

## 1. Einleitung

Wasserstoff und seine Bedeutung als Energieträger – im 21. Jahrhundert eine nicht zu unterschätzende Energiequelle. Auch wenn diese, im Gegensatz zu Öl, Sonne, Wind sowie anderen Energien noch in den Kinderschuhen ihrer Entwicklung steckt, sollte und muss die Menschheit in einer Zeit, in der die Energieproblematik immer größere Ausmaße annimmt, dem Wasserstoff seine größte Aufmerksamkeit schenken.

Erst 1973 nach der Ölkrise rückte Wasserstoff als Energieträger immer mehr in den Focus der Menschheit...

Folgender Ausspruch des französischen Schriftstellers Jules Verne unterstützt die These, Wasserstoff als Energie zu nutzen:

„Ich glaube, dass Wasser eines Tages als Brennstoff dienen wird, dass Wasserstoff und Sauerstoff, aus dem es besteht, entweder zusammen oder getrennt verwendet, eine unerschöpfliche Quelle für Wärme und Licht sein werden, und zwar von einer weit größeren Kraft, als Kohle sie besitzt...

Ich glaube, dass wir mit Wasser heizen und uns wärmen werden, wenn die Kohlelager erschöpft sind. Wasser ist die Kohle der Zukunft.“<sup>1</sup> (Jules Verne, Die geheimnisvolle Insel, 1874).

In meiner Facharbeit möchte ich die verschiedenen Facetten des Wasserstoffes näher beleuchten.

Gegenstand meiner Betrachtung soll die Entdeckung sowie geschichtliche Entwicklung des Stoffes sein. Weitere Ausführungen werden zu seiner Verwendung – letztlich als Energieträger – erfolgen. Dabei soll auf die Verwendung als Brennstoffzelle sowie in der Kernspaltung eingegangen werden. Auch der Herstellungsprozess von Wasserstoff soll in meine Facharbeit einbezogen werden, denn ohne dessen Herstellung wäre auch keine Energie möglich. Doch was nützt uns die Herstellung von Wasserstoff, wenn wir diesen nicht speichern oder transportieren können? Um diese Frage zu lösen, werde ich mich mit einem weiteren Themenschwerpunkt – der Wasserstofflogistik – beschäftigen. Doch wo es Vorteile und Innovationen für die Entwicklung und Erforschung neuer Energien gibt, wird es auch Nachteile geben, die sich in meiner Arbeit als Vor- und Nachteile widerspiegeln werden.

---

<sup>1</sup>Stratis, Karamanolis: Wasserstoff, Energieträger der Zukunft. Neubigerg b. München 2001, S.3

Das letzte Thema meiner Facharbeit wird einen kleinen Überblick über weitere Nutzenergien geben.

Den Abschluss wird das Schlusswort, der Anhang, das Literatur- und Quellenverzeichnis sowie die Erklärung zur Abgabe wissenschaftlicher Arbeiten bilden.

Ziel meiner Facharbeit ist es, den Leser zum Nachdenken zu bewegen. In erster Linie seinen Energiehaushalt ökonomischer und effizienter zu nutzen sowie die Augen und den Sinn für neue Energieformen zu öffnen, um somit einer auf uns – bereits heute – zukommenden Energiekatastrophe Einhalt zu gebieten.

Denn keiner allein kann die Katastrophe abwenden, aber jeder Einzelne kann durch Umdenken ein Stückchen zu einer besseren Welt beitragen – in Hinsicht einer ökonomischen Energienutzung.

Denn es ist es unsere größte Verantwortung dafür zu sorgen, die momentanen Energieprobleme nicht unseren Kindern oder Enkelkindern als ungebetenes Erbe zu hinterlassen.

<u>Wasserstoff und seine Eigenschaften als Energieträger</u>	Seite
<b>1. Einleitung</b>	2 - 3
<b>2. Wasserstoff als Energieträger</b>	<b>6 - 9</b>
2.1 Die Entdeckung und geschichtliche Entwicklung des Wasserstoffes	6 - 8
2.2 Wasserstoff und seine Eigenschaften	8 - 9
2.2.1 Physikalische Eigenschaften	8 - 9
2.2.2 Chemische Eigenschaften	9
<b>3. Wasserstoff und seine Verwendung</b>	<b>10 - 13</b>
3.1 Die Brennstoffzelle	10 - 12
3.1.1 Die Anwendungsgebiete und Entwicklung der Brennstoffzelle	10 - 11
3.1.2 Die Funktionsweise der Brennstoffzelle	11 - 12
3.2 Die Kernfusion	12 - 13
<b>4. Der Herstellungsprozess von Wasserstoff</b>	<b>13 - 15</b>
4.1 Informationen über das Elektrolyseverfahren	13
4.2 Informationen über die Redoxreaktion	14 - 15
4.2.1 Oxidation	14
4.2.2 Reduktion	14 - 15
<b>5. Wasserstofflogistik</b>	<b>15 - 16</b>
5.1 Der Wasserstofftransport	15 - 16
5.2 Die Wasserstoffspeicherung	16
<b>6. Die Vor- und Nachteile von Wasserstoff</b>	<b>16 - 17</b>
<b>7. Ein kurzer Überblick und Erläuterungen über weitere Nutzenergien</b>	<b>17 - 20</b>
7.1 Wasserkraft	18
7.2 Windkraft	18
7.3 Biomasse	19
7.4 Geothermie	19 - 20
<b>8. Schlusswort</b>	<b>20</b>

<b>9. Anhang</b>	<b>21 - 23</b>
<b>10. Literatur – und Quellenverzeichnis</b>	<b>24 - 25</b>
<b>11. Erklärung zur Anfertigung wissenschaftlicher Arbeiten</b>	<b>26</b>

## 2. Wasserstoff als Energieträger

### 2.1 Die Entdeckung und geschichtliche Entwicklung des Wasserstoffes

Mit einem kleinen Abriss aus der Chemie-Geschichte wird hier einer der wohl wichtigsten Stoffe vorgestellt:

Die Wurzeln der Chemie sind wohl in Ägypten zu suchen. Doch alle chemischen Erkenntnisse gingen mit der Zerstörung der Bibliothek von Alexandria im Jahr 640 n. Chr. verloren. Dennoch blieben die vier Grundelemente, welche von dem griechischen Philosophen Aristoteles (*Abbildung I - Anlage*), (384 bis 322 v. Chr.) als Urstoffe entdeckt wurden, trotz der Zerstörung erhalten

Diese vier Grundstoffe Erde, Luft, Wasser und Feuer „sind nicht mehr teilbare Grundbestandteile aller Körper und zugleich Träger der physikalischen Eigenschaften kalt, feucht, trocken und warm. Durch Wechsel dieser Eigenschaften könnten die Elemente ineinander übergehen.“<sup>2</sup>

Dies müsste bedeuten, dass sich ein beliebiger Stoff in einen anderen Stoff umwandeln lassen müsste. Dies haben Alchemisten und Könige bis ins 16./17. Jahrhundert hinein probiert, indem versucht wurde, Blei in Gold umzuwandeln.

Der Niederländer Jan Baptista van Helmont (1577 bis 1644) war einer der ersten, der die Elemente des Aristoteles in Frage stellte. Was ihn dazu bewegte, war die Erkenntnis, dass Luft kein Element ist und dass noch andere „luftähnliche“ Stoffe mit unterschiedlichen Eigenschaften existierten. Diese Stoffe nannte er Gase. „Das Wort Gas formte er nach dem griechischen „chaos“, was so viel wie „gähnender Weltraum“ bedeutet und womit der deutsche Arzt Paracelsus (1493 bis 1541) eine hypothetische luftförmige, ungestaltete Ur-Masse bezeichnet hatte. Dementsprechend – und gemäß der niederländischen Schreib- und Sprechweise – sprach Helmont Gas wie „Chas“ aus.“<sup>3</sup>

Der Engländer Robert Boyle (1627-1691) zeigte, dass Verbrennung nur in Gegenwart von Luft möglich war. Er bekämpfte also auch die Lehre des Aristoteles, doch seine Erkenntnisse fanden nicht die große Beachtung. Eine andere, genau gegenteilige Theorie setzte sich durch. Ein deutscher Chemiker Georg Ernst Stahl (1659-1734), Leibarzt des Königs Friedrich Wilhelm von Preußen, ließ 1697 verlauten: „Alle brennbaren Stoffe

<sup>2</sup> Weber, Rudolf: Der sauberste Brennstoff, Der Weg zur Wasserstoff-Wirtschaft. Oberbözing 1988, S. 12

<sup>3</sup> Ebd., S. 12

enthalten Phlogiston, eine hypothetische Substanz, die beim Verbrennungsvorgang entweicht.“<sup>4</sup>

Nach dieser Theorie (vom griechischem phlogiston, verbrannt) verbrennt ein Stoff um so einfacher und leichter, je mehr Phlogiston oder auch „Feuergeist“ genannt, ihm zugeführt wurde.

Nun wurde es erstmals möglich, viele verschiedene chemische Vorgänge mit ein- und derselben Theorie zu erklären. Ein Beispiel dazu: Blei besteht aus Bleikalk (heute sagt man dazu „Bleioxid“) und Phlogiston. Das Ergebnis beim Erhitzen wäre, dass Phlogiston wird ausgetrieben so dass Bleikalk übrigbleibt.

Wasser galt dennoch immer nach Aristoteles als einfacher Grundstoff. „Noch 1756 sah der Schotte Joseph Black die Gase als Erscheinungsformen des Elementes Luft an – folglich nannte er jenes Gas, das wir heute als Kohlendioxid kennen, fixe Luft, weil es z. B. Magnesium zu Magnesiumkarbonat bindet.“<sup>5</sup>

Vor der königlichen Gesellschaft in London 1766 präsentierte Henry Cavendish (*Abbildung II – Anlage*) drei seiner wissenschaftlichen Arbeiten über chemische Experimente, die er mit „echter und unechter“ Luft anstellte. Dazu löste er Zinn, Zink oder Eisen in Schwefelsäure auf. Das Ergebnis dieses Experiments war jeweils die gleiche Menge aber nur den elften Teil von Luft wiegende Gas.

„Dessen Brennbarkeit habe er mit wechselnden Luftmengen untersucht und dabei notiert, dass „diese Luft, wie andere brennbare Stoffe, nicht ohne Hilfe gewöhnlicher Luft verbrennen kann“. Er nahm aber als Quelle seiner „brennbaren Luft“ nicht die Säure, sondern das Metall an – zwar falsch, wenn auch in Übereinstimmung mit der Phlogiston-Theorie, der er bis zu seinem Lebensende anhing.“<sup>6</sup>

1774 fanden der Schwede Carl Wilhelm Scheele sowie der Engländer Joseph Priestley, durch die von Cavendish Entdeckung angeregte Suche nach neuen Gasen, unabhängig voneinander ein Gas (ein Bestandteil der Luft), welches sie auf den Namen „Feuerluft“ taufte. Denn 1781 nutzte Cavendish die Feuerluft um seine brennbare Luft zu verbrennen und erhielt nichts anderes als Wasser.

Der Franzose Antoine Lavoisier (*Abbildung III – Anlage*), (1743-1794) bejahte die Experimente Cavendish's. Seiner Meinung nach ließen sich Naturerscheinungen ohne Zuhilfenahme von Phlogiston erklären. Laut Lavoisier's These wurden die Eigenschaften

<sup>4</sup> Weber, Rudolf: Der sauberste Brennstoff, Der Weg zur Wasserstoff-Wirtschaft. Oberbözing 1988, S. 12

<sup>5</sup> Ebd., S. 13

<sup>6</sup> Ebd., S. 14

der Körper nicht mehr im Sinne Aristoteles angesehen, sondern die chemischen Elemente als Stoffe mit ganz spezifischen Eigenschaften.

Daraufhin wurde von französischen Chemikern in der Chemie eine neue Namensgebung eingeführt. Die Stoffe bekamen Namen aus dem Griechischen, welche ihre bekannteste Eigenschaft beschrieb.

„1787 trug Lavoisier den von der Gruppe erarbeiteten Vorschlag der Akademie der Wissenschaften zu Paris vor: Die „Feuerluft“ sollte „oxygène“ – vom griechischen oxys, scharf, und genes, erzeugend – heißen, weil Lavoisier sie fälschlicherweise für das hielt, was alle Säuren sauer macht. Für „brennbare Luft“ wurde die Bezeichnung „hydrogène“ – vom griechischen hydor, Wasser – vorgeschlagen, also Wasser-Bildner.“<sup>7</sup>

Daraus resultiert der heutige Name Hydrogenium bzw. Wasserstoff. 1861 stand fest, das Wasserstoff das wohl häufigste Element im Sonnensystem ist, denn die Deutschen Kirchhoff und Bunsen wiesen das anhand der Spektralanalyse in der Sonne nach.

## 2.2 Wasserstoff und seine Eigenschaften

Das chemische Element Wasserstoff ist mit einem Proton und einem Elektron besetzt und aus diesem Grund das leichteste der chemischen Elemente. Bei einer Zimmertemperatur von 20 °C (Normalbedingungen) ist Wasserstoff geruchs- und farblos und besitzt den gasförmigen Aggregatzustand. Außerdem wird Wasserstoff in atomaren Wasserstoff und der dimerisierten Form, dem molekularen Wasserstoff unterschieden. Auf der Erde kommt der Wasserstoff in dimerisierter Form vor.

### 2.2.1 Physikalische Eigenschaften

Der Molekulare Wasserstoff (H<sub>2</sub>) ist etwa 14-mal leichter als Luft und ein geruchsloses Gas. Der Siedepunkt liegt bei 20,27 Kelvin und der Schmelzpunkt bei 14,02 Kelvin.

Von besonderer Bedeutung sind, aufgrund der hohen Geschwindigkeit der Wasserstoffmoleküle (1770m/s bei 25 °C), die thermodynamischen Eigenschaften (Transport).

„Wasserstoff besitzt bei Raumtemperatur das höchste Diffusionsvermögen, die höchste Wärmeleitfähigkeit und die höchste Effusionsgeschwindigkeit aller Gase.“<sup>8</sup>

Ebenso wie die Geschwindigkeit ist auch die Mobilität, bedingt durch den sehr geringen Molekülquerschnitt sehr groß. Erwähnenswert ist auch die hohe Diffusionsgeschwindigkeit

<sup>7</sup> Weber, Rudolf: Der sauberste Brennstoff, Der Weg zur Wasserstoff-Wirtschaft. Oberbözing 1988, S. 14

<sup>8</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Wasserstoff>, recherchiert am 12.01.2006

in Eisen, Platin und einigen anderen Übergangsmetallen. Die Nachteile, welche daraus resultieren sind technische Probleme bei Transport, Lagerung und Verarbeitung von Wasserstoff und Wasserstoffgemischen „da nur Wasserstoff die räumlichen Begrenzungen durchwandert.“

### 2.2.3 Chemische Eigenschaften

Status nascendi, der unmittelbar nach einer Wasserstoffreaktion entsteht, existiert für 0,5 Sekunden. In dieser Zeit reagieren im Normalfall zwei H-Atome miteinander. Schließen diese sich zusammen spricht man von Wasserstoffmolekülen ( $H_2$ ). In dieser Zeit wird sehr viel Energie pro Mol freigesetzt. Im Gegensatz dazu muss man sehr viel Energie aufwenden um den molekularen Wasserstoff in Atome zu zerlegen. Nach diesem Zusammenschluss befindet sich Wasserstoff für kurze Zeit in einem elektronisch angeregten Zustand und kann so für verschiedene Reaktionen genutzt werden. Hier lassen sich zum Beispiel mit einer angesäuerten, violetten Kaliumpermanganatlösung ( $KMnO_4$ ) Farbveränderung hervorrufen.

Bei Zimmertemperatur ist Wasserstoff beständig und reaktionsträge. Gemischt mit Sauerstoff (Knallgas) oder Chlor (Chlorknallgas) ist er jedoch sehr reaktionsfreudig. „Diese Reaktion ist unter dem Namen Chlorknallgasreaktion bekannt, welche sich im Gegensatz zur Knallgasreaktion (Wasserstoff und Sauerstoff) schon durch die Bestrahlung mit Licht zünden lässt.“<sup>9</sup>

Eine weitere, nicht unbedeutende Eigenschaft des Wasserstoffs ist die Wasserstoffbrückenbindung. Dies ist eine anziehende elektrostatische Kraft zwischen zwei Wasserstoffmolekülen. Eine Wasserstoffbrücke lässt sich folgendermaßen erklären:

Wenn H an ein negatives Atom wie Sauerstoff gebunden ist, so befindet sich sein Elektron näher am Bindungspartner. Das H-Atom wirkt durch eine Ladungsverschiebung nun positiv und der Bindungspartner negativ geladen. Zwischen den Bindungspartnern entsteht nun durch die verschiedenen Ladungen eine anziehende Kraft, welche man als Wasserstoffbrücke bezeichnet.

<sup>9</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Wasserstoff>, recherchiert am 12.01.2006

### 3. Wasserstoff und seine Verwendung

Wasserstoff hat zahlreiche Aufgaben in der Technik und Industrie:

Zum Beispiel dient es als Reduktionsmittel. Dabei wird den Metalloxiden Sauerstoff entzogen. Übrig bleibt Wasser und das reduzierte Metall. Diese Anwendung findet insbesondere im Bergbau statt (bei metallischen Erzen), um das reine Metall zu gewinnen.

Des Weiteren dient er zur Kohlehydrierung. So kann Benzin, Diesel oder Öl künstlich hergestellt werden, indem durch chemische Reaktionen Kohle mit  $H_2$  in flüssige Kohlenwasserstoffe umgewandelt werden.

Ein weiteres Einsatzgebiet für Wasserstoff wäre die Verwendung als Kühlmittel. Da Wasserstoff eine hohe Wärmekapazität besitzt, wird es in industriellen Anlagen und Kraftwerken als Kühlmittel genutzt um die Anlagen vor Überhitzung zu schützen.

Ein weiteres sehr wichtiges Einsatzgebiet des Wasserstoffes ist die Energiespeicherung.

Hier findet es als Raketentreibstoff, Kraftstoff für Verbrennungsmotoren oder als Brennstoffzelle Anwendung. Auf die Geschichte und das Funktionsprinzip der Brennstoffzelle wird im nächsten Abschnitt noch detaillierter eingegangen.

#### 3.1 Die Brennstoffzelle

##### 3.1.1 Die Anwendungsgebiete und Entwicklung der Brennstoffzelle

Brennstoffzellen (*Abbildung IV – Anlage*) sind Energieumwandler. Diese wandeln chemische Energie geräusch- und emissionsfrei in elektrische Energie um. Bei diesem Prozess wird auch noch Wärmeenergie erzeugt, die in manchen Fällen auch genutzt werden kann. Als „Abfall“ bleibt Wasser.

„Brennstoffzellen führen im Prinzip den umgekehrten chemischen Prozeß durch, der bei der Wasserelektrolyse stattfindet. Statt also mit Hilfe von elektrischer Energie Wasser in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff zu spalten, „verbrennen“ Brennstoffzellen Wasserstoff (unter Einwirkung von Sauerstoff) und erzeugen dadurch elektrische Energie und zugleich Wärmeenergie.“<sup>10</sup>

Die Verbrennung, welche dabei in Gang gesetzt wird, wird von keiner Flamme begleitet, von daher werden Brennstoffzellen auch als „Gasbatterie“ bezeichnet.

---

<sup>10</sup> Stratis, Karamanolis: Wasserstoff, Energieträger der Zukunft. Neubigerg b. München 2001, S. 131

Die Brennstoffzelle wurde durch Zufall von William Grove im Jahre 1839 entdeckt, als dieser sich mit Elektrolyse beschäftigte. Dass der Elektrolyseur auch als Stromgenerator funktionieren könnte, wurde von ihm festgestellt, denn er lieferte auch Strom, sobald die elektrische Spannungsquelle vom Elektrolyseur abgetrennt wurde. Man konnte also annehmen, dass der Elektrolyseur umgekehrt als Batterie funktionierte. Mit dieser konnte man eine Spannung von ca. 1 Volt erzeugen, dies hing allerdings von der Belastung ab. Grove suchte nach einer Erklärung dieser Erscheinung und wurde fündig.

„Nach der Unterbrechung des Elektrolyseprozesses bleiben nämlich an der Anode der Anlage noch Elektronen „hängen“. An der Kathode lagern dagegen Wasserstoffionen, d.h. positiv geladene Teilchen. Damit waren die Voraussetzungen für die Entstehung einer elektrischen Spannung zwischen den beiden Elektroden gegeben.“<sup>11</sup>

Dieser Erfindung wurde Seitens Grove's keine besondere Wichtigkeit beigemessen.

Sie blieb also bis zum Ende des 19. Jahrhunderts mehr oder weniger unbeachtet. Jahre später konnte der deutsche Physiker und Chemiker Wilhelm Ostwald nachweisen, dass Brennstoffzellen effizienter als Wärmekraftmaschinen sind.

Anfang des 20. Jahrhunderts befassten sich andere Physiker mit der Brennstoffzellen-Problematik, ohne jedoch größere Entdeckungen zu erzielen. Die erste funktionstüchtige Brennstoffzelle mit Elektrolyten wurde Mitte des 20. Jahrhunderts von Fanzis Bocon entwickelt.

Erst einige Jahre später, als die Brennstoffzelle in der Raumfahrt an Bord der Raumkapsel Gemini als Stromquelle eingesetzt wurde, fand ihre spektakuläre Anwendung die gebührende Aufmerksamkeit. Seitdem wurden viele verschiedene Brennstoffzellen, wie z. B. die Alkalische Brennstoffzelle (AFC-Brennstoffzelle), die Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzelle (PEMF-Brennstoffzelle), welche auch in der Raumkapsel Gemini Anwendung fand, oder die Direktmethanol Brennstoffzelle (DMF- Brennstoffzelle) entwickelt bzw. ausgebaut.

### 3.1.2 Die Funktionsweise der Brennstoffzelle

Eine Brennstoffzelle besitzt zwei Elektroden (eine Anode und eine Kathode), welche durch einen protonleitenden Elektrolyt getrennt sind. Der Kathode wird Sauerstoff und der Anode wird Wasserstoff zugeleitet. Durch eine „kalte Verbrennung“ entstehen elektrische Energie und Wärmeenergie. Elektronen werden an der sogenannten katalytisch aktivierten Anodenoberfläche entzogen, wobei Protonen zurückbleiben. Dort spalten sich die

---

<sup>11</sup> Stratis, Karamanolis: Wasserstoff, Energieträger der Zukunft. Neubigerg b. München 2001, S. 131

Wasserstoffatome in Elektronen und Protonen, also in negative und positive elektrische Ladungen. Durch den elektrischen Zusammenschluss der Elektroden „wandern die an der Anode übriggebliebenen Elektronen zur Kathode, wodurch praktisch Strom fließt. Es entsteht also eine Energiequelle, die elektrische Energie produziert. Durch die stattfindenden chemischen Reaktionen entsteht aber gleichzeitig auch Wärmeenergie.“<sup>12</sup> Aus Wasserstoff werden also mithilfe der Brennstoffzelle gleichzeitig Wärme und Strom gewonnen.

Die meisten Brennstoffzellen werden direkt mit Wasserstoff betrieben, wobei man auch Benzin, Erdgas, Biogas, Ethanol oder Methanol verwenden kann, welche wasserstoffhaltige Brennstoffe sind. Allerdings muss aus diesen Brennstoffen vorher unter Einsatz eines Reformers der Wasserstoff abgespalten werden.

### 3.2 Die Kernfusion

Nach den Anfängen der Kernphysik im 20. Jahrhundert wurde die Aufmerksamkeit der Physiker schon bald auf die Energiegewinnung gelenkt.

Parallel neben der Kernspaltung wurde auch die Kernverschmelzung – Kernfusion erforscht.

Die ersten Forschungsergebnisse in diese Richtung waren die Proton-Proton-Reaktion. Bei dieser Reaktion verschmelzen die Wasserstoffkerne direkt zu Helium. Mit dieser Art von Reaktion konnte man die Energiegewinnung in leichten Sternen – wie unserer Sonne – erklären.

Hans Bethe und Carl Friedrich von Weizsäcker entwickelten zwischen 1937 und 1939 eine Theorie zur Kernfusion in schweren Sternen, welche sich Bethe-Weizsäcker-Zyklus nennt. Eine überwiegende Rolle zur Energiegewinnung spielt der Wasserstoff.

Der Unterschied zur Fusion in leichten Sternen besteht darin, dass die Wasserstoffkerne nicht direkt zu Helium verschmolzen werden, sondern in verschiedenen Reaktionen mit Kohlenstoff, Stickstoff sowie Sauerstoff fusionieren. Was am Ende dieser Reaktion übrig bleibt ist Helium.

„Während des Kalten Krieges bauten die Großmächte ihre nuklearen Waffenarsenale aus. Der Schritt zu den Fusionswaffen gelang zuerst den USA: Basierend auf der Atombombe, die Energie aus der Kernspaltung bezieht, konstruieren amerikanische Forscher unter Edward Teller die Wasserstoffbombe (*Abbildung V – Anlage*). In ihr wird durch die Kernfusion ein Vielfaches der Energie einer Uranbombe freigesetzt. 1952 testeten die

---

<sup>12</sup> Stratis, Karamanolis: Wasserstoff, Energieträger der Zukunft. Neubigerg b. München 2001, S. 134

Vereinigten Staaten die erste Wasserstoffbombe auf einer kleinen Pazifikinsel. Es war die erste vom Menschen erzeugte Kernfusion.<sup>13</sup> Und stellt damit eine weitere von zahlreichen Verwendungsmöglichkeit des Wasserstoffes dar.

## 4. Der Herstellungsprozess von Wasserstoff

### 4.1 Informationen über das Elektrolyseverfahren

Wasserstoff ist kein reiner Stoff und kommt bei uns auf der Erde nur in gebundenem Zustand, so zum Beispiel in Mineralölen, Erdgas, Erdöl und natürlich im Wasser vor.

Um Wasserstoffgewinnung zu betreiben, also reinen Wasserstoff zu erhalten, finden mehrere Verfahren Anwendung. Zweckmäßiger Weise werden sie in die drei folgenden Gruppen unterschieden, nämlich das Chemische Verfahren, das Thermische Verfahren sowie das Elektrolytische Verfahren. Auf das Elektrolytische Verfahren wird im Folgenden näher eingegangen:

Elektrolyse (griech. „mittels Elektrizität trennen“) ist die Spaltung einer chemischen Verbindung unter Verwendung von elektrischem Strom.

Diese Möglichkeit der Umwandlung von Wasser zu Wasserstoff (und Sauerstoff) wurde vom deutschen Chemiker Johann Wilhelm Ritter um 1800 das erste mal nachgewiesen. Die alkalische Elektrolyse, welche sich durch niedrige Strompreise und in häufiger Kombination mit Kraftwerken auszeichnet ist wohl die ökonomischste Variante von allen. Folgendermaßen läuft solch eine Reaktion ab: In einem Gefäß befinden sich leitfähige Elektrolyten (Säure, Base, Salzen) sowie zwei Elektroden, welche mit Gleichstrom betrieben werden (*Abbildung VI – Anlage*). Dabei läuft der Herstellungsprozess von Wasser- und Sauerstoff in zwei Teilreaktionen ab.

An der Kathode werden die von der Anode abgegebenen Elektronen aufgenommen. „Diese zwei Teilprozesse ergeben zusammengefasst eine Gesamtreaktion, bei der der „Spaltungsprozess“ sichtbar wird, das heißt, dass Wasser in seine Bestandteile Sauerstoff und Wasserstoff zerlegt wird.“<sup>14</sup>

### 4.2 Informationen über die Redoxreaktion

<sup>13</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Wasserstoff>, recherchiert am 12.01.2006

<sup>14</sup> [http://de.wikipedia.org/wiki/Wasserstoffherstellung#Elektrolyse\\_von\\_Wasser](http://de.wikipedia.org/wiki/Wasserstoffherstellung#Elektrolyse_von_Wasser)

Ein weiteres Verfahren zur Herstellung von Wasserstoff ist die Redoxreaktion. Im folgenden Abschnitt soll diese näher erläutert werden.

Eine Umwandlung von Stoffen, bei der ein Reaktionspartner Elektronen auf einen anderen überträgt, nennt man Redoxreaktion.

Auf dieser Elektronenübertragungs-Reaktion finden viele Explosionen, technische Produktionsprozesse sowie Nachweisreaktionen statt.

Die Redoxreaktion läuft in zwei Teilreaktionen ab. Zum einen die Oxidation (Abgabe von Elektronen) und die Reduktion (Aufnahme von Elektronen).

„Der Stoff, der Elektronen abgibt, ist das Reduktionsmittel [...] das Oxidationsmittel nimmt sie auf [...]. Dieser Elektronenaustausch geschieht fast immer unter Abgabe von Licht- und Wärmeenergie (exotherm).“<sup>15</sup>

#### 4.2.1 Oxidation

Bei einer Oxidation gibt der zu oxidierende Stoff an das Oxidationsmittel Elektronen ab.

Der Begriff der Oxidation entstammt dem Chemiker Antoine Laurent de Lavoisier. Er wollte mit dieser Reaktion die Vereinigung von chemischen Elementen und Verbindungen mit dem Oxygenium (Sauerstoff) beschreiben. Der Begriff wurde später erweitert, indem Wasserstoff-Atome bei einer Reaktion der Verbindung entzogen wurde. Das Hauptmerkmal dieser Reaktionsart ist die Elektronenabgabe eines chemischen Stoffes.

#### 4.2.2 Reduktion

Ebenso wie die Oxidation ist auch die Reduktion eine chemische Reaktionsart.

Die Reduktion erfüllt ihre Aufgabe, indem sie die von der Oxidation abgegebenen Elektronen aufnimmt.

„Auf einer höheren Ebene definiert man die Reduktion als Aufnahme von Wasserstoff (und Oxidation als Abgabe von Wasserstoff)“<sup>16</sup>

Natürlich werden auch hier die Elektronen aufgenommen. Der Unterschied zur „normalen“ Reduktion besteht bloß darin, dass bei der genannten Reduktion auf höherer Ebene ein

<sup>15</sup> [http://de.wikipedia.org/wiki/Redoxreaktion#Die\\_Redoxreaktion\\_.E2.80.93\\_eine\\_Elektronen-.C3.9Cbertragung\\_durch\\_Oxidation\\_und\\_Reduktion](http://de.wikipedia.org/wiki/Redoxreaktion#Die_Redoxreaktion_.E2.80.93_eine_Elektronen-.C3.9Cbertragung_durch_Oxidation_und_Reduktion)

<sup>16</sup> [http://de.wikipedia.org/wiki/Reduktion\\_%28Chemie%29](http://de.wikipedia.org/wiki/Reduktion_%28Chemie%29)

Wasserstoff-Atom und zwei Elektronen aufgenommen werden. Dennoch ist es eher eine Aufnahme von Elektronen als von Wasserstoff.

Ethanol entsteht zum Beispiel, wenn Acetaldehyd Wasserstoff aufnimmt.

## 5. Wasserstofflogistik

Wenn man sich mit dem Thema Wasserstoff-Energiewirtschaft auseinandersetzt, ist es nicht nur wichtig zu wissen, wie der Wasserstoff produziert bzw. für was dieser verwendet wird, sondern auch wie man diesen transportiert und speichert. Um einen kleinen Einblick in diese genannte Thematik zu erhalten, wird sich das nächste Kapitel mit der Wasserstofflogistik auseinandersetzen.

### 5.1 Der Wasserstofftransport

Wasserstoff – ob im flüssigen oder gasförmigen Zustand – lässt sich über verschiedene Transportwege weiterleiten. Möglichkeiten, welche man zum Transport wählen könnte, wären über die Schiene, per Schiff oder auch über Pipelines (Dies sind Rohrsysteme, die den Wasserstoff transportieren). Die letztere Möglichkeit - der Transport über Pipelines – hat in den letzten Jahren zugenommen. Vorwiegend wird die chemische Industrie über H<sub>2</sub>-Pipelines mit Wasserstoff versorgt.

„Meistens sind es Pipeline-Netze mit Längen zwischen einigen Kilometern und einigen 100 Kilometern. Insgesamt gibt es weltweit etwa 1000 km H<sub>2</sub>-Pipelines.“<sup>17</sup>

Das seit 1938 betriebene, 220 kilometerlange älteste Pipeline-Netz ist das Rhein-Ruhr-Pipeline-System. Die meisten Pipeline-Netze für Wasserstoff werden gegenwärtig in den USA betrieben. Ein Beispiel dazu wäre das 217 km lange Wasserstoff-Pipeline-Netz in Gulf-Coast/Texas, welches seit 1969 betrieben wird. Auch in Kanada, Niederlanden, Brasilien oder Thailand werden solche Netze betrieben. Um möglichst effizient zu arbeiten, d. h. so wenig Verluste wie möglich durch den Transport zu erleiden, sind vakuumisolierte Rohre erforderlich. Die Kosten dafür sind aber sehr hoch, obwohl dies technisch gesehen kaum Probleme bereiten würde.

Wie oben beschrieben, wäre eine weitere Art den Wasserstoff über den Wasserweg zu transportieren.

---

<sup>17</sup> Stratis, Karamanolis: Wasserstoff, Energieträger der Zukunft. Neubigerg b. München 2001, S.113

Tanker, welche für diesen Transport geeignet wären, werden seit langer Zeit für den LNG-Transport eingesetzt, für den LH<sub>2</sub>-Transport (Flüssigwasserstoff) kommen diese allerdings nicht in Frage, da die Ver- und Entladezeiten zu lang sind und dies wiederum mit hohen Kosten verbunden ist.

## 5.2 Die Wasserstoffspeicherung

Damit man den Wasserstoff als Energieträger nutzen kann, muss man ihn – da man ja nicht sofort die ganze Menge des Wasserstoffes aufbraucht – je nach Bedarf speichern.

Die sinnvollste Variante wäre, den Wasserstoff zu verdichten und so in einem Druckbehälter aufzubewahren. Da es hierbei Probleme gibt (z. B. Druck des Wasserstoffes – dieser kann nicht beliebig gewählt werden), verwendet man Flüssigwasserstoffspeicher.

Hierfür ist aber wiederum Energie notwendig, um den gasförmigen Wasserstoff zu verflüssigen. Des Weiteren kann man chemische Speicher verwenden, was zur Folge hat, dass der Verflüssigungsprozess nicht notwendig ist und so der Wasserstoff in gasförmiger Form gespeichert werden kann. Die H<sub>2</sub>-Speicher lassen sich in drei Kategorien unterteilen. Dies wären der stationäre Speicher, der mobile Speicher und der portable Speicher.

Den stationären Speicher benötigt man, um den Wasserstoff am Produktionsort zu speichern. In den stationären Speichern ist es möglich, Wasserstoff in gasförmiger oder flüssiger Form zu speichern. Diese können z. B. zum Betreiben einer Wasserstoff-Tankstelle (siehe Flughafen München) eingesetzt werden.

Zu den mobilen Speichern zählen Speicher, welche mobil eingesetzt werden. In diesen kann man Wasserstoff ebenfalls flüssig oder gasförmig lagern. Zu den mobilen Speichern zählen der Bordspeicher eines Kraftfahrzeuges ebenso wie der Bordspeicher einer Rakete.

In portablen Wasserstoffspeichern kann gasförmiger wie auch flüssiger Wasserstoff gespeichert werden. Zu den portablen Speichern zählen z. B. die Stromversorgung von Laptops, Funkgeräten oder auch Geräte für spezielle militärische Anwendungen.

## 6. Die Vor- und Nachteile von Wasserstoff

In den 60-er Jahren, als deutsche und amerikanische Wissenschaftler die Idee einer Wasserstoffwirtschaft und damit einen neuen Energieträger gebaren, war die Umweltproblematik kein Thema. Die Gedanken gingen primär in die Richtung, eine

Energieversorgung nach der Ölzeit sicherzustellen, welche sicher auch gerechtfertigt waren.

Das Thema „Umwelt“ trat erst in den 70-er Jahren als Gesprächsthema auf.

„Folgerichtig trat, als in der zweiten Hälfte der 80-er Jahre der Wasserstoff als möglicher Nachfolger der fossilen Brennstoffe wieder ins Gespräch kam, seine Umweltverträglichkeit in den Vordergrund. Inwiefern kann Wasserstoff, vielmehr eine Wasserstoffwirtschaft, der Umwelt helfen?“<sup>18</sup>

Rein formal gesehen ist Wasserstoff ein sehr sauberer Brennstoff, wenn man annimmt, dass er nur mit reinem Sauerstoff reagiert. Sollte dieser mit Luft verbrannt werden, entstehen aber Stickoxide, welche schon eine Belastung für die Umwelt darstellen. Außerdem wäre die Elektrolyse mit der, wie im Kapitel 4.1 beschrieben, Wasserstoff aus dem Wasser gewonnen wird die Stromerzeugung und der anschließende Wasserstofftransport nicht ohne negative Einwirkungen auf die Umwelt. Ein Beispiel wären Autos mit Wasserstoff-Verbrennungsmotoren. Bei diesen wird man keinen reinen Sauerstoff verwenden, sondern sich mit dem aus der Luft arrangieren. Bei dessen Anwendung erreichen die Flammentemperaturen bis ca. 2300° C. Bei Temperaturen über 1500° C bilden sich eine Menge an Stickoxiden, ähnlich wie bei der Verbrennung des fossilen Brennstoffes Erdgas. Allerdings kann man bei Wasserstoff die Verbrennung regeln, indem man den Luftüberschuss mindert und dies wiederum die Temperatur senkt. Die Folge wäre, dass die Stickoxidbildung verringert wird. Ein weiterer Vorteil von Wasserstoff besteht darin, dass dieser im Gegensatz zu fossilen Brennstoffen weder Staub, Schwermetalle noch Schwefel enthält, welche bei der Verbrennung freigesetzt werden würden. Wenn man Wasserstoff in großen Mengen verbrennen würde, so gäbe es mehr Wasserdampf – welcher Einfluss auf das Klima nehmen und so mehr Regen als bisher verursachen könnte. In der Quintessenz lässt sich ableiten, dass dieser Wasserstoff im Gegensatz zu den heute vorkommenden fossilen Brennstoffen ein sehr umweltverträglicher Brennstoff ist.

## **7. Ein kurzer Überblick und Erläuterungen über weitere Nutzenergien**

Im folgenden Kapitel werden noch weitere Energienarten, welche außer Wasserstoff auf der Erde zu finden sind erläutert.

---

<sup>18</sup> Weber, Rudolf: Der sauberste Brennstoff, Der Weg zur Wasserstoff-Wirtschaft. Oberbözing 1988, S. 95

## 7.1 Wasserkraft

Durch Wasserkraftnutzung wird Wasser als Energie bereits seit Jahrhunderten genutzt.

Anhand von Wasserrädern (*Abbildung VII – Anlage*) fand man mit einfachsten Techniken den Zugang zum Wasser als Energiequelle. Wasserräder in unterschiedlichster Form waren wohl einer der ersten „Maschinen“ welche die Wasserkraft des Wassers in eine Drehbewegung umwandeln und so Sägewerke, Pumpen und natürlich Mühlen antrieben.

James Francis entwickelte 1849 die erste leistungsfähige Turbine, nämlich die Radialturbine. Kurz darauf erfand Werner von Siemens die Dynamomaschine, dies war die Geburtsstunde als Wasser das erste mal zur Stromproduktion eingesetzt werden konnte.

Die Freistrahlturbine wurde 1889 von Lester Pelton gebaut, und 1912 ließ Viktor Kaplan sich die Axialturbine patentieren. Diese war mit verstellbaren Schaufeln versehen.

Somit konnte man das Problem der Stromübertragung über längere Wege lösen und Wasserkraftwerke konnten fern vom Verbraucher errichtet werden.

## 7.2 Windkraft

Der Ausbau von Windkraftanlagen wurde von der Bundesrepublik Deutschland, von Förderprogrammen der Bundesregierung und der Bundesländer sowie durch das Stromeinspeisegesetz und die Unterstützung der Energieversorger gefördert.

Die Entwicklung dieser Technik reichte von Leistungen um die 30kW bis 55kW. Die heutigen Anlagen schaffen eine Leistung von 500kW bis 1500 kW. In Sachen Windkraft steht nicht die USA sondern Deutschland an erster Stelle – „Deutschland ist vor den USA Windland Nr. 1 auf der Welt.“<sup>19</sup>

Durch den Zuwachs an Windkraftanlagen in Deutschland liegt Deutschland in Sachen Windkraftleistung und die damit verbundene Energieerzeugung – wie schon oben festgestellt – vor den USA.

„Der Beitrag zur öffentlichen Stromversorgung betrug 1996 ca. 2,0TWh bzw. 0,4%. Das Potential der bis Ende 1997 installierten Windkraftanlagen beträgt ca. 3,5TWh.“ 3,5TWh machen 1997 0,7% der Energienutzung der Bundesrepublik Deutschland aus.

Durch finanzielle Förderung ist insbesondere im norddeutschen Küstenbereich die Windkraftnutzung für den Betreiber wirtschaftlich.

## 7.3 Biomasse

---

<sup>19</sup> Hauptberatungsstelle für Elektrizitätsanwendung – HEA – e. V: Regenerative Energien, Technik – Daten – Zahlen – Fakten. Frankfurt am Main 1998, S. 139

Pflanzen, Tiere, ihre Rest- und Abfallstoffe, organischer Hausmüll, Industriemüll, organische Rückstände der Lebensmittelindustrie – all dies bezeichnet man als Biomasse. Gülle beispielsweise dient zur Gewinnung von Biogas.

„In Biomasse liegt chemisch gebundene Energie vor. Sie weist gegenüber den übrigen erneuerbaren Energien den Vorteil auf, dass die Probleme der Energiespeicherung und –bevorratung vergleichsweise gering sind.“<sup>20</sup>

Biomasse trägt 15 % bis 20 % zur weltweiten Primärenergieversorgung bei. In den Entwicklungsländern liegt der Anteil bei ca. 38 %, wobei er in den Industrieländern bei ca. 4 % liegt. In Deutschland liegt der Anteil bei 1 %. Biomasse wird bei uns vorwiegend aus Müll- und Klärschlammverbrennung sowie der Holznutzung gewonnen.

Weitere Energieträger aus Biomasse sind Festbrennstoffe zur Wärmeengewinnung, Pflanzenöle als Heizöl und Kraftstoffe, Pyrolyse- oder Biogas zum Motorantrieb oder zur Wärmeengewinnung.

Biomasse ist nicht uneingeschränkt erneuerbar wie zum Beispiel die direkte Nutzung der Sonnenenergie (zur Stromerzeugung durch Photovoltaikanlagen). Dessen Verfügbarkeit ist von einigen Bedingungen wie, z. B. entsprechende Bodenqualität, Jahreszeit usw. abhängig.

#### 7.4 Geothermie

Geothermie – Wärme aus dem Erdinneren. Die Erde ist ein riesiges Heizkraftwerk. Die natürliche Wärmeenergie aus der Erde bezeichnet man als Geothermie. Durch Wärmeleitungen (*Abbildung VIII – Anlage*) gelangt die Wärme durch zirkulierende flüssige und gasförmige Stoffe sowie durch aufsteigendes Magma an die Erdoberfläche. „Durch den radioaktiven Zerfall langlebiger Isotope des Urans und des Thoriums entsteht im Erdkern kontinuierlich Wärme. Ein kleinerer Teil der Wärme im Erdmittelpunkt ist Ursprungswärme.“<sup>21</sup>

Durch die Nutzung geothermischer Anlagen vermindert sich der Ausstoß klimarelevanter Spurengase. Im Gegensatz dazu enthalten Heißwasser und Wasserdampf aus geothermischen Quellen schädliche Stoffe wie zum Beispiel Schwefelwasserstoff, Borsäure, Quecksilber oder Arsen. Dies wiederum hat eine hohe Materialbelastung und

<sup>20</sup> Ebd., S. 178

<sup>21</sup> Hauptberatungsstelle für Elektrizitätsanwendung – HEA – e. V: Regenerative Energien, Technik – Daten – Zahlen – Fakten. Frankfurt am Main 1998, S. 170

einen hohen Verschleiß technischer Anlagen zur Folge. Die Konsequenz daraus heißt, dass die Wirtschaftlichkeit bei geothermischen Anlagen ungenügend ist.

Trotz allem zählt Geothermie zu den nicht erschöpfbaren und somit regenerativen Energien, ebenso wird kein Kohlenmonoxid freigesetzt. Des Weiteren erfordert die Schöpfung dieser Energie hohe Investitionskosten, dafür aber geringe Betriebskosten. Außerdem kann die Geothermie 59 % des gesamten Wärmebedarfs in der Bundesrepublik Deutschland decken.

## **8. Schlusswort**

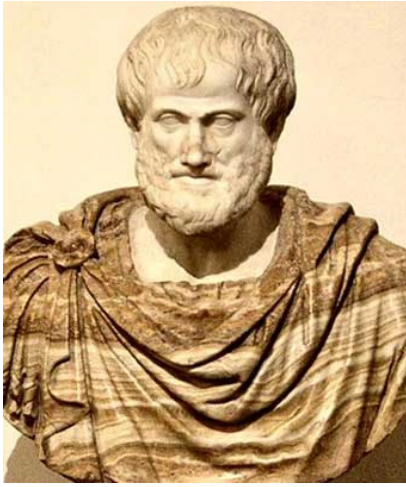
Wasserstoff als Energieträger – sicherlich wird er in einigen Jahrzehnten noch interessanter für uns werden, nämlich dann, wenn wir nur noch wenige bzw. keine fossilen Energievorräte wie Kohle oder ähnliches mehr abbauen können, weil diese Energieträger nicht mehr vorhanden sind. Denn weder Kohle noch Erdöl werden nachwachsen. Oder auch, weil die Gewinnung von Geothermie, wie oben festgestellt, zu unwirtschaftlich ist und somit zu hohe Kosten entstehen würden.

Auch wenn Wasserstoff nach der Ölkrise 1973 immer mehr in den Blickwinkel der Menschen rückte, so sollte die sich die Industrie weiterhin mit dieser „Kohle der Zukunft“<sup>22</sup> (Jules Verne) auseinandersetzen, damit wir auch noch in vielen Jahren auf Energievorräte zurückgreifen können.

---

<sup>22</sup> Stratis, Karamanolis: Wasserstoff, Energieträger der Zukunft. Neubigerg b. München 2001, S.3

## 9. Anhang



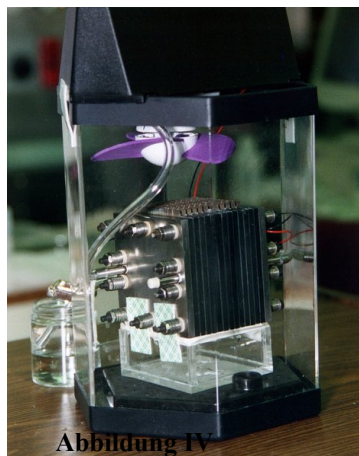
**Abbildung I**  
Aristoteles  
(384 bis 322 v. Chr.)



**Abbildung II**  
Henry Cavendish  
(1732 bis 1810)



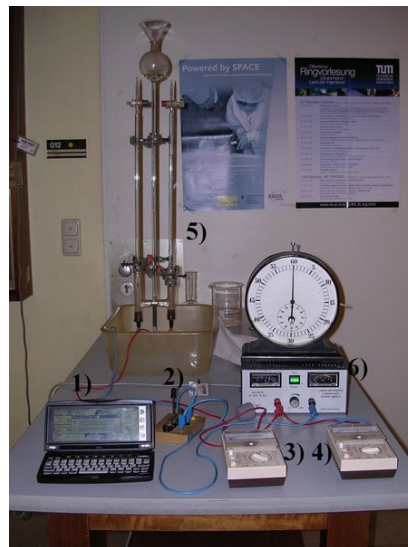
**Abbildung III**  
Antoine Laurent Lavoisier  
(1743 bis 1794)



**Abbildung IV**  
Eine mit Alkohol betriebene  
Brennstoffzelle



**Abbildung V**  
Wasserstoffbombe „Mike“  
(31.10.1954)



**Abbildung VI**  
Elektrolyseapparat



**Abbildung VII**  
Oberschlächtiges Wasserrad



**Abbildung VIII**  
Geothermische Anlage

## 10. Literatur- und Quellenverzeichnis

### Bücher:

- Hauptberatungsstelle für Elektrizitätsanwendung – HEA – e. V: Regenerative Energien, Technik – Daten – Zahlen – Fakten. Frankfurt am Main 1998
- Stratis, Karamanolis: Wasserstoff, Energieträger der Zukunft. Neubigerg b. München 2001
- Weber, Rudolf: Der sauberste Brennstoff, Der Weg zur Wasserstoff-Wirtschaft. Oberbözberg 1988

### Internet:

- [http://de.wikipedia.org/wiki/Antoine\\_Lavoisier](http://de.wikipedia.org/wiki/Antoine_Lavoisier), recherchiert am 02.02.2006, 18:06 Uhr
- [http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Ivy\\_Mike\\_%28Eniwetok-Atoll\\_-\\_31.\\_Oktober\\_1952%29.jpg](http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Ivy_Mike_%28Eniwetok-Atoll_-_31._Oktober_1952%29.jpg), recherchiert am 02.02.2006, 18:26 Uhr
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Brennstoffzelle>, recherchiert am 02.02.2006, 18:22
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Geothermie>, recherchiert am 02.02.2006, 19:22 Uhr
- [http://de.wikipedia.org/wiki/Mike\\_%28Wasserstoffbombe%29](http://de.wikipedia.org/wiki/Mike_%28Wasserstoffbombe%29), recherchiert am 02.02.2006, 18:26 Uhr
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Oxidation>, recherchiert am 02.02.2006, 17:46 Uhr
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Redoxreaktion>, recherchiert am 02.02.2006, 17,34 Uhr
- [http://de.wikipedia.org/wiki/Redoxreakton#Die\\_Redoxreaktion\\_E2.80.93\\_eine\\_Elektronen-C3.9Cbertragung\\_durch\\_Oxidation\\_und\\_Reduktion](http://de.wikipedia.org/wiki/Redoxreakton#Die_Redoxreaktion_E2.80.93_eine_Elektronen-C3.9Cbertragung_durch_Oxidation_und_Reduktion), recherchiert am 02.02.2006, 17,34 Uhr
- [http://de.wikipedia.org/wiki/Reduktion\\_%28Chemie%29](http://de.wikipedia.org/wiki/Reduktion_%28Chemie%29), recherchiert am 02.02.2006, 17:41 Uhr
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Wasserstoff>, recherchiert am 12.01.2006, 15:47 Uhr
- [http://de.wikipedia.org/wiki/Wasserstoffherstellung#Elektrolyse\\_von\\_Wasser](http://de.wikipedia.org/wiki/Wasserstoffherstellung#Elektrolyse_von_Wasser), recherchiert am 30.01.2006, 17:25 Uhr
- <http://roman.mainer.de/elysion/aristoteles.jpeg>, recherchiert am 30.01,2006, 17:03 Uhr

- <http://www.pilotundluftschiff.de/Cavendish.htm>, recherchiert am 30.01.2006, 17:06 Uhr

Bilder:

- Abbildung I : <http://roman.mainer.de/elysion/aristoteles.jpeg>, recherchiert am 30.01.2006, 17:03 Uhr
- Abbildung II : <http://www.pilotundluftschiff.de/Cavendish.htm>, recherchiert am 30.01.2006, 17:06 Uhr
- Abbildung III : [http://de.wikipedia.org/wiki/Antoine\\_Lavoisier](http://de.wikipedia.org/wiki/Antoine_Lavoisier), recherchiert am 02.02.2006, 18:06 Uhr
- Abbildung IV : <http://de.wikipedia.org/wiki/Brennstoffzelle>, recherchiert am 02.02.2006, 18:22 Uhr
- Abbildung V: [http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Ivy\\_Mike\\_%28Eniwetok-Atoll\\_-31.\\_Oktober\\_1952%29.jpg](http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Ivy_Mike_%28Eniwetok-Atoll_-31._Oktober_1952%29.jpg), recherchiert am 02.02.2006, 18:26 Uhr
- Abbildung VI: <http://de.wikipedia.org/wiki/Brennstoffzelle>, recherchiert am 30.01.2006, 17:18 Uhr
- Abbildung VII: <http://de.wikipedia.org/wiki/Wasserrad>, recherchiert am 02.02.2006, 19:16 Uhr
- Abbildung VIII: <http://de.wikipedia.org/wiki/Geothermie>, recherchiert am 02.02.2006, 19:22 Uhr

**Erklärung zur Anfertigung wissenschaftlicher Arbeiten**

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen Quellen als die angegebenen benutzt habe. Die Stellen der Arbeit, die anderen Werken in Wortlaut dem Sinne nach entlehnt sind, habe ich in jedem Fall unter eindeutiger Angabe der Quelle der Entnahme kenntlich gemacht.

Bei Benutzung der elektronischen Quellen (Internet) habe ich die vollständige Zugangsadresse (mit Datumsangabe) im Quellenverzeichnis aufgelistet und die entsprechenden Stellen innerhalb der Arbeit als solche gekennzeichnet. Nach Aufforderung kann ich den Ausdruck des Internet-Textes vorlegen.

Mit ist bekannt, dass die Arbeit und deren Bewertung wegen der Täuschung auch nach Festlegung der entsprechenden Note(n) in dem jeweiligen Fach als nicht den Bestimmungen gemäß angefertigt erklärt werden kann und demzufolge eine entsprechende Korrektur der Note zur Folge hat.

Ich bin einverstanden, dass meine Arbeit nach Beendigung der Ausbildung entsprechend den schulischen Bedingungen verwendet werden darf.

Ort: \_\_\_\_\_,

Datum: \_\_\_\_\_

---

eigenhändige Unterschrift des Verfassers  
(mit Vor- und Zunamen)