeit liegt bei über 300 Grad Celsius. Das bedeutet neben hoher Transportsicherheit auch die Möglichkeit der gefahrlosen Lagerung an beliebigen Orten. Das entbindet auch von der Notwendigkeit eingefahrener Verteilungsstrukturen und erlaubt die Frage, warum in Zukunft Kraftstoff nur an Tankstellen verkauft werden soll; hier sind neue Vertriebswege durchaus überlegenswert. Die einfach zu handhabende Lagertechnik – während des Transports über die Tankstelle bis hin zum PKW-Tank<sup>125</sup> - spricht eindeutig für pflanzliche Öle. Pflanzenöl ist je nach Verarbeitungsweise klar oder trübe. Natürliches Pflanzenöl ist trüb, nach erfolgter Umesterung ist es klar. Unter Umesterung bzw. Alkoholyse versteht man den Austausch eines im Pflanzenöl gebundenen Alkohols (Glyzerin) durch einen anderen Alkohol (z.B. Methanol).<sup>126</sup> Das Produkt aus diesem Verfahren, Pflanzenölmethylester bzw. (bei Raps) Rapsölmethylester (RME), ist in der Öffentlichkeit als Biodiesel bekannt. Da es weder umwelt- noch wassergefährdend ist, darf in jeder Menge gelagert und transportiert werden, ohne dass dafür eine Genehmigung erforderlich wäre. Somit wäre es praktisch möglich aufgrund der fehlenden Genehmigungspflicht auf seinem Privatgrund seine eigene Tankstelle zu errichten.

Pflanzenöl ist ein nachwachsender Rohstoff. Bei Verbrennung verhält es sich klimaneutral, da die freigesetzten CO<sub>2</sub>-Mengen bereits beim Wachstum der Pflanze der Atmosphäre entzogen wurden, trägt somit nicht zum Treibhauseffekt bei. Bei diesem Punkt gibt es jedoch unterschiedliche Meinungen. Greenpeace weist auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen hin, die aus der Herstellung von Dünger, Herbiziden und Pestiziden resultieren.<sup>127</sup> Damit ist eine Klimaneutralität ausgeschlossen. Eine Studie zu den Ressourcen- und Emissionsbilanzen für

---

<sup>124</sup> <http://mkl.uni-karlsruhe.de/de/inhalt/institut/arbeitsgruppen/antrieb/forschung/info/grafik/wasserstoff.pdf>, geladen am 08.06.02, um 10:15 Uhr.

<sup>125</sup> Eine teure Umrüstung wie es etwa bei Wasserstoff der Fall ist, ist hier nicht notwendig.

<sup>126</sup> [http://www.bhkw-infozentrum.de/req/poe\\_energiequelle.html](http://www.bhkw-infozentrum.de/req/poe_energiequelle.html), geladen am 08.05.02, um 10:30 Uhr.

das Umwelt Bundesamt, wonach die CO<sub>2</sub>-Bilanz zwischen 30 und 80 Prozent unter normalem Diesel liegt, je nach Nutzung der anderen Beiprodukte wie Rapsschrot und Glycerin, bestätigt dies. Der übrige Schadstoffausstoß ist mit einer Dieselerbrennung vergleichbar, etwas mehr Stickstoffoxide, keine Schwefeloxide, trägt also nicht zum Säuren Regen, zu Waldsterben und zu Schäden an Baudenkmalern bei. Die Rußpartikel sind größer und damit weniger krebserregend. Die Partikelanzahl ist im Vergleich zu Dieselerbrennung geringer. Im Weiteren fördert Pflanzenöl die Vermeidung von Wasser- und Bodenverschmutzung durch hervorragende biologische Abbaubarkeit. Laut der Studie „Ökobilanz Biodiesel“ der Bundesanstalt für Landtechnik im Jahr 1999 führt der Rapsanbau in Bezug auf andere landwirtschaftliche Kulturen zu keiner zusätzlichen Belastung des Bodens.<sup>128</sup> Bereits ein Liter Mineralöl kann 1.000.000 l Trinkwasser ungenießbar machen. Im Gegensatz zu Diesel und Benzin, die in der Wassergefährdungsklasse<sup>129</sup>(WGK) 2 eingestuft sind, ist Biodiesel in der WGK 1 eingestuft, als nur als schwach wassergefährdend.<sup>130</sup>

Das Nebenprodukt der Pflanzenölerzeugung, der Öl- oder Presskuchen, ist ein hochwertiger Eiweiß- und Energieträger, der für die Ernährung der Menschen und in der Tierfütterung Verwendung findet. Da das Öl lediglich aus den chemischen Stoffen Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff besteht, kann Pflanzenöl ohne Verringerung der Bodenfruchtbarkeit entnommen und gehandelt werden.

Das Problem der sehr hohen und auch noch temperaturabhängig wechselnden Viskosität<sup>131</sup> ist mittlerweile in allen ihren motortechnischen Auswirkungen beherrschbar und wird unter Punkt 3.4. behandelt.

---

<sup>127</sup> [http://www.greenpeace.de/GP\\_DOK\\_3P/BRENNPUN/F0110B1.HTM](http://www.greenpeace.de/GP_DOK_3P/BRENNPUN/F0110B1.HTM), geladen am 08.05.02, um 14:00 Uhr.

<sup>128</sup> [http://www.blt.bmlf.gv.at/english/bio\\_nawa/biodies/c2.pdf](http://www.blt.bmlf.gv.at/english/bio_nawa/biodies/c2.pdf), geladen am 08.05.02, um 11:15 Uhr.

<sup>129</sup> Bezeichnung für die Einstufung von Stoffen gemäß ihres wassergefährdenden Potentials. WGK 0: im Allgemeinen nicht wassergefährdende Stoffe z.B. Aceton, Ethanol, NaCl, Rapsöl. WGK 1: schwach wassergefährdende Stoffe z.B. Methanol, Essig-, Schwefelsäure, Schmieröle (Grundöle). WGK 2: wassergefährdende Stoffe z.B. Ammoniak, Chlor, Dieselöl, Phenol. WGK 3: stark wassergefährdende Stoffe z.B. Benzol, Altöle, Blausäure. Die Einteilung der Stoffe in WGK ermöglicht angemessene Sicherheitsvorkehrungen zum Schutz der Gewässer beim Lagern, Abfüllen, Umschlagen und Befördern wassergefährdender Stoffe. Darüber hinaus ergibt diese Einteilung wichtige Anhaltspunkte für Maßnahmen nach Schadensfällen.

<sup>130</sup> <http://www.biodiesel.de/wasser/wasser.htm>, geladen am, 08.05.02, um 11:15 Uhr.

<sup>131</sup> Die Viskosität beschreibt die Zähigkeit eines Stoffes (innere Reibungskräfte eines Fluids). Die Viskosität nimmt großen Einfluss auf die Kaltstartfähigkeit eines Motors und ist deshalb eine wichtige Kenngröße. Hohe Viskositäten bei hohen hydraulischen Drücken, wie sie in den Einspritzpumpen vorherrschen, verursachen Probleme. Die Anpassung der Viskosität an die von den Herstellern der Einspritzpumpen geforderten Viskosität

### 6.1.2. Verschiedene Ölpflanzen

Zahlreiche Pflanzen eignen sich zur Ölgewinnung, in Deutschland und Österreich z.B. Raps, Sonnenblumen, Senf, Hanf, Ölrettich, Lein und viele andere. Durchschnittlich kann man einen Jahresertrag pro Hektar von mindestens 1.000 Litern Öl erwarten (bei tropischen Pflanzen erreicht man sogar bis zu 10.000 Liter). Damit wächst pro Hektar eine Ölenergie von 10 mWh mit der ein PKW 20.000 km weit fahren kann.<sup>132</sup> In der EU können mit nachwachsendem Kraftstoff auf 3,5 Mio. Hektar stillgelegter Fläche also 3,5 Mio. Autos fahren, was zwar längst nicht zur Selbstversorgung ausreicht, aber viele Länder - wie Österreich - haben sowieso keine nennenswerten Erdölquellen und sind es gewohnt, ihren Energiebedarf zu importieren. Laut Energiebericht 2001 produzierte Österreich im Jahr 2000 0,96 Mio. t Erdöl, importierte aber 8,43 Mio. Tonnen.<sup>133</sup> Global gesehen würde theoretisch die Fläche von Saudi-Arabien dafür ausreichen, die Welterdölförderung von 3,1 Mrd. Tonnen jährlich durch nachwachsendes Öl zu substituieren.

Reines Pflanzenöl, in Österreich meist Rapsöl, kann als Kraftstoff verwendet werden. Als Vorteil gegenüber dem Rapsmethylester kann Rapsöl für sich verbuchen, dezentral erzeugbar zu sein. Das bedeutet: Überall, wo Raps angebaut wird, kann man mit relativ geringem Aufwand auch Rapsöl erzeugen, beispielsweise in kleineren Erzeugergemeinschaften. Wegen seiner größeren Viskosität und dem höheren Flammpunkt kommt reines Rapsöl in Dieselmotoren mit Wirbel- oder Vorkammersystemen zum Einsatz. (siehe dazu Punkt 3.4.). Motorleistung und Wirkungsgrad sind bei Rapsöl wie bei Dieselbetrieb fast gleich. Eine andere Variante des Fahrens mit Pflanzenölen in common-rail Systemen ist das Mischen des Kraftstoffes mit Diesel. Dadurch wird der Treibstoff fließ- und zündfähiger. Das Mischungsverhältnis ist hierbei entscheidend für den die Lebenserwartung verkürzenden Anteil des Motors.

Unter den verschiedenen Kraftstoffen auf Pflanzenölbasis ist aufgrund des niedrigsten Herstellungsaufwandes Naturdiesel die kostengünstigste Alternative mit der besten Energie- und Umweltbilanz<sup>134</sup>.

---

erfolgt durch Erwärmung des Kraftstoffs oder Verdünnung. Bei Diesel und Biodiesel wirkt sich eine Temperaturänderung nur sehr gering auf die Viskosität aus.

<sup>132</sup> <http://www.aee.at/verz/artikel/biomas21.html>, geladen am 08.05.02, um 14:30 Uhr.

<sup>133</sup> <http://www.lev.at/download/EB2001-4.pdf>, geladen am 08.05.02, um 15:15 Uhr.

<sup>134</sup> Der Vorteil bei der Verbrennung von reinem Pflanzenöl liegt darin, dass nur der Anteil an Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) frei wird, der vorher von der Pflanze aus der Atmosphäre entnommen wurde - der CO<sub>2</sub>-Kreislauf ist damit annähernd geschlossen.

<i>Diesel</i>	<i>Rapsöl</i>	<i>RME</i>
42,7	37,2	37,2

**Tabelle 10: Heizwert in MJ/kg**

Quelle: Billig Tanken-Rapsöl

[http://rapsoel.onlinehome.de/images/de.was\\_ist\\_was.htm#flammpunkt](http://rapsoel.onlinehome.de/images/de.was_ist_was.htm#flammpunkt)

Das in Österreich und Deutschland meistverbreiteste Pflanzenöl ist das Rapsöl. Die Rapspflanze wird beim Anbau mit Herbiziden und Insektiziden, teilweise auch mit Fungiziden behandelt, was dem Naturschutzgedanken natürlich abträglich ist. Würde Rapsöl künftig vermehrt als Treibstoff verwendet, könnte man aber auf robustere Sorten, wie etwa Hanf oder Leinen, ausweichen, die ohne bzw. mit weniger Chemie auskommen, und deren Anbaupausen geringer sind.<sup>135</sup> Es ist aber immer sicherzustellen, dass das Raps in konstanten Mengen und gleichbleibender Qualität angeboten wird. Die tropische Purgiernuss und die brasilianische Babaçu-Palme können in wärmeren Teilen der Erde zur Pflanzenölproduktion verwendet werden. Dabei könnten insbesondere Drittweltländer an die globalisierte Gemeinschaft Anschluss finden und wirtschaftlich von der Zusammenarbeit profitieren. Durch den höheren Ölanteil der Purgiernuss gegenüber beispielsweise Raps und die allgemein niedrigere Lohnstruktur können auch Importeure höhere Profite lukrieren. Für Österreich wäre aber eine Substitution des Rapsöls durch Hanf wünschenswert. Hanf ist im Gegensatz zu Raps nicht auf Beikrautbekämpfung angewiesen, wobei der Ölanteil pro Pflanze doppelt so hoch wie bei Raps ist. Auch Hanf ist in unserem Klima problemlos anbaubar und heimisch. Die Pflanze wächst in 100 Tagen bis zu vier Meter hoch und verbessert dabei die Böden für die nachfolgenden Früchte.<sup>136</sup>

<sup>135</sup> <http://www.lgs.grossenhain.de/nawaros/oel.html>, geladen am 08.05.02, um 15:30 Uhr.

<sup>136</sup> [http://www.hanfnet.org/oeko/vorteile\\_von\\_hanf.htm](http://www.hanfnet.org/oeko/vorteile_von_hanf.htm), geladen am 08.05.02 um 16:00 Uhr.

<i>Pflanzenart</i>	<i>Ertrag in dt/ha</i>	<i>Ölgehalt in %</i>	<i>Ölertrag in dt/ha</i>
Raps	30,0	42	12,60
Sonnenblume	27,0	48	12,96
Lein	18,0	39	7,02

**Tabelle 11: Flächenbezogene Ölerträge einiger Pflanzenarten**

Quelle: Hanf e.V. - [www.hanfnet.org](http://www.hanfnet.org)

### **6.1.3. Pflanzenölmethylester**

Bei Pflanzenölmethylester handelt es sich um ein chemisch-synthetisches Produkt. Rapsöl und Methanol werden in Gegenwart eines Katalysators (Natronlauge, Kalilauge) erwärmt. Dabei tauschen Glycerin und Methanol den Platz, und es entstehen drei einzelne Fettsäure-Methylester-Ketten und ein freies Glycerin-Molekül. Bei Biodiesel entsteht aus mit Methanol veresterten Fettsäuren Fettsäure-Methylester. Daher ist für Biodiesel auch die Bezeichnung Rapsmethylester (RME) gebräuchlich.

Die Einführung erfolgte in den 80er Jahren, als die Motorindustrie bei den billigen Mineralölpreisen keine gravierende Änderung der Motortechniken beabsichtigte, aber trotzdem Pflanzenölen den Zugang zum Markt eröffnen wollte. Für die bestehenden Motorsysteme wurde somit von Seiten der Hersteller Zulassungen für den Fahrbetrieb mit Pflanzenölmethylester ermöglicht.

Rapsmethylester wird neben dem Zumischen von Methanol auch durch Einspeisung in die Mineralölraffinerie an die heute vorwiegend eingesetzten Dieselmotoren und Einspritzsysteme, wie Pumpe-Düse Systeme oder common-rail, angepasst.

Bei der Pumpe-Düse-Einspritzung sitzt auf jedem Zylinder in unmittelbarer Nähe des Einlassventils eine Einheit aus einer Pumpe und einer Düse, deshalb „Pumpe-Düse“. Dadurch wird Hochdruck (ca. 2050 bar) am Einspritzelement jedes Zylinders separat erzeugt. Das Pumpe-Düse-System kann den hohen Druck deshalb gut aufbauen, weil dieser auf sehr engem

Raum erzeugt wird und der verdichtete Kraftstoff nicht über eine Rohrleitung zum Zylinder geschickt werden muss. Je höher der Druck, umso mehr Kraftstoff lässt sich in der kurzen Zeit durch die Einspritzdüse pressen. Dadurch wird das Leistungs- und Drehmoment des Motors verbessert und gleichzeitig weniger Schadstoffe erzeugt, weil der Verbrennungsprozess günstiger verläuft.<sup>137</sup>

Der Common Rail Dieselmotor hat im Gegensatz zu den üblichen Dieselmotoren ein vollelektronisch geregeltes Einspritzsystem, bei dem erstmals die beiden Vorgänge Einspritzdruckerzeugung und Kraftstoffdosierung getrennt gemessen werden. Den Druck baut jetzt eine zentrale Hochdruckpumpe auf und leitet ihn in ein für alle Zylinder gemeinsames Druckrohr (Common Rail = gemeinsame Schiene), das gleichzeitig als Druckspeicher dient. In diesem Rohr liegt der Druck bei über 1000 bar sehr hoch. Die Dieseldosierung erfolgt für jeden Zylinder direkt über die Einspritzdüsen. Dazu wurden an jeder Düse schnell schaltende Magnetventile montiert, die durch den Zentralrechner des Fahrzeuges gesteuert werden. Somit war die Einführung der Common-Rail Technik an die gestiegene Rechnerkapazität der Zentralrechner gebunden, die diverse Sensorinformationen verarbeiten müssen. Ein weiterer Vorteil der Common-Rail Technik ist die Möglichkeit mit extrem hohem Einspritzdruck zu arbeiten. Damit lässt sich eine sehr gute Vernebelung des Dieselmotorkraftstoffes erreichen, die sich sehr gut mit der angesaugten Luft durchmischt. Dies ist für eine saubere und vollständige Verbrennung vorteilhaft. Wichtig ist dabei auch die nun geschaffene Möglichkeit des schnellen Druckauf- und -abbaus an den Einspritzdüsen, das eine exakte Kraftstoffdosierung erlaubt und somit das schadstoffintensive Nachtropfen der Düsen verhindert. Durch das kontrollierte mehrfache Öffnen und Schließen der Magnetventile während eines einzigen Verbrennungsablaufes kann man nun den Verbrennungsablauf präzise steuern. Damit vermeidet man unerwünschte Temperaturspitzen und kann den Verbrennungsablauf weicher gestalten, das sich natürlich positiv auf die Laufkultur des Motors auswirkt. Neben gestiegenem Drehmoment werden zudem die Emissionswerte optimiert und der Verbrauch gesenkt. Ein weiterer wichtiger Vorteil von Common-Rail ist der Wegfall von vielen störanfälligen mechanischen Bauteilen und Stellgliedern, somit eine Gewichtsreduzierung der Einspritzeinheit insgesamt. Das Problem der Common-Rail-Technik ist die Abhängigkeit von der Steuerelektronik. Bei Ausfall der Elektronik ist es auch mit der Mobilität zu Ende.<sup>138</sup>

---

<sup>137</sup> <http://www.kfztech.de/kfztechnik/motor/diesel/pumpeduese.htm>, geladen am 08.05.02 um 16:15 Uhr.

<sup>138</sup> <http://www.kfz-tech.de/CommonRail.htm>, geladen am 08.05.02, um 16:45 Uhr.

Rapsmethylester entspricht dem mineralischen Dieselöl, weshalb jeder Dieselmotor auch mit RME funktioniert, trotzdem gibt es einige Probleme (siehe dazu Punkt 3.4.1.). Die Herstellung des RME ist mit zusätzlichem Aufwand und Kosten verbunden, da es aus schon existierendem Rapsöl erzeugt wird. Dabei wird das Produkt energetisch (siehe Anhang - Tabelle 16) nicht wertvoller. Dafür ist RME leichter entzündbar und damit feuergefährlicher als Rapsöl. RME fällt unter die Wassergefährdungsklasse 1, ist also ein schwach wassergefährdender Stoff.<sup>139</sup> Die Herstellung von Rapsmethylester greift auf gefährliche Produkte wie Methanol zurück, welche die Energie- und Öko-Bilanz verschlechtern. Das hat den Nachteil, dass seine Herstellung eine Großtechnologie mit großen Investitionen und viel Planungsaufwand erfordert, andererseits kann es dadurch viel leichter in gleichbleibender Qualität angeboten werden, was auch die Freigabe durch die Motorhersteller erleichtert.

#### **6.1.4. Normierung**

Es ist die Aufgabe der Biodieselhersteller, wie z.B. die Bea Naturöl AG in Rostock oder die HEID Saattechnik GmbH in Stockerau, durch die Rohstoffwahl und durch die geeignete Verfahrenstechnik sicherzustellen, dass ausschließlich Biodiesel nach der Norm E DIN 51606 (siehe Anhang – Tabelle 15) bzw. der zukünftigen europäischen Norm EN 14214 angeboten wird.

Die Normierung pflanzlicher Öle wird oftmals als Problem empfunden. Weltweit werden ca. 60 Mio. Tonnen Pflanzenöle in großen Ölmühlen hergestellt. Für Verbrennungsprozesse sind sowohl die dort definierte Qualität als auch die zunehmend in dezentralen Ölmühlen hergestellten Qualitäten völlig akzeptabel (Norm für Pflanzenöle).

Ziel ist es, den Biodieselfahrern in ganz Österreich und Deutschland eine gleichbleibend gute Qualität des alternativen Kraftstoffes zu sichern. Auch für die Motorenentwicklung ist eine gleichbleibende Qualität unbedingt notwendig.

---

<sup>139</sup> [http://www.invo.fh-konstanz.de/frame\\_home.html?/biodiesel\\_4.htm?8](http://www.invo.fh-konstanz.de/frame_home.html?/biodiesel_4.htm?8), geladen am 08.05.02, um 17:15 Uhr.

### **6.1.5. Eigenschaften des Pflanzenöls**

Pflanzenöl siedet bei einer 80 °C höheren Temperatur als Diesel, was das Zündverhalten entsprechend beeinflusst. Eine Lösung des Problems wäre etwa, andere Kolben, die die Temperatur an der Verbrennungswand erhöhen, in den Motor einzusetzen.<sup>140</sup>

Pflanzenöle backen schneller zusammen als Diesel; man nennt das Polymerisation. Unter Polymerisation versteht man, dass sich aus vielen kleinen und meist gleichen Molekülen (Monomere) große, lange z.T. verzweigte Moleküle (Polymere) bilden. Dies führt zu einem Verstopfen der Einspritzdüsen wegen der gestiegenen Molekülgröße. Es ist daher sinnvoll, Einspritzdüsen zu verwenden, die nur einen einzelnen Einspritzstrahl produzieren. Kombiniert mit einem hohen Einspritzdruck kann das Verstopfen der Düsen verhindert werden.

Direkter Sonneneinstrahlung sollte Pflanzenöl nicht ausgesetzt sein. Reines Pflanzenöl wird ohne Dieselbeimischung bei etwa 0 °C fest, womit es nicht mehr pumpbar ist. Nach dem Auftauen ist es problemlos wieder nutzbar. Zur Flüssighaltung sollte mindestens 1% Dieseldieselkraftstoff pro Minusgrad im Gemisch enthalten sein.

Pflanzenöl ist wesentlich dickflüssiger als Diesel. Es muss daher vorgeheizt werden; sonst ist die Kraftstoffzufuhr gefährdet.

#### **Vorteile:**

- überall produzierbar
- entwickelt wesentlich weniger Ruß und Partikel
- enthält keinen Schwefel
- geringerer Verschleiß durch sehr gute Grenschmierfähigkeit
- gute biologische Abbaubarkeit im Boden
- sehr geringe Wassertoxizität

---

<sup>140</sup> [http://www.inaro.de/framesets/fr\\_biodiesel3.htm?](http://www.inaro.de/framesets/fr_biodiesel3.htm?), geladen am 08.05.02, um 17:30 Uhr.

**Nachteile:**

- hohe Viskosität
- schlechte Zündwilligkeit
- etwas höherer Kraftstoffverbrauch

**6.2. Einsatz des Pflanzenöls**

Prinzipiell sind alle Dieselmotoren für die Verwendung von Rapsmethylester geeignet. Sie stellen in Bezug auf die Zündfähigkeit des eingesetzten Kraftstoffs aber eine Besonderheit dar. Der Dieselmotor ist ein Selbstzünder. Er hat im Gegensatz zum Ottomotor keine Zündkerzen als Zündhilfe. Der Dieselmotor saugt zunächst einmal Luft in den Zylinder, die dann durch den Kolben komprimiert wird. Durch die Kompression wird die angesaugte Luft erhitzt. Allein die dabei erzeugte Wärme soll den Kraftstoff zum Explodieren bringen. Das ist nur dann möglich, wenn die Kompression des Motors hoch genug ist (darum starten alte Motoren so schlecht), der Kraftstoff zum richtigen Zeitpunkt eingespritzt wird und die Einspritzung durch Druck als möglichst feiner Nebel erfolgt. Grundsätzlich gibt es zwei verschiedene Arten von Dieselmotoren:

- Nichtdirekteinspritzer: Diese Dieselmotoren haben den Vorteil, dass sie eine gute Gemischbildung realisieren. Sie sind damit - auch bedingt durch die Glüheinrichtung - sehr gut für Rapsölkraftstoff geeignet.
- Direkteinspritzer: Neumotoren verfügen meist über diese Einspritztechnik.

**6.2.1. Probleme beim Betrieb**

Das hauptsächliche Problem bei der Verwendung von Rapsöl ist der große Unterschied der Viskosität, der nicht ignoriert werden kann und technische Eingriffe nötig macht. Pflanzenöl ist um ein Vielfaches zähfließender, was eine unvollständige Verbrennung mit sich führen kann, die zu Verkokungen an Kolbenringen und Düsen führt. Das kann Ausmaße annehmen, die ein Zuwachsen der Düsenöffnungen bewirken, bis gar kein Nebel, sondern ganze Tropfen

in den Zylinder fallen. Fällt so ein Tropfen Pflanzenöl auf den heißen Kolbenboden, kann das ein Loch im Kolben verursachen.

---

*Kinematische Viskosität<sup>141</sup> in mm<sup>2</sup>/s*

Temperatur	Diesel	Rapsöl	RME
20 °C	3,08	78,8	6,8
80 °C	-	~10	-

---

**Tabelle 12: Viskositätsunterschiede Diesel-Rapsöl-RME**

Quelle: Billig Tanken-Rapsöl

[http://rapsoel.onlinehome.de/images/de.was\\_ist\\_was.htm#flammpunkt](http://rapsoel.onlinehome.de/images/de.was_ist_was.htm#flammpunkt)

Dieses Problem verlangt besonders bei neuen Direkteinspritzer Motoren nach einer Konfiguration des Motors. Es gibt zwei klassische Lösungen, das Problem der Viskosität zu lösen und somit den Einsatz als Kraftstoff zu forcieren. Der erste betrifft die Anpassung des Kraftstoffs, während die zweite Alternative auf den Umbau bzw. die Erweiterung des Motors abzielt. Des Weiteren kann der Einbau eines zweiten Tanks in Erwägung gezogen werden.

Wie aus obiger Grafik ersichtlich ist, beträgt die kinematische Viskosität des Diesekraftstoffes bei Zimmertemperatur ungefähr 3 mm<sup>2</sup>/s<sup>142</sup>. Bei Rapsöl liegt die kinematische Viskosität bei 20 °C zwischen 75 und 85 mm<sup>2</sup>/s. Bei Diesel und Biodiesel wirkt sich eine Temperaturänderung nur sehr gering auf die Viskosität aus.

Die Viskosität von Ölen steigt mit wachsendem Druck exponentiell und fällt mit steigender Temperatur exponentiell. Die mechanische Belastung der Einspritzpumpe erhöht sich auf

---

<sup>141</sup> Die kinematische Viskosität wird in der Einheit mm<sup>2</sup>/s als Verhältniszahl zwischen dynamischer Viskosität und Dichte angegeben. Sie ist stark abhängig von der Temperatur der Flüssigkeit und dem Druck, der auf die Flüssigkeit einwirkt.

<sup>142</sup> Die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. spricht von 2 – 8 mm<sup>2</sup>/s.

jeden Fall, wodurch Schäden an der Einspritzpumpe durch die höheren mechanischen Belastungen auftreten können.

### **Kraftstoffanpassung**

Pflanzenöl muss aufgrund der höheren Viskosität und des höheren Flammpunktes fließfähiger und zündfähiger gemacht werden. Dies erreicht man vor allem durch Erwärmen des Öls und Mischen mit Diesel<sup>143</sup>, was gleichzeitig das Kälteverhalten positiv beeinflusst. Elektrische Kraftstoffvorwärmer sind nur bedingt empfehlenswert, sie haben eine hohe Leistungsaufnahme, welche sich negativ auf den Kraftstoffverbrauch auswirkt. Ihr Vorteil besteht jedoch in der kompakten Bauart, das den schnellen und einfachen Einbau begünstigt. Als beste Lösung bietet sich der Einbau eines Wärmetauschers, der auf das heiße Kühlwasser oder Öl zurückgreift, eher an. Im Rahmen einer Diplomarbeit wurden 1998 drei Umbauten von BioCar<sup>144</sup> umfangreichen Messungen über den Einfluss der Einspritztemperatur auf den Verbrennungsablauf durchgeführt. Das Ergebnis war, dass der optimale Bereich der Einspritztemperatur des Rapsöls etwa zwischen 60 °C und 80 °C liegt. Am sinnvollsten ist es, den Wärmetauscher am Nebenkreislauf des Kühlwassersystems, sprich Innenraumheizung im Gegenstromprinzip, anzuschließen.

Das Senken der Viskosität und des Flammpunktes erhöht zusätzlich die Zündwilligkeit des Motors.

### **Motoranpassung**

Eine weitere Möglichkeit, das Problem der Viskosität zu lösen besteht in den mechanischen Veränderungen an der Einspritzpumpe (ESP), Düsen und am Verbrennungsraum.

Bei der Konstruktion von Einspritzpumpen werden gewisse Toleranzen der Viskosität, wie sie übrigens im Winter auch bei herkömmlichem Diesel durchaus auftreten können, und ein Sicherheitsfaktor bei der Dimensionierung und Auswahl der Werkstoffe der einzelnen Bauteile berücksichtigt, wodurch die meisten Einspritzpumpen die Viskositätstoleranz vom

---

<sup>143</sup> ca. 2 % Benzin

<sup>144</sup> <http://www.biocar.de>, geladen am 08.05.02, um 18:15 Uhr.

Diesel zum erhitzten Pflanzenöl verkraften. Je niedriger die Temperatur des Pflanzenöls ist und die damit verbundene höhere Viskosität, treten in der Einspritzpumpe größere Kräfte, sog. Spannungsspitzen, auf, die etwa bei der Nockenwelle der ESP zum Schwingungsbruch führen können. Die auftretenden Kräfte auf die mechanischen Teile, Nockenwelle, Excenter, Zylinder, Kolben der Einspritzpumpe bei kaltem Pflanzenöl sind vor allem aus Kostengründen und des normalerweise zu verwendenden Kraftstoffes nicht berücksichtigt worden. Um Schäden zu verhindern, ist die Viskosität mittels Temperaturerhöhung und / oder Vermischen des Pflanzenöls mit geeigneten Additiven wie Benzin, Ethanol, Diesel oder RME zu senken.

An den Wartungsintervallen oder der Schmierölempfehlung ändert sich nichts, da aufgrund der höheren Siedetemperaturen von Rapsöl und Biodiesel und der schlechteren Einspritzung bei kaltem Rapsöl die Möglichkeit einer Motorölverdünnung besteht. Diese Gefahr erhöht sich besonders im Leerlauf, bei Kaltstarts oder auch bei Teillastbetrieb. Ölwechselintervalle sollten auf jeden Fall eingehalten werden – manche Hersteller sprechen gar von einer Verkürzung. Es werden überdies qualitativ hochwertige Motorenöle empfohlen.

## **2-Tank- System**

Eine weitere Lösung für das Problem der hohen Viskosität bei modernen Direkteinspritzern ist das 2. Tank-System. Diese Motoren können nicht mit kaltem Pflanzenöl gestartet werden. Deswegen gibt es beim 2. Tank-System einen Tank für herkömmlichen Dieseltreibstoff und einen für Pflanzenöl. Der Motor wird mit Diesel gestartet und erst bei der vorgeschriebenen Betriebstemperatur wird dann automatisch oder manuell auf Pflanzenöl umgestellt. Mehrere Minuten bevor der Motor abgestellt wird, muss die Treibstoffzufuhr wieder auf Diesel umgestellt werden, damit dieser in den Leitungen ist und es kein Problem beim nächsten Kaltstart gibt.

Welche der drei Lösungen man verwendet, ist prinzipiell egal. Eher ungewöhnlich – bedingt durch den hohen Aufwand des Umbaus – ist der Einsatz des 2. Tank-Systems. Neben diesen Umbauten kann Biodiesel in herkömmlichen Dieselmotoren ohne Änderung verwendet werden, wenn die Automobilhersteller ihre Pkws dafür freigeben. Was an der Tankstelle als

Biodiesel verkauft wird, ist in den meisten Fällen Raps Methyl Esther (RME), also Rapsöl, das mit Methanol versetzt wurde um die Eigenschaften dem herkömmlichen Diesel anzupassen. Die, aus Garantiegründen, erforderliche Freigabe des Fahrzeugbetriebs mit RME ist bei vielen Herstellern serienmäßig. Da aber Biodiesel die Eigenschaften von Lösungsmitteln besitzt, besteht die Gefahr, dass etwa Kunststoffdichtungen oder Leitungen undicht werden, zudem kann RME auch Lacke angreifen.<sup>145</sup> Gibt es eine serienmäßige Freigabe, wie dies beispielsweise bei Volkswagen der Fall ist, nicht, besteht die Möglichkeit gegen Aufpreis eine Herstellerfreigabe zu erhalten. Herwig Innerwinkler von der BMW-Group Austria bestätigt, „dass treibstoffführende Leitungen und Dichtungen wegen der aggressiven Eigenschaften des RME ersetzt werden.“

Bei einem weiteren Problem handelt es sich um die Polymerisation des Motoröles. Wie schon oben beschrieben, ist die Lösung des Problems des Verstopfens der Einspritzdüse der Einbau einer Einspritzdüse, die nur einen einzelnen Einspritzstrahl produziert. In Verbindung mit einem hohen Einspritzdruck wird ein Verstopfen der Düse verhindert. Zudem kann in einem Motor, der noch keine Betriebstemperatur erreicht hat, zwischen Kolben und Zylinderwand bis zur thermischen Anpassung beider Materialien unverbrannter Kraftstoff in das im Kurbelwellengehäuse befindliche Motoröl gelangen. Dieseldieselkraftstoff verdunstet mit der Zeit wieder, Pflanzenöl jedoch reichert sich an und verändert die Eigenschaften des Motoröls im schlimmsten Fall bis zur Unbrauchbarkeit, was mit einem kapitalen Motorschaden endet.

### ***6.2.2. Die Wirtschaftlichkeit***

Rapsmethylester kostet unter dem Namen Biodiesel zur Zeit (Erhebungsdatum: 28.02.2002) an Tankstellen in der Steiermark zwischen 0,650 und 0,726 €. Da der Biodiesel anders besteuert ist, liegt der Preis durchschnittlich € 0,11 unter dem Preis des normalen Dieseldieselkraftstoffs.<sup>146</sup> Nach Mineralölsteuergesetz 1995, § 4 Abs. 1 Z 7, sind Kraftstoffe aus ausschließlich biogenen Stoffen steuerbefreit. Steuererleichterungen ergeben sich auch für Mischkraftstoffe. Laut Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V. (UFOP) führen derzeit 90 Tankstellen in Österreich Pflanzenöl als Treibstoff.<sup>147</sup> In Deutschland sind

<sup>145</sup> [http://rapsoel.onlinehome.de/images/de.tipps\\_zum\\_umbau.htm](http://rapsoel.onlinehome.de/images/de.tipps_zum_umbau.htm), geladen am 08.05.02, um 18:30 Uhr.

<sup>146</sup> [http://www.akstmk.at/download\\_main.cfm?noselect=TRUE&bereich\\_id=sta](http://www.akstmk.at/download_main.cfm?noselect=TRUE&bereich_id=sta). Geladen am 13.03.02 um 16:20 Uhr.

<sup>147</sup> [http://www.ufop.de/2\\_2\\_1\\_3.html](http://www.ufop.de/2_2_1_3.html), geladen am 08.05.02, um 09:00 Uhr.

es bereits 1200, deren Anzahl aber stetig steigt. Laut EU belaufen sich die Produktionskosten für Biodiesel auf etwa 500 Euro/1000 l gegenüber 200/250 Euro/1000 l für herkömmlichen, aus Erdöl gewonnenen Dieselkraftstoff, einschließlich Raffineriekosten. Dies hängt mit dem Rohstoffpreis, der Größe der Produktionsanlage und dem Wert der Nebenprodukte – z.B. Protein – ab.<sup>148</sup>

Bedingt durch die geringere Versteuerung (siehe dazu §§ 2, 3, 4, 6 Mineralölsteuergesetz) ist Pflanzenöl preiswerter als Diesel. Was den Wirkungsgrad betrifft, hat der alternative Kraftstoff zwar etwa 9% weniger Energie pro Liter gegenüber Diesel, aber eine 9% höhere Dichte, was somit zu einem relativen Ausgleich führt. Dadurch bleibt der Verbrauch gegenüber Dieselkraftstoff gleich.

Der Wiederherstellungspreis bei Pflanzenöl bewegt sich im Rahmen heutiger und zukünftiger Mineralölpreise.<sup>149</sup> Für landwirtschaftliche Nutzflächen, auf denen keine Nahrungsmittel angepflanzt werden, zahlt die Europäische Union und auch Österreich Prämien, um die Überproduktion zu stoppen. Diese Subventionen stützen den Preis des Pflanzenöls, das damit z.B. gegenüber Dieselkraftstoff konkurrenzfähig wird. Daneben wird Energie aus Biomasse gefördert. Im Jahr 2000 subventionierte Österreich diesen Bereich mit 273 Mio. ATS.<sup>150</sup>

### **6.2.3. Elsbett-Motor**

Eines der Probleme bei der Verwendung von reinem Pflanzenöl als Kraftstoff ist die normalerweise starke Bildung von Ölkohle an den Wänden der Verbrennungsräume im Motor. Bei dem von Ludwig Elsbett entwickelten Verbrennungsverfahren wird die Berührung von Kraftstoffpartikeln mit den Wänden und damit die Ablagerung von Ölkohle verhindert. Der Elsbett-Motor ist eine konsequente Weiterentwicklung des Dieselmotors und wie dieser ein Selbstzündermotor. Er war der erste schnelllaufende Pkw-Motor nach dem Dieselpinzipp mit Direkteinspritzung des Kraftstoffes. Der Elsbett-Motor besitzt nur drei Zylinder mit Abgasturbolader und Ladeluftkühlung. Je weniger Zylinder bewegt werden müssen, desto geringer ist die Reibung. Der Kraftstoff wird in einen Wirbel der Verbrennungsluft, der sich

---

<sup>148</sup> KOM(2001) 547, S. 25.

<sup>149</sup> <http://www.pflanzenoel-motor.de/grundlagen/content.htm>, geladen am 08.05.02, um 17:45 Uhr.

<sup>150</sup>

[http://www.agrarstatistik.at/napro4/wrapper/media.php3?filename=f:/wwwagrar/zahlenbuch/mmedia/webuse/documents/Österreich/Leistungsabgeltungen/pdf/tab5\\_2\\_2.pdf&url=](http://www.agrarstatistik.at/napro4/wrapper/media.php3?filename=f:/wwwagrar/zahlenbuch/mmedia/webuse/documents/Österreich/Leistungsabgeltungen/pdf/tab5_2_2.pdf&url=), geladen am 27.03.02 um 16:00 Uhr.

im halbkugelförmigen Verbrennungsraum des Kolbenbodens bildet, eingespritzt. Dieses »Duotherm« genannte Verfahren hat den Vorteil, dass durch die Verbrennung im Kern des Wirbels die außenliegende isolierende Luftschicht die Wärmeverluste aus dem Verbrennungsraum vermindert. Zusätzlich werden die Wärmeverluste durch einen speziellen Graugusskolben weiter verringert. Dadurch kann der Wirkungsgrad<sup>151</sup> auf 40 % gesteigert werden gegenüber etwa 31 % beim herkömmlichen Diesel und etwa 28% beim Ottomotor<sup>152</sup>. Durch den höheren Wirkungsgrad sinkt der Kraftstoffverbrauch bei gleicher Motorleistung. Der Elsbett-Motor verbraucht nur etwa die Hälfte des Kraftstoffes eines von der Leistung her vergleichbaren Benzinmotors und nur etwa 2/3 eines konventionellen Dieselmotors. Durch den hohen Wirkungsgrad fällt weniger Abwärme an. Der Elsbett-Motor kommt deshalb ohne Wasser- und Luftkühlung aus und benötigt nur einen Ölkühler. Der Pflanzenölmotor kann mit verschiedenen Mischungen aus Pflanzenölen betrieben werden, daneben auch mit Dieselmotorkraftstoff.

Das Patent des Elsbett-Motors wurde bereits von namhaften deutschen Automobilherstellern erworben. Der Motor wird aber nicht in Serienfahrzeugen angeboten. Somit ist der Erwerb nicht mehr möglich.

#### **6.2.4. Wasserstofftechnologie und Biokraftstoffe im Vergleich**

Wasserstoff wird heute aus den Stoffen unter hohem Energieaufwand gewonnen, die er eigentlich ersetzen soll. Die Herstellung des Wasserstoffes aus Wasser mittels Sonnenenergie unter Verwendung von Solarzellen ist noch immer sehr teuer. Eine Kilowattstunde aus Solarzellen erzeugter Energie kostet zur Zeit noch über 0,5 €. Der Grund dafür sind vor allem die sehr teuren Solarzellen, zu deren Herstellung sehr viel Energie benötigt wird. Der Strom wird nach der Anschaffung der Solarzellen auch so teuer, weil die Kapitalgeber ihr eingesetztes Kapital mit den üblichen Zinsen auf dem Kapitalmarkt verzinst haben wollen.<sup>153</sup> Dieser Preis erscheint mir doch ungewöhnlich hoch zu sein. Im Vergleich dazu eine Studie der Ludwig-Bölkow-Systemtechnik, die den Import von Wasserstoff aus Brasilien untersucht. Auf der Basis von Elektrizitätskosten von zwischen 10 und 15 USD/MWh, die zu 98% auf

---

<sup>151</sup> Der Wirkungsgrad eines Motors gibt an, zu wie viel Prozent die eingesetzte Energie in die gewünschte umgewandelt wurde.

<sup>152</sup> <http://www.elsbett.com/> geladen am 12.02.02 um 09:30 Uhr

<sup>153</sup> <http://frank.osse.bei.t-online.de/energie.htm#Wasserstoff>, geladen am 01.04.02, um 09:30 Uhr.

erneuerbaren Energien (vor allem Wasserkraft) basieren, werden Kosten für den nach Europa gelieferten Wasserstoff von USD 105/MWh für möglich erachtet. Das macht pro kW/h Energie Kosten von 0,025 € für gasförmigen Wasserstoff und etwa 0,05 € für flüssigen Wasserstoff. Demgegenüber stehen die Kosten für die Erzeugung von 1 Liter Rapsöl bei ca. 3 € Ein Liter Rapsöl enthält dabei ca. 35.000 kJ/kg. Ein Liter Biodiesel enthält etwa 9,17 kWh Energie, was also Kosten von 0,32 € ergibt.<sup>154</sup>

<i>Eigenschaften</i>	<i>Einheit</i>	<i>Grenzwert</i>
Heizwert	kJ/kg	35.000

**Tabelle 13: Heizwert des Rapsöls**

Quelle: Energietechnik GmbH

Wasserstoffautos verschwenden wesentlich mehr Primärenergie als klassische Autos. Von 100% Energieeinsatz kommen nur Bruchteile im Fahrzeug an. Die Verluste addieren sich, schon bei der Stromerzeugung im Kraftwerk, bei der Elektrolyse und bei der Verflüssigung. Demgegenüber erfordert die Produktion von z.B. Rapsöl nicht mehr als 15% der gewonnenen Energiemenge.<sup>155</sup>

Der Einsatz von gasförmigem Wasserstoff kommt aufgrund der Gewichtsprobleme – 1 kg Gas erfordert einen Tank von 70 kg – und der damit verbundenen Reichweitennachteile nicht in Betracht. Fahrzeuge mit Flüssigwasserstoff, wo der Reichweitennachteil einigermaßen aufgehoben ist, dürfen nicht in Tiefgaragen einfahren. Zudem vernichtet die Verflüssigung von Wasserstoff etwa 25% der enthaltenen Energie.<sup>156</sup> Damit beträgt der Energieaufwand für die Verdichtung pro kg H<sub>2</sub> etwa 10 kW/h. Demgegenüber enthalten 60 l Pflanzenöl annähernd die gleiche Menge Energie wie 60 l herkömmlicher Diesel. Die Gewinnung, Lagerung und

<sup>154</sup> <http://www.hydrogen.org/Wissen/globlink.htm>, geladen am 05.04.02, um 22:00 Uhr.

<sup>155</sup> <http://www.biocar.de/info/info8.htm>, geladen am 12.05.02, um 15:45 Uhr.

<sup>156</sup> <http://www.biocar.de/info/info8.htm>, geladen am 26.03.02 um 13:00 Uhr.

der Transport sind gefahrlos. Es gibt aber bis jetzt noch zu wenig Anbauflächen, um den flächendeckenden Einsatz des Pflanzenöls zu gewährleisten.

Die Lagerung und der Transport des Wasserstoffs ist immer noch mit Risiken und vor allem mit hohem Investitionsbedarf verbunden. Demgegenüber können Biokraftstoffe jetzt sofort mit einfachster Technik und ohne Gefahr für die Umwelt fossile Energieträger ablösen.

Gegenüber der weit verbreiteten Darstellung, dass Biodiesel billiger erzeugt werden kann, gibt es auch gegensätzliche Studien – z.B. des Deutschen Wasserstoffverbands e.V. - , die belegen, dass wegen der verbesserten Energienutzungsgrade von Fahrzeugen mit Brennstoffzellen-Antrieben sowie den tieferen spezifischen Treibstoffkosten die Treibstoffkosten insgesamt pro 100 km geringer als bei vergleichbarem Diesel-Pkw sind. Wobei aber die Tatsache der höheren Anschaffungskosten, die etwa zwischen 500 und 2.000 € ausmachen, nicht bestritten wird. Wird H<sub>2</sub> billiger angeboten, stellt sich die Frage, ob nicht Fahrer mit hoher Jahresfahrleistung, die zur Zeit typischerweise Diesel-Pkw benützen, auf Wasserstoffmobile umsteigen. Zumal auch die Betriebskosten von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen günstiger sind. Obwohl der Wasserstoff in Verbindung mit der Emissionsfreiheit seine Stärken vor allem im innerstädtischen Bereich ausspielen würde.

## 7. Alkohole

Bereits Henry Ford dachte beim Bau des Modell T an Ethanol, erzeugt aus erneuerbaren biologischen Stoffen, als zukünftigen Treibstoff. Durch die schon oben erwähnten Erdölfunde in den 20iger Jahren setzte sich aber das Erdöl als Ausgangsprodukt für den Kraftstoff durch. Trotz der höheren Octanzahl<sup>157</sup>, der geringeren Umweltbelastung und den Kosten der Infrastruktur der Erdölförderung konnte sich der Alkohol als Treibstoff nicht behaupten. Da sich die Investitionen, die von den Ölfirmen gemacht wurden, rechnen müssen, wird die Einführung alternativer Energieträger behindert bzw. verzögert.

### 7.1. Grundlagen

Wie bei Biodiesel etc. ist auch Alkohol klimaneutral. Bei der Verbrennung im Motor wird zwar Kohlendioxid freigesetzt, das aber im Laufe des Pflanzenwachstums „recycelt“ wird. Da Alkohole Sauerstoff enthalten, wird bei deren Verbrennung bis zu 30% weniger Kohlenmonoxid produziert, was wiederum der Umwelt nützt.<sup>158</sup>

Alkohol als Treibstoff wird in Europa vorwiegend aus Getreide, Weizen aber auch aus Waldabfällen gewonnen. Förderungen des Bundes bzw. der Länder sind für die Erzeugung von Biomasse vorgesehen. Hinzu kommen noch diverse Steuerbegünstigungen. Die Produktion von Energie aus Biomasse allgemein wurde im Jahr 2000 in Österreich mit 273 Mio. ATS gefördert.<sup>159</sup>

Zur Energiebilanz ist zu sagen, dass etwa 15,5% der gewonnenen Energie durch das Wachstum der Pflanzen aufgebraucht werden und weitere 43,9% zur Umwandlung der Pflanze in Ethanol benötigt werden. Diese knapp 44% können aber laut der Canadian Renewable Fuels Association durch Pflanzenzuchtmaßnahmen auf 35% gedrückt werden.<sup>160</sup> Für die komplette Energiebilanz siehe Anhang – Tabelle 18.

---

<sup>157</sup> Die Octanzahl beschreibt die Klopfestigkeit des Benzins, sprich, wie gleichmäßig erfolgt die Zündung.

<sup>158</sup> <http://www.greenfuels.org/ethaair.html>, geladen am 26.03.02 um 16:30 Uhr.

<sup>159</sup>

[http://www.agrarstatistik.at/napro4/wrapper/media.php3?filename=f:/wwwagrar/zahlenbuch/mmedia/webuse/documents/Österreich/Leistungsabgeltungen/pdf/tab5\\_2\\_2.pdf&url=](http://www.agrarstatistik.at/napro4/wrapper/media.php3?filename=f:/wwwagrar/zahlenbuch/mmedia/webuse/documents/Österreich/Leistungsabgeltungen/pdf/tab5_2_2.pdf&url=), geladen am 26.03.02 um 16:50 Uhr.

<sup>160</sup> <http://www.greenfuels.org/ethaair.html>, geladen am 26.03.02 um 17:00 Uhr.

Auslöser für den umfassenden Einstieg in Alkohol als Treibstoff war 1973/74 die große Erdölkrise. Brasilien hatte den Vorteil, dass ausreichend Zuckerrohr, der als Energieträger fungierte, vorhanden war und somit kostenintensive Produktion und Transport vermieden wurden. Für die Regierung standen u.a. Ziele, wie die Senkung der Importkosten für erdöhlhaltige Energieprodukte, verbunden mit einer Verbesserung der Devisenbilanz, die Schaffung neuer Arbeitsplätze, Aufbau eines alternativen Absatzmarktes für die Zuckerindustrie und die Reduktion der Luftverschmutzung in den Großstädten, indem Benzin durch Ethanol substituiert wird, im Mittelpunkt. 1998 fuhren bereits 17 Mio. Fahrzeuge mit reinem Ethanol als Treibstoff bzw. mit einem Benzin/Ethanolgemisch in Brasilien.<sup>161</sup>

In Europa nimmt Frankreich bei der Ethanolproduktion eine Vorreiterrolle ein. Diese erfolgt vor allem für die Beimengung zu bleifreiem Treibstoff. Die Gründe für diesen französischen Vorstoß zu Beginn der 90iger Jahre waren agrarpolitischer Natur. Anstatt Land brach liegen zu lassen, wurde mit der Ethanolproduktion über Zuckerrüben begonnen. Dabei ist das Unternehmen Totalfina führend. Die Niederlande, Schweden und Spanien sind ebenso an dieser Technologie interessiert und haben bereits Pilotprojekte großflächig in die Tat umgesetzt.

Die Anwendung von Alkoholen als Treibstoff ist in folgenden Fällen<sup>162</sup> möglich:

- Zumischung von Komponenten zu konventionellen Kraftstoffen
- Alkohol/Otto- oder Alkohol/Diesel Mischkraftstoffe mit geringen Alkoholanteilen
- Alkohol/Otto-Mischkraftstoffe mit hohen Alkoholanteilen
- Reine Alkohole

### ***7.1.1. Kraftstoffkomponenten aus Alkoholen***

Alkohole können in konventionellen Kraftstoffen direkt als sauerstoffhaltige Komponenten oder als Ausgangsprodukte zur Herstellung weitere Komponenten, wie etwa Metyl Tertiär

---

<sup>161</sup> [http://www.eav.admin.ch/d/n\\_bio.htm](http://www.eav.admin.ch/d/n_bio.htm), geladen am 26.03.02 um 17:15 Uhr.

Butyl Ether (MTBE) oder Ethyl Tertiär Butyl Ether (ETBE), verwendet werden. Die technische Umrüstung des Motors ist nicht notwendig und etwaige Fahrprobleme sind nicht bekannt. Als Vorteile dieser Variante stehen besonders die Kohlenwasserstoff- und auch CO-Emissionen zu senken, wobei jedoch mit einem NO<sub>x</sub>-Anstieg zu rechnen ist.

### ***7.1.2. Mischkraftstoffe mit geringen Alkoholanteilen***

Es handelt sich beispielsweise um Methanol15 (M15), einem Gemisch aus 85 % Ottokraftstoff und 15 % Methanol. Weltweit wird er hauptsächlich in Brasilien eingesetzt, wo er die Treibstoffvariante mit 100 %igem Alkoholanteil (E100) verdrängt hat. Hier werden technische Umrüstungen des Motors unabdingbar. Neben der Anpassung der treibstoffführenden Teile muss besonders die Zündung verändert werden. Der Kraftstoff hat einen 30 %igen Gehalt an sauerstoffhaltigen Verbindungen. Um etwa die Zündwilligkeit zu verbessern, musste ein Beschleuniger zugegeben werden, im Weiteren musste die Verteilereinspritzpumpe modifiziert werden. Die Vorteile ergeben sich in niedrigeren NO<sub>x</sub>-Emissionen. Als Malus stehen aber die Erhöhung von Kohlenwasserstoff- und CO-Emissionen zu Buche. Versuche mit diesem Kraftstofftyp wurden aber in den 80-iger Jahren eingestellt.

### ***7.1.3. Mischkraftstoffe mit hohen Alkoholanteilen***

Der M85-Kraftstoff, bestehend aus 85 % Methanol und 15 % Ottokraftstoff, ist bis zur Serienreife entwickelt. Die Kaltstartprobleme werden durch die Zugabe von leichtsiedendem Kohlenwasserstoff oder Ottokraftstoff gelöst. Die fehlende Infrastruktur – in den USA gibt es nur 100 Tankstellen – stellt die großflächige Markteinführung als unrealistisch dar. Um diese Situation zu umgehen, werden diesem Kraftstoff aber große Chancen im Bereich des Einsatzes in Multi Fuel Fahrzeugen gegeben. Es handelt sich hierbei um Fahrzeuge, die mit Ottokraftstoffen und M85 bzw. E85 Treibstoffen betrieben werden können. 25.000 dieser Fahrzeuge sind bereits in den USA auf der Straße. Voraussetzung für Multi Fuel-Tauglichkeit

---

<sup>162</sup> Potential alternative Kraftstoffe und ausgeführte Konzepte, S. 4.

ist ein Alkohol-Sensor, der permanent den Alkoholgehalt des Kraftstoffes feststellt und entsprechend dieser Messgröße Einspritzmenge und Zündung einstellt.<sup>163</sup>

#### **7.1.4. Reine Alkohole**

Diese Variante wird besonders in Brasilien bevorzugt. Alleine Volkswagen hat dort bisher über 2 Millionen Fahrzeuge auf Reinethanolbasis (E100) verkauft.

Neben den Anpassungsmaßnahmen des Motors sind besonders der Einbau eines zusätzlichen Kaltstartsystems zu beachten. Hier wird für den Start und die anschließende Warmlaufphase Benzin eingespritzt. Aufgrund der Kaltstartgrenze bei reinen Alkoholen von plus 10 °C ist diese Maßnahme notwendig, stößt aber auf Grund von Einbußen im Bereich des Komforts immer mehr auf erhebliche Ablehnung. Auf diese Kritik wurde mit der Konstruktion von elektrisch beheizten Starthilfen, etwa Kraftstoffverdampfern, begonnen. Die Versuche wurden aber wegen des hohen Energiebedarfs bald eingestellt.

Der Einsatz von Reinalkoholen in modifizierten Dieselmotoren führt zu einer rußfreien Verbrennung der Alkohole.<sup>164</sup> Aufgrund der niedrigen Cetanzahlen<sup>165</sup> ist aber eine Fremdzündanlage bzw. eine zusätzliche Piloteinspritzung von Diesel notwendig. Ein weiteres Problem der Ethanolvariante liegt in der mangelhaften Schmierfähigkeit, die als Resultat Korrosions- und Verschleißanfälligkeit zur Folge hat.

Im Vergleich zu herkömmlichen Dieselmotoren ergeben sich niedrigere NO<sub>x</sub>- und Partikelemissionen. Diese Beobachtungen wurden auch bei den Aldehydemissionen gemacht. Bei NMOG-Emissionen<sup>166</sup>, die zu einem großen Teil aus Methanol bestehen, ergab sich im Vergleich ein deutlich höherer Wert. Durch die besonderen Verbrennungseigenschaften und die hohe Verdichtung wird gegenüber dem Ottomotor ein höherer Wirkungsgrad erreicht. Durch den eingeschränkten Betrieb mit Methanol und die fehlende Infrastruktur ist aber die Mobilität in Europa erheblich eingeschränkt.

---

<sup>163</sup> Potential alternative Kraftstoffe und ausgeführte Konzepte, S. 6.

<sup>164</sup> <http://dc2.uni-bielefeld.de/dc2/auto/alkohol.htm>, geladen am 12.05.02, um 17:00 Uhr.

<sup>165</sup> Eine der Oktanzahl analoge Kennziffer für die Zündwilligkeit eines Dieselmotorkraftstoffes, die um so größer ist, je kürzer die Zeit zwischen Kraftstoffzuführung in den Motorzylinder und der Entzündung ist.

<sup>166</sup> "Non-Methane Organic Gases", organische Kohlenwasserstoff – Verbindungen, (Aldehyde, Alkohole, Alkane, Aromate ...)

## Teil 4 – Spekulative Überlegungen

In diesem Abschnitt werden zwei „außergewöhnliche“ Autos vorgestellt. Es handelt sich dabei um Fahrzeuge, die mit Wasser bzw. Luft betrieben werden. Die Ausführungen müssen jedoch aufgrund mangelnder Information und keinerlei Erfahrung mit großer Skepsis betrachtet werden. Im Besonderen sehe ich den Punkt über das „Wasserauto“ als Anregung zur Diskussion, da ich trotz intensiver Recherchen den 100%igen Wahrheitsgehalt nicht erbringen kann. Laut Dr. Hans Schnitzer von der Technischen Universität Graz „widerspricht das Wasserauto der Thermodynamik und Physik.“ Einen Einblick in die mögliche Zukunft der alternativen Energieträger kann aber doch gegeben werden. Die Ausführungen über das Luftauto sind hingegen schon weit diskutiert und auch nachvollziehbar.

### 8. Wasserauto

Wasser als Treibstoff ist eine der Antworten auf die weltweite Energiekrise. Das revolutionär Neue an den „Wasserautos“ von Dingle, Meyer und Cella ist, dass diese keinen Tank mit teuer produziertem Wasserstoff benötigen, sondern ihren Wasserstoffbedarf für mehrere tausend Kilometer aus einer einzigen Tankfüllung Leitungswasser in Echtzeit erzeugen.<sup>167</sup>

Die Spaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff mittels herkömmlicher Elektrolyse benötigt wesentlich mehr Energie, als bei der explosionsartigen Rückverwandlung beider Gase in Wasser wieder freigesetzt wird. Mittels Hochspannungs-Elektrolyse kann das unwirtschaftliche Input/Output-Verhältnis der normalen Elektrolyse jedoch auf den Kopf gestellt werden.

#### Spaltung von Wasser durch Elektrolyse



#### Verbrennung von Wasserstoff im Automotor

---

<sup>167</sup> siehe N3 TV Kurzreportage zum Dingle-Auto vom 16. September 1999 und AUTO-Bild Reportage Nr. 42, 20. Oktober 2000.



Das Hochspannungs-Elektrolyseverfahren von Daniel Dingle zieht ca. 5 bis 10 Ampere bei 12 Volt, das entspricht etwa 40 Watt, aus der Autobatterie. Dies ist ausreichend, um so viel Wasserstoff in Echtzeit zu erzeugen, dass damit normale Serienautos fahren können. Dingle: „Die Wasserstoffatome leite ich in den Motor. Dort durchmischen sie sich schnell mit dem zeitlich etwas später in die Verbrennungskammer geführten Sauerstoff. Es kommt zur Explosion. Die entfaltet Energie. Und mit der treibe ich dann meinen Corolla an.“ Es handelt sich um einen Toyota Corolla 1.6i, der rund 4 Liter Wasser auf 500 km benötigt und eine Höchstgeschwindigkeit von bis zu 200 km/h erreichen kann, wobei die Leerlaufdrehzahl 500 Upm beträgt.

Die Zerlegung von Wasser mit Gleichstrom erzeugt keinen Overunityeffekt (=Energieüberschuss) und soll nur einen Wirkungsgrad von 60% bis 80% haben. Der Energieüberschuss wird dadurch erzeugt, dass das Wasser mit Hochspannung mit unbekannter Frequenz zerlegt wird. Das Wasser dient nur als Transformator, der die freie Energie über das Hochspannungsfeld in die Wasserzerlegung in Wasserstoff und Sauerstoff transformiert.<sup>168</sup> Ernesto S. Luis (54) vom philippinischen Wissenschafts- und Technologieministerium in Manila erklärt, dass „mit dem elektromagnetischen Feld werden das Proton und Elektron im Wasserstoff geordnet. Dingle kontrolliert damit die Menge von Wasserstoff für die Zylinder so gezielt, dass sein Auto allein durch die Kraft des Wasserstoffs läuft.“ Um die Wasserstoff-Explosion abzufedern und somit die Metallurgie in der Verbrennungskammer nicht zu zerstören, wird ein Öl, „electromagnetic fluid oil“ (EMF) beigemischt. Es handelt sich – laut Dingle – um einen Cocktail aus den Extrakten südostasiatischer Gemüse wie Kangkong, Ampalaya und Salyot, Blumen wie Sampaquita und Santan sowie Samen vom Ipil-Ipil.

Das Prinzip, mit dem das Wasserauto von Daniel Dingle fährt, ist noch nicht patentiert.

Der erste Hauptsatz der Thermodynamik: “Die Gesamtenergie eines abgeschlossenen Systems ist erhalten d.h.  $U = \text{const}$ ” wird dabei keinesfalls verletzt, ebenso wenig wie der

---

<sup>168</sup> Reportage: Mein Auto fährt mit Wasser, AUTO BILD, Ausgabe Nr. 42 vom 20. Oktober 2000

zweite Hauptsatz, der die Existenz von abgeschlossenen Perpetui Mobili zu Recht verneint. Denn genau die Prämisse “abgeschlossenes System” ist ein Spezialfall.

Es muss streng zwischen offenen und geschlossenen Energiesystemen unterschieden werden. Der Hauptsatz sagt schließlich nichts darüber aus, ob offene Systeme existieren oder nicht, er geht lediglich davon aus, dass das Universum selbst ein geschlossenes System ist, was für den Bereich der Quantenphysik schon längst widerlegt ist.<sup>169</sup>

Offene Systeme nutzen - im Gegensatz zu geschlossenen Systemen - freie Energie<sup>170</sup> aus der Umgebung. Im Fall der Hochspannungs-Elektrolyse wird im Wasser in einer Resonanzkammer ein Resonanzfeld erzeugt, das zusätzliche (freie) Energie in das Hochspannungsfeld hineinzieht und nutzbar macht. Die besonderen elektrischen Resonanzeigenschaften von Wasser spielen beim Wasserauto die Schlüsselrolle.<sup>171</sup>

“Es ist die Theorie, die entscheidet, was wir sehen können.” (Albert Einstein)

## 9. Luftauto

Guy Negre, Motorenbauingenieur, der unter anderem in der Formel 1 Entwicklungsarbeit geleistet hat, hat einen komplett abgasfreien Motor konstruiert. Dieser ist vor allem für den Antrieb von Stadtfahrzeugen bzw. Nahverkehrsfahrzeugen gedacht.

Das Unternehmen Motor Development International, mit Sitz in Luxemburg, ist alleiniger Besitzer aller 25 internationaler Patente in 125 Ländern und des Entwicklungsbetriebes für das neue Auto. Die MDI Fahrzeuge werden ausschließlich mit Luft betrieben. Die minus 25°C kalte Druckluft wird mit einem Druck von 40 bar in die Kolbenkammer gepresst, dadurch steigt der Druck im Zylinder und der Kolben wird zurückgestoßen.<sup>172</sup> Das funktioniert ähnlich wie beim Verbrennungsmotor, aber eben ohne Verbrennung. Durch die

---

<sup>169</sup> Das Vakuum.doc, Artikel aus GEO 2/99

<sup>170</sup> auch Vakuumenergie, Nullpunktenergie, Tachyonenenergie, kosmische Energie, Hyperraumenergie genannt

<sup>171</sup> "Fuel from water, Energy Independence with Hydrogen", S. 22.

<sup>172</sup> <http://www.mdi.lu/accueilall.htm>, geladen am 09.05.02, um 11:00 Uhr.

wärmere Umgebungsluft dehnt sich das Gemisch dann explosionsartig aus. Es ist nur Luft, was den Kolben bewegt. Der Monoenergiemotor entwickelt damit ca. 18 KW (28 PS) und hat ein Gewicht von 70 kg. Durch ein Energierückgewinnungssystem aus der Umgebungsluft verbessert sich die Wirtschaftlichkeit des Fahrzeugs erheblich. Ein weiteres Hauptmerkmal des MDI - Motors ist der sog. am oberen Totpunkt anhaltende Kolben. Dadurch wird eine optimale Füllung im Arbeitsraum erreicht, was eine deutliche Leistungssteigerung zur Folge hat. Das Leergewicht des Pkws beträgt 700 kg. Dies wird durch extreme Leichtbauweise erreicht. Die Karosserie besteht nur aus Fieberglass. Auch bei der Elektronik wurde auf unnötigen Ballast verzichtet. Régis Munoz, Leiter Elektronik: "Das Auto braucht nur vier Sicherungen, eine Infrarotsteuerung und ein einziges Kabel. Das rote Kabel läuft um das ganze Fahrzeug herum, und alle elektronischen Einheiten sind mit dem roten Kabel einerseits und mit dem Rahmen als Masse andererseits verbunden."<sup>173</sup> Diese konsequente Leichtbauweise ermöglicht erst den hohen Verwertungsgrad der zugeführten Druckluft, die in einem unter dem Auto liegenden Kohlefasertank gespeichert wird. Mit einer Höchstgeschwindigkeit von 110 km/h beträgt die Reichweite 200 km. Dabei betragen die Kosten, je nach aktuellem Strompreis, pro 100 km ca. €1,30. Die Tanks fassen 300 l bei 300 bar. Das Aufladen an der Steckdose dauert etwa dreieinhalb Stunden. Die benötigte Druckluft wird im bordeigenen Kompressor erzeugt. Besser wäre allerdings das Betanken an Lufttankstellen. Der Tankvorgang würde nur noch zwei Minuten dauern.

Durch diesen Motor sind die Abgase durch die Verwendung von Luft und Vermeidung von brennbaren Gasen 100 % schadstofffrei und ungiftig. Das ökologische Problem wird aber bei der Aufladung mit Strom sichtbar. Wird dieser nicht umweltfreundlich, etwa in Solaranlagen, erzeugt, kann man nicht wirklich von einem Ökoauto sprechen. Der Einsatz in Großstädten, die ja zwangsläufig mit Problemen der Luftverschmutzung konfrontiert sind, ist aber sicher vorteilhaft. Das Fahrzeug besitzt eine maximale Zuladung von 500 kg bei 3 m<sup>3</sup> Laderaum und verfügt je nach Ausführung über bis zu sechs Sitzplätze.

Die erste MDI Fabrik wird in Carros, nahe Nizza ( ca. 15 km von Flughafen entfernt), auf dem Gelände der Verwaltung und des Entwicklungsbetriebes entstehen. Die Kapazität beträgt unter Zugrundelegung eines 8 Stunden Arbeitstages etwa 3000 Fahrzeuge pro Jahr, wobei die Produktion bis zu 6000 Fahrzeuge pro Jahr ausbaufähig ist. Für jedes Land werden einzelne Gebiete festgelegt. Ein Investor kann sich auf Basis eines Franchisevertrags am Konzept MDI

---

<sup>173</sup> <http://moderntimes.orf.at>, geladen am 09.05.02, um 11:15 Uhr.

- "schlüsselfertige Fabrik" beteiligen. Durch die Errichtung dieser lokalen Fabriken wird unter anderem gewährleistet, dass Arbeitskräfte aus der Region für Kunden aus der Region die Fahrzeuge produzieren. Dadurch entseht ein wirtschaftlicher Faktor und als Nebeneffekt entfallen langwierige Transporte der MDI - Fahrzeuge per LKW, was wiederum eine Entlastung der Umwelt bedeutet.

Die Idee des Luftautos ist allerdings nicht ganz neu. VW hat bereits in den 70-iger Jahren daran geforscht, die Bemühungen aber wieder eingestellt. Es verwundert nicht, dass es zahlreich Stimmen gibt, die einer Realisierung des MDI, unter anderem auf Grund der Größe der Firma, keine Chance einräumen. Eigentlich sollten sich die großen Automobilhersteller der Herausforderung der Einführung solch innovativer Konzepte stellen. Mit einem Preis von 12.000 Euro wäre der MDI zumindest konkurrenzfähig.

## **Teil 5 – Zusammenfassung**

In diesem Teil wird eine Gegenüberstellung aller vorgestellten alternativen Treibstoffe geben. Aufgrund der besseren Übersichtlichkeit wird dies mit Hilfe einer positiv-negativ Tabelle gemacht.

### **10. Gegenüberstellung der vorgestellten Alternativen**

Das Pflanzenöl spielt seine Stärken besonders bei der Sicherheit aus. Die Lagerung und der Transport ist gefahrlos. Dadurch könnte man an neue Wege des Vertriebs denken. Große Handelsketten könnten ohne besondere Umbauten wegen Sicherheitsbestimmungen eine Pflanzenöltankstelle betreiben. Doch nicht nur für den Handel könnte dieser alternative Treibstoff Impulse geben, auch im Zusammenhang mit der Erzeugung im Bereich der Landwirtschaft kann es entscheidende Vorteile bringen. Durch den verstärkten Anbau der Ölpflanzen könnten Brachen vermieden werden und der Staat bzw. die Europäische Union würde sich einen großen Teil der Subventionen ersparen. Im Zusammenhang mit der EU-Osterweiterung kommt diesem Punkt eine nicht zu vernachlässigende Bedeutung zu.

Durch die neuen Motorgenerationen wird der Einsatz des Pflanzenöls immer unproblematischer. Dem RME-Einsatz, also Biodiesel, steht seit längerer Zeit nichts mehr im Wege, obwohl es immer noch Hersteller gibt, die eine Umrüstung auf RME-Betrieb nur gegen Aufpreis erledigen, wobei andere dies schon im Serienpaket haben.

<b>Pflanzenöl</b>	+	-
Erzeugung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dezentral erzeugbar und regional verfügbar</li> <li>• Gewinn durch einfache Wiederaufbereitung von Küchenöl etc.</li> <li>• Ölpflanzen als Substitut für Drogenanbau in Entwicklungsländern</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zur Zeit wenig verfügbare Flächen</li> </ul>
Sicherheit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• hohe Transportsicherheit</li> <li>• hoher Flammpunkt</li> <li>• gefahrlose Lagerung</li> </ul>	-
Technik	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schnellere Verbrennung durch höheren Wasserstoffanteil gegenüber fossilen Brennstoffen</li> <li>• Auch als Schmiermittel einsetzbar</li> <li>• Pflanzenöl hat hohen O-Anteil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Polymerisation des Motoröles</li> <li>• Schlechte Zündwilligkeit</li> <li>• Problem der Viskosität</li> </ul>
Umwelt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anbau gibt Impulse für Landwirtschaft. Auch im Hinblick auf EU-Erweiterung</li> <li>• Nebenprodukt ist Futtermittel</li> <li>• Geringe Anpassung des Motors bzw. nach der Umesterung (RME) entfällt die Anpassung ganz</li> <li>• Weder Toxizität, Wassergefährdung noch Feuergefährlichkeit sind vorhanden</li> <li>• Nachwachsender Rohstoff</li> <li>• CO<sub>2</sub>-neutral</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bodendüngung</li> <li>• RME hat negative Energiebilanz</li> </ul>
Wirtschaftlichkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Steuerbegünstigt</li> <li>• Biodiesel ist an der Tankstelle billiger</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bei Produktion teurer</li> </ul>

Der Wasserstoff spielt seine Vorteile vor allem im Bereich der Umwelt aus. Das Endprodukt der Verbrennung ist Wasser, somit völlig ungefährlich für Umwelt und Gesundheit. Gegen diese Technologie spricht aber die energieaufwendige und zumeist nicht umweltfreundliche

Produktion. Für eine „reine“ Produktion müsste die gesamte Energie beispielsweise aus Solarenergie erzeugt werden. Auf die Produktion folgt der problematische Transport bzw. Vertrieb – nicht zuletzt auf Grund der noch nicht vorhandenen Infrastruktur.

Der Einsatz des Treibstoffes erfolgt entweder über die Brennstoffzelle oder auch im herkömmlichen Ottomotor. Das Hauptproblem – die Reichweite – unterscheidet sich dabei nicht bei den beiden Einsatzmöglichkeiten. Den herkömmlichen Treibstoffen ist der Wasserstoff in der Kilometerleistung deutlich unterlegen. Dies eröffnet wiederum die Möglichkeit des Einsatzes in Bifuel-Techniken – also der Einsatz in modifizierten Autos, die mit zwei Treibstoffen angetrieben werden können. Dabei kann der Wasserstoff in der Stadt aus Gründen des Umwelt- und Gesundheitsschutzes genutzt werden, im Gegensatz zu Überlandfahrten, wo fossile Treibstoffe ihre Reichweitevorteile ausspielen.

An der Wasserstoff-Technik wird aber noch sehr viel geforscht und es ist mit weiteren Verbesserungen in den nächsten fünf Jahren zu rechnen.

<b>Wasserstoff</b>	+	-
<i>Erzeugung</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mobiler Energieträger</li> <li>• Bei Produktion entstehen Nebenprodukte, die wiederverwendet werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hoher Energiebedarf bei der Produktion</li> <li>• Kaum vorhandene Infrastruktur</li> </ul>
<i>Sicherheit</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Innerhalb des Tanks weniger Explosionsgefahr als bei Benzin oder Diesel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wegen Sicherheitsproblemen darf flüssiger H<sub>2</sub> nicht in Tiefgaragen und Tunnels einfahren</li> <li>• In Verbindung mit Sauerstoff besteht Explosionsgefahr</li> </ul>
<i>Technik</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Brennstoffzellen haben einen geringen Wartungsaufwand</li> <li>• H<sub>2</sub> kann auch in Ottomotoren verbrannt werden</li> <li>• Hoher Wirkungsgrad</li> <li>• Hohe gewichtsbezogene Energiedichte</li> <li>• Bifuel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reichweite</li> <li>• Schwere Tanks</li> </ul>
<i>Umwelt</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Brennstoffzellen arbeiten völlig emissionsfrei</li> <li>• Wasserstoff verbrennt zu Wasser</li> </ul>	-
<i>Wirtschaftlichkeit</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• An der Tankstelle billiger</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Investitionsvolumina</li> </ul>

Erdgas ist wie Erdöl ein fossiler Brennstoff und nicht unbegrenzt vorhanden. Nichts desto trotz wird er von vielen Autobauern als ein Zukunftstreibstoff angesehen. Dies wird besonders über die niedrigere CO<sub>2</sub>-Bildung bei der Verbrennung und den insgesamt geringeren Emissionen begründet. Die fehlende Infrastruktur im Bereich der Tankstellen und die geringe Reichweite stellen aber bis jetzt noch ungelöste Probleme dar. Dadurch wird der Bifuel-Einsatz auch für diesen Treibstoff interessant. Die gleichen Überlegungen wie beim Wasserstoff kommen bezüglich Umweltschutz, Gefährdung der Gesundheit und Reichweite

zum Tragen. Für den Konsumenten ist aber vor allem der niedrigere Abgabepreis im Vergleich zu den herkömmlichen Treibstoffen von Bedeutung.

<b>Erdgas</b>	+	-
<i>Erzeugung</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erdgas ist Primärenergie</li> </ul>	-
<i>Sicherheit</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ähnlich Ottokraftstoffen</li> </ul>	-
<i>Technik</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bifuel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fehlende Infrastruktur</li> <li>• Reichweite</li> </ul>
<i>Umwelt</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Niedrige CO<sub>2</sub>-Bildung bei der Verbrennung</li> <li>• Weniger Emissionen insgesamt z.B. NO<sub>x</sub>, KW's</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nicht CO<sub>2</sub>-neutral</li> </ul>
<i>Wirtschaftlichkeit</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Billiger als herkömmliche Treibstoffe</li> </ul>	-

Der Einsatz von Alkohol als Treibstoff ist vor allem in Südamerika von großer Bedeutung. Aufgrund der fehlenden Ölvorkommen in Verbindung mit geringer Kaufkraft und hoher Verschuldung wurde früh auf diese Technologie gesetzt und immer weiterentwickelt. Als Rohstoff wurde Zuckerrohr, das in großen Mengen vorhanden war, eingesetzt. Die Vorteile liegen neben der Unabhängigkeit von fossilen Brennstoffen vor allem im problemlosen Einsatz in herkömmlichen Automobilen. Daneben ist Alkohol steuerbegünstigt, somit ein billiger Treibstoff und schont die Umwelt.

<b>Alkohole</b>	+	-
<i>Erzeugung</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dezentral erzeugbar</li> </ul>	-
<i>Sicherheit</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ähnlich Ottokraftstoffen</li> </ul>	-
<i>Technik</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Viele Erfahrungen in</li> <li>• Brasilien</li> <li>• Einsatz in herkömmlichen Kfz möglich</li> </ul>	-
<i>Umwelt</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Klimaneutral</li> </ul>	-
<i>Wirtschaftlichkeit</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Steuerbegünstigt</li> <li>• Gefördert</li> </ul>	-

Der große Vorteil der batteriebetriebenen Fahrzeuge besteht in der Geräuscharmheit und der Emissionsfreiheit. Diese Kombination spricht für den Einsatz in innerstädtischen Bereichen. Dies wird auch durch die geringe Reichweite und Leistung verstärkt. Aus umweltpolitischer Sicht spricht aber die Tatsache, dass der Strom erzeugt werden muss, also keine Primärenergie ist, gegen den Einsatz dieser Technologie. Zur Zeit gibt es noch Probleme mit der geringen Lebensdauer und Entsorgung der Batterien. Durch strengere Emissionsgesetze bzw. Initiativen wie ZEV in Kalifornien wird aber verstärkt Forschung betrieben, um diese Nachteile zu lösen.

<i>E-Mobile</i>	+	-
Erzeugung	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Strom muss erzeugt werden</li> <li>• Schlechte Energiebilanz</li> </ul>
Sicherheit Technik	-	-
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Effiziente Antriebskonfiguration möglich</li> <li>• Bremsenergie wird einfach nutzbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geringe Lebensdauer der Batterie</li> <li>• Geringe Reichweite</li> <li>• Geringe Leistung</li> <li>• Entsorgung der Batterie</li> </ul>
Umwelt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geräuscharm</li> <li>• Emissionsfrei</li> </ul>	
Wirtschaftlichkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Billiger</li> </ul>	-

Von den oben vorgestellten alternativen Treibstoffen scheinen die folgenden drei Lösungen in den nächsten 20 Jahren mengenmäßig – also mehr als 5% des gesamten Kraftstoffverbrauchs - die größten Chancen zu bieten:

- Biokraftstoffe
- Erdgas
- Wasserstoff/Brennstoffzellen

Die EU sieht die Entwicklung wie folgt:

<i>Jahr</i>	<i>Biokraftstoffe %</i>	<i>Erdgas %</i>	<i>Wasserstoff %</i>	<i>Gesamt %</i>
2005	2	-	-	2
2010	6	2	-	8
2015	7	5	2	14
2020	8	10	5	23

**Tabelle 14: EU-Entwicklungs-Prognose alternativer Kraftstoffe**

Quelle: KOM(2001) 547, S. 14.

## Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: VERFÜGBARKEIT VERSCHIEDENER FOSSILER BRENNSTOFFE IN JAHRE.....	5
ABBILDUNG 2: ÖLVERBRAUCH IM JAHR 2000 IN PROZENT.....	7
ABBILDUNG 3: ENERGIEDICHTE DES WASSERSTOFFS IM VERGLEICH ZU ANDEREN KRAFTSTOFFEN .....	25
ABBILDUNG 4: GEWICHT DER VERSCHIEDENEN TANKS BEI GLEICHER ENERGIEMENGE.....	27
ABBILDUNG 5: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG EINER BRENNSTOFFZELLE .....	29
ABBILDUNG 6: PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH IN PROZENT .....	47
ABBILDUNG 7: ERDGASRESERVEN I.....	49
ABBILDUNG 8: ERGASRESERVEN II.....	50
ABBILDUNG 9: UMWELTBELASTUNGEN VERSCHIEDENER GASE IN PROZENT .....	52
ABBILDUNG 10: ÖKOSTEUERANTEIL AN DEN TREIBSTOFFPREISEN: .....	107

## Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: ENERGIEVERBRAUCH DER EU IM JAHR 2000	8
TABELLE 2: WELTWEITE CO <sub>2</sub> -EMISSIONEN NACH REGIONEN UND SEKTOREN IN MIO. TONNEN	
CO <sub>2</sub>	11
TABELLE 3: EIGENSCHAFTEN DES WASSERSTOFFS	19
TABELLE 4: FORTSCHRITTE DER E-MOBILE	39
TABELLE 5: CHARAKTERISTIKEN DER NICD, NIMH UND DES LI-IONEN AKKUS IN BEZUG AUF WICHTIGE EIGENSCHAFTEN	43
TABELLE 6: MASHEN- UND VOLUMENBEZOGENE ENERGIEDICHTE VON WASSERSTOFF IM VERGLEICH ZU ANDEREN ENERGIETRÄGERN	55
TABELLE 7: VERGLEICH DER TREIBSTOFFE FLÜSSIGGAS-ERDGAS	56
TABELLE 8: VERGLEICH VERSCHIEDENER TREIBSTOFFE HINSICHTLICH FLAMMPUNKT UND ZÜNDTEMPERATUR	58
TABELLE 9: VERGLEICH FOSSILDIESEL UND BIODIESEL DER GRAZER VERKEHRSBETRIEBE	63
TABELLE 10: HEIZWERT IN MJ/KG	67
TABELLE 11: FLÄCHENBEZOGENE ÖLERTRÄGE EINIGER PFLANZENARTEN	68
TABELLE 12: VISKOSITÄTSUNTERSCHIEDE DIESEL-RAPSÖL-RME	73
TABELLE 13: HEIZWERT DES RAPSÖLS	79
TABELLE 14: EU-ENTWICKLUNGS-PROGNOSE ALTERNATIVER KRAFTSTOFFE	96
TABELLE 15: E DIN 51 606	105
TABELLE 16: VERGLEICH DIESEL-RAPSÖL-RME	105
TABELLE 17: CHARAKTERISTISCHE EIGENSCHAFTEN DES RAPSÖLS	106
TABELLE 18: ENERGIEBILANZ ETHANOL	108

## Literaturverzeichnis

Buttlar H.-B.v., Müssig J., Theis M., Produkte aus Hanfsilage, Vortragmanuskript, Tagung Biorohstoff Hanf 97, Frankfurt/Main, 2.Auflage, 527-536, 1995

Buttlar,Chr.v.: Erhaltung pflanzengenetischer Ressourcen zur Energiegewinnung - dargestellt am Beispiel der Wintergerste. In: Alternativen in der Flächennutzung, der Erzeugung und Verwertung landwirtschaftlicher Produkte. In: VDLUFA-Schriftenreihe 38, 677 - 680, 1994

Johansson, Thomas B. [Ed.]: Renewable Energy. Sources for fuels and electricity. - Washington usw.: Island Press, 1993

Mayer A. et al.: VERT – Verminderung der Dieselemission im Tunnelbau. Ein europäisches Verbundprojekt von Suva, AUVA, TBG und BUWAL. In: Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 58, S. 25-32, 1998

Ortmeier, E.: Biomasseerzeugung und -verwertung - wie rechnet sich das? Arbeitsunterlagen DLG, Biomasseerzeugung zur direkten energetischen Nutzung, Bonn, S. 123 -146, 1992

Peavey, M. A.: "Fuel from Water, Energy Independence with Hydrogen", Merit, 1998

Rinke, G.: Reduzierung von Ammoniak- und Geruchsemissionen aus Gülle durch Zusatz von Silagepresssäften aus der Aufbereitung von Biomasse zu Brennstoff. In: Alternativen in der Flächennutzung, der Erzeugung und Verwertung landwirtschaftlicher Produkte. 106. VDLUFA-Schriftenreihe 38, 681-684, 1994

Scheffer, K.; Stülpnagel, R.: Wege und Chancen bei der Bereitstellung der CO<sub>2</sub>-neutralen Energieträgers Biomasse - Grundgedanken zu einem Forschungskonzept. Jutzi, S.C. und B. Becker (Hrsg.): Pflanzengenetische Ressourcen - Erhaltung und multiple, nachhaltige Nutzung. Der Tropenwirt, Beiheft Nr. 49, 147-161, 1993

Scheffer, K.; Stülpnagel, R.; Geilen, U.; Oefelein T.: Einfluss der Aufbereitung und Lagerung auf die Brennstoffeigenschaften feuchter Biomassen. Tagungsband „Eigenschaften fester Bioenergieträger - Beeinflussungsmöglichkeiten, Anforderungen, Normung", Kaltschmitt M.

(Hrsg.): Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe, Bd. 6, Landwirtschaftsverlag Münster, 89-107, 1996

Scheffer, K.: Anbau von Energiepflanzen und ihr Einsatz über Verbrennung und Vergasung, - Logistische Anforderungen und ökologische Bewertung. In: Energie aus Biomasse, eine Chance für die Landwirtschaft, Springer Verlag, S.138-147, 1993

Stülpnagel, R.: Bereitstellung und Verwertung von Biomassen vom Grünland und aus der Landschaftspflege; In: Energetische Nutzung von Biomasse in Konsens mit Osteuropa. Hrsg. Forum für Zukunftsenergie e.V., Intern. Tagung, 22-24. März 1994 in Jena. Tagungsband, 169-178, 1994

Weber, R.: Der sauberste Brennstoff, Olynthus, CH-Oberbözberg, 1991

Zittel, W.; Altmann, M.: Der Einfluss von Wasserdampf auf das Klima. Birgt eine Wasserstoffenergiewirtschaft höhere Klimarisiken als die Verbrennung fossiler Energieträger? In: ENERGIE, Nr. 4, Ottobrunn, 1994

Chichester G. B., Entwurf eines Berichts über das Grünbuch der Kommission "Hin zu einer europäischen Strategie für Energieversorgungssicherheit" (KOM(2000) 769 – C5-0145/2001 – 2001/2071(COS)), Brüssel, 2001

## **Quellen ohne Verfasser**

BMW Group, Clean Energy

DaimlerChrysler Research & Technology, Strom aus Wasserstoff und Sauerstoff, 2000

DaimlerChrysler, In the passing lane with a new driving system

Volkswagen AG, Potential alternativer Kraftstoffe und ausgeführte Konzepte, 1997

Volkswagen AG, Rahmenbedingungen und Zukunft der E-Mobile aus der Sicht des Herstellers, VDI, 1998

Volkswagen AG, Forschung, Umwelt und Verkehr

KOM(2001) 69, Mitteilung der Kommission an den Rat, das Europäische Parlament, den Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen über die Umsetzung der Gemeinschaftsstrategie und des Aktionsplans zu erneuerbaren Energiequellen (1998 - 2000), Brüssel, 2001

KOM(2000)769, Grünbuch, Hin zu einer europäischen Strategie für Energieversorgungssicherheit, Brüssel, 2000

KOM(2001) 547, Mitteilung der Kommission an den Rat, das europäische Parlament, den Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen über alternative Kraftstoffe für den Straßenverkehr und ein Bündel von Maßnahmen zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen, Brüssel, 2001

OECD, Environmentally Sustainable Transport Guidelines, Wien, 2000

OECD/IEA: Weltenergieausblick 2000, 2. Ausgabe, Paris, 2001

## **Elektronische Links**

Akademische Solartechnikgruppe Darmstadt e.V. - <http://www.akasol.de>

Akkumulatoren Aufarbeitung Franchise GmbH - <http://www.akkufit.de>

Alternative Antriebe & Erneuerbare Energien - <http://www.hydrogeit.de>

Arbeiterkammer Steiermark - <http://www.akstmk.at>

Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie - <http://www.aee.at>

Automobilclub von Deutschland - <http://www.avd.de>

Auto-News - <http://www.auto-news.de>

Berliner Gaswerke AG - <http://www.gasag.de>

Bewag Innovationspark Brennstoffzelle - <http://www.innovation-brennstoffzelle.de>

Bildungsserver für Chemie - <http://dc2.uni-bielefeld.de>

Billig Tanken-Rapsöl - <http://rapsoel.onlinehome.de>

BioCar - <http://www.biocar.de>

Biologie Leistungskurs - <http://www.biologie-lk.de>

Blockheizkraftwerk Information - <http://www.bhkwi-infozentrum.de>

BMW Group - <http://www.bmwworld.com>

Brennstoffzellen – Energiequellen der Zukunft - <http://www.diebrennstoffzelle.de>

Bundesanstalt für Landtechnik - <http://www.blm.bmlf.gv.at>

Bundeskanzleramt Informationsangebote - <http://www.ris.bka.gv.at>

Bundesverband für Gas- und Wasserwirtschaft - <http://www.bundesverband-gas-und-wasser.de>

California Air Resources Board - <http://www.arb.ca.gov>

Canadian Renewable Fuels Association - <http://www.greenfuels.org>

DaimlerChrysler AG - <http://www.daimlerchrysler.com>

Das PRÄKO Zahlenbuch - <http://www.agrarstatistik.at>

Deutscher Wasserstoff Verband - <http://www.dwv-info.de>

Die Energieverwertungsagentur - <http://www.eva.wsr.ac.at>

Die Vereinigten Werkstätten für Pflanzenöltechnologie - <http://www.pflanzenoel-motor.de>

Eidgenössische Alkoholverwaltung - <http://www.eav.admin.ch>

Elsbett GmbH - <http://www.elsbett.com>

Energie Informationen - <http://www.energieinfo.de>

Energiewissen - <http://strombasiswissen.bei.t-online.de>

Erdgasfahrzeuge - <http://www.erdgasfahrzeuge.de>

Esso Deutschland - <http://www.esso.de>

Europäische Union - <http://europa.eu.int>

Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V. - <http://www.fnr.de>

Fachverband der Mineralölindustrie - <http://www.oil-gas.at>

Fakultät für Physik, TU München - <http://www.physik.tu-muenchen.de>

Fire-World Online-Magazin - <http://www.fireworld.at>

Fraktion der SPD - <http://www.spdfraktion.de>

Gemeinde Heiligenkreuz - <http://www.heiligenkreuz.at>

Gesellschaft für bedrohte Völker - <http://www.gfbv.de>

Greenpeace Deutschland - <http://www.greenpeace.de>

Hamburger Bildungsserver - <http://www.hamburger-bildungsserver.de>

Handwerkskammer für München und Oberbayern - <http://www.hwk-muenchen.handwerk.de>

Hanf e.V. - <http://www.hanfnet.org>

Informationssystem Nachwachsende Rohstoffe - <http://www.inaro.de>

Institut für Kraftfahrwesen Aachen - <http://www.ika.rwth-aachen.de>

Institut für Verbrennungsmotoren, FH Konstanz - <http://www.invo.fh-konstanz.de>

International Energy Agency - <http://www.iea.org>  
Kfz Technik - <http://www.kfz-tech.de>  
Landes Energie Verein Steiermark - <http://www.lev.at>  
Landesgartenschau Grossenhain - <http://www.lgs.grossenhain.de>  
Lehrstuhl für Thermodynamik, TU München - <http://www.thermo-a.mw.tu-muenchen.de>  
Leichte Elektrische Transport Systeme - <http://www.lets-project.com>  
Licht-, Kraft- und Wasserwerke Kitzingen GmbH - <http://www.lkw-kitzingen.de>  
Magazin für Ökologie und Wirtschaft - <http://www.umweltschutz.co.at>  
Modern Times - <http://moderntimes.orf.at>  
Moteur Developpement International - <http://www.mdi.lu>  
Ölmühle Leer Connemann GmbH & Co. - <http://www.biodiesel.de>  
Organisation for Economic Cooperation and Development - <http://www1.oecd.org>  
Portal für Mobilität und Umwelt - <http://www.gibgas.de>  
Shell Aktiengesellschaft - <http://www2.shell.com>  
Stadtwerke Erfurt - <http://www.stadtwerke-erfurt.de>  
Steiermärkische Elektrizitäts-Aktiengesellschaft - <http://www.steg.co.at>  
Treibhauseffekt und Energiekosten - <http://www.k-tz.de>  
Umweltbundesamt Berlin - <http://www.umweltbundesamt.de>  
Umweltbundesamt Österreich - <http://www.ubavie.gv.at>  
Umweltjournal - <http://www.umweltjournal.de>  
Umweltministerium Bayern - <http://www.umweltministerium.bayern.de>  
Union zur Förderung der Öl- und Proteinpflanzen e.V. - <http://www.ufop.de>  
Varta Batterien - <http://www.varta.com>  
Volvo Aktiengesellschaft - <http://sc2.vcc.m.volvocars.se>  
Wissenschaft auf ORF - <http://science.orf.at>

## Anhang

<i>Eigenschaften</i>	<i>Einheit</i>	<i>DIN E 51 606</i>	<i>Prüfverfahren</i>
Dichte bei 15 °C	g/ml	0,875-0,900	ISO 3675
Kinematische Viskosität bei 40 °C	mm <sup>2</sup> /s	3,5-5,0	ISO 3104
Flammpunkt im geschlossenen Tiegel nach Pensky-Martens	°C	größer 100	ISO 2719
Grenzwert der Filtrierbarkeit (CFPP)			DIN EN 116
15.04. bis 30.09.	°C	0	
01.10. bis 15.11.	°C	-10	
16.11. bis 28.02. (in Schaltjahren bis 29.02.)	°C	-20	
01.03. bis 14.04.	°C	-10	
Schwefelgehalt	% Masse	max. 0,01	EN 24 260
Koksrückstand nach Conradson vom 10 volumensprozentigen Destillationsrückstand nach Destillation unter vermindertem Druck bei 1,33 PA (=1,33x10 <sup>2</sup> mbar)	% Masse	max. 0,30	ISO 10 370
Zündwilligkeit (Cetanzahl)		min. 49	ISO 5165
Asche	% Masse	max. 0,01	EN 26 245
Wassergehalt	mg/kg	max. 300	ASTM D 1744
Gesamtverschmutzung	mg/kg	max. 20	DIN 51 419
Korrosionswirkung auf Kupfer (3 h bei 50 °C)	Korr.Grad	max. 1	ISO 2160
Oxidationsstabilität		erforderlich	IP 306
Neutralisationszahl	mg KOH/g	max. 0,5	DIN 51 558-1
Methanolgehalt	% Masse	max. 0,3	noch zu Normen
Monoglyceride	% Masse	max. 0,8	noch zu Normen
Diglyceride	% Masse	max. 0,1	noch zu Normen

Triglyceride	% Masse	max. 0,1	noch zu Normen
Freies Glycerin	% Masse	max. 0,02	noch zu Normen
Gesamtglycerin	% Masse	max. 0,20	noch zu Normen
Jodzahl	g J/100g	max. 115	DIN 51 558-1
Phosphorgehalt	mg/kg	max. 10	noch zu Normen

**Tabelle 15: E DIN 51 606**

Quelle: Arbeitsgemeinschaft Qualitätsmanagement Biodiesel e.V. (AGQM)

	<i>Einheit</i>	<i>Diesel</i>	<i>Rapsöl</i>	<i>RME (Norm)</i>
Dichte	g/cm <sup>3</sup>	0,85	0,92	0,86-0,9
Viskosität	mm <sup>2</sup> /s	4,7	67	6,5-9,0
Heizwert	MJ/kg	43,6	37,3	36,4
Flammpunkt	°C	60	200	< 55
Cetanzahl	-	51	41	< 48
Schwefel	Gew.-%	0,2	0,0012	< 0,02
Phosphat	mg/kg	-	22	-

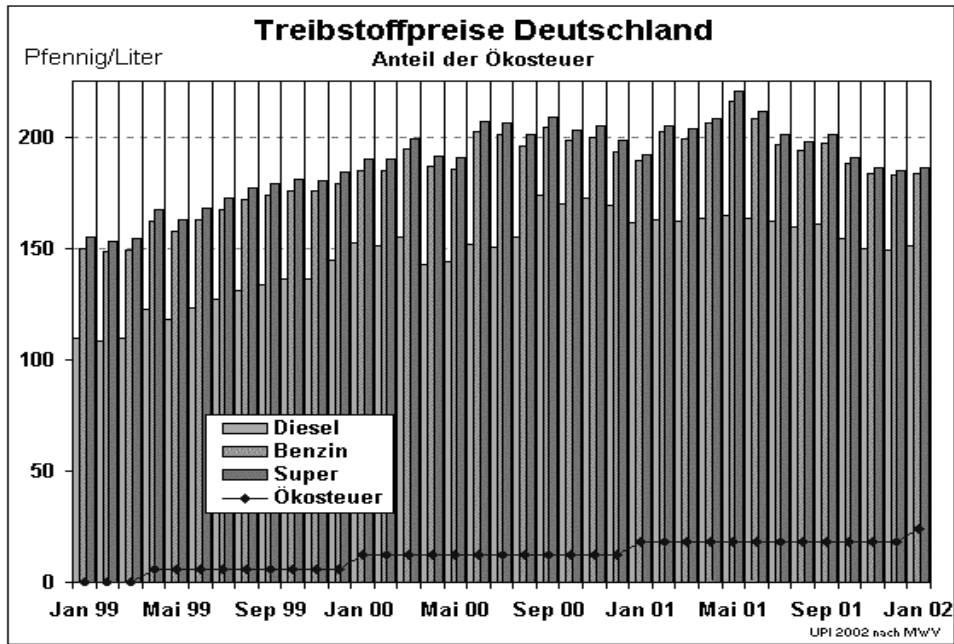
**Tabelle 16: Vergleich Diesel-Rapsöl-RME**

Quelle: Energietechnik GmbH

<i>Eigenschaften</i>	<i>Einheiten</i>	<i>Grenzwerte</i>
Dichte (15 °C)	kg/m <sup>3</sup>	900-930
Flammpunkt	°C	200-220
Heizwert	kJ/kg	35.000-37.200
Kinematische Viskosität (40 °C)	mm <sup>2</sup> /s	38
Cetanzahl	-	38-41
Koksrückstand	Masse - %	0,40
Iodzahl	g/100g	100-120
Schwefelgehalt	mg/kg	20
Variable Eigenschaften		
Gesamtverschmutzung	mg/kg	25
Neutralisationszahl	mg KOH/g	2,0
Oxidationsstabilität (110 °C)	H	5
Phosphorgehalt	mg/kg	15-22
Aschegehalt	Masse - %	0,01
Wassergehalt	Masse - %	0,075

**Tabelle 17: Charakteristische Eigenschaften des Rapsöls**

Quelle: Energietechnik GmbH, [http://www.umtech.de/pf\\_oel/link/eigen\\_set.htm](http://www.umtech.de/pf_oel/link/eigen_set.htm),  
<http://rapsoel.onlinehome.de>



**Abbildung 10: Ökosteueranteil an den Treibstoffpreisen:**

Quelle: Umwelt- und Prognose-Institut - <http://www.upi-institut.de/benzinpreise.htm> geladen am 04.02.2002. um 10:15 Uhr.

<i>Inputs</i>	<i>BTU/l<sup>174</sup> Ethanol</i>
<b>Inputs Einsatzmaterial</b>	
Dünger	1,022
Pestizide	107
Treibstoff	349
Bewässerung	1,597
Andere	825
Summe	3,901
<b>Inputs Weiterverarbeitung</b>	
Prozess Dampf	6,917
Strom	1,360
Massentransport	211
Andere	277
Summe	8,766
Summe Energie Input	12,667
<b>Outputs</b>	
Energie im Ethanol	22,217
Koppelprodukte	9,579
Summe Energie Output	31,796
Netto Energiegewinn	19,130 = 151%

**Tabelle 18: Energiebilanz Ethanol**

Quelle: Energieinformationssystem - [www.energieinfo.org](http://www.energieinfo.org)

174 British Thermal Unit. Energieeinheit speziell für Wärmeenergie. 1 BTU = 2.930 x 10<sup>-4</sup> kWh.