

Schule : Einhard Gymnasium Aachen  
Kurs : Sozialwissenschaften GK 2  
Lehrer : Herr Kosalla

Facharbeit



# Kann eine Grüne Wasserstoffwirtschaft das Energieproblem lösen?



Autoren : Sebastian Muschik und Kai Hippler  
Schuljahr : 2008/2009



# 1. Inhaltsverzeichnis

1. Inhaltsverzeichnis .....	2
2. Verzeichnis für Abkürzungen .....	3
3. Begriffserläuterungen .....	4
4. Vorwort .....	5
5. Einleitung.....	6
5.1. Energiepolitik – ökologische und soziale Probleme .....	6
6. Hauptteil .....	11
6.1. Probleme fossiler und nuklearer Energieträger .....	11
6.2. Konventionelle Erneuerbare Energien .....	19
6.3. Technik der Grünen Wasserstoffwirtschaft .....	21
6.4. Gibt es eine Konkurrenzsituation zur Nahrungsmittelproduktion?.....	24
6.5. Wirtschaftlichkeit .....	29
6.6. Volkswirtschaftliche Auswirkungen .....	36
7. Umsetzungsprobleme .....	36
7.1. Vorurteile gegen Wasserstoff als Energieträger.....	37
7.2. Erneuerbare-Energien-Gesetz – Hindernis.....	38
7.3. Das Energiekartell - Energielobbyismus .....	38
8. Umsetzungsstrategien.....	41
8.1. Umsetzung mit Hilfe des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) .....	41
8.2. Ausblick auf mögliche Entwicklung .....	44
9. Schlussteil.....	45
9.1. mögliche Probleme des Systems .....	45
9.2. Fazit & Stellungnahme .....	46
10. Erklärung über die selbständige Verfassung der Arbeit.....	49
11. Anhang.....	50

## 2. Verzeichnis für Abkürzungen

<b>Abkürzung</b>	<b>Erläuterung</b>
1, 2, 3	Fußnoten
I, II, III	Endnoten (Anhang)
AKW	Atomkraftwerk
atro	<b>absolute Trockenmasse</b>
BAM	<b>Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung</b>
bbf	<b>blue barrel</b> = blau gekennzeichnetes Fass mit 159 Litern
bbf	Barrel (Mengeinheit)
BHKW	<b>Brenn-Heiz-Kraftwerk</b>
BMU	<b>Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit</b>
BMW	<b>Bayerische Motorenwerke</b>
BMWi	<b>Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie</b>
BZ	<b>Brennstoffzelle</b>
Castor	<b>cask for storage and transport of radioactive material</b>
CO <sub>2</sub>	<b>Kohlenstoffdioxid</b>
DIW	<b>Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung</b>
DLR	<b>Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt</b>
DWV	<b>Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellenverband</b>
EED	<b>Evangelischen Entwicklungsdienst</b>
EEG	<b>Erneuerbare-Energien-Gesetz</b>
EnBW	<b>Energie Baden-Württemberg AG</b>
EU	<b>Europäische Union</b>
EVU	<b>Energieversorgungsunternehmen</b>
FC	<b>Fuell Cell = Brennstoffzelle</b>
FZJ	<b>Forschungszentrum Jülich</b>
FZK	<b>Forschungszentrum Karlsruhe</b>
GAU	<b>Größter anzunehmender Unfall</b>
GAU	<b>Größter Anzunehmender Unfall</b>
GW	<b>Gigawatt (Leistungseinheit)</b>
IE	Institut für Energie und Umwelt
IEA	<b>International Energy Agency = Internationale Energieagentur</b>

<b>Abkürzung</b>	<b>Erläuterung</b>
IEF-3	Institut für <b>E</b> nergieforschung – 3, Brennstoffzellen (zu FZJ)
IPCC	<b>I</b> ntergovernmental <b>P</b> anel on <b>C</b> limate <b>C</b> hange
IWF	<b>I</b> nternational <b>W</b> ährungs <b>f</b> onds
J	<b>J</b> oule (Energieeinheit)
KKW	<b>K</b> raf <b>w</b> ärmekopplung
kW	<b>K</b> ilowatt (Leistungseinheit)
kWh	Kilowattstunde
MW	<b>M</b> egawatt (Leistungseinheit)
NawaRo	Nachwachsende <b>R</b> ohstoffe
OPEC	<b>O</b> rganization of the <b>P</b> etroleum <b>E</b> xporting <b>C</b> ountries
PJ	<b>P</b> etajoule (Energieeinheit)
SCP	<b>S</b> ingel <b>C</b> ell <b>P</b> rotein = Einzellereiweiß
t	<b>T</b> onne (Gewichtseinheit)
UNEP	<b>U</b> nited Nations <b>E</b> nvironment <b>P</b> rogramme
WEO	<b>W</b> orld <b>E</b> nergy <b>O</b> utlook des IEA
WTO	<b>W</b> el <b>t</b> handels <b>o</b> rganisation
z. n.	zitiert <b>n</b> ach

### **3. Begriffserläuterungen**

<b>Begriff</b>	<b>Erläuterung</b>
Blow-Out	Explosionsartige Freisetzung von Methan am Meeresboden. Es wird die Tragfähigkeit des darüber liegenden Wassers verringert und bei entsprechendem Ausmaß des Blow-Outs können Schiffe sinken.
Tailing	Sammelbehälter für hochgiftige Abwässer aus der Erzaufbereitung, meist Uranerz
Volllaststundenzahl	Die Zahl der Stunden in denen eine Anlage rein rechnerisch im Jahr unter Volllast gelaufen ist. Beispielsweise ergeben zwei Stunden mit halber Leistung eine Volllaststunde.
t atro	Tonne absolute Trockenmasse

## **4. Vorwort**

Wir bedanken uns vielmals für die persönlichen Auskünfte und Informationen

von

Herrn Karl-Heinz Tetzlaff,

Manfred Richey

und

Torsten Pörschke.

## 5. Einleitung

### **5.1 Energiepolitik – ökologische und soziale Probleme**

Energie – das ist das, was uns am Leben hält. Wir atmen den Sauerstoff der Luft, der unsere Muskeln mit Energie speist, wir nehmen Wasser und Nahrung zu uns, die uns dazu befähigen Arbeit zu verrichten, durch die wir wiederum unseren Lebenserhalt bestreiten können.

Wir nahmen Holz und verbrannten es, um der Kälte der Natur zu entkommen – seit der Industriellen Revolution machen wir uns sogar thermodynamische Maschinen zur Stromerzeugung und zum Transport zu Nutze, Errungenschaften unserer Zivilisation und Basis unseres Wohlstandes.

Energie, das ist sozusagen der “nervus rerum” der Nerv aller Dinge, wie Hermann Scherr sagte.<sup>1</sup> Die Energiefrage ist somit von existenzieller Bedeutung für die Menschheit.

Früher war es der Zugang zu Holz, um im Winter nicht zu erfrieren, heute bestimmt der Zugriff auf Öl- und Gasreserven über Wohlstand und Sicherheit. Die Industrienationen sind vom Öl unweigerlich absolut abhängig. Ohne Öl würden die meisten Menschen verhungern, denn kein Bauer könnte seine Felder mit Maschinen bestellen, geschweige denn die Lebensmittel in die nächste Stadt liefern. Öl ist Schmiermittel der Weltwirtschaft. Es hat als Kraftstoff die heutige Form der Globalisierung überhaupt erst möglich gemacht.

Es zeigt sich, dass die Verfügbarkeit von Energie und der ungehinderte Zugang zu dieser also das Schicksal der Gesellschaften des 21. Jhd. bestimmen. Unsere Energiewirtschaft hat unglaubliche Auswirkungen und Einwirkungen auf alle Bereiche des alltäglichen Lebens, wie diese Facharbeit zeigen wird. Energiepolitik ist somit zu Recht ein zentraler Bestandteil der öffentlichen Debatte. Die EU rückt “das Thema Energiesicherheit ins Zentrum ihrer Außenpolitik”, hat Kommissarin Benita Ferrero-Waldner verkündet.<sup>2</sup> Energiepolitik heute ist also auch von internationaler Bedeutung.

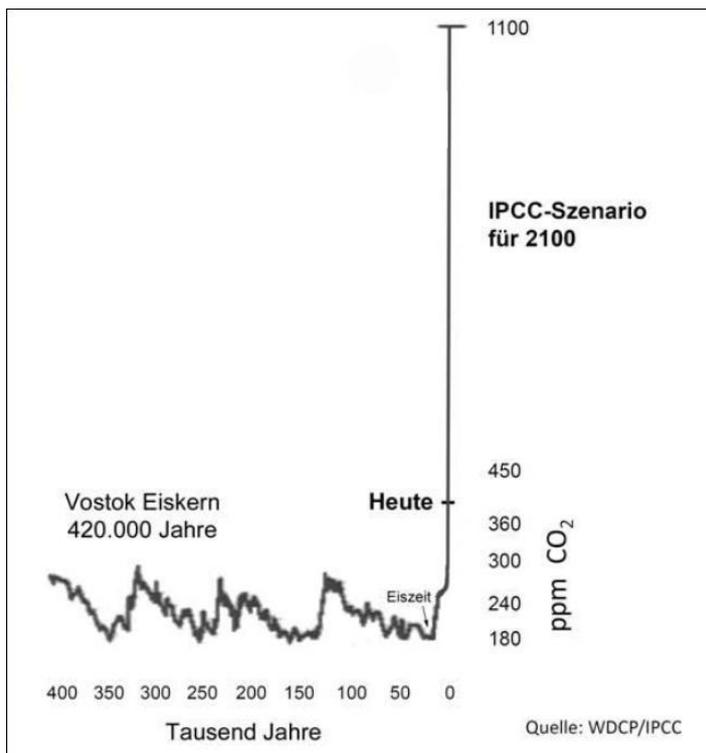
Bei der Frage um Energie geht es aber nicht allein um Energiesicherheit, um unsere heutige Form des Wohlstandes zu erhalten und ernsthafte Versorgungskrisen zu verhindern, es geht um weit mehr. So steht die Menschheit derzeit der größten ökologischen Bedrohung überhaupt entgegen: dem Klimawandel. Oder besser gesagt: Klimakatastrophe. Hauptsächliche Ursache dieses Phänomen ist die durch Verbrennung fossiler Energieträger

---

<sup>1</sup> Tetzlaff, Karl-Heinz, *Bio - Wasserstoff*, 2005, (Books on Demand), S. 27.

<sup>2</sup> Follath, Erich; Jung, Alexander (Hg.), *Der neue kalte Krieg – Kampf um die Rohstoffe*, München 2006<sup>1</sup>, Spiegel Buchverlag), S. 12.

verursachte Freisetzung des Treibhausgases CO<sub>2</sub>.<sup>3</sup>



Grafik 1 – CO<sub>2</sub>-Konzentration

Grafik 1 zeigt, wie dramatisch der Anstieg der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration sich entwickelt. Das führt zu einer durchschnittlichen Erwärmung der Erdoberfläche und stellt eine ernstzunehmende Bedrohung für das gesamte Ökosystem der Erde dar. Als Beispiele seien das Abschmelzen von Polkappen, häufigere Überschwemmungen und Dürren, das Artensterben, vermehrtes Auftreten von Wirbelstürmen und langfristig Hunger- und Wasserkrise genannt.<sup>4 5</sup> Der Geschäftsführer von “H2Works”, einem Verein, der die Wasserstoffwirtschaft forciert, meint dazu nur sarkastisch: “Steigt der globale Jahrestemperaturdurchschnitt um mehr als 2,5°C dann werden 30% aller Arten von Lebewesen aussterben. Die Frage ist nur: Ist Der Mensch eines davon?”<sup>6</sup> Das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung vermutet, ein ungestoppter Klimawandel könnte bis zum

<sup>3</sup> Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) database; <http://cait.wri.org/> (2009).

<sup>4</sup> P. C. D. Milly, R. T. Wetherald, K. a. Dunne, T. L. Delworth, *Increasing risk of great floods in a changing climate*, in: *Nature*, S. 514–517, V. 415, <http://www.nature.com/nature/journal/v415/n6871/abs/415514a.html> (31.1.2002).

<sup>5</sup> Hare, William in: *Relationship between increases in global mean temperature and impacts on ecosystems, food production, water and socio-economic systems*, [http://www.stabilisation2005.com/58\\_Bill\\_Hare.pdf](http://www.stabilisation2005.com/58_Bill_Hare.pdf), (2005).

<sup>6</sup> Engels, Thomas, Geschäftsführer des Verein “H2Works”, persönliches Gespräch.

Jahre 2050 bis zu 200 Billionen US-Dollar volkswirtschaftliche Kosten verursachen.<sup>7</sup> Dagegen kommen einem die „Konjunkturpaketchen“ aufgrund der Finanzkrise und weltweiter Rezession in den Jahren 2008 und 2009 ziemlich winzig vor. Besonders leiden unter dem Klimawandel die Menschen der Entwicklungsländer beispielsweise in Afrika, denn das Ökosystem in ihren Breitengraden ist deutlich anfälliger und instabiler gegenüber Klimaveränderungen.<sup>8</sup> Zudem haben sie eine drastisch schlechtere Infrastruktur als die Industrieländer, so dass sie sich auch weniger gut gegen etwaige Umweltkatastrophen schützen oder wehren können.<sup>9</sup> Unfair, da die Entwicklungsländer eigentlich gar nicht die Schuld für das Problem tragen. Insofern ist das Thema Klimawandel stark mit dem Thema Gerechtigkeit verknüpft. Wenn die Industriestaaten nicht schnell handeln, dann besiegeln sie nicht nur ihr Schicksal, sondern noch stärker das der ärmeren Länder.

Genau genommen haben wir nicht nur ein Klima-, sondern vor allem ein Zeitproblem. So müssten in den nächsten 10-15 Jahren international enorme Anstrengungen unternommen werden, wenn man verhindern wolle, dass sich die Klimaerwärmung nicht über +2°C hinaus fortsetzt. Ansonsten würden bestimmte Kippmechanismen im Klimasystem freigesetzt werden, die den ganzen Prozess verstärken und praktisch unkontrollierbar machen.<sup>10</sup> Will man den Klimawandel also aufhalten, so gilt es, den CO<sub>2</sub>-Ausstoß massiv zu senken – weltweit. Das geht am besten durch den Einsatz regenerativer Energiequellen.

Von diversen ökologischen Problemen einmal abgesehen: Wäre es nicht auch sinnvoll die Methoden unserer Energiegewinnung zu verändern, wenn wir keinen anthropogenen Treibhauseffekt verursachen würden?

Das Problem der fossilen Ressourcen ist auch ihre räumlich wie zeitlich begrenzte Verfügbarkeit. „Alle wichtigen Mächte – die USA, Europa, Russland und die Aufsteiger China und Indien – geben inzwischen ihrer Ressourcen-Sicherheit politische Priorität Nummer eins.“<sup>11</sup> Es zeichnen sich zunehmend Konflikte um die wertvollen Ressourcen, insbesondere Öl ab, das als wichtigste Ressource mit 40% den Weltprimärenergiebedarf

---

<sup>7</sup> Vgl. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung unter: <http://www.diw.de/deutsch/43450.html> (15.02.2009) S. 4.

<sup>8</sup> Vgl. Gründinger, Wolfgang, *Die Energiefalle – Rückblick auf das Erdölzeitalter*, München 2006<sup>Originalausgabe</sup>, (Verlag C. H. Beck oHG), S. 222.

<sup>9</sup> Gründinger, Wolfgang, *a. a. O.*, S. 222.

<sup>10</sup> Inhalt der Präsentation eines Germanwatch-Mitarbeiters beim Jugendforum „Heiße Zeiten“ zum Thema Klimawandel des „Eine Welt Netzwerk NRW“, (Dez. 08).

<sup>11</sup> Follath, Erich; Jung, Alexander (Hg.), *a. a. O.*, S. 19.

deckt.<sup>12</sup> Dass es im Irakkrieg nicht um vermeintliche Massenvernichtungswaffen, sondern um Öl ging, muss nicht erst gesagt werden.<sup>13 14 15 16</sup> Das sich die ganze Welt aber eigentlich schon auf dem Weg in den Krieg um das letzte „cheap-oil“ befindet, dessen ist sich ein Großteil der Bevölkerung nicht im Klaren. Das 21. Jhd. werde durch einen „Krieg um die Ressourcen“ geprägt.<sup>17</sup> So fördern alle großen Ölkonzerne in Nigeria Öl, das Land, das inzwischen zum sechst größten Ölexporteur aufgestiegen ist. Leider kann die arme Bevölkerung aber nicht von den Petrodollars profitieren, stattdessen werden die Felder der Bauern durch die Ölförderungen verseucht und die korrupte Regierung finanziert sich durch die Öleinnahmen, ohne sich um die eigenen Landsleute zu kümmern. 2,6 Mio. Barrel können in Nigeria am Tag gefördert werden, real kommen davon durch politische Unruhen aber nur 2 Mio. an. Immer wieder werden durch Rebellen Förderanlagen oder Pipelines manipuliert und beschädigt. Die Rebellen wollen die ausländischen Ölkonzerne, welche mit dem afrikanischen Staat kooperieren, vertreiben. Das Land versinkt im Bürgerkrieg, und die USA, die von dem Öl so sehr abhängig ist, versucht, das Öl militärisch zu sichern, in dem sie die afrikanischen Soldaten der Regierung ausbilden.<sup>18</sup>

Nigeria ist kein Einzelfall. Der Ressourcensegen vieler Entwicklungsländer sorgt für innere Konflikte, denn die Ressourcen sind sehr wertvoll. Finanziert werden die Kriege dann durch die Exporteinnahmen. Auch wenn gelegentlich behauptet wird, es läge an ihrer eignen „Dummheit“, dass die afrikanischen Staaten trotz Ressourcenreichtum so arm sind, muss man sich fragen, wer ihnen denn die Ressourcen abkauft und Waffen verkauft! Der (im Moment unmögliche) Verzicht auf fossile Energieressourcen aus aller Herren Länder, wäre demnach aktive Friedenspolitik, denn ohne Geld und Waffen lässt sich kein Krieg führen. Vielleicht sind in Entwicklungsländern erst dann demokratische Reformen möglich.

---

<sup>12</sup> Verein zur Förderung von Biomasse und nachwachsenden Rohstoffen Freiberg e.V. unter:

<http://www.biomasse-freiberg.de/html/wissen.html> (15.02.2009)

<sup>13</sup> Gründinger, Wolfgang, *a. a. O.*, S.172-180 .

<sup>14</sup> „Vereinigte Staaten: Kampf um Öl statt Krieg gegen Terror“ in *Frankfurter Allgemeine Zeitung* vom 16.9.2002.

<sup>15</sup> Forschungspraktikum SoSe 2004, Univ.Prof. Dr. Eva Kreisky, Mag. Saskia Stachowitsch, „*Kriege im 21. Jahrhundert*“ - *Irak Kriegsgründe* unter:

[http://www.evakreisky.at/2004/fop/endberichte/2.1\\_irak\\_kriegsgruende.pdf](http://www.evakreisky.at/2004/fop/endberichte/2.1_irak_kriegsgruende.pdf) (15.02.2009).

<sup>16</sup> UPI – Umwelt- und Prognose – Institut e.V. unter: <http://www.upi-institut.de/irakkrieg.htm> (15.02.2009).

<sup>17</sup> Fedorow, Jurij, Russland-Experte des Think Tanks Chatham House in London, z. n. Follath, Erich; Jung, Alexander (Hg.), *a. a. O.*, S. 25.

<sup>18</sup> Dokumentarfilm von 3Sat, verfügbar unter: <http://plugingermany.wordpress.com/2008/07/03/die-welt-brennt-weltweiter-krieg-um-ol/> (03.07.2008).

Die Welt sieht sich also mit drei wesentlichen Problemen der Energiefrage konfrontiert: Umweltverträglichkeit, Energiesicherheit und Konflikten um Ressourcen. Es wird wohl nicht mehr lange dauern, bis der Krieg um den „letzten Tropfen Öl“ völlig eskaliert. Wir müssen uns entscheiden, ob wir weiter, vereinfacht gesagt, „Blut für Öl“ bezahlen wollen – und dann wird uns wohl auch bald der Klimaschutz egal sein.

Es „bedarf nichts Geringerem als einer Energierevolution“<sup>19</sup>, schreibt die IEA im World Energy Outlook 2008, um Klimawandel und Energiesicherheit zu gewährleisten.

Das Konzept der grünen Wasserstoffwirtschaft, das hier diskutiert wird, könnte ein solches Konzept sein. Es stellen sich die Fragen: Welche Probleme birgt das fossile Energiesystem im Detail? Kann eine Grüne Wasserstoffwirtschaft das Energieproblem lösen? Welche Probleme sind mit einem Wechsel verbunden? Dazu wird das heutige fossile Energiesystem mit der Grünen Wasserstoffwirtschaft verglichen.

---

<sup>19</sup> Vgl. IEA unter: [http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2008/WEO2008\\_es\\_german.pdf](http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2008/WEO2008_es_german.pdf), S.5 (2008).

## 6. Hauptteil

### 6.1 Probleme fossiler und nuklearer Energieträger

#### – Endlichkeit und Externalisierung von Kosten

Unser heutiges fossil-nukleares Energiesystem speist sich hauptsächlich aus den folgenden Quellen:

**Erdöl**, in erster Linie Rohstoff der Mobilität, aber auch zum Heizen, ist der Primärenergieträger Nummer eins und unterliegt starken Preisschwankungen. Das geschieht aufgrund von Spekulationen, sowie der steigenden Nachfrage durch Industrie- und Schwellenländer. Der CO<sub>2</sub>-Ausstoß beträgt bei Benzin 0,232 kg CO<sub>2</sub> pro kWh thermische Energie<sup>20</sup> und liegt damit relativ mittig. Die, auf den heutigen Verbrauch bezogene, statische Reichweite wird vom BMWi mit 41 Jahren beziffert.<sup>21</sup> Die Erdölförderung und der Transport, vor allem über See, führen immer wieder zu Kontaminierung und Verseuchung der Umwelt durch Öl. Paradebeispiel steht der Unfall der Exxon Valdez 1989, bei dem 42.000 Tonnen Rohöl ausliefen. Jährlich werden fast 2 Milliarden Tonnen Rohöl und Ölprodukte maritim transportiert, wobei sich des Öfteren weiterhin derartige Katastrophen ereignen.<sup>22</sup>

**Erdgas** wird vor allem zur Wärmebereitstellung benutzt. 53% der deutschen Haushalte heizen damit.<sup>23</sup> Die reinen Importkosten für Erdgas betragen Ende 2006 2,17 Cent/kWh.<sup>24</sup> Bei einem Wirkungsgrad einer Erdgasheizung von 90% betrüge der Preis für Wärme dann 2,41 Cent/kWh. Wohl gemerkt ohne Transportkosten, Steuern oder Unternehmensgewinne. Die

---

<sup>20</sup> Buchal, Christoph FZJ; DLR; FZK, *Energie*, Baden-Baden 2008<sup>2</sup>, (Koelblin-Fortuna-Druck GmbH & Co. KG), S. 46.

<sup>21</sup> BMWi, Energie – Reserven und Ressourcen unter:  
<http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/Binaer/Energiedaten/reserven-und-ressourcen1-erdoel-vorraete,property=blob,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.xls> (07.02.2009).

<sup>22</sup> Greenpeace unter:  
[http://www.greenpeace.de/themen/oel/oeltanker/artikel/grosse\\_tankerkatastrophen\\_1967\\_2003/](http://www.greenpeace.de/themen/oel/oeltanker/artikel/grosse_tankerkatastrophen_1967_2003/) (07.02.2009).

<sup>23</sup> Statistisches Bundesamt Deutschland unter:  
[http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Presse/pm/zdw/2004/PD04\\_\\_011\\_\\_p002,templateId=renderPrint.psml](http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Presse/pm/zdw/2004/PD04__011__p002,templateId=renderPrint.psml) (07.02.2009).

<sup>24</sup> Bund der Energieverbraucher, Kostenpreise für Erdgas unter:  
[http://www.energieverbraucher.de/de/Energiebezug/Erdgas/Preise/Kostenpreise/site\\_\\_1542/](http://www.energieverbraucher.de/de/Energiebezug/Erdgas/Preise/Kostenpreise/site__1542/) (07.02.2009).

Stromerzeugungskosten bei Erdgas werden auf 4,2 Cent/kWh beziffert.<sup>25</sup> Bei dem CO<sub>2</sub>-Ausstoß schneidet Erdgas mit 0,198 kg CO<sub>2</sub> / kWh Wärme am besten ab. Das BMWi ermittelt eine statische Reichweite des Erdgases von 60 Jahren.<sup>26</sup>

**Kohle** wird seit Beginn der Stromversorgung zur Elektrizitätserzeugung eingesetzt. Die Erzeugung einer Kilowattstunde kostet heute 2,9 (Braunkohle) bis 3,3 Cent bei Steinkohle.<sup>27</sup> Das ist im Vergleich sehr günstig. Allerdings muss die Kohle aufwendig aus der Erde geholt werden, dazu ist Untertagebau notwendig, bei dem es zu menschlich verursachten Erdbeben kommen kann.<sup>28</sup>

Wird Kohle im Tagebau (hierzulande Braunkohle) abgebaut, so werden dafür ganze Landstriche verwüstet oder Ackerfläche unwiederbringlich zerstört. Ganze Gemeinden müssen dem Braunkohletagebau weichen. 1,140 kg CO<sub>2</sub>/ kWh elektrische Energie werden bei der Erzeugung von Strom aus Braunkohle freigesetzt.<sup>29</sup> Das ist bei weitem der höchste Wert im Vergleich, somit trägt die Kohle, die gleichzeitig den größten Teil unserer Stromproduktion deckt, am meisten zur Erderwärmung bei.

Die Angaben zur statischen Reichweite der Kohle variieren. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie gibt teils 150 Jahren für Brau- und Steinkohle an<sup>30</sup>, teils 227 Jahr für Braun- und 169 Jahre für Steinkohle.<sup>31</sup> Jedenfalls besitzt die Kohle unter den fossilen Energieträgern die höchste statische Reichweite.

Bei jeder Verbrennung entsteht NO<sub>x</sub> (Stickoxide), das mitverantwortlich für sauren Regen

---

<sup>25</sup> Buchal, Christoph, *a. a. O.*, S. 98.

<sup>26</sup> BMWi unter: <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/Binaer/Energiedaten/reserven-und-ressourcen2-erdgas-vorraete,property=blob,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.xls> (14.03.2009).

<sup>27</sup> Buchal, Christoph, *a. a. O.*, S. 98.

<sup>28</sup> Verivox, „Stärkstes Erdbeben im Saarland nach Kohleabbau ohne schwere Schäden“ unter: <http://www.verivox.de/nachrichten/staerkstes-erdbeben-im-saarland-nach-kohleabbau-ohne-schwere-schaeden-8601.aspx> (01.03.2009).

<sup>29</sup> Buchal, Christoph, *a. a. O.*, S. 46.

<sup>30</sup> BMWi, Energie – Reserven und Ressourcen unter: <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/Binaer/Energiedaten/reserven-und-ressourcen3-kohle-vorraete,property=blob,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.xls> (07.02.2009).

<sup>31</sup> BMWi unter: <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/energieerohstoffbericht,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=d e,rwb=true.pdf> (08.02.2009).

und infolgedessen Waldsterben ist.<sup>32</sup>

**Uran** ist der Rohstoff, der zur Kernspaltung eingesetzt wird, um die dabei freiwerdende Energie zu nutzen. Atomstrom ist mit Abstand die strittigste Art, Nutzenergie zu erzeugen. Dabei wird besonders das Sicherheitsproblem diskutiert. Seit dem GAU in Tschernobyl 1986 rückte dieser Aspekt verstärkt in die öffentliche Debatte. Durch den Unfall starben zahlreiche Menschen entweder direkt oder als Folge der nuklearen Strahlung, die durch den GAU freigesetzt wurde. Die genaue Zahl der Todesopfer wird aber von verschiedenen Quellen mit starken Differenzen beziffert (UN-Bericht: 9.000; Greenpeace: > 93.000).<sup>33</sup> <sup>34</sup> Die Wahrscheinlichkeit für einen „Super-GAU“ in der EU beträgt im Zeitraum von 40 Jahren 1:6.<sup>35</sup> Es ist zu beachten, dass dies ein statistischer Wert ist. Der Unfall kann ganz ausbleiben oder morgen passieren und sich in zwei Wochen wiederholen.

Inzwischen wird auch das Risiko eines geplanten Flugzeugabsturzes in ein AKW diskutiert. Bei den angestellten Studien stellte sich heraus, dass kein einziges AKW in Deutschland derzeit wirklich sicher vor einem solchen (terroristischen) Anschlag geschützt ist.<sup>36</sup> Somit ist der Betrieb von AKWs in Deutschland eine theoretische Waffe für Terroristen. Hinzu kommt, dass kein Unfall eines AKW real versichert ist. Die Größe des hypothetischen Schadens ist einfach so groß, dass sich keine Versicherungsgesellschaft findet, die sich engagieren würde. Daher garantiert der Staat für die Folgen eines Unfalles aufzukommen. „Was so eine Garantie wert ist, lässt sich gut am Reaktorunglück in Tschernobyl studieren.“, meint Karl-Heinz Tetzlaff in seinem Buch „Wasserstoff für alle.“<sup>37</sup>

Ein immer noch weltweit ungelöstes Problem ist die sichere Endlagerung von tausende Jahre lang strahlendem, radioaktivem Atommüll, der beim Stromerzeugungsprozess anfällt. Da es beim Atommülltransport in Zwischenlager zu diversen Zwischenfällen kam, dürfen die Betreiber den Müll inzwischen in gewöhnlichen Lagerhallen neben den Reaktoren

---

<sup>32</sup> Bayerischer Rundfunk online, *Vor 25 Jahren - Saurer Regen, Waldsterben - vorbei und vergessen?*, unter: <http://www.br-online.de/bayern2/iq-wissenschaft-und-forschung/iq-feature-waldsterben-ID1214213460164.xml> (01.03.2009).

<sup>33</sup> Kriener, Manfred in TAZ unter: <http://www.taz.de/index.php?id=archivseite&dig=2006/04/19/a0042> (01.03.2009)

<sup>34</sup> tagesschau.de, *Atomkatastrophe von Tschernobyl*, unter: <http://www.tagesschau.de/ausland/meldung121894.html> (01.03.2009).

<sup>35</sup> Gründinger, Wolfgang, *a. a. O.*, S. 60.

<sup>36</sup> Aussage eines BMU-Sprechers im Film: *Strahlendes Klima*, erstellt durch die gleichnamige Initiative, der Film lässt sich unter: [www.strahlendesklima.de](http://www.strahlendesklima.de) kostenlos bestellen.

<sup>37</sup> Tetzlaff, Karl-Heinz, *Wasserstoff für alle*, 2008<sup>2</sup>, (Books on Demand), S.236.

zwischenlagern.<sup>38</sup> Damit ist man das Problem für die nächsten 40 Jahre los. Dann allerdings muss der Atommüll aus den heutigen Castorbehältern, von denen man nicht einmal weiß, wie man sie wieder öffnen soll, in neue, noch nicht verfügbare, für die Endlagerung (wie auch immer diese aussehen soll) geeignete Behälter, umgefüllt werden. Jeder Frittenbudenbesitzer muss nachweisen, wo er sein Fett entsorgt, bei AKWs reicht es, das Fett nebenan auf die Tresen zu stellen.<sup>39</sup>

Bei der Urangewinnung, die besonders intensiv in Australien stattfindet, sterben jährlich etwa 20.000 Menschen an Krebs.<sup>40</sup> Hinzu kommt, dass in der Nähe von AKWs die Leukämiegefahr für Kinder deutlich höher ist.<sup>41</sup>

CO<sub>2</sub> stößt ein AKW zwar nicht aus, aber auch die Aufbereitung, der Transport und der Abbau von Uran verschlingen große Mengen an Energie, so dass die CO<sub>2</sub>-Bilanz im Ganzen deutlich schlechter ausfällt als bei konventionellen Erneuerbaren Energien.<sup>42</sup> Der Energiebedarf um eine sichere Endlagerung zu gewährleisten, von der man noch immer nicht weiß, wie sie überhaupt zu realisieren ist, ist hier noch gar nicht mit einberechnet.

Inzwischen kostet Atomstrom aus abgeschriebenen Kraftwerken 3,5 Cent/kWh in der Erzeugung und ist damit immer noch etwas teurer als der Strom aus konventionellen (Kohle-)Kraftwerken.<sup>43</sup>

Die statische Reichweite von Uran beträgt etwa 68 Jahre.<sup>44</sup>

## **Endlichkeit**

Ein Problem, das alle fossilen Ressourcen gemeinsam haben, ist ihre Endlichkeit.

Die oben angegebenen statischen Reichweiten der Rohstoffe beziehen sich allerdings jeweils auf die gesicherten, wirtschaftlich und heute technisch nutzbaren „Reserven“. Würde man noch die nicht ausreichend ausgewiesenen, ökonomisch heute nicht zu fördernden, aber „aufgrund geologischer Indikatoren“ erwarteten Vorkommen, die „Ressourcen“ mit einbeziehen, so verlängert sich die Reichweite von Öl um 21, von Gas um 74, von

---

<sup>38</sup> Vgl. Gründinger, Wolfgang, *a. a. O.*, S.79.

<sup>39</sup> Vgl. Gründinger, Wolfgang, *a. a. O.*, S.79.

<sup>40</sup> Carl Amery, Hermann Scheer, *Klimawechsel*, München 2001<sup>1</sup> (Verlag Antje Kunstmann).

<sup>41</sup> Gründinger, Wolfgang, *a. a. O.*, S. 83.

<sup>42</sup> Dr. Emonts, Bernd, FZJ, IEF-3; in einem Vortrag für eine Schulklasse (01.02.08).

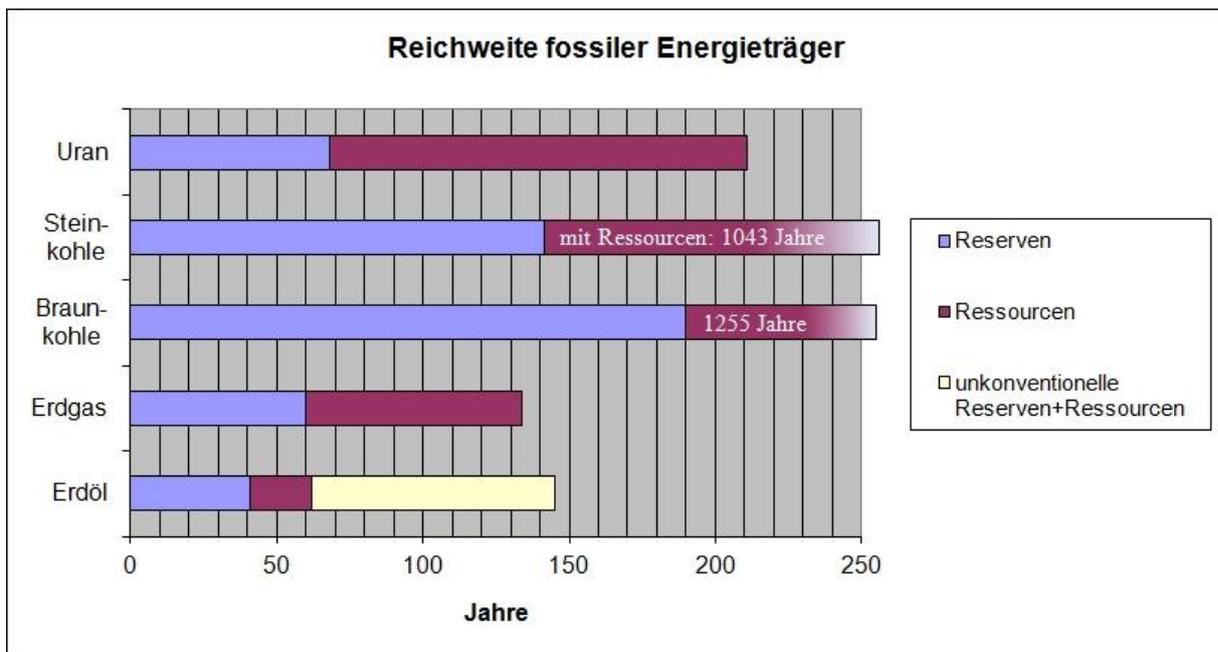
<sup>43</sup> Buchal, Christoph, *a. a. O.*, S. 98.

<sup>44</sup> BMWi unter:

<http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/energierohstoffbericht,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=d e,rwb=true.pdf> (07.02.2009).

Braunkohle um 1028, von Steinkohle um 874 und von Uran um 143 Jahre.<sup>45</sup> Es wird erwartet, dass durch Preissteigerungen auf dem Rohstoffmarkt wegen Knappheit auch diese Ressourcen in Reserven umgewandelt und genutzt werden.

Die Öl- und Gaskonzerne würden gerne eine zweite fossile Ära einläuten, unter Einbeziehung der so genannten „unkonventionellen Ressourcen“. Ölsande, Ölschiefer und Schweröl, sowie Gashydrate (in Wasser gefrorenes Methan, vergleichbar mit Erdgas) sollen gefördert werden. Für Öl könnte man damit die Reichweite theoretisch noch mal um 83 Jahre verlängern.<sup>46</sup> Grafik 2 zeigt die Reichweiten im Überblick.



Grafik 2 – Reichweiten

Der Mineralölwirtschaftsverband räumt jedoch ein, dass die Förderung nicht-konventionellen Öls dreimal so teuer ist, wie die des Gewöhnlichen.<sup>47</sup> Außerdem ist mit der Förderung und Aufbereitung großer technischer Aufwand verbunden, aufgrund geologischer Nachteile und schlechter Qualität. Das kostet wiederum Zeit, Geld und auch Energie, so dass die

<sup>45</sup> BMWi unter:

<http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/energierohstoffbericht,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf> (08.02.2009).

<sup>46</sup> BMWi unter:

<http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/energierohstoffbericht,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf> (08.02.2009).

<sup>47</sup> Vgl. Gründinger, Wolfgang, *a. a. O.*, S.26.

Nettoenergiebilanz schrumpft. Problematisch ist dann neben den Emissionen aus ökologischer Sicht auch der Abbau:

„Unkonventionelles Öl deckt heute gerade fünf Prozent an der gesamten Weltförderung. Will man diesen Anteil auch nur verdoppeln und das Öl z. B. in Kanada abbauen, würde dort Abraummateriale in der Größenordnung von vier bis fünf Cheopspyramiden täglich anfallen – das wären im Jahr 1600 Pyramiden, die man umweltverträglich beseitigen müsste.“<sup>48</sup>

Die Reichweite der Rohstoffe bleibt aber auch sicher nicht konstant, da sie durch steigenden Verbrauch noch einmal stark dezimiert wird.

Entscheidend ist aber gar nicht unbedingt die Frage nach der Reichweite von Öl. Möglicherweise sollte uns eher interessieren, wann wir das Fördermaximum („Oil-Peak“) erreichen, also der Zeitpunkt an dem aus wirtschaftlichen oder technischen Gründen die Ölproduktion nicht mehr erhöht werden kann. Denn dann werden die Kosten voraussichtlich in die Höhe schießen, auch und gerade mit unkonventionellen Ressourcen.

Die US-Geologiebehörde und die deutsche Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe prognostiziert, dass das Fördermaximum für konventionelles Erdöl zwischen 2015 und 2020 liegen wird.<sup>49</sup> „Es ist nun einmal so, dass immer weniger neue große Ölvorkommen entdeckt werden. Wir nähern uns unerbitterlich dem Fördermaximum“, so Friedrich-Wilhelm Wellmer, Präsident der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.<sup>50</sup> Auch laut einer Studie der „Energywatchgroup“ steht der Oil-Peak kurz bevor.<sup>51</sup>

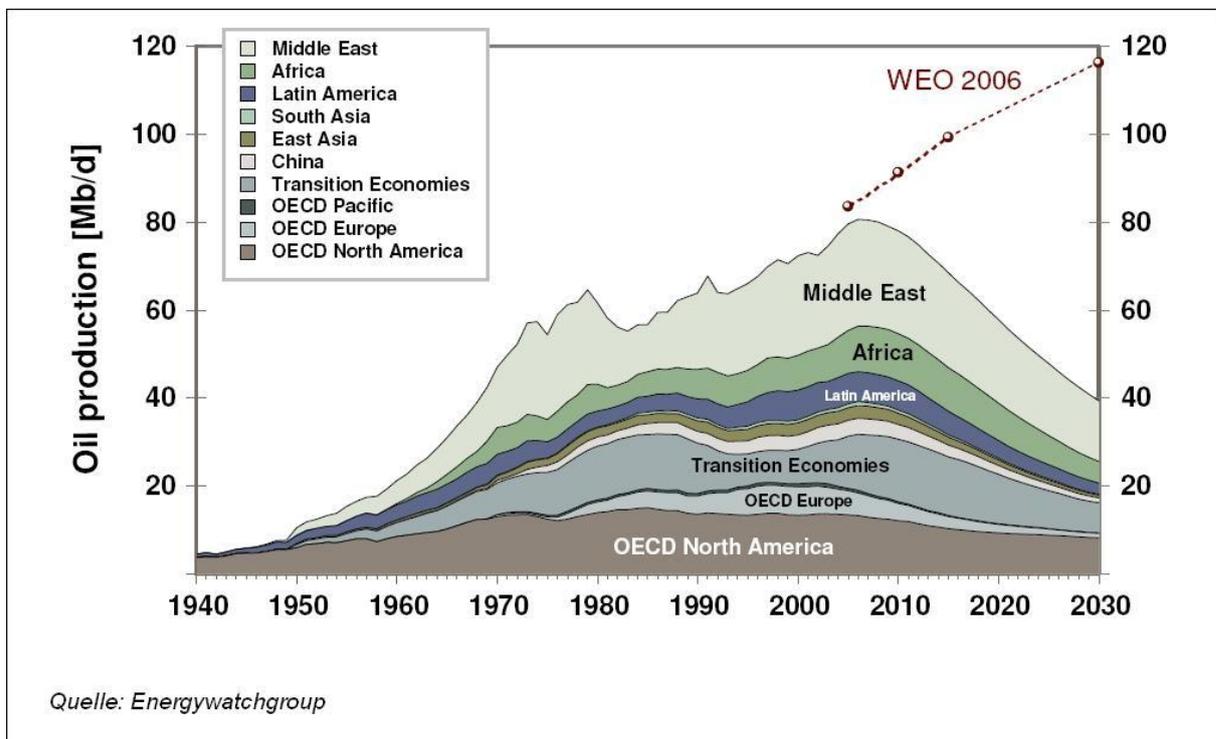
---

<sup>48</sup> Global Challenges Network 2003, S.89 und 92, z. n. Gründinger, Wolfgang, *a. a. O.*, S.26f. .

<sup>49</sup> Vgl. Gründinger, Wolfgang, *a. a. O.*, S.35.

<sup>50</sup> Interview mit Wellmer, Friedrich-Wilhelm, *Billiges Öl ist passé*, in *DIE ZEIT* Nr.36/2004, S.13.

<sup>51</sup> Energywatchgroup unter: [http://www.energywatchgroup.org/fileadmin/global/pdf/2008-05-21\\_EWG\\_Erdoelstudie\\_D.pdf](http://www.energywatchgroup.org/fileadmin/global/pdf/2008-05-21_EWG_Erdoelstudie_D.pdf) , S. 46 (08.02.2008).



Grafik 3 – Peak-Oil

Grafik 3 ist der oben erwähnten Studie entnommen. Wie man sieht öffnet sich spätestens ab 2010 eine immer größer werdende Schere zwischen der erwarteten Förderung und dem nach dem WEO prognostizierten Bedarf. Durch die in dieser Prognose nicht bedachte Wirtschaftskrise und dem folgendem Nachfragerückgang, verschiebt sich das Erreichen der ungedeckten Nachfrage möglicherweise wenige Jahre in die Zukunft.

Die Folgen eines solch großen Nachfrageüberhangs wären eklatant; eine Bedrohung für die Wirtschaft, sowie für die Versorgungssicherheit mit Nahrung und anderen vitalen Dingen.<sup>52</sup>

OPEC-Generalsekretär Ali Rodriguez meint, die Welt sollte sich auf eine mögliche Energiekrise einstellen.<sup>53</sup> Sowohl die Deutsche Bank<sup>54</sup>, als auch die amerikanische Investment Bank Goldman Sachs gehen von einem langfristig stark steigenden Ölpreis aus.<sup>55</sup>

Öl ist das Schmiermittel der Weltwirtschaft. Aber das Zeitalter des billigen Öls ist endgültig vorbei.<sup>56</sup> <sup>57</sup> Somit sind die Aussagen über die physische Verknappung des Öls keine

<sup>52</sup> Susanne Schäfer unter: <http://www.peakoil.de/> (08.02.2009).

<sup>53</sup> Vgl. Gründinger, Wolfgang, *a. a. O.*, S.35.

<sup>54</sup> Deutsche Bank Research: *Energieperspektiven nach dem Ölzeitalter*. Aktuelle Themen Nr. 309 vom 2.12.2004, S.5, S.8f.

<sup>55</sup> Goldman Sachs z. n. Fritz Vorholz: *Falsche Feinde* in: *DIE ZEIT* Nr. 43/2004, S. 26.

<sup>56</sup> Vgl. Hermann Scheer unter: <http://www.taz.de/index.php?id=archivseite&dig=2006/06/09/a0037> (08.02.2009).

<sup>57</sup> Follath, Erich; Jung, Alexander (Hg.), *a. a. O.*, S. 25.

fanatischen Spinnereien von Greenpeace oder eine pessimistische Hiobs-Botschaft der Grünen. Es ist brutale Realität und ein „Ölwechsel“ ist dringend erforderlich. Selbst mit unkonventionellen Ressourcen wird man die Krise lediglich verzögern können.

Was die oben erwähnten Methanhydrate angeht, die sich am Meersboden befinden und theoretisch das heutige Erdgas ersetzen könnten, so machen sich selbst die deutschen Topforscher keine allzu großen Hoffnungen auf das reale Potenzial dieser Energiequelle. Es gibt noch gar kein Förderkonzept und die Sicherheitsanforderungen sind, angesichts möglicher explosionsartiger großer Freisetzung von Gas („Blow-Out“), sowie die Gefahr von Tsunamis durch die hypothetische Förderung, mehr als mangelhaft. Zudem ist Methan ein starkes Treibhausgas, so dass jede unkontrollierte Freisetzung zusätzliche Gefahren für das Klima birgt.<sup>58</sup>

### **Externe Kosten**

In Deutschland sind wir bei allen fossilen Ressourcen von Importen abhängig. Kohle ist der einzige wirklich heimische Energieträger, der auch zu einem ernstzunehmenden Anteil hier gefördert werden kann. Viele Rohstoffe kommen aus politisch instabilen Regionen, insbesondere das Erdöl. Um eine sichere Energieversorgung gewährleisten zu können, bräuchte man regional und am besten auch dezentrale Strukturen. Das heutige Energiesystem hingegen ist völlig zentralisiert und kennt die Wertschöpfung aus der heimischen Region – außer bei der Kohle und bei der Verarbeitung – praktisch nicht. Damit werden dann externe Kosten exportiert. Von den Tailings in Australien, den Tankerkatastrophen auf dem Meer, den von Öl verseuchten Landflächen in Afrika bekommen wir hier nicht viel zu sehen.

Die Kosten, die der CO<sub>2</sub>-Ausstoß durch den Klimawandel letztlich verursacht, sind kaum noch zu beziffern. Laut Wolfgang Gründinger, Autor von „Die Energiefalle“, betragen die Kosten der militärischen Absicherung des Erdöls auch schon vor den „Antiterrorkriegen“ etwa 100\$/bbl.<sup>59</sup> Die Entsorgung des Atommülls wird die Menschheit durch die lange Halbwertszeit des Materials auch noch entsprechend lange beschäftigen und enorme Kosten verschlingen.

All diese externen Kosten, die unsere Energieerzeugung und Nutzung verursachen, sind nicht im Preis enthalten, den wir für Energie zahlen. Der Markt ist unfähig, sie im Preis zu integrieren. Diese Unfähigkeit muss zum Scheitern des fossilen Energiesystems führen, denn es ist volkswirtschaftlich ein Desaster. Von realen Kosten einmal abgesehen: menschliche

---

<sup>58</sup> Buchal, Christoph, *a. a. O.*, S. 117-119.

<sup>59</sup> Gründinger, Wolfgang, *a. a. O.*, S.154.

Opfer des fossil-nuklearen Energiesystems sind in Geldwert nicht bezifferbar.

„So sterben z.B. in Deutschland jährlich ca. 65.000 Menschen durch Feinstaub, ca. 15.000 durch Feinstaub von Dieselfahrzeugen. Daran ändern auch Rußfilter nichts, weil sie nur die groben (ungefährlicheren) Partikel herausfiltern können. Krebs, Schlaganfall und Thrombosen sind die häufigsten Todesursachen.“<sup>60</sup>

Über kurz oder lang steuert das fossile Energiesystem somit insgesamt unweigerlich auf sein Ende zu. Wir täten gut daran, diesen Prozess zu beschleunigen, denn ökologisch und gesamtwirtschaftlich gesehen, wäre eine möglichst lange Förderung fossiler Energieträger ein Fiasko für die Menschheit. „Es ist billiger, jetzt alternative Energien zu fördern, als im Jahr 2050 pausenlos Gewitterschäden zu beseitigen.“<sup>61</sup>

Eine echte Grüne Wasserstoffwirtschaft könnte sogar eine Kostenentlastung bedeuten.

## 6.2 Konventionelle Erneuerbare Energien

### Stromwirtschaft

Da Strom sich nicht als elektrische Energie speichern lässt, muss er immer genau dann erzeugt werden, wenn er benötigt wird. Dazu wird ein ausgeklügeltes Kraftwerksmanagement benötigt.

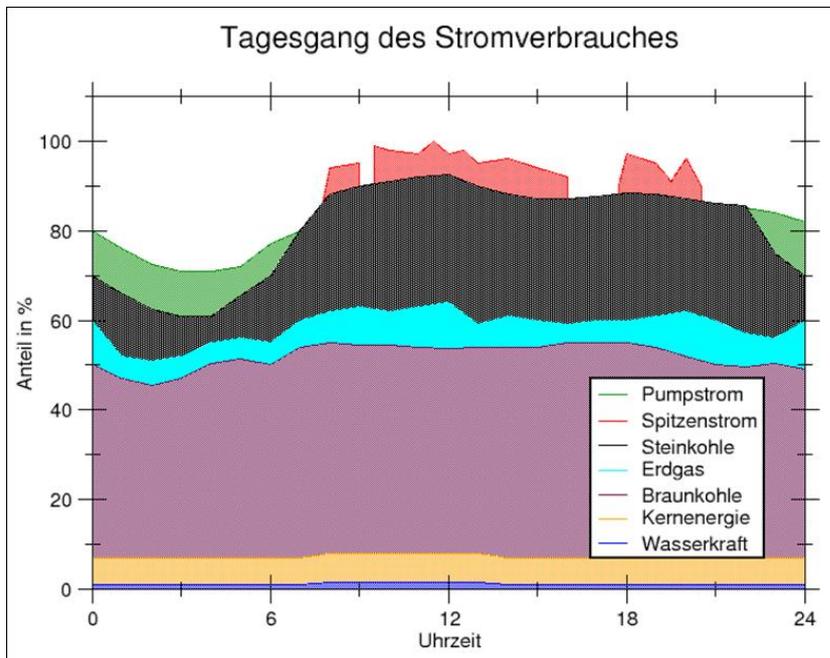
Ein Anteil des täglichen Stromverbrauchs wird rund um die Uhr benötigt, die so genannte Grundlast. Kraftwerke die im Grundlastbetrieb laufen, erreichen durch die volle Ausnutzung der Leistung und den durchgehenden Betrieb eine hohe Effizienz und geringe Kosten. Der stärker schwankende Verbrauch ist die Mittellast. Die Betreiber kennen die voraussichtliche Lastkurve des Tages, lassen mittlerweile auch Windprognosen und Sonnenscheindauer in die Analysen einfließen. Damit wird ein Kraftwerksfahrplan erstellt. Nach diesem werden speziell für Mittellastzeiten Kraftwerke angeheizt und hochgefahren. Da diese Kraftwerke aber nicht schnell genug auf Abweichungen von den Prognosen reagieren können, gibt es relativ teure Spitzenlastkraftwerke, die Regelleistung bereitstellen. Sobald zuwenig Strom produziert wird springen in wenigen Sekunden bei Pumpspeicherkraftwerke oder Minuten Gaskraftwerke an.

---

<sup>60</sup> z.n.Tetzlaff, Karl-Heinz, *a. a. O.*, S.92.

<sup>61</sup> Latif, Mojib, in: Welt-Online, unter:

[http://www.welt.de/print-welt/article400349/Namen\\_und\\_Nachrichten.html](http://www.welt.de/print-welt/article400349/Namen_und_Nachrichten.html) (08.02.2008).



Grafik 4 – Tagesgang des Stromverbrauches

Quelle: Wikimedia

Hier wird die Verteilung der verschiedenen Energieträger und des Spitzenstroms dargestellt. Gut zu erkennen ist die Fahrweise der Steinkohlekraftwerke und der schwankende Anteil des Spitzenstroms.

## Wind

Windkraft liefert heute mit 40,43 TWh den größten Anteil an erneuerbarem Strom.<sup>62</sup>

Dies entspricht einem Anteil von 7% am Bruttostromverbrauch Deutschlands.<sup>63</sup> Da Windenergie nicht auf Abruf zur Verfügung steht, wird ein besonders hohes Maß an Regelleistung benötigt um Abweichungen von den Windprognosen auszugleichen.

## Photovoltaik

Ebenso wie Windkraft lassen sich Photovoltaikanlagen nicht nach Bedarf zuschalten, und die Erzeugung unterliegt zudem jahreszeitlichen Schwankungen. Auch indirektes Sonnenlicht wird genutzt. Der Anteil am Bruttostromverbrauch betrug 2007 mit 3,1 TWh nur 0,5%.<sup>64</sup>

## Solarthermie

<sup>62</sup> Bundesverband Windenergie e.V. unter: <http://www.wind-energie.de/de/statistiken/charts/367/0/?type=78> (14.03.2009).

<sup>63</sup> Bundesverband Windenergie e.V. unter <http://www.wind-energie.de/de/statistiken/> (18.03.2009).

<sup>64</sup> vgl. BMU, „ERNEUERBARE ENERGIEN IN ZAHLEN“ S.7 unter: [http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ee\\_zahlen\\_update.pdf](http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ee_zahlen_update.pdf) (11.03.2009).

Zum einen gibt es solarthermische, grundlastfähige Kraftwerke, die direkte Sonnenstrahlung benötigen und daher in Deutschland nicht wirtschaftlich einsetzbar sind. Diese werden in südlicheren Ländern eingesetzt und werden heute stark forciert. Zum anderen gibt es die Solarthermie zur Warmwassererzeugung auf dem Dach, welche selbst im Winter einen Teil der Warmwasserbereitung übernimmt.

### **Biomassennutzung**

Trockene Biomasse wird, in Pelletform, heute zum Heizen genutzt. Feuchte Biomasse aus der Landwirtschaft wird vergärt und das entstandene Gas entweder mit einem Wirkungsgrad von maximal 35% verstromt oder aufbereitet und in das Erdgasnetz eingespeist. Ganze 19,2% des durch Erneuerbare Energien erzeugten Stroms werden durch Biomasse erzeugt.<sup>65</sup>

Für die Erneuerbaren Energien wird bei zunehmendem Anteil an der Stromversorgung Deutschlands mehr Regelleistung nötig. Aufgrund der begrenzt zur Verfügung stehenden Regelleistung müssen teilweise Kraftwerke in Reserve „warm“ gehalten werden, um bei einer längeren Abweichung der Prognosen die Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Das Potenzial für Pumpspeicherkraftwerke ist weitgehend ausgeschöpft und die Errichtung eines solchen Kraftwerks ist mit Überflutung großer Flächen verbunden. Die Alternative des Druckluftspeicherkraftwerks ist in Entwicklung, kann aber auch keinen Energieausgleich über den gesamten Tag vornehmen. Für diese Anforderung gibt es Planungen, Überschussstrom in Wasserstoff umzuwandeln, in geologischen Formationen zu speichern und bei Bedarf wieder an Ort und Stelle zu verstromen. Diese Art der Wasserstoffnutzung ist aufgrund der Zentralität jedoch mit hohen Verlusten von etwa 50% der eingesetzten Energie verbunden.

## **6.3 Technik der Grünen Wasserstoffwirtschaft**

### **Definition Wasserstoffwirtschaft**

Wasserstoffwirtschaft bedeutet, dass der Sekundärenergieträger Wasserstoff bis zum Energieverbraucher geliefert wird und erst dort in die gewünschte Energieform umgewandelt wird. Die Wasserstoffwirtschaft ist eine wärmegeführte Energiewirtschaft.

---

<sup>65</sup> vgl. BMU, „ERNEUERBARE ENERGIEN IN ZAHLEN“ S.11 unter:  
[http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ee\\_zahlen\\_update.pdf](http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ee_zahlen_update.pdf) (11.03.2009).

### *Klarstellung:*

Eine Energiewirtschaft, in der durch Strom Wasserstoff erzeugt und dieser bei Bedarf zentral wieder in Strom umgewandelt wird, um ihn an den Energieverbraucher zu liefern ist keine echte Wasserstoffwirtschaft, da hier kein Wasserstoff an den Endverbraucher geliefert wird.

### **Grüne Wasserstoffwirtschaft**

In einer Grünen Wasserstoffwirtschaft wird die Primärenergie ausschließlich regenerativ bereitgestellt und im Hauptanteil durch verschiedene Biomasse. Der aus Biomasse erzeugte Wasserstoff wird als Bio-Wasserstoff bezeichnet.

### **Wasserstoffproduktion**

#### Biomassevergasung

Trockene oder feuchte Biomasse wird durch Vergasung in ein Synthesegas umgewandelt. Hierzu stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung, wie die Flugstromvergasung, Wirbelschichtvergasung oder Festbettvergasung. Das Verfahren kann drucklos oder unter Druck betrieben werden. Die Autoren dieser Arbeit gehen von Druckbetrieb aus, weil dieser zu kleineren Anlagen und erhöhter Effizienz führt. Sowohl der Flugstromvergaser als auch der

Wirbelschichtvergaser sind aus technischer Sicht gut geeignet. Das entstehende Gas wird gereinigt, der Staub wird aus dem Gas entfernt und als Mineraldünger auf die Felder gebracht. Der Feinstaubanteil besteht größtenteils aus Schwermetallen, daher wird dieser deponiert oder metallurgisch genutzt.

Am Ende des Prozesses besteht das Gasgemisch aus CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>. Diese werden in einer Druckwechseladsorptionsanlage getrennt. Der Wasserstoff steht unter Druck und wird ohne weitere Verdichtung in ein Gasnetz eingespeist. Das CO<sub>2</sub> kann in die Luft abgeblasen werden, ohne klimaschädliche Wirkung zu haben, da es vorher von den Pflanzen der Luft entnommen worden ist.

Die Effizienzangaben variieren in der Literatur von 69% bis 93%.<sup>66 67</sup> Bedingt ist die Varianz durch die unterschiedlichen Prämissen der Angaben, sowie der Vergasungstechnik. Meist wird von relativ kleinen Anlagen ausgegangen, weil im Bereich der erneuerbaren Energien weitgehender Konsens herrscht, dass Dezentralität anzustreben ist. Dies ist bedingt durch das

---

<sup>66</sup> DLR, „*Perspektiven solarthermischer Verfahren zur Wasserstofferzeugung*“, Januar 2008, S.36.

<sup>67</sup> Persönliche Auskunft Karl-Heinz Tetzlaffs: 93% Wirkungsgrad

Denken, Dezentralität auf allen Ebenen würde die Gesamteffizienz erhöhen. Im Falle der Biomassevergasung und dem erhöhten Wirkungsgrad durch Vergrößerung der Anlage trifft dies nicht zu. Jedoch ist eine optimale Dezentralität auf der Ebene der Wasserstoffnutzung gegeben, womit eine hohe Effizienz erreicht wird.

### Elektrolyse

In der Wasser-Elektrolyse wird Wasser elektrisch in Wasserstoff und Sauerstoff gespalten. Dies geschieht heute mit einer Effizienz von bis zu 85%. Technisch möglich ist eine Effizienz von nahe 100%, dadurch sinkt jedoch die Leistungsdichte eines Elektrolyseurs. Bei Verringerung der Elektrolyseurkosten, durch verstärkte Produktion, wird sich durch die verringerten Kapitalkosten das Kostenoptimum für Wasserstoff in die Richtung höherer Effizienz verschieben.

### **Wasserstofftransport**

Der Transport von Wasserstoff wird über ein Rohrnetz erfolgen. Dieses fungiert selbst als Zwischenspeicher, um Diskrepanzen zwischen Erzeugung und Verbrauch und hat zusätzliche Speicher, z.B. im Untergrund integriert. Ein Rohrnetz ist günstig und kann, unterirdisch verlegt, im Gegensatz zu einem oberirdischen Stromnetz nicht durch Sturm oder Eisbildung ausfallen. Durch die Konzentration auf ein Energieverteilungsnetz sinken die spezifischen Kosten. Das heutige Erdgasnetz kann mit leichten Modifikationen verwendet werden. Das Netz wurde für Stadtgas gebaut, welches zu 50-60% aus Wasserstoff bestand. Aufgrund dessen sind geeignete Stahlsorten verwendet worden. Die Verluste durch Undichtigkeiten werden ca. 0,04% betragen und sind somit für die weiteren Berechnungen vernachlässigbar gering.<sup>68</sup>

### **Wasserstoffnutzung**

#### Verkehrsmittel

Bei allen Verkehrsmitteln kann Wasserstoff in Verbindung mit Brennstoffzellen oder einem modifiziertem Verbrennungsmotor eingesetzt werden.

Bei Nutzung von Brennstoffzellenfahrzeugen mit Radnabenmotoren wird man zum Einparken die Räder um 90° drehen können und bequem in die Parklücke fahren. Ein Elektromotor stellt von Beginn an das volle Drehmoment zur Verfügung und ermöglicht so ein zügiges Anfahren.

---

<sup>68</sup> Persönliche Auskunft Karl-Heinz Tetzlaffs

Es wird keine Gangschaltung mehr benötigt. Die Effizienz des Brennstoffzellenfahrzeugs ist durch die Effizienz der Brennstoffzelle bestimmt, welche heute bei etwa 60% liegt. Bis Brennstoffzellenfahrzeuge in Serie produziert werden, wird diese weiter gestiegen sein. Reichweiten von über 800 km sind bereits heute erreichbar.<sup>69</sup> BMW gibt an, für seinen Wasserstoffverbrennungsmotor eine Effizienz von 50% anzustreben.<sup>70</sup>

### Brennstoffzellenheizung

Die Brennstoffzellenheizung wandelt Wasserstoff in Strom und Wärme um. Sie arbeitet mit einem Warmwassertank, so dass die durch Stromproduktion anfallende Wärme später in Form von Warmwasser genutzt werden kann. Sie hat einen elektrischen Wirkungsgrad<sub>(Hu)</sub> von ca. 57% und einen thermischen Wirkungsgrad<sub>(Hu)</sub> von etwa 51%, damit kommt man auf einen Gesamtwirkungsgrad von 108%, bezogen auf den Heizwert des Wasserstoffs.<sup>1</sup>

### **Gesamteffizienz des Systems**

Die Gesamteffizienz des Systems ist das Produkt der Einzeleffizienzen. Hier wird eine grobe Abschätzung ausgeführt.

Produktion	Transport	Nutzung	Gesamt
69-93%	99,96%	80%iger Anteil mit Wärmenutzung (Haushalt, Gewerbe) Effizienz: 108%( H <sub>U</sub> ) 20% Anteil ohne Wärmenutzung (Autos; extrem Energieintensives Gewerbe) Effizienz: 60%( H <sub>U</sub> ) Gesamt: 80%*108% + 20%*60%= 104,8% (H <sub>U</sub> )	68%-91%

## **6.4 Gibt es eine Konkurrenzsituation zur Nahrungsmittelproduktion?**

<sup>69</sup> vgl.: [http://www.saubereautos.at/fortschritt/hybrid/toyota\\_doppelte\\_reichweite\\_fuer\\_wasserstoffantrieb/](http://www.saubereautos.at/fortschritt/hybrid/toyota_doppelte_reichweite_fuer_wasserstoffantrieb/) (22.03.2009).

<sup>70</sup> vgl.: <http://www.atzonline.de/index.php;do=show/site=a4e/sid=GWV/alloc=1/id=6115> (22.03.2009).

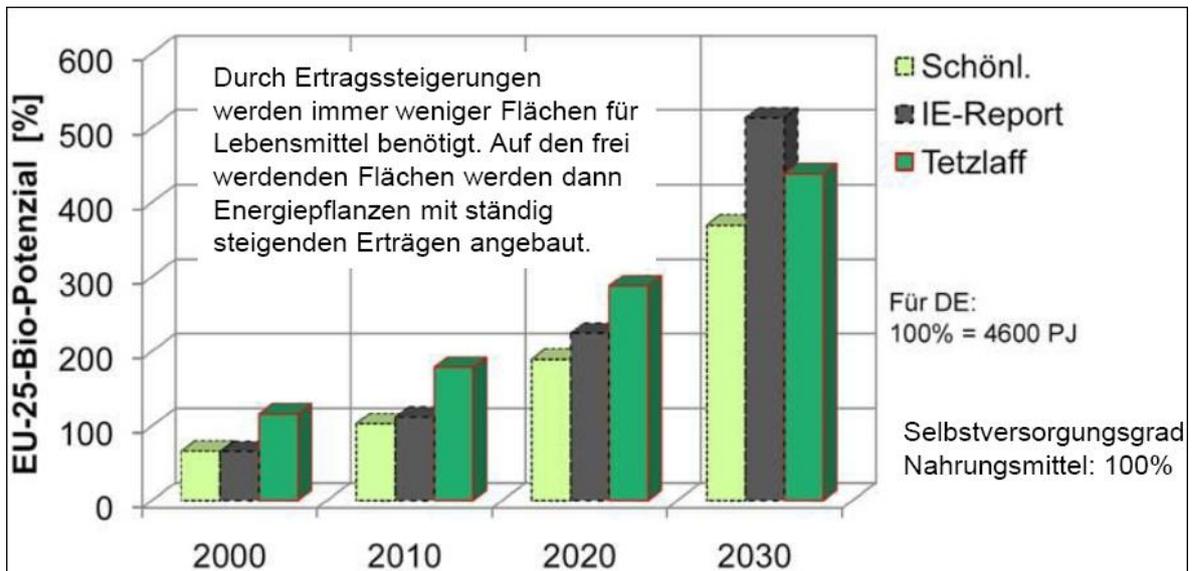
Auf den ersten Blick stellt man sich die Frage: Wenn wir mit Biomasse unseren Energiebedarf decken, bedeutet das dann nicht eine Einschränkung in der Versorgung mit Nahrungsmitteln? Sicher, die konventionellen Biokraftstoffe benötigen gigantische Flächen, damit Sprit in ausreichender Menge produziert werden kann. Wenn man sie benutzt, hat man nicht genug Fläche für Nahrung *und* Energie. Pflanzenöle und Alkohole haben sehr begrenzte Potentiale, schreiben daher auch die Autoren von "Ölwechsel". Daher müsse man neue Wege gehen, und es wird die Option der Vergasung von Biomasse (Wasserstoffherstellung) empfohlen, da dieser Weg durch vollständige Nutzung der Pflanzen und eine breite Auswahl an Sorten ein deutlich höheres Potential böte.<sup>71</sup> Außerdem sei die Effizienz bei der Umwandlung in Kraftstoff deutlich höher.<sup>72</sup> Hat man genug landwirtschaftliche Fläche für die Vollversorgung mit Nahrung *und* Energie, so gibt es keine echte Konkurrenz. Die Bauern werden allein aus ökonomischem Denken auch Nahrung anbauen. Zusätzliche Energie bekommen sie, wenn es schon ausreichend gibt, nicht verkauft, was nach der Umstellungsphase gegeben ist. Bei Bedarf wäre sonst auch eine politische Verordnung über die Anteile von Nahrung bzw. Energie an der gesamten Fläche denkbar. In der europäischen Union haben wir genug Fläche, da die EU eine starke Überproduktion von Nahrungsmitteln betreibt.<sup>73</sup> Ab 1992 ist politisch eingeschritten wurden, um die Überproduktion einzudämmen, technisch hätte sie sich weiter fortsetzen können. Daher gibt es so genannte "Stilllegungsquoten", durch die Bauern Geld für stillgelegte Fläche bekommen. Auch diese Fläche ließe sich rekultivieren und für Energiepflanzen nutzen. Folgende Grafik soll zeigen, dass das Biomassepotenzial spätestens in ein paar Jahren, und man braucht ja auch noch Zeit um eine Wasserstoffwirtschaft schrittweise einzuführen, groß genug ist.

---

<sup>71</sup> Campell, Colin J.; Liesenborgis, Frauke; Schindler, Jörg; Zittel, Werner, *Ölwechsel – Das Ende des Erdölzeitalters und die Weichenstellung für die Zukunft*, München 2007<sup>Neuausgabe</sup>, (dtv), S.255.

<sup>72</sup> Campell, Colin J.; Liesenborgis, Frauke; Schindler, Jörg; Zittel, Werner, *a. a. O.*, S.261f..

<sup>73</sup> Euronatur unter: [http://www.euronatur.org/fileadmin/docs/umweltpolitik/verbaendeplattform/EU-Agrarhaushalt\\_-\\_Studie.pdf](http://www.euronatur.org/fileadmin/docs/umweltpolitik/verbaendeplattform/EU-Agrarhaushalt_-_Studie.pdf), S.12.



Grafik 5 - Biomassepotenzial

1. Studie von Nicole Schönleber von der landwirtschaftlichen Universität Hohenheim
2. Studie des Instituts für Energie und Umwelt (IE)
3. Karl-Heinz Tetzlaff, Verfahreningenieur, Überschussanalyse

Grafik 5 zeigt das Biomassepotenzial zur Energieversorgung für Deutschland. Um die für Deutschland verfügbare Fläche zu berechnen, wurden die von den Studien ermittelten Flächenwerte durch die Einwohner Europas geteilt und mit denen Deutschlands multipliziert. Zudem wurde die von Tetzlaff prognostizierte Ertragssteigerung für Biomasse mit einberechnet. Es ergibt sich durch die Berechnung eine solidarische Aufteilung der Fläche Europas. Unter diesen Bedingungen könnte sich Deutschland spätestens im Jahre 2020 vollständig mit Bio-Wasserstoff versorgen. Auch der Rest Europas, könnte dann, unter Einbeziehung der vorhandenen erneuerbaren Energien (durch Elektrolyse), mit einer Wasserstoffwirtschaft seinen gesamten Energiebedarf decken.<sup>74</sup>

Aber warum haben wir überhaupt eine deutliche Überproduktion an Nahrungsmitteln in der EU? Es sollte angenommen werden, dass die europäischen Bauern, dadurch massenweise Bankrott gehen sollten. Das ist nicht der Fall, da die EU, sowie alle Industrieländer, ihre Bauern massiv mit Agrarsubventionen unterstützt, eben damit sie nicht um ihrer wirtschaftliche Existenz gebracht werden. Allein das europäische Subventionsvolumen beträgt pro Jahr 43 Milliarden Euro.<sup>75</sup> Problematisch an den Agrarsubventionen ist die Subventionierung der Überproduktion. Diese Nahrungsmittel werden entweder auf Kosten der

<sup>74</sup> Pörschke, Torsten, "Lebensmittel und Energie" in: Biowasserstoff-Magazin unter: [http://biowasserstoff-magazin.richey-web.de/pdf/Themen\\_Energiepflanzen\\_080912.pdf](http://biowasserstoff-magazin.richey-web.de/pdf/Themen_Energiepflanzen_080912.pdf), S. 23 (12.09.2008).

<sup>75</sup> Stern unter: <http://www.stern.de/politik/deutschland/:EU-Agrarsubventionen-Pers%F6nliche-Bereicherung/557268.html> (07.03.2006).

Steuerzahler verbrannt<sup>76</sup> oder – schlimmer – in Entwicklungsländer z.B. nach Ghana in Afrika exportiert. Eigentlich sollte es von Vorteil sein, die hungernde afrikanische Bevölkerung mit billigen, weil subventionierten, Lebensmitteln zu unterstützen. Aber das zerstört die bäuerlichen Gewerbe der dritten Welt, denn diese Länder können sich nicht ähnlich hohe Agrarsubventionen leisten. Dazu Francisco Mari vom EED: “(..) Subventionen führen dazu, dass das Tomatenmark aus der EU (in Ghana) um die Hälfte billiger angeboten werden kann, als es die Herstellungskosten erlauben. Aus Verzweiflung über ihre aussichtslose Lage haben sich im Norden von Ghana einige Kleinbauern umgebracht.”<sup>77</sup> Damit nicht genug. Allein 2004 gingen wegen des billigen europäischen Hähnchenfleisches 120.000 Arbeitsplätze in Kamerun verloren.<sup>78</sup>

Das Ganze führt sogar zu ganzen Flüchtlingsströmen nach Europa, die in Fischerbooten über das Meer kommen. Oft gibt es nur wenige Überlebende.<sup>79</sup> Ziemlich schizophren erscheint diese Politik, wenn man bedenkt, dass Ghana im Vergleich mit den afrikanischen Nachbarn, ein Vielfaches an finanzieller Entwicklungshilfe erhält.<sup>80</sup> Nutzen tut das reichlich wenig.

Ein weiterer Grund für die Situation sind auch die niedrigen Importzölle, durch die der gewinnbringende Export von Nahrungsmitteln ermöglicht wird. Für gewöhnlich ist es auch nicht leicht für afrikanische Staaten diese zu ändern, denn dann würden die Finanzströme versiegen: Der IWF und die Weltbank leihen den Entwicklungsländern nur Geld aus, wenn diese die Bedingungen der WTO erfüllen. Die WTO tritt für weitgehend freien Welthandel ein, somit gegen Importzölle. Die USA haben bei der WTO durch den größten Stimmenanteil faktisch ein Vetorecht. Die armen Staaten müssen somit die WTO-Regeln akzeptieren, anderenfalls kriegen sie kein Geld. Kein Geld bedeutet bei Importabhängigkeit auch kein Öl und ohne Öl verliert die heimische Wirtschaft ihr Schmiermittel.<sup>81</sup> Durch diesen Zwang der WTO könnte sich erklären lassen, warum die Staaten der 3. Welt gegen die billigen Agrarprodukte nicht einfach Zölle erheben. Laut der Süddeutschen Zeitung bestehen aber diesbezüglich widersprüchliche Aussagen. So führe eine Studie der Hilfsorganisation „Fian“

---

<sup>76</sup> Brasche, Ulrich, *Europäische Integration*, 2008<sup>2</sup>, (Oldenbourg Wissenschaftsverlag), S.187.

<sup>77</sup> Süddeutsche Zeitung unter: <http://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/947/439690/text/> (18.04.2008).

<sup>78</sup> Süddeutsche Zeitung unter: <http://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/947/439690/text/> (18.04.2008).

<sup>79</sup> Meura, Mona, „Was haben Tomaten aus Europa mit Gestrandeten aus Afrika zu tun?“, in: *krass – Magazin der grünen Jugend*, 04.2008, S. 5f (TIAMAT).

<sup>80</sup> Meura, Mona, „Was haben Tomaten aus Europa mit Gestrandeten aus Afrika zu tun?“, in: *krass – Magazin der grünen Jugend*, 04.2008, S. 5f (TIAMAT).

<sup>81</sup> Tetzlaff, Karl-Heinz unter: [http://bio-wasserstoff.de/h2/WTO\\_IWF/wto\\_iwf.html](http://bio-wasserstoff.de/h2/WTO_IWF/wto_iwf.html) (15.06.2007).

die Importflut auch darauf zurück, dass Ghana sich auf Druck der Weltbank und des Internationalen Währungsfonds nicht mit Zöllen wehre. Tatsächlich erhebe Ghana auf Tomatenprodukte aber nur Zölle bis zu 20 Prozent, obwohl es nach den Regeln der Welthandelsorganisation 99 Prozent verlangen könne.<sup>82</sup>

Wie dem auch sei, Ghana hat inzwischen ein temporäres Importverbot für Tomatenprodukte erlassen.<sup>83</sup> „Gegen den Willen der EU.“<sup>84</sup>

Immerhin hat die Bundesministerin für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, Heidemarie Wiecek-Zeul, sich in Bezug auf die Agrarsubventionen kritisch geäußert: „Das ist Aggression gegen Entwicklungsländer“.<sup>85</sup>

Wenn wir in einer Wasserstoffwirtschaft auf Exporte von Nahrung in die dritte Welt verzichten und stattdessen die landwirtschaftliche Fläche zum Anbau von Energiepflanzen nutzen, so würde auch der Streit um Agrarsubventionen zwischen der EU und den Entwicklungsländern ein schnelles Ende finden und die massiven Subventionen könnten wir uns sparen. Die Bauern würden durch den Anbau von Energiepflanzen genug verdienen.<sup>86</sup> Zudem würde sich ein echter Marktpreis für Lebensmittel entwickeln. Was ist mit den Staaten der dritten Welt? Hätten diese Staaten die Möglichkeit ihre eigene Energie vom Acker zu ernten, so wären sie unabhängig vom Öl und somit unabhängig von Ölkrediten. Zuerst sollte jedoch sichergestellt werden, dass diese Länder sich selbst mit Nahrung versorgen können. Aber damit sie Landwirtschaft auf industriellem Standard betreiben können, benötigen sie Energie. Die meisten dieser Länder betreiben immer noch eine Landwirtschaft, wie wir vor 50 Jahren. Würden wir mit den Methoden der dritten Welt unsere Äcker bestellen, so hätten wir auch ihren Hunger. Mit regional erzeugtem, günstigem Biowasserstoff, könnte die dritte Welt landwirtschaftliche Maschinen und Kühllhäuser betreiben, eigenen Dünger herstellen und Regenwasser effizient nutzen. In den afrikanischen Breiten wäre sicher auch Wasserstoff aus solarthermischen Kraftwerken eine gute Option, insbesondere, falls Flächenknappheit besteht. Die meisten Länder der Welt werden aber langfristig durch die Züchtung von Nahrungsmitteln und Energiepflanzen genug Fläche für eine Hauptversorgung mit Biowasserstoff haben. Indien könnte ein Vielfaches der eigenen Nutzenergie durch

---

<sup>82</sup> Süddeutsche Zeitung unter: <http://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/947/439690/text/> (18.04.2008).

<sup>83</sup> Süddeutsche Zeitung unter: <http://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/947/439690/text/> (18.04.2008).

<sup>84</sup> Meura, Mona, „Was haben Tomaten aus Europa mit Gestrandeten aus Afrika zu tun?“, in: *krass – Magazin der grünen Jugend* 04.2008, S. 5f (TIAMAT).

<sup>85</sup> Tetzlaff, Karl-Heinz unter: [http://bio-wasserstoff.de/h2/WTO\\_IWF/wto\\_iwf.html](http://bio-wasserstoff.de/h2/WTO_IWF/wto_iwf.html) (15.06.2007).

<sup>86</sup> Siehe Wirtschaftlichkeit

Energiepflanzen bereitstellen.<sup>87</sup>

Nun besteht noch die Frage, ob durch Anbau von Nahrungsmitteln und Energiepflanzen nicht die Preise für Nahrung explodieren würden. Der Direktor der UN-Umweltbehörde UNEP, Achim Steiner hält den konkurrierenden Anbau von Energiepflanzen zur Biospritproduktion für überbewertet.<sup>88</sup> Es gäbe derzeit genug Nahrung weltweit, Grund für die Preisschwankungen seien vor allem Spekulationen. Die Lebensmittelpreise würden aber möglicherweise durch, weil sie dann unnötig sind, wegfallende Agrarsubventionen steigen. Es wäre Aufgabe der Politik diese Einsparung an die Verbraucher durch Steuersenkungen weiterzugeben, schließlich tragen heute letztlich die Steuerzahler die Agrarsubventionen.

Insgesamt scheint der gleichzeitige Anbau von Biomasse für Nahrung und Energie somit keine ernsthaften Probleme darzustellen, allerdings darf dies bei Flächenknappheit natürlich nicht zu Kosten der Nahrungsmittelproduktion geschehen. In solchen Fällen muss auf Elektrolysewasserstoff umgeschichtet werden. Der besonders wichtige Vorteil der Speicherfähigkeit von Wasserstoff im Vergleich zu Strom bleibt bestehen.

## **6.5 Wirtschaftlichkeit**

### **Investitionen**

#### Kosten für Energieversorger

#### Fabrikkosten

Die Kosten für eine Wasserstofffabrik werden von unterschiedlichen Studien und Firmen in einem breiten Bereich angegeben. Als Mittelwert für eine komplette Wasserstofffabrik mit

---

<sup>87</sup> Tetzlaff, Karl-Heinz, *a. a. O.*, S.199.

641MW<sub>th</sub> Leistung ist 185€/kW<sub>H2</sub> = 144,3€/kW<sub>th</sub> ermittelt worden.<sup>89</sup> Aus den Daten einer DLR-Studie lässt sich ein Preis von 228,58€/kW<sub>th</sub> kalkulieren.<sup>II</sup>

### Berechnung der durchschnittlichen Größe einer Wasserstofffabrik

Da das Kostenminimum zwischen Anlagenskalierung und Transportkosten über einer Anlagenleistung von 2 GW liegt, ist dieser Punkt für die Größenbestimmung nicht relevant, denn eine dezentralere Struktur ist sinnvoll für den Rohrtransport, um keine Nachverdichtung vornehmen zu müssen.<sup>90</sup> Zudem belasten Transportbewegungen von Biomasse über weite Strecken die Anwohner unnötig und bei noch nicht erfolgter Umstellung der Transportfahrzeuge auf Wasserstoff wird die Klimabilanz leicht geschmälert. 500MW<sub>H2</sub> erscheinen den Autoren als realistischer Durchschnittswert.<sup>91</sup>

### Benötigte installierte Leistung

Um die benötigte thermische Leistung in ausreichender Genauigkeit zu ermitteln, benötigt man die heutige Nutzenergie von 4991 PJ und die Gesamteffizienz der GWW, wie oben ermittelt.<sup>92</sup> Bei einer Gesamteffizienz von 72%-97% ergibt sich aus 4991/0,72 bzw. 4991/0,97 eine Bandbreite zwischen 5145,36PJ und 6931,94 PJ. Dieser Bereich schließt die aufwendiger ermittelten Angaben Tetzlaffs von 5988PJ relativ mittig ein.<sup>93</sup>

Bei einer, für Chemieanlagen üblichen, Volllaststundenzahl von 8000 im Jahr, produziert man mit einem MW Leistung 8000MWh = 0,0288PJ.<sup>94</sup> Das heißt man benötigt zwischen 178.658 MW und 240.692 MW installierter Leistung. Die benötigte Leistung der Wasserstofffabriken hängt vom Anteil anderer Energiequellen ab, wie Elektrolyse aus Wind-, Wasserkraft- oder Solarstrom. Laut dem Leitszenario des BMU für 2020 sollen bis zu 370PJ Energie durch Wind und Photovoltaik erzeugt werden.<sup>95</sup> Dies würde 5% bis 7% der nötigen Energiemenge

---

<sup>88</sup> Pöschke, Torsten, "Lebensmittel und Energie" in: Biowasserstoff-Magazin unter: [http://biowasserstoff-magazin.richey-web.de/pdf/Themen\\_Energiepflanzen\\_080912.pdf](http://biowasserstoff-magazin.richey-web.de/pdf/Themen_Energiepflanzen_080912.pdf), S. 22 (12.09.2008).

<sup>89</sup> Tetzlaff, Karl-Heinz, *Wasserstoff für alle*, 2008, (Books on Demand), S. 446.

<sup>90</sup> Tetzlaff, Karl-Heinz, *Wasserstoff für alle*, 2008, (Books on Demand), S. 379.

<sup>91</sup> vgl. Tetzlaff, Karl-Heinz, *a. a. O.* S. 380.

<sup>92</sup> vgl. WBGU, [http://www.wbgu.de/Images/jg2003\\_en/fig\\_3\\_5-1.pdf](http://www.wbgu.de/Images/jg2003_en/fig_3_5-1.pdf) S.1.

<sup>93</sup> vgl. Tetzlaff, Karl-Heinz, *a. a. O.* S. 424.

<sup>94</sup> Volllaststundenzahl wurde in einer persönlichen Email an einen der Autoren durch Karl-Heinz Tetzlaff mitgeteilt

<sup>95</sup> vgl. BMU, „AUSBAU ERNEUERBARER ENERGIEN IM STROMBEREICH BIS ZUM JAHR 2030“, [http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ausbau\\_ee\\_strom.pdf](http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ausbau_ee_strom.pdf) S.40 Tabelle 3-2 (3.03.2009).

in einer Wasserstoffwirtschaft decken.

Durch die Verwendung von Wärmepumpen und Solarthermie sowie der fortschreitenden energetischen Sanierung von Häusern wird der zum Heizen benötigte Wasserstoff weiter abnehmen.<sup>96</sup> Aufgrund des Beschlusses der Bundesregierung, den Anteil der erneuerbaren Energie am „Endenergieverbrauch von heute rund 9 % auf 18 % bis 2020“ zu steigern, nehmen wir einen Biomassewasserstoffanteil von 80% an.<sup>97 98</sup>

Dementsprechend benötigt man zwischen 142,9 GW<sub>H2</sub> und 192,6 GW<sub>H2</sub> installierte Wasserstofffabrikleistung. Bei einer durchschnittlichen Fabrikgröße von 500 MW<sub>H2</sub> bzw. 641 MW<sub>th</sub> müssen dann zwischen 286 und 385 Fabriken gebaut werden.

### Gesamtkosten der Fabriken

Die Gesamtkosten für alle Fabriken setzen sich aus den Faktoren: Kosten der Fabrik (bestehend aus dem Preis der Einzelfabrik, anfallende Kosten für Baugrund und Infrastruktur), der benötigten Fabrikanzahl, der Aufteilung auf verschiedene Fabrikanbieter und der dazu in Abhängigkeit stehenden Kostendegression durch Serienproduktion zusammen.

Es wird eine Firmenanzahl von vier angenommen, bei gleichem Marktanteil. Der Exponent b ist der Faktor der entstehenden Lernkurve und wird mit 0,18 angesetzt.<sup>99</sup>

Die Kostendegression wird nach Henderson durch die Formel:

*Gesamtkosten = Erstfabrikkosten \* (Anzahl der bereits produzierten Anlagen berechnet hoch dem Kostendegressionfaktor)*

$$K = E * n^{-b}$$

Um jedoch die Gesamtkosten zu ermitteln ist die durchschnittliche Degression ( $\bar{D}$ ) pro errichtete Anlage entscheidend. Dieser Wert wird mit der Formel  $\bar{D} = ((n^{b+1}) + 1 - 1/(b+1))/n \rightarrow$  hier:  $(n^{0,82}/0,82 - 0,22)/n$  ermittelt.<sup>III</sup> Da von vier Fabrikanbietern ausgegangen wird, ist  $n = 1/4$  der Gesamtanzahl, dies unterstellt, dass diese vier Firmen nicht voneinander lernen. Durch gemeinsame Zulieferer ist dies eher unrealistisch, da für Teile der Anlage durch

---

<sup>96</sup> vgl. BMU, „Klimafreundliche, sichere und preisgünstige Energieversorgung ohne Atomstrom“  
<http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/43125/4590/> (3.03.2009).

<sup>97</sup> vgl. BMU, „Neues Denken – Neue Energie Zehn Leitsätze für eine nachhaltige Energieversorgung“  
<http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/43105/4590/> (04.03.2009).

<sup>98</sup> vgl. Tetzlaff, Karl-Heinz, „Effizienz einer Wasserstoffwirtschaft“,  
<http://www.bio-wasserstoff.de/h2/Effizienz/effizienz.html> (04.03.2009).

<sup>99</sup> Tetzlaff, Karl-Heinz, a. a. O., S. 447.

weniger Produzenten, folglich höheren Stückzahlen, die Kostendegression durch den Lerneffekt größer ausfällt. Daher werden die berechneten Kosten leicht über dem tatsächlich zu erwartenden Wert liegen. Um den durchschnittlichen Anlagenpreis ( $\bar{A}$ ) zu erhalten, werden die Kosten pro kW mit der durchschnittlichen Degression der Prototypfabrik und der Leistung multipliziert:  $\bar{A} = K * \bar{D} * 641$ . Um die Gesamtkosten (GK) zu kalkulieren werden die durchschnittlichen Anlagenkosten mit der Anzahl (n) der neuen Fabriken multipliziert.  $GK = \bar{A} * n$

	Minimale Anlagenanzahl: 286		Maximale Anlagenanzahl: 385	
Einzelfabrikkosten in €/kW <sub>th</sub>	Durchschnittlicher Anlagenpreis	Investitionskosten für Deutschland	Durchschnittlicher Anlagenpreis	Investitionskosten für Deutschland
144,3 €/kW <sub>th</sub>	77 Millionen €	22 Milliarden €	74,4 Millionen €	28,6 Milliarden €
228,58€/kW <sub>th</sub>	107,4 Millionen€	30,7 Milliarden €	103,2 Millionen €	39,7 Milliarden €

### Gasnetz

Das Gasnetz muss ausgebaut werden. Heute heizen bereits etwa 50% der deutschen Haushalte mit Erdgas.<sup>100 101</sup> Dementsprechend sind diese bereits angeschlossen. Doch nicht alle ans Erdgasnetz angeschlossenen Haushalte nutzen Erdgas. Daher liegt der Wert der angeschlossenen Haushalte über dem genannten. Zudem liegt das Erdgasnetz bereits in vielen Straßen, daher muss häufig nur ein Hausanschluss gelegt werden. In Industriegebieten gibt es bereits oft ein Gasnetz, da die Industrie meist Erdgas zur Eigenstrom- und Wärmeversorgung verwendet. In den übrigen, noch nicht erschlossenen, Gebieten müssen Leitungen gelegt werden. Das städtische Erdgasnetz ist ohne große Modifikationen verwendbar, transnationale Leitungen müssen teilweise mit einer inneren Schutzschicht versehen werden. Für die dadurch entstehenden Kosten des Neubaus und der Ausbesserung des zukünftigen Wasserstoffnetzes werden 10 Milliarden Euro veranschlagt.<sup>102</sup>

### Investitionen des Verbrauchers

Bei einer Umnutzung des Erdgasnetzes muss der Verbraucher die Brennerdüsen seiner

<sup>100</sup> Vgl. Main Kinzig-Gas, <http://www.main-kinzig->

[gas.de/bilderpool/members/gaswerke/upload/%7BE85C7A75-FA7B-4509-921F-3C5E873685A8%7D.pdf](http://www.main-kinzig-gas.de/bilderpool/members/gaswerke/upload/%7BE85C7A75-FA7B-4509-921F-3C5E873685A8%7D.pdf)  
(26.02.2009) S.4.

<sup>101</sup> Tetzlaff, Karl-Heinz, *a. a. O.* S. 461.

<sup>102</sup> vgl.: Tetzlaff, Karl-Heinz, *a.a.O.* S. 218.

Erdgasgeräte austauschen. Dies kostet für Herd und Heizung an Material ca. 40€.<sup>103</sup> Hinz kämen noch Installationskosten von 40-80€, je nach Handwerker und Gerät. Alle weiteren Umstellungen sind nicht zwingend notwendig und werden eventuell erst nach Erreichen der Lebensdauer der konventionellen Geräte vorgenommen. Spätestens dann stellt man auf Brennstoffzellen um, da dies günstiger als die einfache Verbrennung von Wasserstoff ist, da die Selbstproduktion von Strom allein aufgrund der Netzkosten des Kraftwerksstroms günstiger ist.

#### Autos:

Die Serienproduktionskosten von Brennstoffzellenantrieben ist mit geschätzten 23 €/kW deutlich geringer als bei herkömmlichen Antrieben mit 61-81€/kW.<sup>104</sup> Dadurch werden die Autos insgesamt günstiger sein. Bei Verwendung eines Wasserstoffverbrennungsmotors werden die Kosten wohl über den heutigen liegen, da ein Wasserstofftank deutlich teurer ist, als ein Benzintank.

Nur aus emotionalen Gründen wird man zu einem Verbrennungsmotor greifen, denn ein Brennstoffzellenfahrzeug benötigt durch die Elektromotoren keinerlei Getriebe. Für die Beschleunigung aus dem Stand steht das volle Drehmoment zur Verfügung und Einparken in Parklücken am Straßenrand ist sehr komfortabel. Zudem sind durch die höhere Effizienz bedingt die Verbrauchswerte günstiger und die Reichweite höher.

#### Brennstoffzellenheizungen

Die durchschnittliche Lebensdauer einer herkömmlichen Heizung beträgt etwa 15 Jahre, nach dieser Zeit wird sie ausgewechselt. Aufgrund der geringeren Kosten wird jeder Hauseigentümer keine neue konventionelle Heizung kaufen, sondern eine BZ-Heizung.<sup>105</sup> Hierbei ist zu beachten, dass die Brennstoffzelle mit der Betriebszeit an Leistung verliert. Daher wird man die Brennstoffzellenheizung leicht überdimensioniert kaufen, damit man die

---

<sup>103</sup> vgl.: World of Heating unter: <http://www.world-of-heating.de/products/de/Ersatzteile/Vaillant/Wasserschalter/Zuendbrennerduese-D--025-mm-Vaillant.html> (22.03.2009)

<sup>104</sup> vgl.: Tetzlaff, Karl-Heinz, *a. a. O.* S. 165.

<sup>105</sup> Tetzlaff, Karl-Heinz, *a. a. O.* S. 454.

Brennstoffzelle seltener auswechseln muss. Die Brennstoffzelle produziert etwa im Verhältnis 1:1 Strom und Wärme. Da im Allgemeinen mehr Wärme als Strom benötigt wird, hat die Brennstoffzellenheizung einen elektrischen Wassererhitzer integriert. Die anfallende Wärme bei der Stromproduktion wird auch im Sommer für die Warmwasserbereitung komplett genutzt. Im Winter leistet die Brennstoffzelle mehr, und erzeugt zusätzliche Wärme für die Heizung. Aufgrund der niedrigeren Energiepreise werden wahrscheinlich viele Heizungen früher als nötig ausgetauscht, sobald die Massenproduktion angelaufen ist.

### Energiepreise

Mithilfe der obigen ermittelten Angaben für Anlagenkosten im Best-Case Fabrikkosten-Szenario von 144,3€/kW und im Worst-Case Fabrikkosten-Szenario von 228,58€/kW Leistung wird ein Best-Case und ein Worst-Case-Szenario für den Energiepreis entwickelt. Die Personalkosten werden mit einer Millionen Euro für die Anlage angenommen.<sup>106</sup> Für Zinsen auf das Kapital, Abschreibung, Reparaturkosten und Sonstiges wird ein Zinssatz zwischen 17-22% angenommen.<sup>107</sup> Die Fabrikgröße wird wie zuvor mit 641MW<sub>th</sub> veranschlagt. Da die Abschätzung des Biomassepreises bei einer so großen Veränderung des Marktes mit großen Unsicherheiten verbunden ist, wurde ein weiterer Bereich für die Kosten der Biomasse angenommen. Von Tetzlaff wird ein Wert von 73€/t atro bis 100€/t atro veranschlagt.<sup>108 109</sup> Dieser Biomassepreis garantiert Bauern einen höheren Gewinn pro Hektar als heute.<sup>110</sup> Es wird ein Verbraucherpreis in einer Wasserstoffwirtschaft von 2,4 Cent bis 5,1 Cent erwartet.<sup>IV</sup>

---

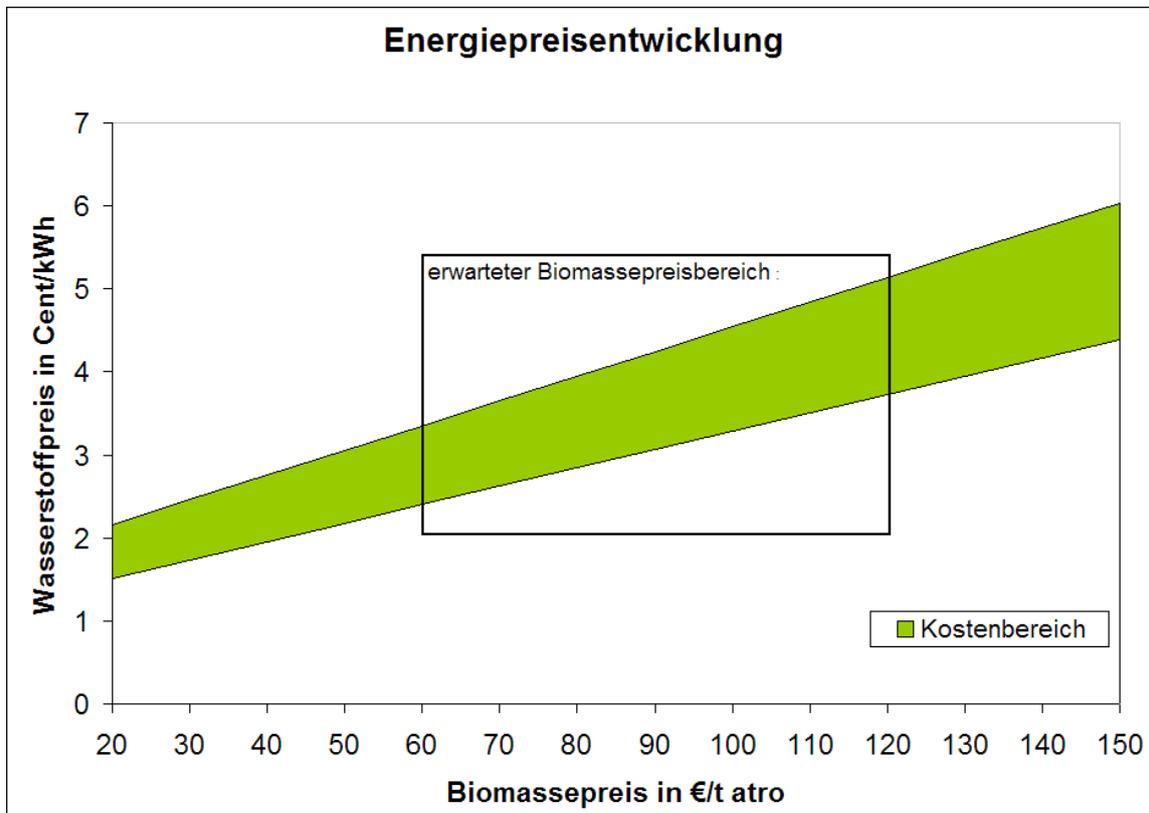
<sup>106</sup> Tetzlaff, Karl-Heinz, *a. a. O.* S. 449.

<sup>107</sup> vgl. Tetzlaff, Karl-Heinz, *a. a. O.* S. 448.

<sup>108</sup> vgl. „Energiekosten am Standort D“ <http://www.bio-wasserstoff.de/h2/Energiekosten/energiekosten.html> (3.03.2009).

<sup>109</sup> persönliches Gespräch, Wert von 100€/t atro.

<sup>110</sup> vgl. Tetzlaff, Karl-Heinz, *a. a. O.* S. 97.



Grafik 6 – Energiepreisentwicklung

### Kohlendioxid - Sequestrierung

Wie zuvor erwähnt, entsteht bei der Herstellung von Wasserstoff zugleich  $\text{CO}_2$ . Dieses  $\text{CO}_2$  lässt sich in unterirdischen Lagerstätten speichern, womit sich der Klimawandel rückgängig machen ließe.  $\text{CO}_2$  würde dann nämlich zusätzlich aus der Atmosphäre entnommen werden, da der Prozess schon an sich  $\text{CO}_2$ -neutral ist. Die geringe Leckagerate ist hierbei nicht so wichtig, wie bei fossiler  $\text{CO}_2$ -Speicherung. Auch die Kosten der Speicherung sind geringer, da das  $\text{CO}_2$  nicht aufwendig von Staub und Dreck abgetrennt werden muss, wie bei Kohle.

„Verwerfungen durch Erdbeben entlassen möglicherweise mehr  $\text{CO}_2$  in die Atmosphäre, Lebensgefahr besteht dann aber nicht. Solche Leckagen natürlichen Ursprungs gibt es überall auf der Welt.“<sup>111</sup> Kohlendioxid ist ein wertvoller Rohstoff für die Chemieindustrie.<sup>112</sup> Außerdem könnte man aus  $\text{CO}_2$  SCP herstellen, das ist Eiweiß aus Kleinstlebewesen. Diese Eiweiß wäre gesünder, als das aus Tierfleisch und kann außerdem die teils sehr grausame Massentierhaltung reduzieren. Hinzu kommt, dass die Rinderzucht für Methanemissionen,

<sup>111</sup> Tetzlaff, Karl-Heinz, persönliche Email an einen der Autoren.

<sup>112</sup> Professor Rieger, Bernhard unter: [http://www.forum-chemie-macht-zukunft.de/Seiten/Interviews/Interview\\_Professor\\_Rieger.aspx](http://www.forum-chemie-macht-zukunft.de/Seiten/Interviews/Interview_Professor_Rieger.aspx) (14.03.2009).

verantwortlich ist und mit diesem Treibhausgas zur globalen Erwärmung beiträgt. Die Speicherung von CO<sub>2</sub> ist als eine zusätzliche Option zur Wasserstoffwirtschaft zu betrachten und wegen der ohnehin gegebenen CO<sub>2</sub>-Neutralität nicht unbedingt notwendig.

## **6.6 Volkswirtschaftliche Auswirkungen**

Dieser Strukturwandel des Energiesystems hat weit reichende Auswirkungen auf die Volkswirtschaft. Die neue Struktur ist regional, folglich bleibt das Geld in den Regionen, was regionale Arbeitsplätze schafft. Die Arbeitsplätze in der zentralisierten, fossilen Stromwirtschaft werden nach und nach abgebaut, da kein nationales Stromnetz benötigt wird. Selbst ein lokales Netz wird nicht benötigt, wird aber bei Kostenvorteilen bestehen bleiben, denn an manchen Stellen in einer Wasserstoffwirtschaft wird weiterhin ausschließlich Strom benötigt. Die neuen Autos werden weniger Wartung benötigen und somit werden Jobs in Werkstätten auf Dauer wegfallen. Die Brennstoffzellenheizungen verursachen weder Ruß noch Schadstoffe, daher wird der Beruf des Schornsteinfegers nur noch für Kamine benötigt. In der Umstellungsphase muss das Gasnetz ausgebaut werden und alle Gasgeräte müssen umgerüstet werden. Dies wird wie ein Konjunkturpaket wirken. Investitionen in Infrastruktur stärken die Bauwirtschaft, die wichtig für die Gesamtwirtschaft ist. Auch die beschleunigte Erneuerung des Kraftfahrzeugbestandes und der Heizungen wird einen großen Wachstumsfaktor darstellen. Die größte positive Auswirkung auf die Wirtschaft wird sich aber durch die stark gesunkenen Energiepreise ergeben. Durch sinkende Energiepreise gibt es einen gesamtwirtschaftlichen Schub, Verbraucher haben mehr Geld für Konsumgüter zur Verfügung und Unternehmen senken ihre Kosten. Insbesondere die energieintensive Industrie, wie die Stahl-, Aluminium- sowie die Chemieindustrie werden stark profitieren. Wenn auch durch den Umstieg der Energieversorgung viele Stellen verloren gehen, würden in der neuen Energiewirtschaft viele Stellen geschaffen. Zudem werden durch den gesamtwirtschaftlichen Aufschwung sehr viele neue Stellen geschaffen. So scheint der Umstieg sogar das Potenzial zu besitzen, insgesamt zu einer höheren Beschäftigung zu führen.

## **7. Umsetzungsprobleme**

## 7.1 Vorurteile gegen Wasserstoff als Energieträger

### Sicherheit

Lakehurst: 6. Mai 1937. Das Luftschiff „Hindenburg“ geht in Flammen auf. In der Luft gehalten wurde die „Hindenburg“ durch Wasserstoff. Jedoch war nicht der Wasserstoff für das Unglück verantwortlich, vielmehr der Anstrich des Luftschiffes, der heute für Festkörperraketen verwendet wird. Entgegen der verbreiteten Meinung gab es auch keine Explosion, der Wasserstoff ist lediglich verbrannt.<sup>113</sup> Wasserstoff ist jedoch technisch beherrschbar.<sup>114 115</sup>

Die Nationalsozialisten gaben den Amerikaner die Schuld, da diese kein Helium liefern wollten. Das passte besser in ihre Propaganda. Vor allem durch dieses Unglück und die Nazipropaganda besteht in der Bevölkerung die weit verbreitete Meinung, Wasserstoff sei hochexplosiv. Das ist falsch, reiner Wasserstoff kann nicht explodieren. Zudem ist die Gefahrenkennstoffzeichnung von Wasserstoff hochentzündlich, nicht explosiv.

### Stromwirtschaft und Wasserstoffwirtschaft

Wenn von offizieller Seite die Rede von Wasserstoff ist oder sogar von einer Wasserstoffwirtschaft, dann wird meist von einer Stromwirtschaft gesprochen, in der Wasserstoff nur als Zwischenspeicher dient. Manche Leute sehen das Stromnetz als unabänderlichen Bestandteil unseres Energiesystems an und können sich eine andere Versorgung gar nicht vorstellen. Im Sinn der großen Energiekonzerne ist eine Wasserstoffwirtschaft daher auch nicht, denn sie benötigen ein Stromnetz für ihre Kraftwerke. Biomassevergasung wird erst recht nur am Rande erwähnt, denn diese Energiequelle steht angeblich in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion. Es wird also meist nur der zentrale Elektrolysewasserstoff bedacht. Das macht natürlich erst Sinn, wenn es genügend erneuerbaren Strom gibt, womit die Nutzung von Wasserstoff, wenn überhaupt, erst „mittel- bis langfristig“ Sinn mache, so die EU-Kommission.<sup>116</sup>

Die Umwandlungsverluste bei zentralem Elektrolysewasserstoff sind tatsächlich so hoch, dass die „Wasserstoffwirtschaft“ unter diesen Annahmen völliger Unsinn ist. Diese Prämissen

---

<sup>113</sup> DWV unter: <http://www.h2hh.de/downloads/DWV.pdf> , S. 25, (14.03.2009).

<sup>114</sup> BAM unter: [http://www.bam.de/filme/bam\\_030/film\\_030\\_wasserstoff.htm](http://www.bam.de/filme/bam_030/film_030_wasserstoff.htm) (14.03.2009).

<sup>115</sup> Studie der Universität von Miami unter: <http://www.hycar.de/sicherheit.htm> (14.03.2009).

<sup>116</sup> EU-Kommission unter: [http://ec.europa.eu/research/rtdinfo/42/01/article\\_1318\\_de.html](http://ec.europa.eu/research/rtdinfo/42/01/article_1318_de.html) (14.03.2009).

führen heute zu einem falschen Meinungsbild auch über eine „echte“ Wasserstoffwirtschaft, obwohl die Prämissen in diesem Fall nicht zutreffend sind.

## **7.2 Erneuerbare-Energien-Gesetz – Hindernis**

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) fördert die Einspeisung von regenerativem Strom ins Stromnetz. Wer eine Photovoltaikanlage oder einen Windpark betreibt bekommt eine entsprechende Vergütung. Durch das EEG wird damit die Stromwirtschaft gefördert und keine Wasserstoffwirtschaft. Baut ein potenzieller Investor eine Wasserstofffabrik, die Bio-Wasserstoff herstellt, so wird er schnell merken, dass es für ihn wirtschaftlich sinnvoller ist, dass beim Herstellungsprozess entstehende Synthesegas per Gasmotor zu verstromen und einzuspeisen. Die Investitionen für dieses Unternehmen sind vergleichsweise gering, die Vergütung für Strom hoch. Dies ist, bedingt durch geringere Investitionen und dem damit verbundenem verringertem Risiko, einfacher als über einen Umweg das EEG doch für die Förderung von Wasserstoff auszunutzen (vergleiche: „Umsetzung mit Hilfe des EEG“).

## **7.3 Das Energiekartell - Energielobbyismus**

Eins der größten Probleme für die Einführung einer Grünen Wasserstoffwirtschaft und der breiten, konsequenten Förderung von Erneuerbaren Energien im Allgemeinen, stellen das Energiekartell und der damit verbundene Lobbyismus in Deutschland dar. Vier Energiekonzerne; E.ON, RWE, Vattenfall Europe und EnBW teilen den deutschen Energiemarkt praktisch unter sich auf.

Beim Lobbying geht es um die Interessenvertretung der Wirtschaft gegenüber der Politik, die teilweise vermuten lässt, dass die Wirtschaftsmächte, die Macht der Politik stark an den Rand drängen. 1998 tritt die rot-grüne Koalition ins Regierungsamt ein. Otto Schily, SPD, Bundesinnenminister hat die Idee eines „Personalaustauschprogrammes“ zwischen Regierung und Wirtschaft.<sup>117</sup> Sie fließt in das Regierungsprogramm mit ein. Schily hatte sich diese Idee zuvor zusammen mit Tessen von Heydebreck, Personalvorstand der Deutschen Bank, ausgedacht.<sup>118</sup> Das offizielle Austauschprogramm der Bundesregierung gibt es seit dem 16. Juni 2004, jedoch haben bezahlte Konzernvertreter schon vorher, teilweise jahrelange in

---

<sup>117</sup> Die Bundesregierung: *Seitenwechsel – Schreibtisch tauschen*, in e.conomy, Nr. 37/2006.

<sup>118</sup> Hertie School of Governance, Deutsche Bank, Bundesministerium des Inneren: *Personalaustauschprogramm – Öffentliche Verwaltung und private Wirtschaft, Evaluationsbericht*, 10.05.02006, S.7.

Ministerien gearbeitet.<sup>119</sup> Ein ehemaliges Mitglied der rot-grünen Bundesregierung bereut seine Zustimmung zum oben genannten Programm:

„Es kann nicht sein, dass wir im öffentlichen Dienst sparen und dann sagen, nun brauchen wir aber für die Erstellung von Gesetzesentwürfen die Privatwirtschaft, und dann schreibt sich die Privatwirtschaft die Gesetzesentwürfe selbst. Das wäre eine Bankrotterklärung der Politik.“<sup>120</sup> (Rainer Baake, ehemaliger Umweltstaatssekretär)

Im Bereich der Energiewirtschaft gibt es für Lobbyismus eine Fülle von Beispielen, leider können hier aufgrund des Umfangs der Arbeit nur wenige genannt werden.

Der ehemalige Wirtschaftsminister Werner Müller hat sich erst über die Energiewirtschaft hochgearbeitet. In einer seiner Funktionen beriet er auch den Ministerpräsidenten von Niedersachsen in Energiefragen. Dieser war niemand geringerer als der spätere Bundeskanzler Gerhard Schröder. Müller wird später von eben diesem in das Kabinett berufen und erhält den Posten des Wirtschaftsministers. Wegen Mangel an Wettbewerb auf dem Strom- und Gasmarkt richtete Müller im April 2001 die „Task Force Netzzugang“ im BMWi ein, deren Aufgabe es sein sollte, den Beschwerden von Kunden gegen Wettbewerbsbehinderung von Energieanbietern nachzugehen, sowie ein Zugang zu den Strom- und Gasleitungen der großen EVUs gewährleistet wird. Anderen Anbietern wurde es z. B. durch überhöhte Nutzungsgebühren für Leitungen schwermgemacht, sich auf dem Markt zu etablieren. Die „Task Force“ setzte sich allerdings mehrheitlich aus Leuten der bestehenden Energiewirtschaft zusammen. Im Ministerium waren diese einquartiert wie echte Beamte, mit eigenem Schreibtisch und Zugang zu vertraulichen Unterlagen.<sup>121</sup>

So wurde etwa ein diskreter Bericht für die Information von Bundestagsabgeordneten dem Vorstand von E.ON zu gespielt und vom Konzern manipuliert. Ein Mitglied der „Task Force“ meinte hinterher:

“Wenn ich an die Zeit denke und weiß, wie der Lobbyismus auf allen Ebenen wirkt, denke ich: die Demokratie läuft einfach nicht mehr rund. Ich war sehr erstaunt, was da abläuft, fast wie in einer Bananenrepublik, wir müssen sehen, dass wir das ändern.“<sup>122</sup> (anonymes Mitglied der ehemaligen „Task Force Netzzugang“).

Müller, der früher bei der einem Vorläufer von E.ON gearbeitet hatte, erhielt schon ab 2002, während er also Wirtschaftsminister war, Rente von dem Konzern. Im selben Jahr nutze

---

<sup>119</sup> Adamek, Sascha; Otto, Kim, *Der gekaufte Staat – Wie Konzernvertreter in deutschen Ministerien sich ihre Gesetze selbst schreiben*, Köln 2008<sup>2</sup>, (Kiepenheuer&Witsch), S.12.

<sup>120</sup> Adamek, Sascha; Otto, Kim, *a. a. O.*, S.19.

<sup>121</sup> Adamek, Sascha; Otto, Kim, *a. a. O.*, S.57.

<sup>122</sup> Adamek, Sascha; Otto, Kim, *a. a. O.*, S.74.

Müller die Ministererlaubnis aus, um E.ON die Übernahme der Ruhrgas AG zu genehmigen. Aufgrund der Befürchtung, dass E.ON durch die Übernahme eine zu große Marktmacht zu Lasten der Verbraucher erlangen würde, hatte das Bundeskartellamt diese zuvor verboten. Am 1. Juni 2003 wechselte Müller dann zurück in die Wirtschaft und wurde Vorstandsvorsitzender der Ruhrkohle AG, die zu 40% E.ON gehörte.<sup>123 124</sup> Welch seltsamer Zufall!

Reinhard Schulz ist SPD-Abgeordnete und sitzt in den Ausschüssen für Wirtschaft und Technologie sowie für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Er hat einen Beratervertrag mit Vattenfall aufgrund seines Projektes „Consult GmbH“ und außerdem einen Platz im Aufsichtsrat von Vattenfall Europe Mining. In einem Brief richtet sich der Genosse am 1. Oktober 2002 an Schröder, dessen Inhalt im Wesentlichen gegen erneuerbare Energien ansetzt und gegen eine Klimaschutzstrategie von Seiten der Kraft(-werks)wirtschaft. Fataler Weise stellt ein Spiegel-Redakteur an den das Originalschreiben gelangt über die Eigenschaften der Datei fest, dass der Autor ein Mitarbeiter der Grundsatzabteilung von RWE ist.<sup>125</sup>

Wenn Politiker sich von der Energiewirtschaft beraten lassen oder die Energiewirtschaft versucht, die Rolle der Politik zu übernehmen, dann ist es kein Wunder, dass die Energiewirtschaft die Technik der zukünftigen Energiewirtschaft bestimmt und diese wird sicher nicht gegen die eigenen Interessen laufen. Insofern stellen dezentrale regenerative Energien, wie Windräder, die jeder an vielen Orten bauen kann, eine Gefahr für die Marktbeherrschung dar. Das BMWi gibt sogar offen zu, es sei „klar, dass das technische Wissen in Bezug auf die Planung, den Ausbau und die Funktionsfähigkeit der Energieversorgungsnetze in Deutschland nicht in zentralen staatlichen Stellen entstanden, sondern in der Energiewirtschaft zu Hause ist.“<sup>126</sup> Damit hat die Energiewirtschaft allerdings die besten Möglichkeiten, die Sachverhalte zu ihren Gunsten darzustellen. Es scheint hier ein strukturelles Problem des Systems vorzuliegen, wenn es notwendig ist, dass sich die Regierung von der Oligopolmacht der EVUs beraten lässt.

Karl-Heinz Tetzlaff versuchte Vertretern der Energiewirtschaft zu vermitteln, dass die Energiepreise in einer Wasserstoffwirtschaft nur halb so hoch wären wie heute. Die Antwort

---

<sup>123</sup> Gründinger, Wolfgang, *a. a. O.*, S.235.

<sup>124</sup> Vgl. Adamek, Sascha; Otto, Kim, *a. a. O.*, S.67.

<sup>125</sup> Vgl. Spiegel 14.10.2002, z. n. Adamek, Sascha; Otto, Kim, *a. a. O.*, S.69.

<sup>126</sup> *Bericht über die energiewirtschaftlichen und wettbewerblichen Wirkungen der Verbändevereinbarung*, 2003, S. 45, z. n. Adamek, Sascha; Otto, Kim, *a. a. O.*, S.76.

lautete, dann könne man aber auch nur halb so viel verdienen.<sup>127</sup> Wo kein echter Wettbewerb herrscht, gibt es also keine Marktwirtschaft. Auf dem Energiesektor haben wir genau dieses Problem. Die Ambition zu niedrigeren Preisen fehlt also – auf Kosten der Verbraucher. Fazit: Die Frage, warum niemand auf eine Wasserstoffwirtschaft setzt, wenn es technisch machbar ist, braucht man sich leider nicht zu stellen. „Es könnte längst Autos mit Brennstoffzellen und Wasserstoffantrieb geben, wenn das nicht immer wieder ausgebremst worden wäre.“<sup>128</sup>

Wolfgang Gründinger kritisiert, dass die EVUs immer wieder mit den Standardargumenten von Versorgungssicherheit, Grundlast und Wirtschaftlichkeit gegen erneuerbare Energien wettern. Dabei gäbe es seit über 20 Jahren Studien, die die Machbarkeit einer solaren Vollversorgung belegen würden.<sup>129</sup>

Offensichtlich fehlt der politische Wille zum Wechsel und die Lobbyarbeit der Konzerne tut das ihrige.

## **8. Umsetzungsstrategien**

### **8.1 Umsetzung mit Hilfe des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)**

Eine Strategie, erste Wasserstofffabriken zu betreiben, ohne Zugang zum Gasnetz, ist es, Bio-Wasserstoff dezentral nach den Regularien des EEG zu verstromen. Dazu wird eine Fabrik mit 50 MW Leistung gebaut, und entweder wird ein vorhandener Erdgasnetzabschnitt vom Betreiber angemietet, oder ein kleines Wasserstoffnetz wird gebaut. Am Ende dieser Leitungen wird in jedem Haus durch den Investor eine Brennstoffzellenheizung installiert. Da diese die Richtlinien für das Mini-BHKW Programm der Bundesregierung erfüllt, könnten die Kosten durch Fördermittel des Programms bestritten werden.<sup>130</sup> Die Brennstoffzellenheizungen werden durchgehend Strom erzeugen und nach dem EEG einspeisen. Die Haushalte erhalten die Wärme kostenlos als Gegenleistung für die Bereitstellung der Räumlichkeiten. Da die Prototypfabrik einige Zeit im Jahr aufgrund von Wartungsarbeiten stillstehen wird, muss bei leerem Wasserstoffspeicher der Wärmebedarf durch eine herkömmliche Heizungsanlage oder Wärmepumpe gedeckt werden. Dies zahlt der

---

<sup>127</sup> Tetzlaff, Karl-Heinz, *a. a. O.*, S. 261.

<sup>128</sup> Richey, Manfred; Redakteur des Biowasserstoffmagazin, in: einer persönlichen Mail an einen der Autoren.

<sup>129</sup> Gründinger, Wolfgang, *a. a. O.*, S.243f. .

<sup>130</sup> vgl. S.30, [http://biowasserstoff-magazin.richey-web.de/pdf/Bio-Wasserstoff\\_Vortrag\\_vom\\_12.11.08\\_01.pdf](http://biowasserstoff-magazin.richey-web.de/pdf/Bio-Wasserstoff_Vortrag_vom_12.11.08_01.pdf) (22.03.2009).

Verbraucher selbst. Die BZ-Anlagen werden unter 150kW Leistung liegen, da die Hausbrennstoffzellen nicht größer dimensioniert werden, um nicht zusätzliche, und damit überschüssige Wärme zu erzeugen. Durch die Dimensionierung unter 50kW ist der Energieversorger zur Abnahme der erzeugten Energie verpflichtet und kann nicht aufgrund des Stromnetzmanagement die Abnahme verweigern.<sup>135</sup> Die Vergütung für den eingespeisten

EEG	[ct/kWh]	Strom setzt sich zusammen aus der Grundvergütung, den
Grundvergütung <sup>131</sup>	11,67	Technologiebonus für die Verwendung von Brennstoffzellen,
Technologie-Bonus <sup>132</sup>	2,0	dem KWK-Bonus und den NawaRo-Bonus für die
KWK-Bonus <sup>133</sup>	3,0	Verwendung von Pflanzen nach den gesetzlichen Vorgaben.
NawaRo-Bonus <sup>134</sup>	7,0	
<b>Σ</b>	<b>23,67</b>	

Die technische Mindestanlagengröße beträgt 50MW<sub>H2</sub>, da der

Investor die eingesetzte Kapitalmenge für eine erste Anlage möglichst niedrig halten wird, ist dies somit auch die angenommene Größe für das EEG-Szenario. Die Investitionskosten liegen bei 800€/kW, daraus ergibt sich ein Fabrikpreis von 40 Millionen.<sup>136 137</sup> Die notwendige installierte elektrische Leistung der Brennstoffzellen errechnet sich aus der Effizienz der Brennstoffzelle multipliziert mit dem Wasserstoffoutput der Fabrik: 50MW \*60%= 30 MW. Bei einer Brennstoffzellenleistung von 10-20 kW<sub>el</sub> ergibt sich ein Bedarf von 1500-3000 Brennstoffzellenheizungen. Daraus ergeben sich Kosten für den Rohrleitungsbau von ca. 4-8 Mio. €. <sup>23</sup> Umgerechnet auf die Kapitalkosten der Fabrik bedeutet dies 80-160€/kW.

Investition	Mio. €
Wasserstoff-Fabrik (Prototyp)	40
1500-3000 Brennstoffzellen-Heizungen zu je 10-20 kW <sub>el</sub> (Mini-BHKW-Programm)	-
25-50 km Rohrleitung (Neubau)	4-8

<sup>131</sup> vgl. „Bundesgesetzblatt Jahrgang 2008 Teil I Nr. 49“, §27 1.Abschnitt, 1.Unterpunkt  
<http://www.clearingstelle-eeg.de/filemanager/active?fid=451>.

<sup>132</sup> vgl. „Bundesgesetzblatt Jahrgang 2008 Teil I Nr. 49“, §27, 4.Abschnitt, 1.Unterpunkt, und 1. Anlage, 2. Unterthema unter: <http://www.clearingstelle-eeg.de/filemanager/active?fid=451> (21.03.2009).

<sup>133</sup> vgl. „Bundesgesetzblatt Jahrgang 2008 Teil I Nr. 49“, §27, 4.Abschnitt, 3.Unterpunkt und 3. Anlage, 1. Unterthema, <http://www.clearingstelle-eeg.de/filemanager/active?fid=451>.

<sup>134</sup> vgl. „Bundesgesetzblatt Jahrgang 2008 Teil I Nr. 49“, §27, 4.Abschnitt 2.Unterpunkt und 2. Anlage, VI. Unterthema, Unterpunkt 2a, <http://www.clearingstelle-eeg.de/filemanager/active?fid=451>.

<sup>135</sup> Tetzlaff, Karl-Heinz, Vortrag vom 12. Nov. 2008 in Groß-Bieberau, unter:  
[http://biowasserstoff-magazin.richey-web.de/pdf/Bio-Wasserstoff\\_Vortrag\\_vom\\_12.11.08\\_01.pdf](http://biowasserstoff-magazin.richey-web.de/pdf/Bio-Wasserstoff_Vortrag_vom_12.11.08_01.pdf)  
 S.27 (22.03.2009).

<sup>136</sup> vgl.: Tetzlaff, Karl-Heinz, Vortrag vom 12. Nov. 2008 in Groß-Bieberau, S. 30 unter:  
[http://biowasserstoff-magazin.richey-web.de/pdf/Bio-Wasserstoff\\_Vortrag\\_vom\\_12.11.08\\_01.pdf](http://biowasserstoff-magazin.richey-web.de/pdf/Bio-Wasserstoff_Vortrag_vom_12.11.08_01.pdf)  
 (22.03.2009).

<sup>137</sup> DLR, „Perspektiven solarthermischer Verfahren zur Wasserstoffherzeugung“, Januar 2008, S.36.

Für die Abschreibung und Reparaturen wird ein Prozentsatz von 15% des eingesetzten Kapitals angesetzt, für Personal und Sonstiges zwei Millionen und den Heizstrom für Stillstandszeiten der Fabrik eine Millionen Euro veranschlagt.<sup>138</sup> Die Volllaststunden der Fabrik werden mit einem, für einen Prototyp realistischen Wert von 7000 Stunden angenommen. Der Biomassepreis ist sehr niedrig anzusetzen, da eine so relativ kleine Prototypfabrik an einem Standort gebaut wird, wo günstige Biomasse, z.B. aus der Landschaftspflege verfügbar ist. Dementsprechend ist 60€/t für eine Prototypfabrik schon unwahrscheinlich hoch angesetzt, es soll aber aufgezeigt werden, dass selbst bei diesen Preisen, durch die hohe EEG-Vergütung, ein hoher Gewinn erreicht wird.

	Wasserstoffpreis bei Biomassepreis von			
	20€/t		60 €/t	
	Investitionen von		Investitionen von	
	44 Mio € (880€/kW)	48 Mio € (960€/kW)	44 Mio € (880€/kW)	48 Mio € (960€/kW)
Wasserstoffpreis in €-Cent	3,2	3,5	4,1	4,6
Gewinn in Millionen €/a 23,67-H <sub>2</sub> Preis * produziertem Strom	42,8	42,4	41,1	40,1
Rückerwirtschaftung der Investitionen in Monaten	12,3	13,6	12,8	14,4

Wie diese Tabelle zeigt, ist nach dem Start des regulären Betriebs der Anlage eine sehr schnelle Amortisation der Investitionskosten erreicht. Da die Dauer des Testbetriebs etwa ein Jahr beträgt und während des Testbetriebs bereits Strom mit EEG-Vergütung eingespeist wird, bedeutet dies in diesem Fallbeispiel, dass die Investitionskosten spätestens nach zwei Jahren ab Inbetriebnahme als Einnahmen dem Unternehmen wieder zur Verfügung stehen. Bei einer Projektzeit für chemische Anlagen von zwei Jahren ist die Investitionssumme bereits vier Jahre nach Baubeginn an den Unternehmer zurückgeflossen.<sup>139</sup> Dies entspricht überschlagen einem Zinssatz von 25%. Die Projektdauer, von der Planung bis zur Fertigstellung, hängt weitergehend von der Geschwindigkeit der zuständigen Ämter ab. Hier

<sup>138</sup> Ermittelt aus Karl-Heinz Tetzlaffs Vortrag vom 12. Nov. 2008 in Groß-Bieberau, S.30, unter:

[http://biowasserstoff-magazin.richey-web.de/pdf/Bio-Wasserstoff\\_Vortrag\\_vom\\_12.11.08\\_01.pdf](http://biowasserstoff-magazin.richey-web.de/pdf/Bio-Wasserstoff_Vortrag_vom_12.11.08_01.pdf)  
(22.03.2009) .

<sup>139</sup> vgl.:

[http://www.rohrbau.de/portal/loader.php?navigation=157&root=117&seite=rb\\_projekte\\_chemie\\_de&kanal=htm](http://www.rohrbau.de/portal/loader.php?navigation=157&root=117&seite=rb_projekte_chemie_de&kanal=htm).

ist die Politik gefragt die gesetzlichen Grundlagen für möglichst einfache und unbürokratische Genehmigungsverfahren zu legen und somit die Projektkosten für den Investor niedrig zu halten.

Die Anwendung dieser Umsetzungsstrategie könnte die Errichtung der ersten Wasserstofffabriken auslösen. Wenn auch mehr Investitionen als bei der direkten Verstromung des Synthesegases nötig sind, so wird durch den Technologie- und KWK-Bonus eine höhere Einspeisevergütung gewährleistet. Insgesamt werden die Investitionen nach regulärer Inbetriebnahme innerhalb von weniger als 1,5 Jahren zurückerwirtschaftet.

Auch wenn diese Strategie eigentlich das Stromnetz fördert, welches in einer Wasserstoffwirtschaft nicht mehr benötigt wird, so wird teilweise sogar die Notwendigkeit eines Ausbaus verhindert. Denn der Strom wird regional erzeugt und verringert so die benötigte Transportstrecke. Auch wird der Strom kontinuierlich erzeugt, daher wird kein Ausbau der Regelleistung benötigt. Vielmehr könnten Brennstoffzellen zu einem „Virtuellen Kraftwerk“ zusammengeschaltet sogar Regelleistung bereitstellen. Hierdurch wären weitere Geschäftsmodelle möglich, da Regelleistung sehr hoch vergütet wird. Die Einführung einer Wasserstoffwirtschaft wird gefördert, da jede Fabrik, wie eine Keimzelle wirkt, von der aus nach und nach Fabrikleistung und Gasnetz zugebaut bzw. gemietet werden. Die Brennstoffzellen sind für eine Vollversorgung der Haushalte mit Energie ausgelegt und daher auf die Anforderungen in einer Wasserstoffwirtschaft abgestimmt. Wenn an vielen Fabriken eine Wasserstofftankstelle gebaut wird, würde nach und nach ein deutschlandweites Netz entstehen. Mit einigen konventionell, d.h. mit lokalem Elektrolyseur, betriebenen Tankstellen in nahen Ballungsgebieten könnte das Henne-Ei Problem auf dem Fahrzeugmarkt gelöst werden. Eine Kooperation der Fabrikbetreiber mit Automobilherstellern wäre hier denkbar.

## **8.2 Ausblick auf mögliche Entwicklung**

Die schnellste Methode wäre eine gesetzliche Verpflichtung der Energieversorger zur Umstellung der Gasversorgung auf Wasserstoff, mit anschließender Konversion der Stromerzeugung und verbindlicher Roadmap. Dies ist jedoch reine Utopie, da die Politik nicht so stark in den Markt eingreifen möchte, zudem würde die mächtige Energielobby genug Ressourcen aufbringen können um entsprechende Mehrheiten zu verhindern. Die mögliche Umsetzungszeit für eine komplette Wasserstoffwirtschaft beträgt 10-15 Jahre.<sup>140</sup>

---

<sup>140</sup> Dipl. Ing. Tetzlaff, Karl-Heinz unter: <http://www.bio-wasserstoff.de/h2/Investitionen/investitionen.html> (21.03.2009).

Die wohl realistischste Methode ist die Errichtung von Wasserstofffabriken mit EEG-Nutzung, wie vorhergehend dargestellt. Sobald die ersten Fabriken laufen, werden Stadtwerke Beteiligungen realisieren und ihre Netze zur Verfügung stellen. Die Politik wird die Entwicklung solcher Beteiligung fördern, wenn erkannt wurde, dass die Technik bereits eingesetzt wird und sie „auf diesen Zug aufspringen“ kann. Mit Unterstützung der Politik werden überall neue Fabriken gebaut werden. Das „Aufspringen“ der Parteien kann bereits heute bei den erneuerbaren Energien beobachtet werden. Bezeichnend ist, dass Bündnis90/Die Grünen nicht mehr ihre Energiestrategie als Alleinstellungsmerkmal besitzt, da jede Partei in unterschiedlicher Weise erneuerbare Energien fördern will. Die Parteien werden jedoch nur unterstützend wirken, wenn in der Bevölkerung Akzeptanz für den neuen Energieträger herrscht. Diese ist durch die Betreiber der Anlagen mittels Aufklärung zu schaffen. Vor allem die herrschenden Vorurteile gegenüber der Sicherheit von Wasserstoff müssen durch gezielte Information beseitigt werden. Dies ist ein entscheidender Aspekt. Bei der Unterstützung durch die Politik werden selbst die großen Energieversorger sich dem Druck des Marktes nicht entziehen können. Weil sie Abnehmer bei Erdgas und Strom verlieren würden, würden sie sich wahrscheinlich auf dem Sektor engagieren. Durch die den EVUs zur Verfügung stehenden Mittel, könnte der Ausbau der Fabrikleistung stark beschleunigt werden. Die hohe Vergütung des EEG werden die Stromkosten für Verbraucher steigern und aufgrund fehlender Deckelung des Förderbetrages vermutlich heftige Proteste und folglich eine Anpassung der Vergütungen bewirken. Doch selbst bei Halbierung der Vergütung, wäre die Rentabilität der Anlagen nicht gefährdet, es würde sich nur die Gewinnspanne verringern.

## **9. Schlussteil**

### **9.1 mögliche Probleme des Systems**

Die Grüne Wasserstoffwirtschaft ist ein völlig neues Energiesystem. Die Abschätzungen und Beurteilung des Systems sind daher insgesamt schwierig und teilweise mit bestimmten Unsicherheiten verbunden. Im Rahmen dieser Arbeit können nicht alle möglichen Probleme aufgeführt werden, jedoch werden die dringendsten hier erläutert:

---

## **Nahrungsmittelpreise**

Da in einer Grünen Wasserstoffwirtschaft Biomasse auch für Energie benötigt wird, werden die Preise für Biomasse und somit auch die Nahrungsmittelpreise sicher steigen. Dies ist als Nachteil zu bewerten. Allerdings ist der Anteil des Biomassepreises am Gesamtpreis von verarbeiteten Nahrungsmitteln sehr gering. Bei Obst und Gemüse sind die stärksten Preissteigerungen zu erwarten.

Durch eine große Diskrepanz zwischen Nahrungspreisen und Energiepflanzenpreisen könnten zu viele Bauern auf Energiepflanzenproduktion umschwenken und die Nahrungsmittelsicherheit in der Umstellungsphase gefährden. Hier muss die Politik regulierend auf den Markt einwirken und die ausreichende Nahrungsmittelproduktion sicherstellen.

## **Umstellungsphase**

Die Preise für Brennstoffzellen und Brennstoffzellenfahrzeuge, sowie für Wasserstofffabriken und Elektrolyseure werden zu Beginn einer Umstellung auf eine Grüne Wasserstoffwirtschaft sicher noch nicht so günstig sein. Dazu muss erst die Massenproduktion beginnen, so dass man auch aus Erfahrungswerten lernen kann.

Bei der Einführung einer Wasserstoffwirtschaft muss auch das „Henne und Ei“- Problem gelöst werden. Dieses besteht darin, dass keine Brennstoffzellen angeboten werden, solange es keine Brennstoffzellenfahrzeuge oder -heizungen in Serie gibt. Es gibt aber wiederum keine Brennstoffzellenfahrzeuge, weil keine Wasserstofftankstelleninfrastruktur existiert und das liegt darin begründet, dass keine Abnehmer in Form von Brennstoffzellenfahrzeugen existieren.

Das „Henne und Ei“- Problem lässt sich aber z. B. über die EEG-Einführungsstrategie lösen, da der Anbieter sich in dieser Strategie die Nachfrage aktiv selbst schafft.

## **9.2 Fazit & Stellungnahme**

Die zusammengetragenen Fakten, lassen den eindeutigen Schluss zu: Eine Grüne Wasserstoffwirtschaft kann das Energieproblem lösen. Mit dieser Frage ist eng verknüpft, wie sinnvoll dieser Weg der Problemlösung ist.

In einer Grünen Wasserstoffwirtschaft besteht keine Endlichkeit der Ressourcen, aufgrund der vollständigen Regenerativität. Das heutige Problem der hohen Feinstaubwerte und

gesundheitsschädlicher Abgase, insbesondere in Ballungsräumen, wird nach einem kompletten Umstieg nicht mehr bestehen. Hierdurch steigt die Lebensqualität und ein Risikofaktor für verschiedenste Volkskrankheiten wird verschwinden. Der immense CO<sub>2</sub> Ausstoß, der heute einen anthropogenen Klimawandel verursacht und mit bisher ergriffenen und projektierten Maßnahmen nicht ausreichend eingedämmt werden kann, stände nicht mehr zur Diskussion. Der Klimawandel, welcher durch seine Folgen einiges an Kosten verursacht, vor allem in ärmeren Regionen der Welt, würde mindestens stark eingedämmt werden, bei Verwenden der CO<sub>2</sub>-Sequestrierungstechnologie würde man sogar CO<sub>2</sub> Werte unterhalb des heutigen CO<sub>2</sub> Anteils erreichen können. Ein eingedämmter Klimawandel würde viel neues Konfliktpotenzial um knapper werdendes Wasser und fruchtbares Land vermeiden und so neue Konflikte vermindern. Auch der abnehmende Export durch Entwicklungs- und Schwellenländer von fossilen Rohstoffen trägt dazu bei. Durch die entstehende Unabhängigkeit von wenigen Ländern mit großen Vorkommen fossiler Brennstoffe kann manch eine Regierung freier handeln, ohne an nicht demokratisch legitimierten Regierungen gebunden zu sein. In einer solchen Situation wäre Putin wohl niemals als „lupenreiner Demokrat“ bezeichnet worden. Alle genannten positiven Auswirkungen hat jede Form der Versorgung mit 100% regenerativen Energien. Die Maßnahmen zum Umstieg auf Erneuerbare Energien in einer Stromwirtschaft sind zwar technisch möglich, aber das Kraftwerksmanagement wird mit zunehmendem Anteil von regenerativem Strom im Netz komplexer. Da bei Wind an der Nordsee und wenig Sonne im Süden viel elektrische Energie transportiert werden muss und Regelleistung genutzt wird, steigen die Kosten. Es muss ein großer Kapazitätsausbau der Netze und der Regelleistung vorgenommen werden. Dies wäre weitaus teurer als eine Wasserstoffwirtschaft mit geringen Netzkosten und ohne Bedarf an Regelleistung. Hier zeigt sich, dass die Wasserstoffwirtschaft nicht nur vorteilhaft gegenüber dem fossilen Energiesystem ist, sondern dass sie einige Vorteile gegenüber bisherigen 100% Erneuerbare Energien Szenarien besitzt. Sowohl die Investitionskosten, als auch die Energiekosten wären günstiger. Doch es gibt auch die Schattenseiten dieser Medaille. Sehr kritisch zu bewerten, jedoch schwer abzuschätzen, ist die Preisentwicklung bei Nahrungsmitteln. Hier spielen zudem weitere Faktoren, wie die zukünftige europäische Agrarpolitik eine Rolle. Eine Kostensteigerung wäre in Kauf zu nehmen, da die Energiekosten sinken und die weiteren Vorteile überwiegen. Eng mit dem Nahrungspreis ist die Frage nach dem Biomassepotenzial verbunden. Selbst wenn die hier ermittelten Werte für das energetisch nutzbare Biomassepotenzial zu hoch liegen, kann man dies mit einer Erhöhung des Elektrolyseanteils leicht ausgleichen. Auch preislich würde sich beim Wasserstoff nur ein geringer Unterschied ergeben. Der Umstieg ist aufgrund der nötigen,

relativ geringen technischen Änderungen nicht als sonderlich problematisch zu betrachten, die einmaligen Kosten für den Verbraucher sind aufgrund der langfristigen Ersparnis beim Energiepreis zu vernachlässigen. Insgesamt lässt sich sagen, dass die Vorteile einer Grünen Wasserstoffwirtschaft weit überwiegen. Gegenüber steigenden Nahrungsmittelpreisen, dem Aufwand der Umstellung und der Durchsetzung gegen Lobbygruppen, steht die starke Verringerung von gesundheitsschädlichen Schadstoffen, die vermiedenen externen Kosten, die Umstellung auf eine komplett CO<sub>2</sub> freie Wirtschaft, die ethischen Aspekte (z.B. durch ausbleibende Uranförderung), der Stärkung von regionalen Wirtschaftskreisläufen und nicht zuletzt der Aspekt der sinkenden Energiekosten. Diese Auswirkungen bringen uns zu der Überzeugung, dass nicht nur das Energieproblem gelöst werden würde, sondern auch viele Probleme, die damit zusammenhängen. Solange die Nahrungsmittelsicherheit nicht gefährdet wird, sollte so schnell wie möglich mit der Umsetzung begonnen werden!

## **10. Erklärung über die selbständige Verfassung der Arbeit**

*Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen als die im Literaturverzeichnis angegebenen Hilfsmittel verwendet habe. Alle genutzten Internetquellen wurden kenntlich gemacht.*

*Sofern sich - auch zu einem späteren Zeitpunkt - herausstellen sollte, dass die Arbeit oder Teile davon nicht selbständig verfasst, aus dem Internet entnommen wurden oder die Zitationshinweise fehlen, so wird die Arbeit auch nachträglich mit 0 Punkten gewertet.*

Aachen, den 23.03.2009

---

(Kai Hippler)

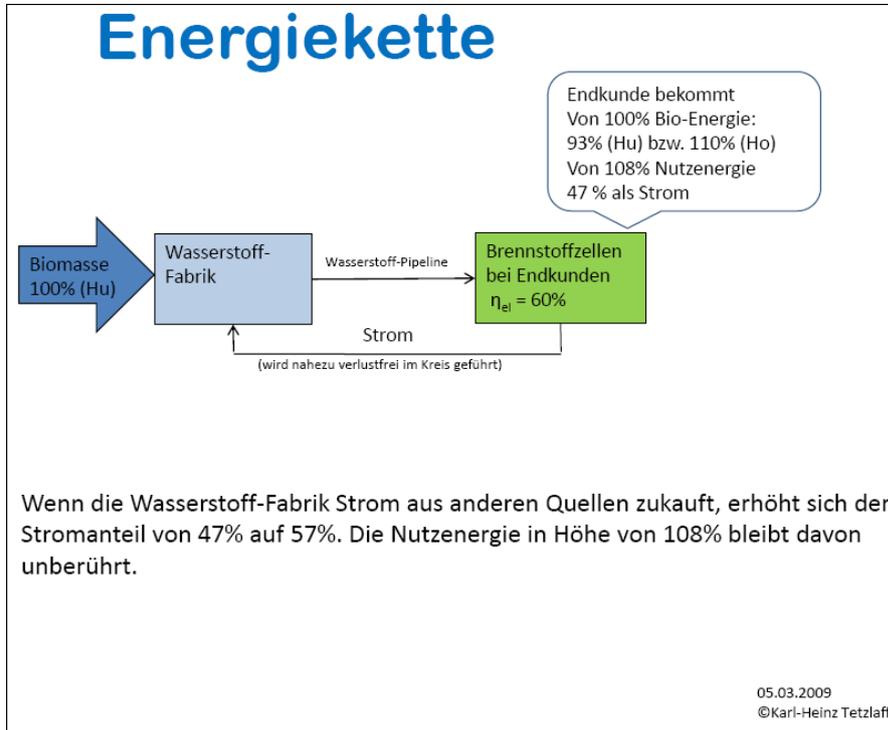
---

(Sebastian Muschik)

## 11. Anhang

<sup>1</sup> Der Prozentwert über 100% kommt zustande durch die Nutzung der gesamten, im Brennstoff enthaltenen Energie, dem Brennwert. Da die Effizienz aber üblicherweise auf den Heizwert, welcher nicht die komplette im Brennstoff enthaltene Energie bezeichnet, gerechnet wird und in dieser Arbeit zum Zwecke der Vergleichbarkeit ebenfalls praktiziert wird, kann man eine Effizienz über 100% erreichen.

Vgl.:



**II Anlagen laut Studie Cascade final vom DLR:**

Umrechnung der Kosten auf thermische Leistung	Umrechnung der Kosten auf 641 MW <sub>th</sub> mit $K_1=K_0*(P_1/P_0)^{0,6}$ nach Tetzlaff (Wasserstoff für alle, S. 445)
2660€/kW <sub>H2</sub> *69%= 1835€/kW <sub>th</sub> (2,5 MW <sub>th</sub> Anlage)	$(1835€/kW_{th} * 2500kW) * (641/2,5)^{0,6} = 199,56€/kW_{th}$
1500€/kW <sub>H2</sub> *72%= 1080€ /kW <sub>th</sub> bis 2025 (25 MW <sub>th</sub> Anlage)	$(1080€/kW_{th} * 25.000kW) * (641/25)^{0,6} = 295,02€/kW_{th}$
490\$/kW <sub>H2</sub> /1,3(\$/€-Wechselkurs) * 80% (sehr pessimistisch) = 301€/kW <sub>th</sub> (206MW Anlage)	$(301€/kW_{th} * 206.000kW) * (641/206)^{0,6} = 191,15€/kW_{th}$
	Durchschnitt = 228,58€ kW <sub>th</sub>

<sup>III</sup> Integraler Mittelwert der Formel der Kostendegressionsformel  $y(x)=a*x^{-b}$  nach Henderson. (vgl. „Wasserstoff für alle“ von Karl-Heinz Tetzlaff auf S.446f.

IV Worst-Case Wasserstoffpreisszenario:

Angabe	Energiegehalt	Vergasungs-effizienz	Volllast-stunden	Anlagekosten pro kW	produzierte Energie	H2-Transportkosten
Einheit	GJ/t Trockenmasse	-	Stunde	€/kW	kWh	€/kWh
Wert	17,5	0,69	6000	228,58	3 846.000.000,00	0,007
Angabe	Personalkosten	Personalkosten/kWh	Anlagengröße	Kapitalabhängige Kosten	Kapitalabschreibungsrate	
Einheit	€	€/kWh	MW	€/kWh		
Wert	1.000.000	0,000260	641	0,008381267	22%	
Biomassepreis in €/t atro	Wasserstoffpreis in €/kWh					
20	2,1604					
30	2,4585					
40	2,7567					
50	3,0548					
60	3,3529					
70	3,6511					
80	3,9492					
90	4,2474					
100	4,5455					
110	4,8436					
120	5,1418					
130	5,4399					
140	5,7380					
150	6,0362					

Best-Case Wasserstoffpreisszenario:

Angabe	Energiegehalt	Vergasungs-effizienz	Volllast-stunden	Anlagekosten pro kW	produzierte Energie	H2-Transportkosten
Einheit	GJ/t dry matter	-	hour	€/kW	kWh	€/kWh
Wert	17,5	0,93	7000	144,3	4 487.000.000,00	0,007
Angabe	Personalkosten	Personalkosten/kWh	Anlagengröße	Kapitalabhängige Kosten	Kapitalabschreibungsrate	
Einheit	€	€/kWh	MW	€/kWh		
Wert	1.000.000	0,000223	641	0,003504429	17%	
Biomassepreis in €/t atro	Wasserstoffpreis in €/kWh					
20	1,5151					
30	1,7363					
40	1,9575					
50	2,1787					
60	2,3999					
70	2,6211					
80	2,8423					
90	3,0635					
100	3,2847					
110	3,5059					
120	3,7271					
130	3,9483					
140	4,1695					
150	4,3907					

---

## Literaturverzeichnis

- Gründinger, Wolfgang, *Die Energiefalle – Rückblick auf das Erdölzeitalter*, München 2006<sup>Originalausgabe</sup>, (Verlag C. H. Beck oHG).
- Tetzlaff, Karl-Heinz, *Bio-Wasserstoff*, 2008, (Books on Demand).
- Tetzlaff, Karl-Heinz, *Wasserstoff für alle*, 2008<sup>2</sup>, (Books on Demand).
- Adamek, Sascha; Otto, Kim, *Der gekaufte Staat – Wie Konzernvertreter in deutschen Ministerien sich ihre Gesetze selbst schreiben*, Köln 2008<sup>2</sup>, (Kiepenheuer&Witsch).
- Campell, Colin J.; Liesenborgis, Frauke; Schindler, Jörg; Zittel, Werner, *Ölwechsel – Das Ende des Erdölzeitalters und die Weichenstellung für die Zukunft*, München 2007<sup>Neuausgabe</sup>, (dtv).
- Buchal, Christoph, FZJ; DLR; FZK, *Energie*, Baden-Baden 2008<sup>2</sup>, (Koelblin-Fortuna-Druck GmbH & Co. KG).
- Follath, Erich; Jung, Alexander (Hg.), *Der neue kalte Krieg – Kampf um die Rohstoffe*, München 2006<sup>1</sup>, (Spiegel Buchverlag).
- Rifkin, Jeremy, *Das Ende der Arbeit – und ihre Zukunft*, Frankfurt am Main 2002<sup>4</sup> (Campus).
- Rifkin, Jeremy, *The Hydrogen Economy – The Creation of the Worldwide Energy Web and the Redistribution of Power on Earth*, o.O. 2002, (Jeremy P. Tarcher).
- Seifert, Thomas; Werner, Klaus, *Schwarzbuch Öl – Eine Geschichte von Gier, Macht und Geld*, Wien 2008, (Ulstein).
- Roth, Jürgen, *Der Deutschland-Clan*, 2008 (Heyne).