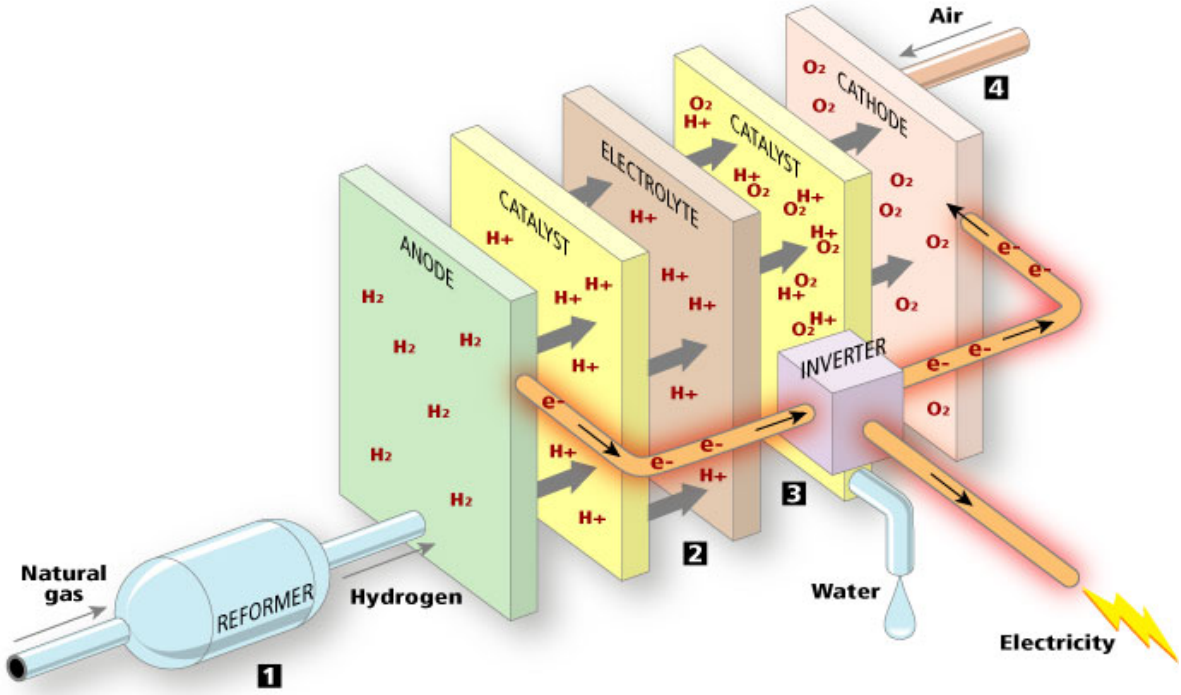
Brennstoffzellen

Energie für die Welt von morgen



LAP 2003 / Selbständige Vertiefungsarbeit (SVA)

Alexander Adank, PK8a, BBZ Schaffhausen

ABU Lehrer: Martin Good

11. Februar 2003

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung....3
1.1 Themenwahl....3
1.2 Zielsetzung der Arbeit....3
1.3 Geplantes Vorgehen....4
1.4 Erwartungen und Bedenken....4
2 Hauptteil....5
2.1 Geschichte der Brennstoffzelle....5
2.1.1 Grove und die Gasbatterie....5
2.1.2 Euphorien und die Nernst-Masse....6
2.1.3 Der lange Weg zur NASA....7
2.1.4 Energiekrise und Projekt TARGET....8
2.2 Funktion und Technik der Brennstoffzelle....10
2.2.1 Grundprinzip....10
2.2.2 Brennstoffe und Energiebereitstellung....11
2.3 Bauarten und ihre Eigenschaften....12
2.3.1 AFC – Alkalische Brennstoffzelle....12
2.3.2 PEMFC – Polymer-Elektrolyt-Membran Brennstoffzelle....12
2.3.3 DMFC – Direkt-Methanol Brennstoffzelle....13
2.4 Probleme und mögliche Lösungen....13
2.4.1 Wasserdampf und unser Klima....14
2.4.2 Viel Energie für nichts?....15
2.5 Umfrage zum Thema alternative Energie....16
3 Schlussbetrachtung....18
4 Quellenverzeichnis....20
A Anhang....21

1 Einleitung

„What will you do with the power to change the world? - Was würdest du tun wenn du die Macht hättest die Welt zu verändern?“, fragt der kanadische Brennstoffzellen-Hersteller Ballard auf seiner Website. Neben dem englischen Wortspiel um das Wort Power, was Macht, oder eben auch Energie bedeuten kann, zeigt der Slogan auch ziemlich genau auf wozu die Brennstoffzellen-Technologie eines Tages fähig sein könnte.

1.1 Themenwahl

Seit einigen Jahren wird vom Wasserstoff als Kraftstoff für die Zukunft gesprochen. Und wenn über die Wasserstoff-Wirtschaft diskutiert wird, ist auch das Thema Brennstoffzelle nicht fern. Das Prinzip der Brennstoffzelle eignet sich hervorragend zu Umwandlung der im Wasserstoff vorhandenen chemischen Energie. Doch nicht nur Wasserstoff, sondern auch Erdgas, Biogas oder Propan eignen sich zum Betrieb einer Brennstoffzelle.

Ich selbst habe das Thema gewählt weil mich die technischen Möglichkeiten der Brennstoffzelle interessieren. Einen direkten Bezug zur Thematik selber hatte ich bis jetzt nicht, ich hatte leider noch nie die Möglichkeit eine Brennstoffzelle in Aktion zu sehen, geschweige denn einen Blick in den Produktions- oder Forschungsablauf werfen zu können.

1.2 Zielsetzung der Arbeit

Ich hoffe durch meine Recherchen und dem schreiben dieser Arbeit meine, bis jetzt nicht sehr grossen, Kenntnisse über Brennstoffzellen auszuweiten und zu vertiefen. Besonders von der Umfrage erhoffe ich mir ein Bild davon machen zu können, wie die Brennstoffzelle, oder alternative Energien im Allgemeinen, in meinem Umfeld bekannt sind. Auch erhoffe ich mir einige Kenntnisse über den aktuellen Stand der Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet an zueignen. Im Besonderen möchte ich auf die beiden Teilaspekte Oekologie/Umweltverträglichkeit sowie Machbarkeit/Utopie eingehen, was mir

hoffentlich möglichst gut gelingen wird.

1.3 Geplantes Vorgehen

Die brauchbaren Quellen und Fachliteratur habe wie bereits vor dem eigentlichen Schreib-Beginn der Arbeit gesammelt. Da ich mich oft und gerne im Internet bewege, werde ich meine Informationen zu einem grossen Teil auch von dort beziehen. Die Zeitspanne bis zum Abgabetermin ist verhältnismässig lang, daher werde ich wohl die ganze mir zur Verfügung stehende Zeit nutzen.

1.4 Erwartungen und Bedenken

Bedenken zur Arbeit selber habe ich eigentlich keine besondere. Quellen zu aktuellen Forschungsprojekten gibt es es vor allem im Internet bekanntlich zuhauf. Problematisch dürfte eher die Aktualität der Arbeit sein, da es für mich als einfacher Lehrling kaum einfach sein dürfte an wirklich aktuelle Forschungsunterlagen zu gelangen.

2 Hauptteil

Kapitel zwei, der Hauptteil, soll einen Überblick über den weiten Bereich der Brennstoffzellen, deren Geschichte, Technik, ökologische Probleme und vor allem die heutigen Anwendungsgebiete geben. Den Abschluss macht eine kleine Umfrage, welche darüber Aufschluss geben soll, in welchem Masse die befragen Personen die Brennstoffzelle und alternative Energien nutzen würden.

2.1 Geschichte der Brennstoffzelle

Oftmals mag einem das Prinzip der Brennstoffzelle erstaunen und manche, technisch nicht versierte Person mag wohl schnell an Science-Fiction denken, und doch ist die Brennstoffzelle eine recht alte Erfindung.

2.1.1 Grove und die Gasbatterie

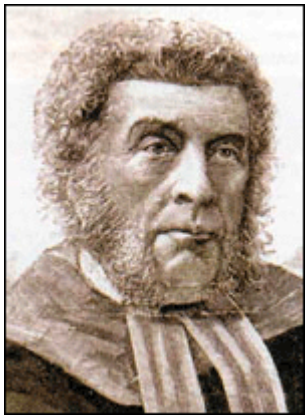


Abbildung 1:
Sir William R. Grove

Alles begann [1] mit der Geburt von Sir William Robert Grove im Jahre 1811, in Swansea in Wales. Er wurde als Kind stets von Privatlehrern unterrichtet und besuchte als Jugendlicher das Brasenose College in Oxford, wo er 1832 graduierte. Nachdem er den Abschluss gemeistert hatte, beschäftigte er sich hauptsächlich mit Physik. Die Elektrizität war in der damaligen Zeit ein noch sehr junges Phänomen und die Domäne der Chemiker und Physiker. Der bekannte Chemiker Michael Faraday befasste sich zur selben Zeit mit den Vorgängen der Elektrolyse, also der Zersetzung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff.

Und die Elektrolyse war es, die Grove faszinierte. Er experimentierte damit und fand 1839 heraus, dass sich dieser Prozess auch umkehren liess. Sein Versuchsaufbau für die sogenannte galvanische Gasbatterie sah folgendermassen aus: Er tauchte Platin-Elektroden in Schwefelsäure und hielt den einen Pol in einer Wasserstoffatmosphäre, den

anderen in einer Sauerstoffatmosphäre. Und wie er erwartet hatte, liess sich über den angelegten Stromkreis eine schwache, elektrische Ladung messen: Der erste Prototyp der Brennstoffzelle funktionierte!

Eine grosse Zukunft schien sich damals aber noch kaum abzuzeichnen. Der messbare Strom dieser ersten Brennstoffzelle war einfach zu schwach um im grossen Stil eingesetzt zu werden. Eine andere Erfindung Groves, eine Platin-Zink-Batterie erzeugte wesentlich mehr Strom, Grove soll zwischen 1840 und 1847 sogar eine seiner Vorlesungen in London damit beleuchtet haben. Seine galvanische Gasbatterie verlor im Laufe der Jahre zusehends an Bedeutung, besonders 1866 wurde für seine Entdeckung zum Schicksalsjahr: In diesem Jahr wurde das dynamo-elektrische Prinzip entdeckt, die Erzeugung von Strom aus bewegten Magnetfeldern. Dynamos erzeugten nun den Strom, auf Chemie, geschweige denn Batterien war man schlicht nicht mehr angewiesen. Sir William Robert Grove starb 1896, ohne zu wissen was seine Entdeckungen später einmal auslösen würden.

2.1.2 Euphorien und die Nernst-Masse

Bereits vor Groves Tod sahen jedoch einige Wissenschaftler das Potential in seinen begonnenen Forschungen. Wilhelm Ostwald (1853-1932), Direktor des ersten Lehrstuhls für physikalische Chemie in Leipzig gab sich 1887 schon ziemlich euphorisch [2]:

> *„Haben wir ein galvanisches Element, welches aus Kohle und dem Sauerstoff der Luft unmittelbar elektrische Energie liefert [...], dann stehen wir vor einer technischen Umwälzung, gegen welche die bei der Erfindung der Dampfmaschine verschwinden muss. Denken wir nur, wie [...] sich das Aussehen unserer Industrieorte ändern wird! Kein Rauch, kein Russ, keine Dampfmaschine, ja kein Feuer mehr...“*

Dank den verschiedenen Versuchen die Ostwald durchführte und den nachfolgend erstellten Theorien konnte der Wirkungsgrad der Brennstoffzelle auf ungefähr 83% festgelegt werden. Im Vergleich mit dem damals sehr verbreiteten Braunkohlekraftwerk, das lediglich mit einem Wirkungsgrad von etwa 32% aufwarten konnte, war das wahrhaft

gigantisch.

Im Jahr 1897 [3] setzten sich dann bereits erste Veränderungen durch. So verwendete Walter Hermann Nernst erstmals yttriumdotiertes Zirkoniumdioxid an Stelle von Schwefelsäure als Elektrolyt in seiner Brennstoffzelle. Dieses Exemplar versorgte im Namen der „Allgemeinen Electrizitätsgesellschaft“ auf der Weltausstellung 1900 in Paris einen ganzen Pavillon mit Strom. Die damals verwendete Elektrolytmischung ist heute als Nernst-Masse bekannt und stellt die Basis für SOFC's (Solid Oxide Fuel Cells) dar, welche heutzutage als Basis für die stationäre Stromversorgung mit Brennstoffzellen gelten.

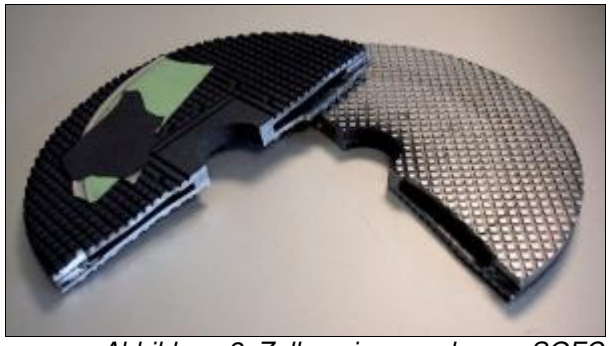


Abbildung 2: Zellen einer modernen SOFC

2.1.3 Der lange Weg zur NASA

Die Brennstoffzelle hatte, langsam aber sicher, Fuss gefasst und löste damals eine ganze Flut von möglichen Konstruktionsvorschlägen aus. Und dies, obwohl man immer noch vor dem hauptsächlichen Problem stand, geeignete Werkstoffe zu finden. Es sollte noch Jahre dauern bis erste technische Aufwertungen möglich wurden. So war man um 1920 erstmals in der Lage die rasche Korrosion der Elektroden in den Griff zu bekommen. Die Erklärung aller Vorgänge die in einer Brennstoffzelle abliefen, bereitete vielen Forschern jedoch weiterhin Kopfzerbrechen.

Trotz diverser Verbesserungen verschwand die Technik bis nach dem zweiten Weltkrieg weitgehend von der Bildfläche. Anfangs der sechziger Jahre begannen die deutschen Firmen Siemens und Varta mit der Produktion von so genannten alkalischen Brennstoffzellen (AFC, Alkaline Fuel Cell), welche hauptsächlich in Umsetzerstationen für Fernsehsender eingesetzt wurden. Die Anwendungsmöglichkeiten der Brennstoffzellen-

Technik blieben aber immer noch beschränkt, da als Brennstoff weiterhin nur reiner Wasserstoff und als Oxidationsmittel nur reiner Sauerstoff in Frage kam. Ein weiteres Problem waren auch die extremen Kosten die durch Materialien und Produktion verursacht wurden. Zu Beginn des Gemini-Programmes der NASA wurden mit den 1kW PEFC's (Polymer Electrolyte Fuel Cell) auch erstmals Brennstoffzellen in der Raumfahrt eingesetzt, ihre Zuverlässigkeit und das geringe Gewicht waren dabei ausschlaggebend. Im Apollo-Programm wurden die Systeme auf AFC's mit jeweils 1.5 kW Leistung umgestellt und bis 1998 hatte diese Bauart bereits über 65'000 erfolgreiche Betriebsstunden in bemannten Space Shuttle Flügen absolviert. Trotz allem besitzen alkalische Brennstoffzellen einen entscheidenden Nachteil: Ihre hohe Empfindlichkeit gegenüber CO_2. Abgesehen von der englischen Firma Zetek, die AFC's für Fahrzeuge herstellte, beschränkte man sich darauf, diese Bauart vorerst nur in der Raumfahrt und auf U-Booten einzusetzen, wo Kohlendioxid die Funktion der Zelle kaum beeinträchtigen konnte.

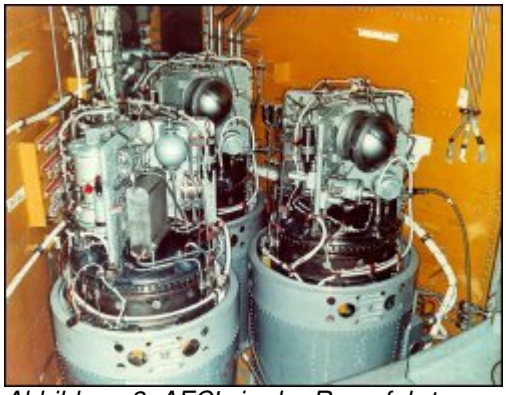


Abbildung 3: AFC's in der Raumfahrt

2.1.4 Energiekrise und Projekt TARGET

Für erdgebundene Systeme kam deshalb bald ein neuer Typ in Frage, der mit einem sauren, und CO_2-unempfindlicheren Elektrolyt arbeiten sollte: Die phosphorsaure Brennstoffzelle, PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell). In den USA, Kanada und Japan wurde von 1971 bis 1973 ein Demonstrationsprojekt namens TARGET durchgeführt, bei dem 65 Einheiten PAFC's mit einer Leistung von je 12.5 kW eingesetzt wurden. Dieses erste Grossexperiment zeigte auf dass Brennstoffzellen eines Tages eine wirkliche alternative in der terrestrischen Energieversorgung darstellen könnten, es wurde aber auch deutlich dass die Kosten für eine PAFC-Einheit immer noch zu hoch und die

Lebensdauer der einzelnen Stacks (Zellenstapel) deutlich unter den industriellen Anforderungen lag. Das Folgeprogramm von TARGET war in vieler Hinsicht bereits um einiges erfolgreicher. Einerseits wurde damit die Basis für die bis heute 200 mal gebaute Brennstoffzellenanlage ONSI PC25 mit 200 kW Leistung geschaffen, andererseits wurden durch die Erfolge mehrere Projekte initiiert, deren Ergebnisse bis in den Megawatt-Bereich vordringen sollten.

Abbildung 4: ONSI PC25

Die stete Weiterentwicklung der Kernenergie und auch der damalige, beinahe krankhafte Glaube an die Unerschöpflichkeit der Erdölvorräte schienen die Entwicklung der Brennstoffzelle für ein weiteres Mal in ihrer langen Geschichte zu bremsen. Als die OPEC-Staaten sich jedoch im Jahre 1973 [4] dazu entschlossen die Erdölförderung um 25% zu drosseln, brach weltweit eine Energiekrise aus. Dieser Umstand bewog japanische Forscher dazu, noch im gleichen Jahr das MOONLIGHT-Programm zu starten. Die beiden hauptsächlichen Ziele des Programms waren die Förderung der PAFC und die Weiterentwicklung der Schmelzkarbonat-Brennstoffzelle (MCFC, Molten Carbonate Fuel Cell). Die MCFC und auch die SOFC werden heute in Japan bereits als Technologien der zweiten Generation angesehen, die in naher Zukunft die PAFC ersetzen sollen. Besonderen Wert legen die Forschungsgruppen zurzeit auf die Entwicklung der SOFC, da sie bedingt durch ihren hohen Wirkungsgrad, einige interessante Anwendungsgebiete abdeckt. In einem noch sehr frühen Stadium der Entwicklung befindet sich zurzeit die Direkt-Methanol Brennstoffzelle (DMFC, Direct Methanol Fuel Cell), die vom Prinzip her auf der PEFC basiert, aber als Brennstoff direkt mit Methanol, anstelle von Wasserstoff, arbeitet.

2.2 Funktion und Technik der Brennstoffzelle

Wie alle Erfindungen hat sich auch die Brennstoffzelle ständig weiterentwickelt und wurde/wird dem modernen Markt angepasst. Nachfolgend soll auf das Prinzip und auf die Brennstoffe sowie deren Bereitstellung eingegangen werden.

2.2.1 Grundprinzip

Grundsätzlich [5] ist eine Brennstoffzelle ein Wandler der, wie zum Beispiel eine Batterie, chemische Energie in elektrische Energie umwandelt. Diese Umwandlung geschieht, stark vereinfacht dargestellt, in Form einer rückwärts ablaufenden Elektrolyse: Wasserstoff oder ein anderer Brennstoff reagieren zusammen mit Sauerstoff. Viele werden das beliebte Knallgas-Experiment noch aus dem Chemieunterricht kennen: Man bringt Wasserstoff und Sauerstoff zusammen und zündet das Gasgemisch mit einem Funken. Die gleiche Reaktion läuft innerhalb einer Brennstoffzelle ab, jedoch kontrolliert und ohne Knall oder offene Flamme. Diese Reaktion wird kalte, oder im Fachjargon katalytische Verbrennung genannt. Um diese kalte Verbrennung zu erreichen, werden die beiden Reaktionspartner daran gehindert einander direkt zu durchmischen, das heisst sie werden durch ein Elektrolyt getrennt. In einer modernen Brennstoffzelle dienen dazu entweder saure Laugen oder platinbeschichtete Kunststoffmembrane.

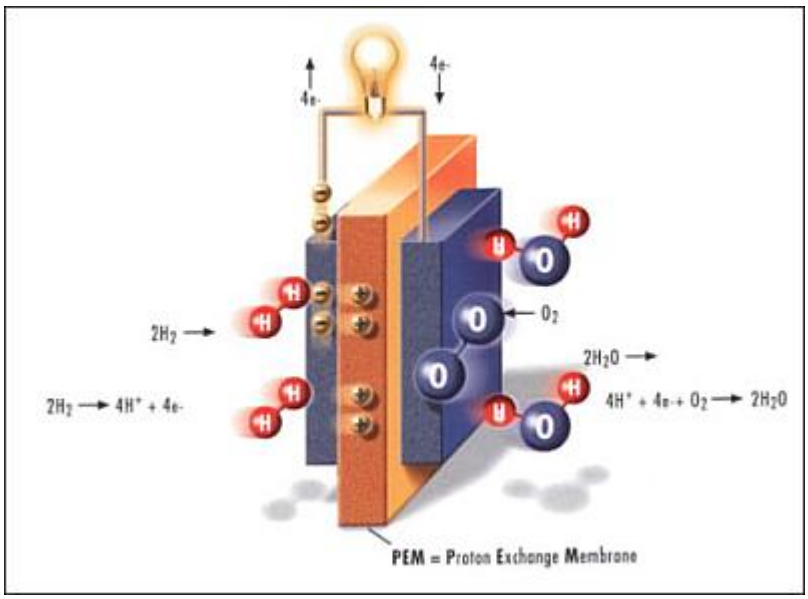


Abbildung 5: Chemische Vorgänge in einer PEMFC

Das Elektrolyt ist jedoch nicht nur für die Verhinderung einer schlagartigen Reaktion zu

ständig, sondern auch ein wichtiger Bestandteil für die Stromerzeugung der Brennstoffzelle. Es sorgt dafür das nur die positiv geladenen Wasserstoff-Ionen es durchdringen können, die negativ geladenen Elektronen aber zurückgehalten werden. Damit entsteht zwischen Anode und Kathode ein elektrisches Potential das direkt zum Antrieb von Elektromotoren, zum Betrieb von Geräten wie Handys und dergleichen, oder zur Einspeisung ins Stromnetz genutzt werden kann.

2.2.2 Brennstoffe und Energiebereitstellung

Bekannterweise wird ein Grossteil der verschiedenen Brennstoffzellen [6] hauptsächlich mit Wasserstoff als Brennstoff betrieben. Alleine in Deutschland werden jährlich etwa 20 Mrd. m^3 Wasserstoff erzeugt, weltweit sind es jährlich 500 Mrd. m^3. Diese Zahlen mögen gigantisch anmuten, die weltweit zu Energiezwecken produzierte Menge Wasserstoff deckt jedoch nur 1,5% des weltweiten Energiebedarfs. Würde man den Wasserstoff, der in vielen Industriezweigen als ungenutztes Nebenprodukt anfällt, in den Energiekreislauf einbeziehen, so könnten bereits 40% des weltweiten Energiebedarfs gedeckt werden.

Der Wasserstoff für sich kann auf verschiedene Arten gewonnen werden: Eine Möglichkeit ist die Reformierung fossiler Brennstoffe, eine andere die herkömmliche Elektrolyse, wobei nur Wasser und Strom benötigt werden. Problematisch ist hier vorallem die Speicherung und der Transport des Wasserstoffes. Will man den Wasserstoff in seiner bequemsten, also flüssigen Form transportieren, so muss das eigentliche Gas auf -254°C abgekühlt werden. Eine moderne Verflüssigungsanlage liefert heute etwa 10 bis 15 Tonnen Wasserstoff pro Tag, beim Verflüssigungsvorgang geht jedoch ein Drittel des im Wasserstoff vorhandenen Energiepotentials verloren. Alles in allem sind die heutigen Gewinnungsformen für Wasserstoff allesamt noch sehr energie- und kostenintensive Vorgänge, die nicht sehr umweltschonend ablaufen. Einige Ideen wie sich eine zukünftige Wasserstoffwirtschaft im Einklang mit der Umwelt organisieren kann werden im Kapitel 2.4.2 aufgeführt.

2.3 Bauarten und ihre Eigenschaften

Die Brennstoffzelle ist ein sehr vielseitiger Energielieferant. Je nach Verwendung verschiedener Membrane, Elektrolyten oder Betriebstemperatur ergeben sich Zellentypen für nahezu jedes Einsatzgebiet. Die nachfolgende Auflistung [2] soll einen kleinen Überblick über das Angebot und die Eigenschaften der drei wichtigsten Bauarten verschaffen.

2.3.1 AFC – Alkalische Brennstoffzelle

Mit einer relativ niedrigen Betriebstemperatur von 100°C ist die AFC noch in den Bereich der Niedrigtemperaturzellen einzuordnen. Damit trotz der niedrigen Temperaturen innerhalb der Zelle verwendbare Ströme entstehen, muss die Oxidation mit Katalysatoren beschleunigt werden. Als Elektrolyt wird eine 30%ige Kalilauge verwendet, die in einem Kreislauf durch die Zelle gepumpt wird. Einer zivilen Anwendung stehen jedoch vor allem die hohen Kosten für die reinen Brenngase und die teure Herstellung im Weg.

	Details
AFC	Alkaline Fuel Cell
Elektrolyt	Kalilauge
Brennstoff	Wasserstoff (rein)
Arbeitstemperatur	100°C
Leistung	20 kW
Wirkungsgrad	60%
Anwendungen	Raumfahrt, U-Boote
Besonderes	CO_2-empfindlich

2.3.2 PEMFC – Polymer-Elektrolyt-Membran Brennstoffzelle

Die PEMFC ist eine sehr unkomplizierte und vielseitige Brennstoffzelle, was sie besonders für den mobilen Einsatz oder die dezentrale Stromversorgung, wie zum Beispiel Blockheizkraftwerke, interessant macht. Das deutsche Fraunhofer-Institut ist einer der führenden Betriebe in der Entwicklung von Mikrobrennstoffzellen für den Einsatz in Mobiltelefonen oder Laptops. Die Vorteile sind

	Details
PEMFC	Proton Exchange Membrane Fuel Cell
Elektrolyt	Polymermembran
Brennstoff	Wasserstoff Methanol* Methan*

Fortsetzung siehe nächste Seite >>>

offensichtlich: Die Lebensdauer ist wesentlich länger als bei herkömmlichen Akkus, die Entsorgung ist um einiges umweltfreundlicher und die Brennstoffzelle kann in Sekunden nachgeladen werden: Der Wasserstoff wird mit Metallpulver gebunden und in eine Patrone gepackt, ein simples Austauschen der Patronen und schon verfügt man wieder über die volle Spannung.

Arbeitstemperatur	0-80°C
Leistung	bis 250 kW
Wirkungsgrad	60% (H_2), 40% (CH_4)
Anwendungen	Stromversorgung, Fahrzeuge, Blockheizkraftwerke
Besonderes	CO_2-empfindlich

* Wasserstoff wird über Reformierung erzeugt

2.3.3 DMFC – Direkt-Methanol Brennstoffzelle

Die DMFC ist eine relativ neue Art von Brennstoffzelle, die als Weiterentwicklung der PEMFC anzusehen ist und die Marktreife heute noch nicht vollständig erreicht hat. Der Hauptunterschied zu einer standardmässigen Brennstoffzelle besteht darin, dass sie mit flüssigem oder gasförmigen Methanol betankt wird und die Polymermembran als Elektrolyt für die Umwandlung des Methanols in Protonen, freie Elektronen und CO_2 sorgt. Zurzeit ist man darum besorgt die Katalysatoren zu stabilisieren und Polymermembrane mit höherer Zuverlässigkeit herzustellen.

Details

DMFC	Direct Methanol Fuel Cell
Elektrolyt	Polymermembran
Brennstoff	Methanol
Arbeitstemperatur	60-130°C
Wirkungsgrad	40%
Anwendungen	Noch in Entwicklung
Besonderes	Wasserstofferzeugung entfällt

2.4 Probleme und mögliche Lösungen

In den nachfolgenden Abschnitten soll auf die Schattenseiten der vielversprechenden Technologie der Brennstoffzelle eingegangen werden. Bereits heute, vermutlich Jahrzehnte von einer möglichen Energierevolution enfernt, tauchen schon einige Fragen auf, die in der Lage sind die Brennstoffzelle auch in einem anderen Licht erscheinen zu lassen.

2.4.1 Wasserdampf und unser Klima

Wie bereits erwähnt produziert eine Brennstoffzelle hauptsächlich Reaktionswäre und Wasser oder Wasserdampf, je nach Betriebstemperatur. Der Wasserdampf, überall in der Atmosphäre anzutreffen, ist das am häufigsten vorkommende [7] Treibhausgas. Er verhindert Beispielsweise in den feuchten Tropengegenden die Wärmeabstrahlung, was die ausgeglichenen Temperaturen von 25-30°C in den Urwäldern erklärt.

Angeregt durch die genaue Beobachtung dieser Vorgänge, werden vermehrt Stimmen laut, die eine eingehende Untersuchung der Auswirkungen einer möglichen, weltweiten Wasserstoffwirtschaft verlangen. Verständlicherweise waren viele der Stellungsnahmen und Befürchtungen der vergangenen Jahre von gewissen Interessen durchsetzt, besonders die Erdölindustrie dürfte ihren Teil dazu beigetragen haben. Heute sind jedoch folgende Fakten bekannt:

1. Wasserdampfemissionen sind spezifisch gesehen wesentlich weniger gefährdend für unser Klima, als die kohlenstoffhaltigen Abgase der fossilen Energiewirtschaft.

2. Die Emissionen von Wasserdampf pro erzeugter Energieeinheit sind bei der thermischen Energieproduktion, wie beispielsweise in einem Kernkraftwerk, wesentlich höher als bei der Verbrennung von Wasserstoff.

3. Ein komplett mit Wasserstoff funktionierender Strassenverkehr produziert selbst unter ungünstigsten Bedingungen nur einen Bruchteil der natürlichen Emissionen, was somit keinen Einfluss hat Nebel- oder Glatteisbildung hat.

4. Mit 0.005% Anteil an der globalen, natürlichen Wasserdampfmenge, wird die energiebedingte Menge des Wasserdampfes auch in Zukunft kaum einen Einfluss auf das globale Klima haben.

5. Einzig ein auf Wasserstoff basierter Luftverkehr müsste sich auf Troposphäre beschränken, da Wasserdampfwolken in der Stratosphäre durchaus einen Einfluss auf den Treibhauseffekt und den Ozonabbau haben können.

2.4.2 Viel Energie für nichts?

Im Abschnitt 2.2.2 wurde bereits der hohe Produktionsaufwand von Wasserstoff besprochen. Hier stellt sich auch heute noch so manchem Forscherteam die Frage: Wozu eine saubere Energiequelle, wenn schon die Produktion des Brennstoffes vorbelastet ist? Eines lässt sich sicherlich gleich vorweg nehmen: Die weltweite Energiewirtschaft lässt sich nicht von heute auf morgen umstellen. Konventionelle Kraftwerke lassen sich wegen ihrer vertraglich festgelegten Laufzeiten nicht einfach abschalten, und keine noch so revolutionäre, erneuerbare Energie verfügt schon heute über eine Technologie und ein Volumen das die unweigerlich entstehenden Lücken in der Energiewirtschaft schliessen könnte. Deshalb ist eine Uebergangszeit unabdingbar, in der fossile und erneuerbare Brennstoffe nebeneinander existieren und verwendet werden.

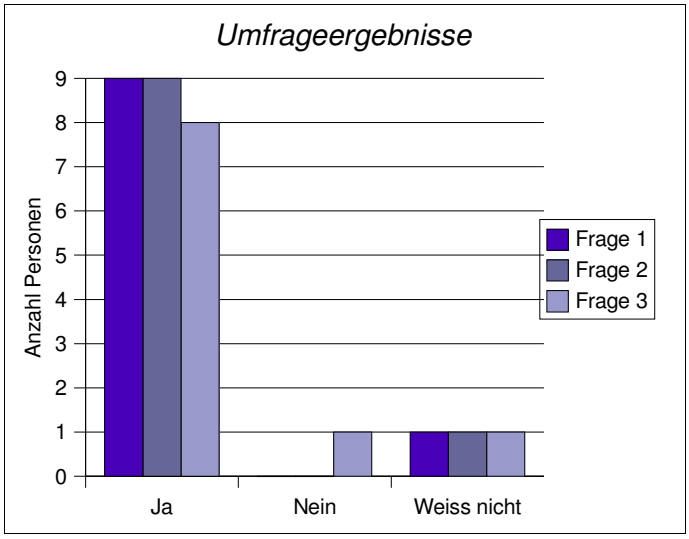
Eine Lösung um wirklich ökologisch einwandfreien Wasserstoff zu produzieren wäre das Prinzip der solaren Wasserstoffwirtschaft, das bereits in den 50er Jahren ausgearbeitet wurde. Unsere Sonne spendet bekanntlich Tag für Tag die mehrfache Menge des tatsächlichen Energiebedarfs der Menschheit, die sich mit Hilfe der Solarzellen-Technik nutzbar machen lässt. Mittels Photovoltaik wird die Strahlenenergie der Sonne in Strom umgewandelt und zur Verwendung in den Elektrolyseanlagen gespeichert oder direkt weitergeleitet. Dieser Weg bedeutet bereits einen grossen Gewinn für die Umwelt und das Klima, der totale Wirkungsgrad wird jedoch durch die mehrfache Energieumwandlung geschmälert. Daher sind bereits neuartige Solaranlagen in Entwicklung, die das Sonnenlicht bündeln und die dabei entstehende Hitze direkt zur Spaltung des Wasserstoffes eingesetzt wird. Damit fällt ein Umwandlungsschritt weg, wobei der Wirkungsgrad wieder steigt.

Dies wäre einer der vielen Wege, um die Brennstoffzelle zu einer wirklichen und sauberen Alternative zu herkömmlichen Energielieferanten zu machen, doch auch Wasserkraft oder Windenergie besitzen ein erhebliches Potential das es für die Gewinnung von

Wasserstoff zu nutzen gilt. Denn fossile Brennstoffe werden eines Tages aufhören ihre Energie bereit zu stellen, doch der Mensch wird niemals aufhören Energie zu verbrauchen.

2.5 Umfrage zum Thema alternative Energie

Den Abschluss macht, wie Eingangs erwähnt, eine kurze Umfrage zum Thema Brennstoffzellen und alternativer Energie im Allgemeinen, bezüglich deren Akzeptanz im Alltag. Befragt wurden zehn Personen im Alter zwischen 18 und 55 Jahren. Da sehr viele Schweizer eines oder mehrere Autos besitzen und die Brennstoffzellen-Technologie in den nächsten Jahrzehnten auch in diesem Bereich ihre ersten kommerziellen Anwendungen erleben dürfte, habe ich mich bei der Fragestellung auf eben diesen Bereich konzentriert.



Die erste Frage lautete: *„Würden Sie sich ein Auto mit alternativer Antriebsart kaufen?“*. Gemeint waren damit Fahrzeuge ohne einen auf Benzin oder Diesel basierenden Antrieb. Fast alle der befragen Personen antworteten hier ohne grosse Bedenken mit Ja. Einige der Befragten gaben jedoch zu bedenken, ein solches Fahrzeug zwar zu kaufen, jedoch nur im Falle dass sich die Kosten für den Treibstoff im heutigen Rahmen bewegen würden.

Die zweite Frage bezog sich auf die reinen Anschaffungskosten für ein solches Fahrzeug und lautete: *„Würden Sie für ein solches Fahrzeug mehr Ausgeben, wie für ein benzingetriebenes Fahrzeug der gleichen Bauart/Klasse?“*. Den ungefähren Wert für die Mehrausgabe hatte ich auf 5000 Sfr. festgelegt. Auch hier wird wieder ein starkes,

ökologisches Denken der befragten Gruppe sichtbar. Unterstrichen wird dies zusätzlich durch die oftmalige Bemerkung, solche Mehrausgaben nur zu machen wenn auch die Oekobilanz stimmen würde.

Als dritte und letzte Frage stand die Reichweite des besagten Fahrzeugs zur Diskussion: *„Würden sie ein solches Fahrzeug auch kaufen wenn es trotz seines Preises eine geringere Reichweite im Vergleich zu heutigen Fahrzeugen hätte?“*. Hier zeigt sich wieder fast dasselbe Bild, die Mehrheit der Personen würde trotz des höheren Kaufpreises eine geringere Reichweite in Kauf nehmen. Bei dieser Frage spielte für die meisten Befragen ein stabiles Versorgungsnetz eine grosse Rolle, was durchaus verständlich erscheint. Bei dieser Frage wurde auch die einzige Nein-Anwort notiert, mit der Begründung dass sich dies auf lange Sicht gesehen, in den Augen der befragten Person, nicht rechnen würde.

3 Schlussbetrachtung

Sechzehn Wochen sind nun seit der offiziellen Themeneingabe vergangen und die Vertiefungsarbeit ist endgültig fertig gestellt, es ist Zeit für eine eingehende Schlussbetrachtung.

Die Bearbeitung dieser Aufgabe hat mir sehr viel Spass gemacht und ich habe viele Dinge dazugelernt. Ich war immer wieder erstaunt welche Vielfalt an Dokumentationen man nach intensiver Suche im Internet finden kann, auch die Selbstverständlichkeit mit der manches Forschungsinstitut praktische Informationen preisgibt, erfreute mich sehr.

Erwähnen möchte ich aber auch dass ich stellenweise doch einige gröbere Motivationsprobleme hatte. Die Ursache dieses Zustandes lag hauptsächlich daran, dass ich mich parallel zur Schlussphase der SVA in meinem Betrieb auf die produktive LAP vorbereitete. An vielen Tagen war ich schlichtweg zu gestresst oder einfach zu müde um mich nochmals ein oder zwei Stunden am Computer konzentrieren zu können.

Leider musste ich den anfangs angestrebten Umfang der SVA reduzieren, da das gewählte Thema um einiges umfangreicher war, als ich von vornherein gedacht hatte. So nimmt die Geschichte der Brennstoffzelle einen sehr grossen Teil ein, während ich andere Teile nicht so ausführlich behandeln konnte wie ich es vorgesehen hatte.

Von den beiden Teilapekten denke ich dass mir besonders die Behandlung der Punkte Oekologie und Umweltverträglichkeit gut von der Hand gingen. Ich war in der glücklichen Lage doch einige kritische Meinungen zum Thema Brennstoffzelle und ihrer Umweltverträglichkeit im Internet zu finden. Besonders interessant für mich selber war die Thematik des Kapitels 2.4.1, Wasserdampf und unser Klima, da ich mir schon oft die Frage gestellt hatte, was für Auswirkungen wohl eine grosse Anzahl Wasserdampf absondernder Fahrzeuge auf unsere Umwelt hätte.

Nicht so gut stand es um die Teilapekte Machbarkeit und Utopie. Anfangs hatte ich ein Kapitel über die Brennstoffzelle in der Fahrzeugtechnik, deren Entwicklung und Zukunft

geplant. Da dieses Gebiet wegen der hohen Anforderungen an die Brennstoffzelle selbst, schon beinahe als Königsdisziplin zu bezeichnen ist, wäre mir eine genaue Betrachtung ob sich eine Realisierung und Weiterentwicklung dieser Technik in diesem Bereich überhaupt lohnt, lieb gewesen. Lieder fiel dieser Teil wie auch einige andere Abschnitte der Kürzung zum Opfer. Doch ich denke das sich jeder Leser ab der grossen Anzahl an vermittelter Information auch ein eigenes Bild davon machen kann, ob sich diese vielversprechende Technologie eines Tages durchsetzen wird oder nicht.

Abschliessen möchte ich meine SVA mit einem Zitat [8] des Querdenkers und Gründers der Foundation on Economic Trends in Washington D.C., Jeremy Rifkin:

> *„Wasserstoff ist das einfachste und am weitesten verbreitetste Element des Universums. Er ist der Stoff, aus dem die Sterne und unsere Sonne bestehen, und in der richtigen Weise nutzbar gemacht, kann er zu einer unerschöpflichen Energiequelle werden. [...] Wir stehen am Beginn einer neuen, auf Wasserstoff basierenden Oekonomie, die unsere wirtschaftlichen, politischen und sozialen Institutionen ebenso grundlegend verändern wird, wie Kohle und Dampfkraft es einst zu Beginn des Industriezeitalters taten.“*

4 Quellenverzeichnis

1: http://www.planet-wissen.de/
2: http://www.diebrennstoffzelle.de/zelltypen/geschichte/index.shtml
3: http://www.fuel-cell.de/allgemeines/historisches/index.html
4: http://www.weltchronik.de/dcw/dcx_1974.htm
5: http://www.ch-forschung.ch/
6: http://www.hydrogeit.de/grundwissen.htm
7: http://www.hydrogen.org/Wissen/Dampf.htm
8: Technische Rundschau , Nr. 19 - 2002

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig, ohne Mithilfe Dritter und nur unter Benützung der oben angegebenen Quellen verfasst habe.

Schaffhausen, den A. Adank

A Anhang

Im Anhang befinden sich das Arbeitsprotokoll und die Checklist.