

Diplomarbeit

Im Rahmen des Studiums der Betriebs- und Produktionswissenschaften an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich

Die Entwicklung des Umfeldes der Brennstoffzelle

Bericht

Von Fabrice Dunand

Vorgelegt am 9 Februar 2001

Institut: Zentrum für Produkte Entwicklung, IMES ZPE ETH Zürich

Betreuung: Herr Daniel Schmid, ETH Zürich, Zentrum für Produktentwicklung

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand als Diplomarbeit im Rahmen des Studienganges "Betriebs- und Produktionswissenschaften" der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich.

Es handelt sich bei der „Analyse des Umfeldes der Brennstoffzelle“, um die Schlüsselfaktoren der Brennstoffzelle, sowie deren Zukunftsprojektionen, mit Hilfe des Szenario-Managements, aufzuzeigen.

Die Aufgabe war fördernd und zugleich spannend. Durch diese Arbeit konnte ich nicht nur theoretische Kenntnisse anwenden und vertiefen, sondern auch interessante Interviews durchführen, um unterschiedliche Einflussfaktoren und Meinungen sammeln zu können.

An dieser Stelle möchte ich mich ganz herzlich bei allen Personen, die mir bei dieser Arbeit geholfen haben, für ihre Unterstützung bedanken. Ein besonderer Dank gilt meinem Betreuer des Zentrum für Produktentwicklung, Daniel Schmid, der mir zur Seite stand.

Fabrice Dunand

Zürich, Februar 2001

Management Summary

Innerhalb dieser Arbeit wird das Umfeld der Brennstoffzelle mittels Szenario-Management systematisch betrachtet. Mit Hilfe dieser Methodik sollen die Schlüsselfaktoren identifiziert, sowie mögliche zukünftige Entwicklungen kurz beschrieben werden. Die Entwicklung von Szenarien gehört aber nicht zu den Zielen dieser Arbeit.

Die Protonenelektrolytmembran (PEM) Technologie wurde als Gestaltungsfeld gewählt. Literaturrecherche, Interviews sowie ein Brainstorming am Paul Scherrer Institut (PSI), haben bei der Suche nach Einflussfaktoren geholfen. Nach einer Bewertung dieser Einflussfaktoren wurden die zehn folgenden Schlüsselfaktoren – die wichtigsten Einflussfaktoren - identifiziert:

- Technologische Fortschritte
- Förderungen
- Lebensqualität
- Gesetze
- Lebensstil
- Kosten
- Kommunikation
- Anwendungsbereiche
- Umweltproblem
- Energie

Eine ausführliche Analyse und Beschreibung dieser Faktoren wird in diesem Bericht durchgeführt. Auf Basis dieser Ist-Analyse werden die Zukunftsprojektionen gebildet. Welche Entwicklungsmöglichkeit die Brennstoffzelle positiv oder negativ beeinflusst, lässt sich einfach von diesen Zukunftsprojektionen ableiten.

Inhaltsverzeichnis

VORWORT	II
MANAGEMENT SUMMARY	III
INHALTSVERSZEICHNIS.....	IV
1 EINLEITUNG	8
2 SZENARIO- MANAGEMENT.....	8
2.1 EINFÜHRUNG	8
2.2 GRUNDLAGEN DES SZENARIO-MANAGEMENT	9
2.3 SZENARIO-VORBEREITUNG	9
2.4 SZENARIOFELD-ANALYSE	10
2.5 SZENARIO-PROGNOSTIK	10
2.6 SZENARIO-BILDUNG.....	11
2.7 SZENARIO-TRANSFER.....	11
2.8 SCHLUSSFOLGERUNG	11
3 EINFÜHRUNG IN DIE BRENNSTOFFZELLE	12
3.1 UNTERSCHIEDLICHE MÖGLICHKEITEN ELEKTRISCHE ENERGIE ZU ERZEUGEN.....	12
3.2 FUNKTIONSPRINZIP DER BRENNSTOFFZELLE	13
3.2.1 <i>Überblick über die verschiedenen Brennstoffzellen-Typen und deren Anwendungsgebiete.....</i>	<i>14</i>
4 SZENARIO-VORBEREITUNG BRENNSTOFFZELLE.....	19
4.1 PROJEKTBSCHREIBUNG	19
4.1.1 <i>Ziele des Szenario-Projektes.....</i>	<i>19</i>
4.1.2 <i>Definition des Gestaltungsfeldes</i>	<i>19</i>
4.1.3 <i>Definition des Szenariofeldes.....</i>	<i>20</i>
4.2 GESTALTUNGSFELDANALYSE.....	21
4.2.1 <i>Bestimmung von Gestaltungsfeld-Komponenten</i>	<i>21</i>
4.2.2 <i>Beschreibung des Gestaltungsfeldes durch einzelne Komponenten.....</i>	<i>22</i>

4.2.3	<i>Beschreibung der Gegenwärtigen Situation des Gestaltungsfeldes durch Stärken-Schwächen.....</i>	28
5	SZENARIOFELD-ANALYSE BRENNSTOFFZELLE.....	29
5.1	BILDUNG VON EINFLUSSBEREICHEN.....	29
5.2	BILDUNG VON EINFLUSSFAKTOREN.....	30
5.2.1	<i>Ermittlung von Einflussfaktoren.....</i>	30
5.2.2	<i>Aufbereitung der Einflussfaktoren.....</i>	31
5.3	ENTWICKLUNG VON SCHLÜSSELFAKTOREN.....	38
5.3.1	<i>Einflussanalyse.....</i>	38
5.3.2	<i>Erstellung von System-Grids.....</i>	38
5.3.3	<i>Festlegung des Auswahlkriteriums.....</i>	38
5.3.4	<i>Auswahl von Schlüsselfaktoren.....</i>	38
6	SZENARIO-PROGNOSTIK BRENNSTOFFZELLE.....	39
6.1	BESTIMMUNG DER SCHLÜSSELFAKTOREN-MERKMALE.....	39
6.2	BESCHREIBUNG DES IST-ZUSTANDES DER SCHLÜSSELFAKTOREN UND BILDUNG DEREN ZUKUNFTSPROJEKTIONEN.....	39
6.2.1	<i>Technologische Fortschritte.....</i>	40
6.2.2	<i>Förderungen.....</i>	44
6.2.3	<i>Lebensqualität.....</i>	46
6.2.4	<i>Gesetze.....</i>	48
6.2.5	<i>Lebensstil.....</i>	49
6.2.6	<i>Kosten 51</i>	
6.2.7	<i>Kommunikation.....</i>	53
6.2.8	<i>Anwendungsbereiche.....</i>	54
6.2.9	<i>Umweltproblem.....</i>	56
6.2.10	<i>Energie.....</i>	59
7	SCHLUSSFOLGERUNG.....	62
8	LITERATURVERZEICHNIS.....	64
9	ANHANG.....	67
9.1	HAUPTKONKURRENT: BALLARD POWER SYSTEMS.....	67
9.2	EINFLUSSANALYSE.....	67

9.3	SYSTEM-GRID.....	69
9.4	DYNAMIK-INDEX.....	71
9.5	FRAGEKATALOG.....	72
9.6	RESULTATE DER INTERVIEWS UND DES BRAINSTORMINGS	74

1 Einleitung

Innerhalb dieser Arbeit wird das Umfeld der Brennstoffzelle mittels Szenario-Management systematisch betrachtet. Die Vorgehensweise beim Erstellen dieses Berichtes kann in fünf Schritte unterteilt werden: Der erste Teil ist eine kurze Zusammenfassung des Szenario-Managements. In einem zweiten Schritt wird der Funktionsprinzip einer Brennstoffzelle sowie die unterschiedlichen Brennstoffzellen-Typen beschrieben. Danach findet der Beginn der Anwendung des Szenario-Management mit einer Stärken/Schwächen-Analyse des Gestaltungsfeldes – die PEMFC - statt. In einem nächsten Schritt werden die Einflussfaktoren sowie die Schlüsselfaktoren – die wichtigsten Einflussfaktoren – bestimmt. Zuletzt wird eine Ist-Analyse der Schlüsselfaktoren durchgeführt, damit auf dieser Basis, die Zukunftsprojektionen gebildet.

2 Szenario- Management

2.1 Einführung

Wäre es nach Ken Olsen, dem damaligen Vorstandsvorsitzenden von Digital Equipment gegangen, dann hätte es die PC-Revolution niemals gegeben: Er sah schlichtweg keinen Grund , warum Privatpersonen einen eigenen Computer haben sollten. Er irrte genauso gründlich wie der legendäre IBM-Chef Thomas J.Watson Jr., der 1943 auf dem weltweiten Markt allenfalls Raum für fünf Computer sah, mehr nicht. Eine Vielzahl ähnlicher Fehltritte renommierter Experten oder Institutionen mag die Schwierigkeit verdeutlichen, künftige Entwicklungen zu prognostizieren.¹

Hinzu kommen die Probleme bei der Handhabung von komplexen Systemen. Traditionen, der augenblickliche Stand der Technik, ein gerade vorherrschendes Gesellschaftsbild und viele andere Faktoren können zu Denkbarrieren führen und den Blick auf komplexe Zusammenhänge sowie deren weitere Entwicklung verzerren.

Vor diesem Hintergrund gewinnen systematisch erstellte Zukunftsalternativen, sogenannte Szenarien, an Bedeutung.

¹ Fink, Schlake, Siebe: “Wie Sie mit Szenarien die Zukunft vorausdenken”, S. 34

2.2 Grundlagen des Szenario-Management

Wichtiger als die bloße mechanische Erstellung von Szenarien ist dabei aber ein „Denken in Szenarien“ sowie das „Handeln auf der Basis von Szenarien“. Beides beruht auf drei Grundlagen:²

- Zukunftsoffenes Denken und Handeln: Man sollte sich von der Vorstellung einer prognostizierbaren Zukunft ebenso verabschieden wie von der einer völlig unübersichtlichen Zukunft. Stattdessen sollten Entwicklungsalternativen sowie mögliche Einflussfaktoren ins Kalkül genommen werden. Das Szenario-Management plädiert damit für die Vorstellung einer „multiplen Zukunft“.
- Vernetztes Denken und Handeln: Heute wird mit komplexen Systemen gearbeitet. Sie ergeben sich aus der stetig erhöhten unternehmerischen Tätigkeit und der Dynamik der Veränderungen in der Unternehmensumwelt. Diese komplexen Systeme sollte man erkennen, analysieren und handhabbar machen.
- Strategisches Denken und Handeln: Um die Überlebensfähigkeit eines Unternehmens zu sichern, sollten die Erfolgspotentiale der Zukunft, durch die Einbeziehung der verschiedenen Anspruchsgruppen (Stakeholders), erkannt und visionäre Strategien zu deren Erschließung entwickelt und umgesetzt werden.

2.3 Szenario-Vorbereitung

Mit der Erstellung von Szenarien für die strategische Führung wird gewöhnlich das Ziel verfolgt, konkrete unternehmerische Entscheidungen zu unterstützen. Diese Entscheidungen gelten immer einer bestimmten Organisation, beispielsweise einem Unternehmen im ganzen oder einer einzelnen Geschäftseinheit („Welche Strategie wollen wir in Zukunft verfolgen?“), einem Produkt („Wie sollte unsere Produktplattform künftig aussehen?“) oder einer Technologie („Welche Technologie sollten wir selbst aufbauen?“).³

In der Startphase werden die Erstellung und die Anwendung der Szenarien vorbereitet, d.h. das sogenannte Gestaltungsfeld („was mit Hilfe der Szenarien gestaltet werden soll“) wird beschrieben. Szenarien sind nur ein Mittel, um Entscheidungen zu unterstützen. Sie beschreiben nicht die mögliche Zukunft des Gestaltungsfeldes, sondern Entwicklungsmöglichkeiten in einem speziellen Betrachtungsbereich, der als Szenariofeld („das was durch die erstellten Szenarien erklärt werden soll“) bezeichnet wird. Es gibt drei typische Szenariofelder:

- Umfeld: Als Szenariofeld kann das Umfeld des Gestaltungsfeldes verwendet werden. In diesem Fall enthalten die Szenarien ausschliesslich nicht lenkbare Grössen. Wir sprechen hier von Umfeld-Szenarien.

² Fink, Schlake, Siebe: „Wie Sie mit Szenarien die Zukunft vorausdenken“, S. 34-36

³ Gausmeier, Fink, Schlake: „Szenario-Management“, S. 133

- Gestaltungsfeld: Wird das Szenariofeld auf das Gestaltungsfeld begrenzt, so enthält es ausschliesslich lenkbare Grössen. Die entsprechenden Szenarien werden als Gestaltungsfeld-Szenarien bezeichnet
- Gesamtsystem: Das Szenariofeld kann sowohl lenkbare als nicht lenkbare Grössen enthalten. Wir sprechen hier von System-Szenarien.

Eine Ist-Analyse des Gestaltungsfeldes ist dann durchzuführen.

2.4 Szenariofeld-Analyse

Um das Szenariofeld umfassend beschreiben zu können, wird es in einzelne Systemebenen, z.B. das Unternehmen, das Branchenumfeld und das Globales Umfeld unterteilt. Jede Systemebene kann in einzelne Einflussbereiche zerlegt werden. Das Globale Umfeld könnte z.B. in den folgende Einflussbereiche gegliedert werden: politische, ökonomische, gesellschaftliche, technische und ökologische.

Die Gliederung des Szenariofeldes in Einflussbereiche reicht nicht aus, weil sich deren Entwicklungsmöglichkeiten nicht konkret beschreiben lassen. Deswegen sind, in einem zweiten Schritt, die Einflussbereiche durch geeignete Einflussfaktoren näher zu beschreiben. Zu diesem Zweck können verschiedene Techniken, wie z.B. Literaturrecherche, Expertenbefragung, Workshops, usw., eingesetzt werden.

In einem weiteren Schritt wird die Vernetzung zwischen den ermittelten Einflussfaktoren untersucht. Auf diese Weise lassen sich direkte und indirekte Hebelkräfte, stark vernetzte Faktoren sowie Indikatoren für Systemänderungen identifizieren. Auf Basis dieser Informationen über die Komplexität des Szenariofeldes kann die Auswahl der Schlüsselfaktoren erfolgen, also jener Einflüsse, die die künftigen Entwicklungsmöglichkeiten des Szenariofeldes signifikant beschreiben.

2.5 Szenario-Prognostik

Vor der Ermittlung der Zukunftsprojektionen hat eine Beschreibung der gegenwärtigen Situation der Schlüsselfaktoren zu erfolgen. Durch die Bestimmung von Schlüsselfaktoren-Merkmale wird geklärt, wie der gegenwärtige Zustand und die zukünftigen Entwicklungsmöglichkeiten des Schlüsselfaktors beschrieben werden kann.

Das Ziel dieser Phase ist für jeden zuvor ermittelten Schlüsselfaktor mehrere alternative mögliche Entwicklungen zu beschreiben. Diese Zukunftsprojektionen stellen in der Regel keine quantitativen Prognosen dar, sondern qualitative Beschreibungen, die grundsätzliche Entwicklungsrichtungen verdeutlichen. Die Zukunftsprojektionen haben in der Regel drei Dimensionen:⁴

- Eine inhaltliche Ausrichtung. Hier ist zwischen Extremprojektionen und Trendprojektionen zu unterscheiden.
- Die Plausibilität der Projektion.

⁴ Gausmeier, Fink, Schlake: "Szenario-Management", S. 223-226

- Der Zeithorizont. Hier kann zwischen kurz-, mittel- und langfristiger Projektion unterschieden werden.

2.6 Szenario-Bildung

Hier werden die einzelnen Zukunftsprojektionen zu 2 bis 8 alternativen und für sich plausiblen Roh-Szenarien verknüpft. Grundlage dabei ist eine Bewertung der Verträglichkeit der einzelnen Zukunftsprojektionen mittels einer Konsistenzanalyse. Die einzelnen Roh-Szenarien werden anschliessend erneut analysiert, interpretiert und als „Szenarien“ beschrieben.

Anschließend werden die Verträglichkeiten dieser alternativen Entwicklungsmöglichkeiten bewertet. Aus den widerspruchsfreien Kombinationen von Zukunftsprojektionen werden einige wenige Szenarien (mögliche, komplexe Zukunftsbilder) herausgearbeitet.

2.7 Szenario-Transfer

In der strategischen Planung können Szenarien die konkreten unternehmerischen Entscheidungsprozesse unterstützen. Dies kann sich einerseits auf die Bewertung von Entscheidungsalternativen beziehen, etwa in Hinsicht auf Investitionsvorhaben, Produktentwicklungen oder Technologien, sowie auf die Bewertung von gegebenen Strategievarianten. Andererseits können Szenarien bei der Neuentwicklung von Strategien auf der Unternehmens-, Geschäfts- oder Funktionsbereichsebene eingesetzt werden.

Die Bewertung von Entscheidungen und Strategien stellt einen passiven Szenario-Transfer dar, weil in diesen Fällen bereits eine oder mehrere Handlungsoptionen vorliegen, die mit Hilfe von Szenarien überprüft werden. Dazu gilt es, zunächst Chancen und Gefahren zu ermitteln, die mit jeder dieser Optionen im Rahmen der einzelnen Szenarien verbunden wären. Die Szenarien bilden „Testumgebungen“.

Das Fortschreiben oder Neuentwickeln von Strategien stellt demgegenüber einen aktiven Szenario-Transfer dar. Dabei werden die in den verschiedenen Szenarien ermittelten Chancen, Gefahren und damit verbundenen Handlungsoptionen betrachtet, um daraus eine möglichst Zukunftsrobuste Strategie zu entwickeln sowie deren Zukunftsprojektionen zu erstellen.

2.8 Schlussfolgerung

Die fünf Schritte, Szenario-Vorbereitung, Szenario-Analyse, Szenario-Prognostik, Szenario-Bildung, Szenario-Transfer, müssen durchgeführt werden, um das Szenario-Management vollständig zu verfolgen. Das Ziel dieser Arbeit, siehe Kapitel 4.1.1, ist die sogenannte Schlüsselfaktoren zu identifizieren und zu beschreiben, die die Entwicklung des Gestaltungsfeldes beeinflussen könnten.

3 Einführung in die Brennstoffzelle

3.1 Unterschiedliche Möglichkeiten elektrische Energie zu erzeugen

Die Erzeugung elektrischer Energie erfolgt über eine Vielzahl verschiedener Energiearten. Es existieren unterschiedliche Möglichkeiten elektrische Energie zu erzeugen. Diese sind, sowie die dazwischen liegenden Schritten, in der Abbildung 1 kurz dargestellt.

Bei einer konventionellen Kraft-Wärme-Kopplung, wie z.B. mit einem Verbrennungsmotor, wird die im Brennstoff chemisch gebundene Energie, die sogenannte Enthalpie, durch die Verbrennung zunächst in thermische Energie und erst dann in Elektrizität umgewandelt.

In einer Brennstoffzelle hingegen wird die Enthalpie des Brennstoffes direkt in elektrische Energie umgewandelt. Sie vermeidet damit Zwischenschritte bei der Energiewandlung und unterliegt nicht den Beschränkungen des Carnot-Prozesses, wie dies bei konventionellen Systemen der Fall ist. Deswegen ist der Wirkungsgrad einer Brennstoffzelle theoretisch höher als bei konventionellen Systemen.

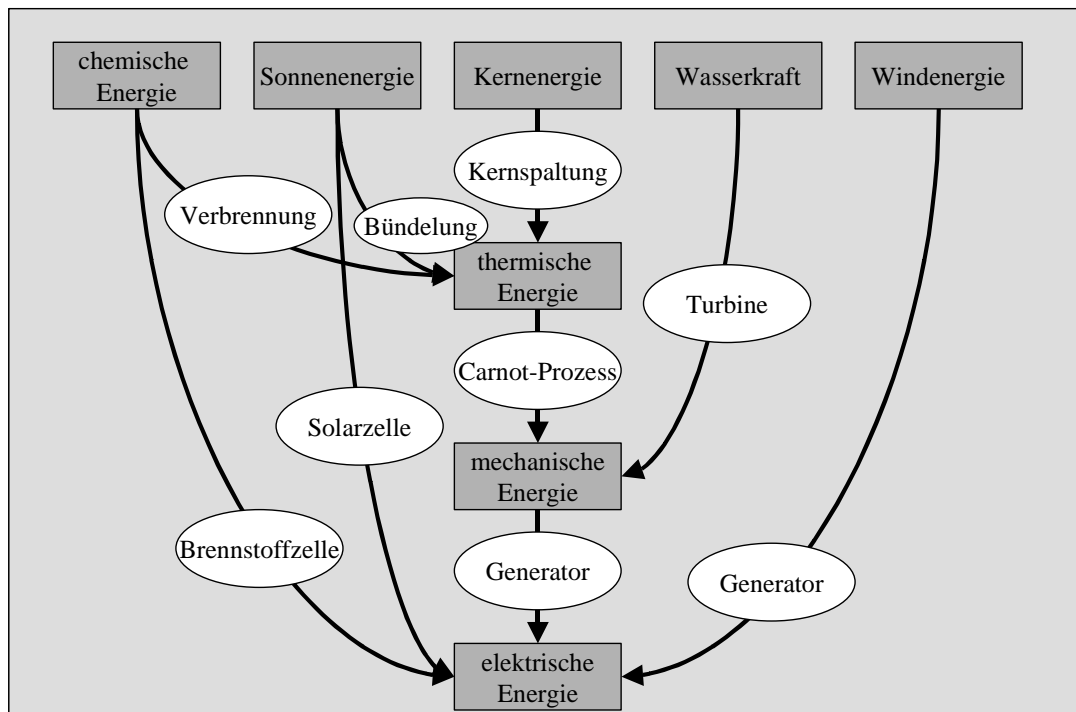


Abbildung 1: Unterschiedliche Möglichkeiten elektrische Energie zu erzeugen.⁵

⁵ Kabza, "PEMFC-Proton exchange membrane fuel cell"

3.2 Funktionsprinzip der Brennstoffzelle

Die Arbeitsweise einer Brennstoffzelle ist mit der Umkehr der Elektrolyse des Wassers vergleichbar. Während bei der Elektrolyse durch Zufuhr von elektrischer Energie das Wassermolekül in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten wird, reagieren örtlich getrennte Knallgasreaktion in einer Brennstoffzelle H_2 und O_2 unter Abgabe Energie zu Wasser.

Der prinzipielle Aufbau einer Brennstoffzelle ist in Abbildung 2 dargestellt. Es gibt mehrere Typen von Brennstoffzellen. Unabhängig davon besteht eine Brennstoffzelle aus zwei Elektroden, einer Anode und einer Kathode, die durch einen gasundurchlässigen, ionenleitenden Elektrolyten voneinander getrennt sind. Die Elektroden hingegen besitzen eine poröse Struktur und sind damit gasdurchlässig.

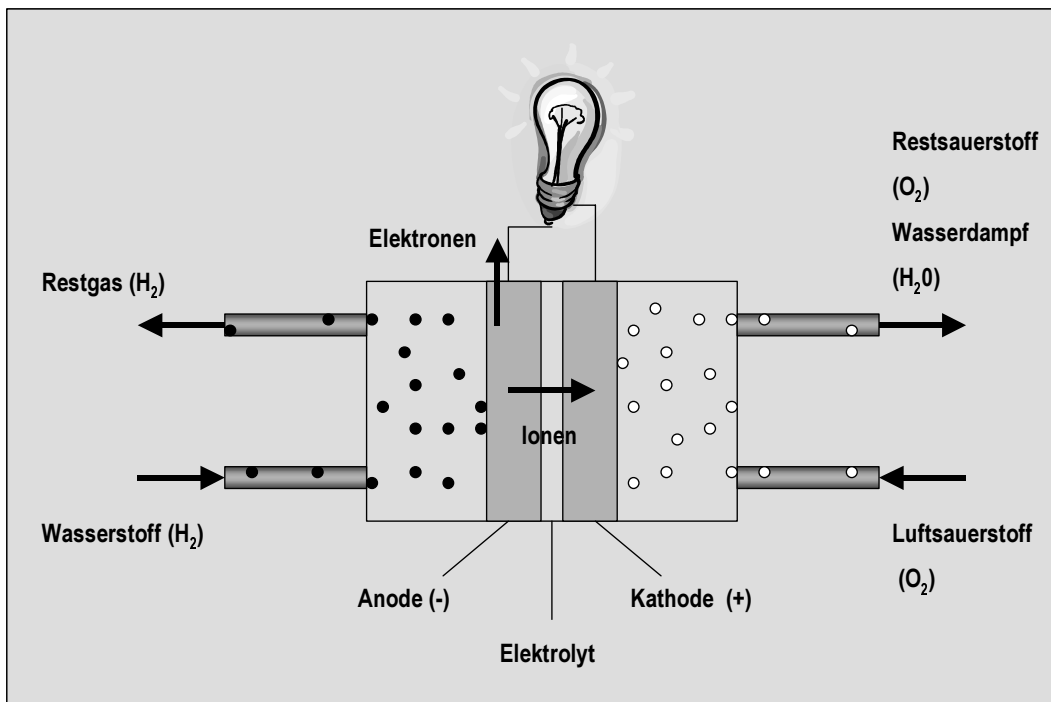


Abbildung 2: Prinzipielle Aufbau einer Brennstoffzelle⁶

⁶ Simader, Heissenberger: „Brennstoffzellen-Systeme - Energietechnik der Zukunft?“, S.12

3.2.1 Überblick über die verschiedenen Brennstoffzellen-Typen und deren Anwendungsgebiete

Die Alkalische Brennstoffzelle (AFC)

Die alkalische Brennstoffzelle (AFC) wurde in den 60er-Jahren entwickelt und besitzt heute einen hohen Entwicklungsstand. Von allen Brennstoffzellen weist sie die höchsten Anforderungen an das Brenngas und den Oxidanten auf. Anoden- wie auch kathodenseitig wird sehr reiner Wasserstoff und Sauerstoff eingesetzt. Bereits geringe Verunreinigungen (z.B. auch durch CO_2 kathodenseitig) beeinträchtigen die Funktionsfähigkeit der Zelle und müssen entfernt werden, da sonst zellintern irreparable Schäden auftreten.

Alkalische Brennstoffzellen wurden vorwiegend für die Raumfahrt und Militärtechnik entwickelt. Eine Anwendung für die Fahrzeuge wird zur Zeit von der Firma ZEVCO entwickelt. Vorteile dieses System sind in der Einfachheit des Gesamtsystems und in den erwarteten niedrigen Kosten zu sehen, da sie unter anderem weniger Platin braucht als andere Brennstoffzellen-Typen (wie z.B. die PEMFC).⁷

Die Protonenmembran Brennstoffzelle (PEMFC)

Die Entwicklung der PEMFC wird hauptsächlich für mobile Anwendungen vorgesehen. Die Begründung sind in den folgenden Eigenschaften der PEMFC zu finden:⁸

- Die PEMFC gehört zu den Niedertemperatur-Brennstoffzellen.
- Rasche Start- und Endphase beim Hoch- und Runterfahren.
- Das einfache Design der PEMFC.
- Ein sehr gutes Verhalten im Teillastbereich verglichen mit Verbrennungsmotoren.

Die Anforderungen der Zelle an die Reinheit der Gase muss ebenfalls als sehr hoch bezeichnet werden. Im Unterschied zur AFC liegt allerdings ein saurer Elektrolyt vor, der sowohl CO_2 in den Anodengasen als auch geringe Spuren in der Luft kathodenseitig verträgt. Im allgemeinen laufen diese Zellen mit Druck von einem bis zu mehreren Bar und Temperaturen unter $100\text{ }^\circ\text{C}$. Die Betriebstemperatur ist begrenzt, weil zur Zeit verfügbare Polymer-Membranen Wasser für eine angemessene Leitfähigkeit der Protonen benötigen. Niedrige Temperaturen verringern aber die Toleranz bezüglich CO .

Bei der PEMFC werden unterschiedliche Brennstoffkonzepte verfolgt:⁹

⁷ Simader, Heissenberger: „Brennstoffzellen-Systeme - Energietechnik der Zukunft?“, S.20

⁸ US Department of Energy: “Commercialisation of Fuel Cells”, S. 423

⁹ Simader, Heissenberger: „Brennstoffzellen-Systeme - Energietechnik der Zukunft?“, S.21

- Wasserstoff wird verwendet, der in Druckbehältern, Flüssigtanks oder Metallhybriden gespeichert wird. Dieser Wasserstoff kann direkt für die Reaktion verwendet werden.
- Flüssiges Methanol wird verwendet. Das Methanol muss vor der Verwendung mittels Reformierung in Wasserstoff umgewandelt werden. Dieser Prozess muss bei der PEM um einen Schritt erweitert werden, da der CO Anteil verringert werden muss. Aber der grösste Vorteil von Methanol ist, dass es ein flüssiges Energieträger ist.
- Benzin, Diesel oder Erdgas wird verwendet. Wie Methanol müssen diese konventionellen Treibstoffe mittels Reformierung umgewandelt werden. Dieser Prozess kann aber noch nicht kostengünstig mobil durchgeführt werden. Der grosse Vorteil ist hier, dass die vorhandene Brennstoffinfrastruktur genützt werden kann.

Wegen der Schwierigkeit der Reformierung bei niedrigen Temperaturen, ist der bevorzugte Brennstoff für PEMFC Wasserstoff. Der Wasserstoff kann in einem zusätzlichen Tank oder Reformier gespeichert oder produziert werden.

Mögliche zusätzliche Anwendungen sind ebenfalls in der dezentrale Energieversorgung (Ballard entwickelt ein PEM Brennstoffzellen-System mit 250 kW) sowie für die Versorgung eines Einfamilienhauses.

Die phosphorsaure Brennstoffzelle (PAFC)

Die PAFC ist die einzige Brennstoffzelle, deren Entwicklungsstand für die Energieerzeugung annähernd bis zur Serienreife fortgeschritten und die kommerziell verfügbar ist. Weltweit wurden etwa 200 Anlagen dieses Typs installiert. Derzeit einziger Anbieter von Kompletanlagen ist die amerikanische Firma ONSI Corporation. Diese Brennstoffzellen haben schon heute eine breite Anwendung gefunden, da der amerikanische Staat seit 1996 ein Programm lanciert hat, der diese Brennstoffzelle unterstützt.¹⁰

Die weitere Verbreitung wird aber vor allem durch die hohen Investitionskosten und technische Gegebenheiten behindert.

Die prinzipiellen Anwendungen sind, für einer solchen Anlage zur Strom- und Wärmeversorgung, Wohnanlagen, Schwimmbädern, Gewerbebetrieben.

Die Schmelzkarbonat-Brennstoffzelle (MCFC)

Die Arbeitstemperatur einer MCFC liegt zwischen 600 und 650 °C. Diese hohe Arbeitstemperatur hat folgende Vorteile:¹¹

- Die Abwärme des Zellstapels kann für die Reformierung verwendet werden.

¹⁰ Lloyd: "The Power Plant in your Basement", S.67

¹¹ Simader, Heissenberger: „Brennstoffzellen-Systeme - Energietechnik der Zukunft?“, S.27

- Die MCFC ist unempfindlich gegenüber CO und CO₂. Dadurch können herkömmliche Brenngase wie Erdgas direkt eingesetzt werden und intern reformiert werden.
- Keine teuren Katalysatoren müssen verwendet werden.
- Bei diesen Temperaturen können noch gewöhnliche Werkstoffe verwendet werden.
- Hohes Temperaturniveau der Abwärme.

Bei der MCFC sind aber noch viele Fragen offen hinsichtlich der Lebensdauer, Leistung, Verfügbarkeit, Kosten, Wartung und Betriebsführung.

Die Solidoxid-Brennstoffzelle (SOFC)

Die Arbeitstemperatur einer SOFC beträgt bis zu 1000 °C. Besonders vorteilhaft ist hier die mögliche interne Brennstoffreformierung, wie z.B. von Erdgas, welche einen sehr einfachen Systemaufbau zur Folge hat. Allerdings sind höhere materialtechnische Anforderungen, wegen der hohen Temperatur, gestellt.

Der Hauptunterschied mit den anderen Brennstoffzellen ist die Verwendung eines festen Elektrolyten und das Design des Stapels (die Ausdehnungskoeffizienten der Materialien müssen hier berücksichtigt werden).

Die Firma „Sulzer Hexis“ ist mit dem sogenannten „Hexis“ System in diesem Bereich vertreten.

Die Direkte Methanol-Brennstoffzelle (DMFC)

Die Direkte Methanol Brennstoffzelle ist eine modifizierte Polymer-Elektrolyt- Membran Brennstoffzelle die Methanol als Energieträger verwendet, um diesen ohne vorgelagerte Konversationsreaktionen direkt in elektrischen Strom umzusetzen.

Am Katalysator der Anodenseite wird Methanol mit Wasser oxidiert. Dabei entsteht Kohlendioxid das aus der Zelle geführt wird, Protonen die durch die Membran transportiert werden und Elektronen die über den äußeren Nutzstromkreis geleitet werden. Das dabei entstehende elektrochemische Potential wird zum Betrieb bei elektrischen Verbrauchern wie Leuchtmitteln oder Motoren verwendet. Auf der Kathodenseite wird aus den Protonen und Elektronen mit dem Sauerstoff der Luft Wasser gebildet. Der entstehende Dampf kann ohne Abgasaufbereitung in die Umwelt geleitet werden, weil die Umsetzung ohne Erzeugung von Schadstoffen abläuft.

Methanol ist ein Brennstoff der leicht transportiert und leicht vom flüssigen Zustand in Energie umgewandelt werden kann. Zudem lässt sich Methanol relativ unproblematisch speichern. Die Eigenschaften der Direkte Methanol-Brennstoffzelle können durch die folgenden Punkten zusammengefasst werden:¹²

¹² Kordes, Simader: "Fuel Cells and their Applications", S. 151

- Die protonenleitende Membran ist das Herzstück in der Direkt Methanol Brennstoffzelle und eines der Hauptprobleme, weil Methanol nicht in ausreichendem Maße zurückgehalten wird.
- Kein Reformer wird Gebrauch. Am Katalysator der Anodenseite wird Methanol mit Wasser oxidiert. Dabei entsteht Kohlendioxid der aus der Zelle geführt wird.
- Methanol und Wasser können als Brennstoff sowie als effizientes Kühlmittel genutzt werden.
- Beseitigung von komplizierter Befeuchtung und thermischen Managementsystemen.
- Die Systemgröße, Gewicht und Temperatur sind kleiner als bei vorhandenen Brennstoffzellen-Systemen.

Trotz diesen interessanten Eigenschaften, ist der Entwicklungsstand der DMFC relativ gering im Verhältnis zu den anderen Brennstoffzellen-Typen.

Marktsegmentierung

Der Markt der Brennstoffzelle kann nach dem Leistungsbedarf segmentiert werden (siehe Abbildung 3):

- Der Stationäre Bereich. Hier richtet sich der Blick auf Anlagen zur Strom- und/oder Wärmeversorgung, Blockheizkraftwerke, usw. Der Leistungsbedarf geht hier bis in den Megawattbereich.
- Fahrzeuge und Transport. Hier sind neben Fahrzeuge, auch Vespa, Rasenmäher, Generatoren, usw. zu finden. Der Leistungsbedarf geht hier bis zu mehreren Kilowatt.
- Tragbare Systeme. Hier sind z.B. Laptop, Handy, usw. zu finden. Der Leistungsbedarf geht hier bis zu mehreren hundert Watt.

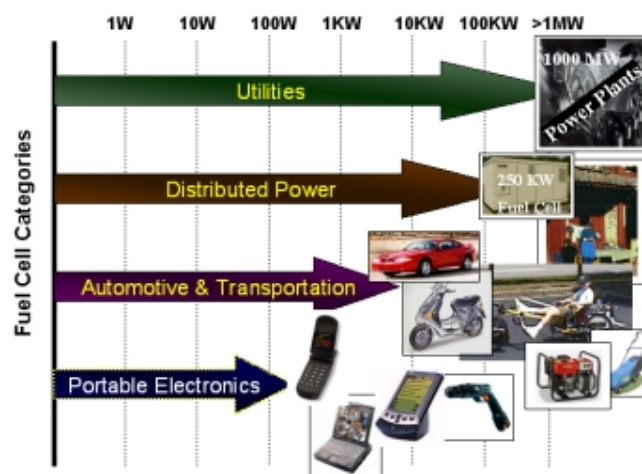


Abbildung 3: Segmentierung des Marktes der Brennstoffzelle¹³

¹³ <http://www.motorola.com/ies/ESG/>

Zusammenfassung

Die Tabelle 1 gibt einen Überblick über die wesentlichen Merkmale, Charakteristiken und Anwendungsgebiete der unterschiedlichen Brennstoffzellen-Typen. Die verschiedenen Brennstoffzellen unterscheiden sich hauptsächlich durch die benutzten Elektrolyten und die Betriebstemperatur.

	AFC	PEMFC	PAFC	MCFC	SOFC	DMFC
Elektrolyt	Kalilauge (flüssig)	Polymermembran (fest)	Phosphorsäure (flüssig, in Matrix fixiert)	Karbonatschmelze (flüssig)	Oxidkeramik (fest)	Schwefelsäure (fest)
Betriebstemperatur	60-120 °C	60-100 °C	160-200 °C	500-650 °C	800-1000 °C	60-120 °C
Brennstoff	Wasserstoff	Wasserstoff, Wasserstoff nach Erdgas, Methanol, Benzin//Diesel Reformierung	Wasserstoff, Wasserstoff aus Erdgas nach Reformierung und Konvertierung	Wasserstoff, Wasserstoff aus Erdgas nach Reformierung, Wasserstoff aus Kohlenvergasung nach Konvertierung und Reinigung	Wasserstoff, Erdgas, Wasserstoff aus Erdgas nach Reformierung	Methanol
Ladungsträger	OH ⁻	H ⁺	H ⁺	CO ₃ ²⁻	O ²⁻	H ⁺
Oxidant	O ₂	O ₂ , Luft	O ₂ , Luft	O ₂ , Luft	O ₂ , Luft	O ₂ , Luft
Systemwirkungsgrad	50 %	30-40 %	32-40 %	45-50 %	35-70 %	Bis zu 40 %
Charakteristiken	Unverträglichkeit gegenüber CO ₂	Unverträglichkeit gegenüber CO	Limitierter energetischer Wirkungsgrad, Unverträglichkeit gegenüber CO	CO ₂ -Kreislauf erforderlich, Korrosionsprobleme	Hoher Systemwirkungsgrad, externe Reformierung von Brenngas kann entfallen.	Hoher Systemwirkungsgrad, Unverträglichkeit gegenüber den Oxidationsprodukten anodenseitig
Anwendungen	Weltraum, Fahrzeuge	Fahrzeuge (PKWs, Busse, kleine Spezialfahrzeuge), tragbare Anwendungen, Mini-BHKW, BHKW	Anlage zur Strom- und Wärmeerzeugung, BHKW	Anlage zur Strom- und Wärmeerzeugung, BHKW	Anlage zur Strom- und Wärmeerzeugung, Mini-BHKW, BHKW	Fahrzeuge, tragbare Anwendungen

BHKW: Blockheizkraftwerk

Tabelle 1: Zusammenfassung der unterschiedlichen Brennstoffzellen-Typen und deren wesentlichen Eigenschaften.

Wie man aus dieser Tabelle einfach erkennen kann ist der Systemwirkungsgrad einer Brennstoffzelle hoch, im Vergleich zu einem guten Verbrennungsmotor. Ein Verbrennungsmotor zeigt einen Systemwirkungsgrad von 35 % unter idealen Konditionen. Im Durchschnitt liegt der Systemwirkungsgrad um die 15 %. Im

Teillastbereich zeigt einen Verbrennungsmotor einen Wirkungsgrad von weniger als 25 %.¹⁴

4 Szenario-Vorbereitung Brennstoffzelle

4.1 Projektbeschreibung

4.1.1 Ziele des Szenario-Projektes

Das Ziel dieser Diplomarbeit ist festzulegen, unter Berücksichtigung der Methodik des Szenario-Management, welche Einflussfaktoren den Durchbruch der Brennstoffzelle beschleunigen oder verhindern könnten. Diese Einflussfaktoren sind, in einem zweiten Schritt, nach ihrer Wertigkeit zu untersuchen, damit die sogenannten Schlüsselfaktoren identifiziert werden können. Im weiteren sind mögliche zukünftige Entwicklung dieser Faktoren aufzuzeigen.

4.1.2 Definition des Gestaltungsfeldes

Die primäre Aufgabe eines Szenario-Projektes ist, wie schon gesehen, die Unterstützung unternehmerischer Entscheidungen. Unternehmerische Entscheidungen beziehen sich immer auf einen bestimmten Gegenstand, auch Gestaltungsfeld genannt. Als Gestaltungsfeld können auch einzelne Technologien definiert werden.

Die PEMFC-Technologie wurde als Gestaltungsfeld gewählt. Da eine PEMFC Anlage einen unterschiedlichen Aufbau, je nach Anwendungsgebiete aufzeigen kann, wurde das Gestaltungsfeld etwas genauer definiert. Siehe dazu die Abbildung 4.

Diese Arbeit befasst sich hauptsächlich mit den portablen Anwendungen der PEMFC. Der Reformer, der Inverter und das System zur Wärmeübertragung sind bei solchen Anwendungen, hauptsächlich aus Gewichtsgründen, nicht erwünscht. Diese Komponenten gehören deswegen zum Umfeld. Ein Modul zur Speicherung des Wasserstoffes gewinnt aber, bei solchen Anwendungen, an Bedeutung.

Das Know-how, das in den anderen Anwendungsgebiete der PEMFC (Fahrzeuge, Stationäre Anwendungen) generiert wird, kann eine entscheidende Rolle für den Durchbruch der PEMFC bei portablen Anwendungen spielen. Deswegen sollte die PEMFC Technologie auch generell angeschaut werden.

¹⁴ Appleby: "The Electrochemical Engine for Vehicles", S. 59

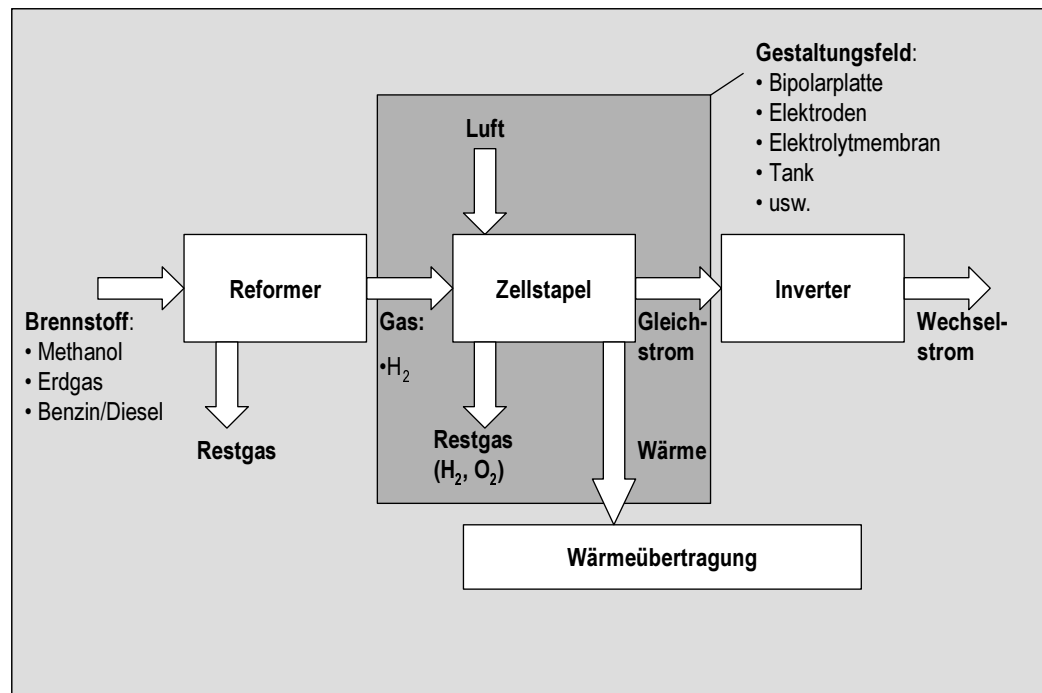


Abbildung 4: Generelle Beschreibung einer Brennstoffzellen-Anlage und genaue Definition des Gestaltungsfeldes.

4.1.3 Definition des Szenariofeldes

Als Szenariofeld wird das gesamte System aus Gestaltungsfeld und Umfeld betrachtet. In einem solchen Fall wird von einem System-Szenario gesprochen. Mit den System-Szenarien werden sowohl die nicht steuerbaren Größen (sie können als Randbedingungen gesehen werden) als auch die internen Lenkungsgrößen betrachtet. Da der Erfolg oder Misserfolg einer neuen Technologie auf dem Markt nicht nur von technischen Faktoren geprägt ist, wird in unserem Fall ein System-Szenario angewendet.

4.2 Gestaltungsfeldanalyse

4.2.1 Bestimmung von Gestaltungsfeld-Komponenten

Die Abbildung 5 zeigt den Aufbau einer Brennstoffzelle.

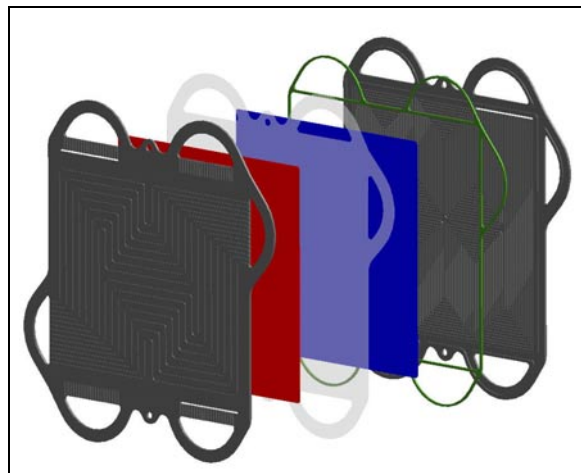


Abbildung 5: Aufbau einer Brennstoffzelle

Die folgenden Komponenten sind zu erkennen:

- Die erste Hälfte der Bipolarplatte.
- Die Anode in rot.
- Die Elektrolytmembran, durchsichtig.
- Die die Kathode in blau.
- Die zweite Hälfte der Bipolarplatte.

Mehrere Zellen, welche von einem äusseren Zellrahmen getragen (dazu gehören zwei Endplatten) und mit den Reaktionsgasen, der Wasserstoff und Sauerstoff, sowie Wasser für die Kühlung der Zelle, versorgt werden, sind in Reihenschaltung zu Zellenstapeln zusammengesetzt. Dies ist in der Abbildung 6 zu sehen.

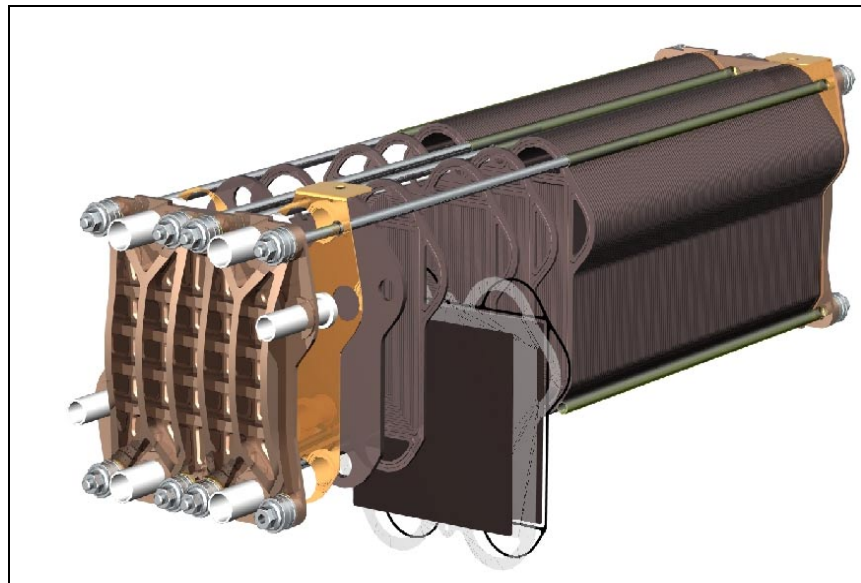


Abbildung 6: Der Brennstoffzellenstapel

4.2.2 Beschreibung des Gestaltungsfeldes durch einzelne Komponenten

Bipolarplatte

Die theoretisch anfallende Spannung einer Brennstoffzelle beträgt 1.229 Volt. Praktisch kann bei der PEMFC nur ein Teil dieser Spannung als elektrische Energie genutzt werden, weil bei dieser „kalten“ Oxidation von Wasserstoff neben elektrischer Energie auch thermische Energie frei wird. Im praktischen Einsatz wird mit einer Spannung von 0,6 Volt pro Brennstoffzelle gerechnet. Diese Situation entspricht den Vollastbetrieb. (Siehe Abbildung 7).¹⁵

Um eine genügend hohe Leistung zu bekommen, wird aber mehr als nur 0,6 Volt gebraucht. Um höhere Spannungen zu erhalten ist es notwendig, mehrere Einzelzellen in Serie zu einem Stapel aneinander zu reihen. Für hohe Leistungen können die Anzahl Zellen und/oder die Fläche der Zelle variiert werden.

$$P = n * u * i * A$$

$$P = \text{Leistung}$$

$$n = \text{Anzahl Zellen}$$

$$A = \text{Fläche einer Zelle}$$

$$u = 0,6 \text{ V/Zelle}$$

$$i = 0,5 \text{ A/cm}^2$$

¹⁵ Besprechung mit Daniel Schmid

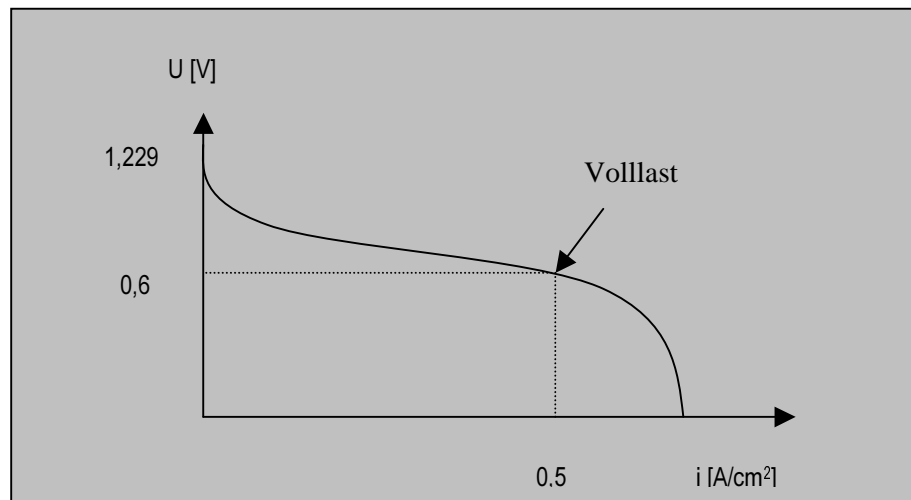


Abbildung 7: Volllastbetrieb einer Brennstoffzelle

Die Bipolarplatte erfüllt folgende wichtige Funktionen:¹⁶

- Verteilung der Gase H_2 , O_2 /Luft
- Trennung der Gase H_2 , O_2 /Luft
- Leitung des Stromes
- Mechanische Integrität

Bei mobilen Anwendungen ist der Gewichts- und der Volumenanteil der Bipolarplatte von entscheidender Bedeutung.

Elektroden

Die Brennstoffzellen benötigen Elektroden, die folgende Eigenschaften aufzeigen:¹⁷

- Die Elektroden besitzen eine poröse Struktur und sind damit gasdurchlässig.
- Eine hohe elektrische Leitfähigkeit, damit der Strom von einer Elektrode zur andere fließen kann.
- Eine gute Korrosionsbeständigkeit, damit die Elektroden gegen die Schäden der Gase möglichst geschützt werden.
- Die Elektroden bringen den Katalysator in Kontakt mit dem Elektrolyte.
- Die elektroden müssen leistungsstark sein. Um leistungsstarke Elektroden zu bekommen ist das Design der Elektrode von besonderer Bedeutung. Das Design sollte die Diffusion der Gas optimal unterstützen, und dies auch bei niedrigem Druck.
- Die Elektroden sollen zuverlässig sein und eine möglichst lange Lebensdauer aufzeigen.

¹⁶ Scherer: „Brennstoffzellen – eine zukünftige Quelle zur Stromerzeugung“, S. 12

¹⁷ US Department of Energy: “Commercialization of Fuel Cells, S.432

Die Elektroden sind meistens aus Graphit. Die Firma SGL Carbon ist in der Herstellung von Elektroden oder Bipolarplatten aus Graphit engagiert. Dieses Jahr hat SGL Carbon 50 Mio. DM Forschungsaufwendungen in diesem Gebiet budgetiert.¹⁸ Die Herausforderung einer Firma, die in der Herstellung von Elektroden tätig ist, ist diese möglichst kostengünstig herzustellen.

Katalysator

Damit die elektrochemische Reaktion bei Niedrigtemperatur-Brennstoffzellen (die PEMFC zählt zu diesen) eine genügende Effizienz aufzeigt, braucht man einen Katalysator. Bis heute ist Platin der beste Katalysator, sowohl für die Wasserstoff-Oxidation als auch für die Sauerstoff-Reduktion. Das Platin, ein Edelmetall, ist jedoch teuer.

Damit die Reaktion, die beim Katalysator stattfindet, funktionieren kann, muss der Katalysator mit dem Gas, der Elektrode (Stromleiter) und dem Elektrolyten (Protonenleiter) in Kontakt sein.¹⁹

Elektrolyte

Das Polymer Electrolyte hat drei Funktionalitäten:²⁰

- Die Gase, d.h. Wasserstoff und Sauerstoff, voneinander trennen.
- elektrischer Isolator.
- Wasserspeicher. Wasser ist für die Diffusion der Protonen von der Anode zur Kathode verantwortlich.

Das heutzutage genutzte Electrolyte, dies ist hauptsächlich das Produkt „Nafion“ von der Firma duPont, hat ein einfaches Design und ist zudem leicht. Diese Polymere haben aber noch hohe Kosten.

Alternative Membranen, die einfach herzustellen sind und über eine einfache chemische Struktur verfügen, werden angefordert, um die Kosten zu verringern.²¹

Endplatte

Zu den Funktionalitäten der Endplatten zählt hauptsächlich das Zusammenhalten der einzelnen Brennstoffzellen. Die Anforderungen an der Endplatten sind die folgenden:

- Möglichst gleichmässige Druckverteilung.
- Sollte bei mobilen Anwendungen möglichst klein und leicht sein.
- Sollte Gasdicht sein.

¹⁸ <http://www.sglcarbon.com>

¹⁹ Kordes, Simader: "Fuel Cell and their Applications, S. 76

²⁰ Besprechung mit Daniel Schmid

²¹ US Department of Energy: "Commercialization of Fuel Cells, S. 424

Bauweise

Die PEMFC ist modular aufgebaut. Mit den selben Komponenten kann man die unterschiedlichen Kundenwünsche und –bedürfnisse erfüllen. Je nach Leistungsanforderung an den Stapel kann die Dimensionierung entsprechend vorgenommen werden. Die Anzahl der Zellen in einem Stapel bestimmt die Zellspannung, die aktive Fläche der Zelle bestimmt die Stromstärke.

Wasserstoff

Die an der ETH entwickelte PEM-Brennstoffzelle, wird mit reinem Wasserstoff betrieben. Wasserstoff kann aus unterschiedlichen Quellen erzeugt werden:

- Aus fossilen Brennstoffen, wie Erdöl oder Erdgas.
- Aus chemischen Zwischenprodukten, wie Methanol.
- Aus alternativen Ressourcen, wie Biomass.

Wasserstoff ist ein farb- und geruchloses Gas. Sein spezifisches Gewicht ist 0,0899 g/l (Luft ist 14,4 mal so schwer). Wasserstoff siedet bei $-252,77\text{ °C}$. Flüssigwasserstoff hat ein spezifisches Gewicht von 70,99 g/l. Damit hat Wasserstoff von allen Brenn- und Treibstoffen die höchste massebezogene Energiedichte: 1 kg Wasserstoff enthält ebensoviel Energie wie 2,1 kg Erdgas oder 2,8 kg Benzin. Die volumenbezogene Energiedichte beträgt etwa $\frac{1}{4}$ derjenigen von Benzin und etwa $\frac{1}{3}$ derjenigen von Erdgas.²²

²² www.hydrogen.org/Wissen/w-i-energie2.html

Die Massen- und volumenbezogene Energiedichte von Wasserstoff im Vergleich zu anderen Energieträgern ist die Tabelle 2 ersichtlich.

Energieträger	Speicherform	Massenbezogene Energiedichte [kWh/kg]	Volumenbezogene Energiedichte [kWh/l]
Wasserstoff	Gas (20 Mpa)	33,3	0,53
	Gas (24,8 Mpa)	33,3	0,64
	Gas (30 Mpa)	33,3	0,75
	flüssig (-273°C)	33,3	2,36
	Metallhydrid	0,58	3,18
Erdgas	Gas (20 Mpa)	13,9	2,58
	Gas (24,8 Mpa)	13,9	3,01
	Gas (30 Mpa)	13,9	3,38
	flüssig (-162°C)	13,9	5,8
Propan	flüssig	12,9	7,5
Methanol	flüssig	5,6	4,42
Benzin	flüssig	12,7	8,76
Diesel	flüssig	11,6	9,7
Strom	Pb-Akkumulator (chemisch)	0,03	0,09

Tabelle 2: Massen- und volumenbezogene Energiedichten von Wasserstoff im Vergleich zu anderen Energieträgern.²³

Beim Einsatz von Wasserstoff in der PEMFC werden lokal alle Schadstoffemissionen vollständig vermieden. Bei der Stromerzeugung entsteht aus Wasserstoff und Luftsauerstoff nur das Reaktionsprodukt Wasser. Der Wasserstoff zeigt aber die folgenden Nachteile auf:

- Brennbar
- Schwächt die Stähle
- verschlechtert die Kunststoffe
- verbreitet schnell durch die geringste Durchlässigkeit oder Risse. Viele Materialien sind für Wasserstoff, das kleinste aller Atome, durchlässig.

Speicherung des Wasserstoffes (Tank)

Während eine Batterie die duale Funktion als gleichzeitiger Speicher (begrenzt durch die aktiven Massen) und Wandler von Energie ausübt, wirkt die Brennstoffzelle nur als Wandler. Dem Speicherproblem kommt daher eine gleichwichtige Rolle wie der Energieumwandlung in der Brennstoffzelle selbst zu. Zur Zeit gibt es die folgenden Arten der Speicherung:²⁴

²³ www.hydrogen.org/Wissen/w-i-energie2.html

²⁴ Besprechung mit Martin Ruge

- Druckgasspeicher. Es existieren mobile Druckgastanks oder -flaschen. In der Regel sind diese, in der Schweiz, bis zu einem Fülldruck von 200 bar zugelassen. Aufgrund der Gewichtsvorteile wurde in den letzten Jahren die Stahlflasche durch Composite-Tanks ergänzt. Die geringe volumenbezogene Energiedichte des Wasserstoffes (siehe Tabelle 2) ist bei dieser Speicherart ein Problem.
- Flüssiggasspeicher. Im Zusammenhang mit den Aktivitäten für Wasserstoff-Fahrzeuge, wurden mobile Kleinspeicher entwickelt. Wasserstoff ist nur bei -273°C in einem flüssigem Zustand zu finden ist, deswegen ist diese Lösung wenig geeignet.
- Metallhydridspeicher. Vorteilhaft für einen Metallhydridspeicher ist der geringe Beladedruck. Die maximale Speicherkapazität liegt zwischen 2 bis 4 Gewichtsprozent, die in Form von Wasserstoff gespeichert werden können. Das hohe Gewicht ist der grösste Nachteil.
- Speicherung in Kohlenstoff-Nanoröhren. Diese Art der Speicherung befindet sich noch in einem frühen Entwicklungsstadium und ist deswegen schwer zu beurteilen.

Wie gesehen, existieren Lösungen um den Wasserstoff zu speichern. Jede Lösung hat aber seine Vor- und Nachteile. Weiter Forschungsarbeiten sind in diesem Bereich noch notwendig um bessere Lösungen zu finden.

Sauerstoff

Kein reiner Sauerstoff wird gebraucht, sondern Luftsauerstoff, der unter Druck in die Brennstoffzelle gepumpt wird. Diese Pumpen sind zum Teil verantwortlich für den Lärm, der von einer Brennstoffzelle erzeugt wird. Der Lärm bleibt aber trotzdem niedriger, als bei einem Verbrennungsmotor.

4.2.3 Beschreibung der Gegenwärtigen Situation des Gestaltungsfeldes durch Stärken-Schwächen

Die Brennstoffzellen haben interessante Charakteristiken. Die wichtigsten Stärken und Schwächen sind in der Tabelle 3 aufgezeigt.

Aspekte	--	-		+	++	Begründung
Hoher elektrischer und thermischer Wirkungsgrad					✓	Der Wirkungsgrad ist höher als bei einem konventionellem Verbrennungsmotor. Der Wirkungsgrad nimmt aber mit der Lebensdauer ab.
Teillastverhalten				✓		Der Wirkungsgrad ist bei Teillast besser als bei Vollast. Beim konventionellen Verbrennungsmotor ist dies gerade umgekehrt.
Schadstoffemissionen				✓		Die Brennstoffzelle ist lokal emissionsfrei.
Betriebsperioden zwischen auftretenden Störfällen			✓			Es bestehen noch Unsicherheiten bezüglich der Länge der Betriebsperioden zwischen auftretenden Störfällen.
Schallemissionen				✓		Die Schallemissionen sind kleiner als einen Verbrennungsmotor.
Brennstoffe				✓		Die Brennstoffzelle kann eine grosse Menge unterschiedlicher Brennstoffe benützen.
Lebensdauer			✓			Es gibt noch Unsicherheiten bezüglich der Lebensdauer der Brennstoffzelle. Die Chancen sind aber gut, längere Lebensdauer bei Niedertemperatur-Brennstoffzellen zu erreichen.
Kosten	✓					Die Kosten der Brennstoffzelle sind zurzeit noch zu hoch.
Entwicklungsstatus		✓				Der Entwicklungsstatus ist noch relativ gering. Die Serienproduktion ist noch nicht erreicht.
Herstellerfirmen			✓			Zur Zeit gibt es noch wenige Herstellerfirmen.
Start- und Endphasen beim Hoch- und Hinunterfahren					✓	Die Arbeitstemperatur der Niedertemperaturbrennstoffzellen, wie z.B die PEMFC, erlauben rasche Start- und Endphasen.
Modularischer aufbau				✓		Der modularischer Aufbau erlaubt „economies of scales“.
Speicherung des Brennstoffes		✓				Dieses Problem ist zur Zeit noch nicht ganz gelöst.

Tabelle 3: Zusammenfassung der Charakteristiken der Brennstoffzellen

5 Szenariofeld-Analyse Brennstoffzelle

5.1 Bildung von Einflussbereichen

Der Ausgangspunkt für die Bildung von Einflussbereichen ist das Szenariofeld, das im Kapitel 4.1.3 beschrieben wurde. Das Szenariofeld umfasst die Umwelt des Gestaltungsfeldes sowie das Gestaltungsfeld selbst. Das Szenariofeld wurde in Subsysteme gegliedert:

- das globale Umfeld
- das branchen Umfeld

Die Abbildung 8 zeigt die Einflussbereiche von diesen zwei Subsystemen. Der Ausgangspunkt für diese Eingliederung war:

- Das Transformationssystem von Prof. F. Huber für das globale Umfeld.²⁵ In seinem Transformationssystem sieht er die folgenden Sphären: die wirtschaftliche, die technologische, die politisch/rechtliche, die ökologische und die soziale/gesellschaftliche.
- Die Branchenanalyse nach Michael Porter für das branchen Umfeld.²⁶ Porter sieht fünf Wettbewerbskräfte in einer Branche: nämlich den Eintritt von neuen Konkurrenten, die Bedrohung durch Substitutionen, das Verhandlungspotential der Abnehmer, das Verhandlungspotential der Lieferanten und den Wettbewerb zwischen den bestehenden Konkurrenten.

²⁵ Huber: „Produkt- und Prozessinnovation“, S.16

²⁶ Porter: “La concurrence selon Porter”, S. 30

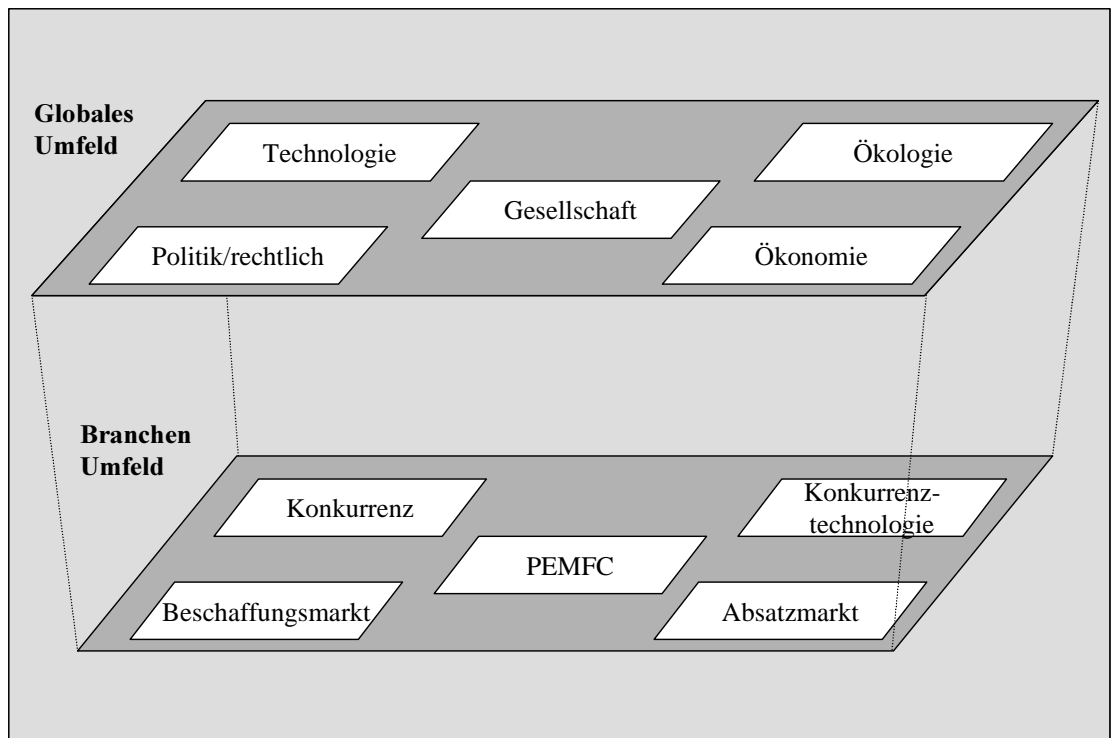


Abbildung 8: Die Einflussbereiche

5.2 Bildung von Einflussfaktoren

Die Gliederung des Szenariofeldes in Einflussbereichen reicht nicht aus, weil sich deren Entwicklungsmöglichkeiten nicht konkret beschreiben lassen. Daher sind die einzelnen Einflussbereiche durch geeignete Einflussfaktoren näher zu beschreiben.

5.2.1 Ermittlung von Einflussfaktoren

Die Einflussfaktoren wurden dank Literaturrecherche, Expertenbefragung und ein Brainstorming ermittelt. Die folgenden Interviewpartner (die Ergebnisse der Interviews sind im Anhang, unter Kapitel 9.5, zu finden) wurden gefragt:

- Herr Bruno E. Raschle. Herr Raschle war Seed-Investor und bis 1997 im Verwaltungsrat der Ballard Power Systems.
- Frau Christiane Langenberger. Ständerätin.
- Herr Daniel Brélaz. Stadtrat, Lausanne.
- Herr Thomas Bürki. Technologie-Expert der Energie-Agentur der Wirtschaft (EnAW).
- Herr Roland Pfeuti und Herr Rolf Wüstenhagen. SAM Sustainability Group.
- Herr Jüdiger Spielkamp. Arthur D. Little.
- Herr Walter Odoni. Hilti AG.
- Prof. Markus Meier. ETHZ.
- Prof. Alexander Wokaun. ETHZ

- Prof. Aldo Steinfeld. ETHZ
- Herr Daniel Schmid. ETHZ.
- Herr Martin Ruge. ETHZ.

Das Brainstorming wurde mit dem Forschungsteam von Günther G. Scherer am Paul Scherrer Institut durchgeführt. Die Ergebnisse des Brainstorming sind ebenfalls im Anhang dieses Berichtes zu finden.

Eine grosse Menge von Faktoren wurden dank der Literaturrecherche, die Expertenbefragungen und das Brainstorming festgelegt. Damit die Einflussanalyse (siehe Kapitel 5.4.1) überschaubar bleibt, wurden diese Einflussfaktoren zuerst gruppiert. Das Ergebnis dieser Gruppierung ist in der Abbildung 9 sichtbar.

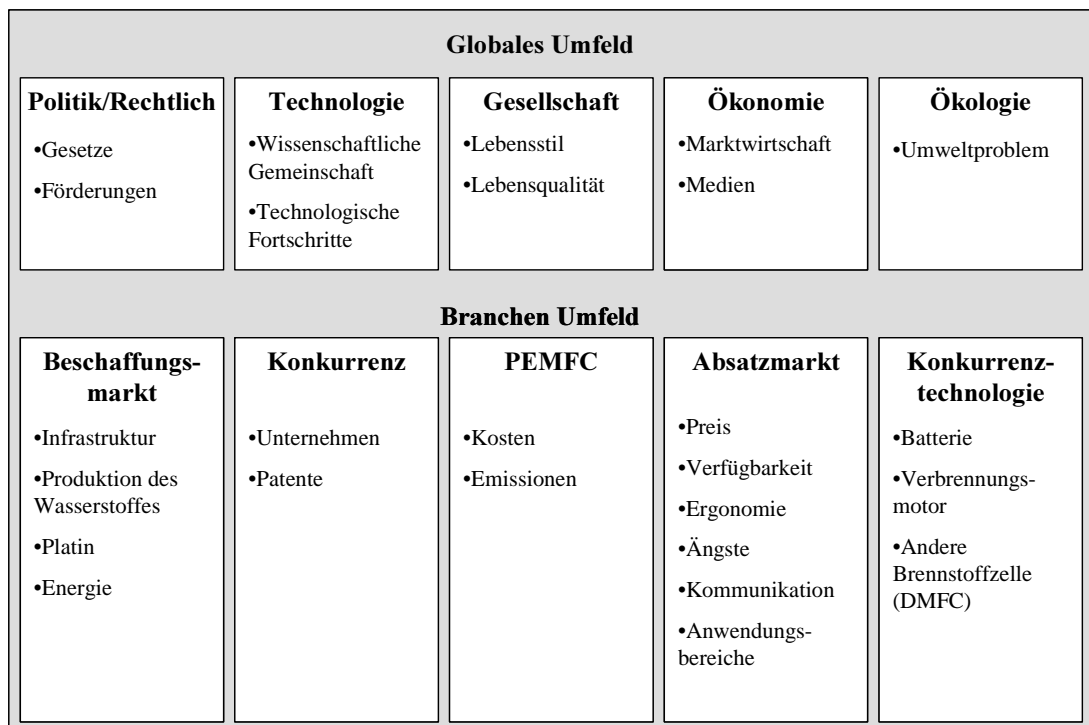


Abbildung 9: Einflussfaktoren der Brennstoffzelle

5.2.2 Aufbereitung der Einflussfaktoren

Die Einflussfaktoren haben eine Kurzbezeichnung erhalten (siehe Abbildung 9). Eine ausführlichere Beschreibung wurde durchgeführt, um die folgenden Arbeitsschritte zu erleichtern und mögliche Missverständnisse zu vermeiden.

Gesetze

Ein Gesetz ist eine staatliche Vorschrift. Neue Vorschriften, neue Regeln können Leute, Unternehmen oder Organisationen zwingen, ihr Verhalten zu ändern. Die zunehmenden Treibhausgase haben wahrscheinlich einen negativen Einfluss auf die Umwelt und können Umweltveränderungen bewirken. Die Anwendung eines Umweltgesetzes ist hauptsächlich vom politischen Willen eines Landes, umweltschonende Massnahmen zu treffen. Der Einflussfaktor „Gesetz“ kann daher mit dem folgenden Merkmal beschrieben werden:

- Wie entwickelt sich der politische Wille, Umweltgesetze vorzuschreiben?

Förderungen

Die Förderung ist die Unterstützung eines bestimmten Zwecks durch den Staat. Eine gewisse Unterstützung durch den Staat zu bekommen, kann nur gewährleistet werden, wenn ein politischer Wille vorhanden ist. Der Einflussfaktor „Förderung“ kann daher mit dem folgenden Merkmal beschrieben werden:

- Wie entwickelt sich der politische Willen, die nachhaltige Entwicklung zu unterstützen?

Wissenschaftliche Gemeinschaft

Eine wissenschaftliche Gemeinschaft ist eine Gruppe von Forscher, die sich um ein Themengebiet bildet. Diese wissenschaftlichen Gemeinschaften können gewisse Nachrichten kommunizieren, die zur Kenntnisnahme von Problemen in der Gesellschaft und bei Politikern führen können. Der Einfluss der Meteorologen ist, z.B. heute, mit dem Thema Klimaveränderungen, ziemlich gross. Der Einflussfaktor „Wissenschaftliche Gemeinschaft“ kann daher mit dem folgenden Merkmal beschrieben werden:

- Wie entwickelt sich der Einfluss der Wissenschaftliche Gemeinschaft?

Technologische Fortschritte

Die technische Fortschritte und Innovationen sind meistens das Resultat von wissenschaftlichen Erkenntnissen. Sie können zu Verbesserungen einer Technologie, eines Produktes oder eines Prozesses führen, aber auch organisatorische Änderungen bewirken. Dieser Einflussfaktor berücksichtigt alle technologische Fortschritte, die direkt oder indirekt einen Einfluss auf die Brennstoffzellen haben können. Um technische Fortschritte zu gewährleisten sind Forschungs- und Entwicklungsgelder notwendig. Eine Vision kann den Prozess, der zu technischen Fortschritte und Innovationen führt, beschleunigen. Der Einflussfaktor „Technologische Fortschritte“ kann daher anhand von zwei Merkmalen beschrieben werden:

- Wie entwickelt sich der F&E Aufwand?

- Hat der Staat eine Vision für das Land entwickelt?

Lebensstil

Der Lebensstil ist die Art der Lebensführung von Einzelpersonen oder Gruppen (Familien, usw.). Die letzten Jahre waren durch eine Zunahme der Mobilität geprägt. Der Einflussfaktor „Lebensstil“ kann daher mit dem folgenden Merkmal beschrieben werden:

- Wie entwickelt sich die Nachfrage nach Mobilität?

Lebensqualität

Die Lebensqualität eines Standortes kann durch eine grosse Anzahl von Faktoren definiert werden. Die Qualität der Umwelt (Luftqualität, Lärmpegel, usw.) gehört auch zu diesen Faktoren. Deswegen ist, um eine gute Lebensqualität zu gewährleisten, auf der einen Seite das Umweltbewusstsein und auf der anderen Seite das Engagement der Gesellschaft für die Umwelt notwendig. Der Einflussfaktor „Lebensqualität“ kann daher anhand von zwei Einflussfaktoren beschrieben werden:

- Wie entwickelt sich das Umweltbewusstsein der Gesellschaft?
- Wie entwickelt sich das Engagement der Gesellschaft für die Umwelt?

Marktwirtschaft

Die Marktwirtschaft ist auf den Grundsätzen Nachfrage, Angebot und Wettbewerb aufgebaut. Eine Liberalisierung und Deregulierung der Märkte kann den Wettbewerb und die Marktwirtschaft verstärken. Diese Situation ist auch im Energiemarkt wahr. Der Einflussfaktor „Marktwirtschaft“ kann daher mit dem folgenden Merkmal beschrieben werden:

- Wie entwickelt sich die Liberalisierung der Märkte?

Medien

Die Medien umfassen alle Mittel die erlauben, Informationen einem breiten Publikum weiterzugeben. Um eine gute Information der Gesellschaft zu gewährleisten, sollten alle Themenbereiche gleich behandelt werden, sowohl die Ökologie als auch die Energie. Der Einflussfaktor „Medien“ kann daher mit dem folgenden Merkmal beschrieben werden:

- Wie entwickelt sich die Informationspflicht der Medien im Bereich Ökologie und Energie?

Umweltproblem

Die Schadstoffemissionen (CO₂, usw.) heizen unser Klima auf. Es wird immer offensichtlicher, dass zwischen der Erwärmung der Atmosphäre und der Zunahme von Umweltkatastrophen ein Zusammenhang besteht. Der Einflussfaktor „Umweltproblem“ kann daher mit dem folgenden Merkmal beschrieben werden:

- Wie entwickeln sich die Umweltveränderungen und Umweltkatastrophen?

Infrastruktur

Mit Infrastruktur sind alle Einrichtungen gemeint, die es ermöglichen, den Brennstoff vom Produktionsort bis zum Endkunden zu bringen. Damit die Brennstoffzelle funktionieren kann, ist Wasserstoff gebraucht. Der Wasserstoff kann aus verschiedenen Brennstoffen erzeugt werden. Die Frage der Infrastruktur ist damit stark mit der Frage des Brennstoffes verbunden. Um eine Infrastruktur zu gewährleisten, muss der gewählten Brennstoff technisch realisierbare sowie wirtschaftliche Einrichtungen ermöglichen. Der Einflussfaktor „Infrastruktur“ kann daher mit dem folgenden Merkmal beschrieben werden:

- Aus welchem Brennstoff wird der Wasserstoff erzeugt?

Produktion des Wasserstoffes

Die Produktion des Wasserstoffes bezeichnet den Prozess, der mit dem ausgewählten Brennstoff beginnt und mit dem daraus erzeugten Wasserstoff endet. Um eine Ökologische sowie eine Ökonomische Produktion des Wasserstoffes zu gewährleisten, sollte dieser Prozess möglichst emissionsfrei und wirtschaftlich sein. Der Einflussfaktor „Produktion des Wasserstoffes“ kann daher anhand von zwei Merkmalen beschrieben werden:

- Wie entwickelt sich die Wirtschaftlichkeit des Prozesses?
- Wie entwickeln sich die Emissionsraten des Prozesses?

Platin

Der Platin ist ein Edelmetall, der in der Brennstoffzelle als Katalysator benutzt wird. Der Preis des Platins ist unter anderem verantwortlich für die hohen Kosten der Brennstoffzelle. Der Einflussfaktor „Platin“ kann daher mit dem folgenden Merkmal beschrieben werden:

- Wie entwickelt sich der Preis des Platins?

Energie

Erdöl und Erdgas sind in der heutigen Wirtschaft zwei Hauptquellen, aus denen Energie erzeugt werden kann. Deren Preisentwicklung hat einen bedeutenden Einfluss auf die wirtschaftliche Entwicklung eines Landes oder sogar der ganzen Welt. Erst bei hohem Erdöl- und Erdgaspreis befasst sich die breite Öffentlichkeit mit nicht fossilen Energiequellen. Der Einflussfaktor „Energie“ kann daher mit dem folgenden Merkmal beschrieben werden:

- Wie entwickeln sich die Energiepreise?

Unternehmen

Die Anzahl der Unternehmen, die in einem Markt tätig sind, bestimmen die Rentabilität dieses Marktes. Die Eintrittsbarrieren sollten hoch genug sein, damit die Konkurrenz relativ gering bleibt. Der Einflussfaktor „Unternehmen“ kann daher mit dem folgenden Merkmal beschrieben werden:

- Wie entwickelt sich die Konkurrenz?

Patente

Ein Patent gibt seinem Inhaber die (allerdings zeitlich und räumlich begrenzte) Möglichkeit, eine Erfindung alleine zu verwerten. Um ihre Marktmacht zu vergrößern, halten Unternehmen nicht selten Patentportfolios aus Hunderten oder sogar Tausenden von Patenten.²⁷ Der Einflussfaktor „Patente“ kann mit dem folgenden Merkmal beschrieben werden:

- Wie entwickelt sich die Verteilung der Patente unter den Unternehmen?

Kosten

Unter den Kosten, sind die Herstellkosten der Brennstoffzelle (Zellstapel) zu verstehen. Die Herstellkosten der Brennstoffzelle sind hauptsächlich von den benutzten Materialien und Herstellungsverfahren, sowie von der produzierten Stückzahl, abhängig. Die produzierte Stückzahl wird aber eine Schlüsselrolle spielen. Der „Einflussfaktor“ Kosten kann daher mit dem folgenden Merkmal beschrieben werden:

- Wie entwickelt sich die Nachfrage?

²⁷ IOManagement, S.44 (5/2000)

Emissionen

Die Schadstoffemissionen sowie die Schallemissionen der Brennstoffzelle sind unter Emissionen zu verstehen. Kein besonderes Merkmal ist hier notwendig, um den Einflussfaktor „Emissionen“ zu beschreiben:

- Wie entwickeln sich die Emissionen?

Preis

Unter Preis ist der Verkaufspreis zu verstehen. Der Käufer ist bereit einen höheren Preis für eine Gegenleistung zu bezahlen, wenn er klare Vorteile sieht, wie z.B. tiefere Betriebskosten, längere Lebensdauer, usw. Der Einflussfaktor „Preis“ kann daher mit dem folgendem Merkmal beschrieben werden:

- Wie entwickeln sich die „Totale Kosten“ der Brennstoffzelle?

Verfügbarkeit

Die Verfügbarkeit ist die Zeitspanne, während deren eine Technologie oder ein Produkt ununterbrochen benützt werden kann. Lange Lebensdauer, kleine Serviceperioden, usw. verbessern z.B. die Verfügbarkeit. Die Verfügbarkeit der Brennstoffzelle ist von der Stapelpräzision abhängig.²⁸ Der Einflussfaktor „Verfügbarkeit“ kann daher mit dem folgenden Merkmal beschrieben werden:

- Wie entwickelt sich die Stapelpräzision?

Ergonomie

Mit der Ergonomie ist besonders die Bedienungsfreundlichkeit des Endproduktes gemeint. Die Bedienungsfreundlichkeit wird bei der Akzeptanz dieser Technologie eine bedeutende Rolle spielen. Der Einflussfaktor « Ergonomie » kann daher mit dem folgenden Merkmal beschrieben werden :

- Wie entwickelt sich die Bedienungsfreundlichkeit des Endproduktes?

Ängste

Die Ängste sind die Fürchte, die eine neue Technologie erwecken kann. Der Wasserstoff könnte diese Ängste erwecken, da er brennbar und meistens unter Druck gespeichert ist. Um die Ängste so gering wie möglich zu behalten, wird die Sicherheit bei der Speicherung des Wasserstoffes eine besondere Rolle spielen. Der Einflussfaktor « Ängste » kann daher mit dem folgendem Merkmal beschrieben werden :

- Wie entwickelt sich die Sicherheit bei der Speicherung des Wasserstoffes?

²⁸ Besprechung mit Martin Ruge

Kommunikation

Die Kommunikation ist die Fähigkeit von Menschen oder Gruppen (Unternehmen), eine Nachricht, ein Bild oder eine Vision zu übermitteln. Die Wahrnehmung des Endkunden, der Unternehmen, der Regierungen, usw. ist stark von der Kommunikation abhängig. Um eine gute Kommunikation zu gewährleisten, ist die Managementkraft des Projektes von besonderer Bedeutung. Der Einflussfaktor „Kommunikation“ kann daher mit dem folgenden Merkmal beschrieben werden:

- Wie entwickelt sich die Managementkraft?

Anwendungsbereiche

Die Anwendungsbereiche sind die verschiedenen Bereiche, in denen eine Technologie eine Anwendung findet. Der Erfolg einer bestimmten Anwendung kann von geschickten Allianzen und Abstützungen abhängig sein. Diese Abstützungen, meistens von anderen Unternehmen, können ganz unterschiedliche Formen aufzeigen: von der Produktion bis zur Distribution. Der Einflussfaktor „Anwendungsbereiche“ kann daher mit dem folgenden Merkmal beschrieben werden:

- Wie entwickeln sich die Partnerschaften und Allianzen?

Batterie

Die Batterien oder Akkumulatoren sind bei den portablen Anwendungen der Brennstoffzelle eine Konkurrenz-Technologie. Der Einflussfaktor „Batterie“ kann daher mit dem folgenden Merkmal beschrieben werden.

- Wie entwickelt sich die Energiespeicherkapazität der Batterien?

Verbrennungsmotor

Der Verbrennungsmotor ist auch bei den portablen Anwendungen (z.B. die Generatoren) der Brennstoffzelle eine Konkurrenz-Technologie. Der Einflussfaktor „Verbrennungsmotor“ kann daher mit dem folgenden Merkmal beschrieben werden:

- Wie entwickelt sich der Wirkungsgrad der Verbrennungsmotoren?

Andere Brennstoffzellen (DMFC)

Wie im Kapitel 3.2.1 beschrieben wurde, existieren unterschiedliche Brennstoffzellen-Typen. Die Entwicklung der DMFC könnte für die PEMFC, die an der ETHZ entwickelt wird, eine harte Konkurrenz werden. Der Einflussfaktor „Andere Brennstoffzellen“ kann daher mit dem folgenden Merkmal beschrieben werden:

- Wie entwickelt sich die DMFC?

5.3 Entwicklung von Schlüsselfaktoren

Die Unterphase „Bildung von Einflussfaktoren“ (siehe Kapitel 5.2) hat 26 Einflussfaktoren geliefert. Das Ziel dieses Kapitels ist die wichtigsten Einflussfaktoren zu identifizieren: die Schlüsselfaktoren.

5.3.1 Einflussanalyse

Mit der Einflussanalyse soll die Bedeutung einzelner Einflussfaktoren für das Szenariofeld und damit ihre Eignung als Schlüsselfaktoren ermittelt werden. Die Einflussanalyse greift auf eine Einflussmatrix zurück. In Zeilen und Spalten werden alle Einflussfaktoren eingetragen. Bei dieser Einflussanalyse sind alle Einflussfaktoren gleichwertig. Durch die Einflussanalyse werden die Beziehungen oder Beeinflussungen zwischen den Einflussfaktoren erfasst. Auf dem Weg zu den für das System wichtigsten Einflussfaktoren, muss für jedes Einflussfaktoren-Paar der Einfluss bewertet werden, mit dem der eine Einflussfaktor auf den anderen wirkt, und umgekehrt. Die Einflussanalyse befindet sich im Anhang dieses Berichtes (siehe Kapitel 9.2).

5.3.2 Erstellung von System-Grids

Zur Veranschaulichung der Ergebnisse der Einflussanalyse eignet sich ein System-Grid. Mit den ermittelten Aktiv- und Passivsummen entsteht ein Abbild zur Interpretation der Beziehungen im Szenariofeld. Das System-Grid in im Anhang, unter Kapitel 9.3, zu finden.

5.3.3 Festlegung des Auswahlkriteriums

Der Dynamik-Index (Aktivsumme mal Passivsumme) wird wegen den folgenden Gründen als Auswahlkriterium gewählt:

- Der Dynamik-Index berücksichtigt vor allem die dynamische Einflussfaktoren. Diese Faktoren sind stärker in die Vernetzung des Systems eingebunden. Sie können deswegen als Hebel dienen, um bei festgefahrenen Situationen überhaupt Veränderungen in Gang zu bringen.
- Der Dynamik-Index ist für risikoreiche Systemszenarien gut geeignet. Dies ist bei diesem Szenario der Fall.

5.3.4 Auswahl von Schlüsselfaktoren

Es wurde entschieden, alle Einflussfaktoren als Schlüsselfaktor zu wählen, solange der Dynamik-Index (siehe Kapitel 9.4) keinen Sprung aufzeigt. Eine Zahl von 10 Schlüsselfaktoren wäre aber vernünftig. Die folgenden Einflussfaktoren wurden in einer ersten Phase als Schlüsselfaktor gewählt:

- Technologische Fortschritte
- Förderungen
- Lebensqualität
- Gesetze
- Lebensstil
- Kosten
- Kommunikation
- Anwendungsbereiche
- Umweltproblem

Nach dem Einflussfaktor Umweltproblem findet einen Sprung im Dynamik-Index (siehe Kapitel 9.4) statt. Da der Einflussfaktor „Energie“ einen starken psychologischen Einfluss auf die Gesellschaft, die Politikern und die Wirtschaft hat, wurde er auch noch zu den Schlüsselfaktoren gewählt. Solche manuellen Korrekturen sind von der Methodik „Szenario-Management“ erlaubt.

6 Szenario-Prognostik Brennstoffzelle

Diese Phase des Szenario-Management enthält zwei Unterphasen:

- Die Bestimmung der Schlüsselfaktoren-Merkmale.
- Die Beschreibung des Ist-Zustandes der Schlüsselfaktoren und Bildung deren Zukunftsprojektionen.

6.1 Bestimmung der Schlüsselfaktoren-Merkmale

Durch die Bestimmung der Schlüsselfaktoren-Merkmale wird geklärt, wie der gegenwärtige Zustand und die zukünftigen Entwicklungsmöglichkeiten des Schlüsselfaktors beschrieben werden können. Die Bestimmung der Merkmale wurde für jeden Einflussfaktor im Kapitel 5.2.2. durchgeführt.

6.2 Beschreibung des Ist-Zustandes der Schlüsselfaktoren und Bildung deren Zukunftsprojektionen

Für das bessere Verständnis der anschliessend zu erstellenden Projektionen der Schlüsselfaktoren wird eine Beschreibung des gegenwärtigen Zustandes durchgeführt. Dieser Bericht wird sich auf langfristige Zukunftsprojektionen ausrichten. (Der Zeithorizont liegt bei ungefähr 10 Jahren). Keine Eintrittswahrscheinlichkeiten werden den Projektionen zugeordnet (dieser Punkt ist in der Methodik des Szenario-Managements optional).

6.2.1 Technologische Fortschritte

Die heutige Welt ist von einer wachsenden Innovationsvielfalt und technologischen Fortschritten geprägt. Das starke Aufkommen der erneuerbaren Energiequellen, der Telekommunikation, des Internets, der Biotechnologie und der Nanotechnologie, sind einige Beispiele dazu. Die technologischen Fortschritte erlauben, dass eine Funktion besser erfüllt wird, weniger kostet, besser oder zuverlässiger durchgeführt wird, oder irgend eine neue Lösung darstellen für eines der heutigen Probleme:

- Das Umweltproblem. Dieser Punkt wird in der Folge dieses Berichtes näher angesprochen.
- Das Verkehrsproblem. Die Zunahme des Autoverkehrs führt unter anderem zu vermehrten Staus und Sicherheitsproblemen auf den Strassen.
- Usw.

Unsere Kapazität, neue Technologien aufzusaugen, ist weniger von der Verwendbarkeit abhängig, sondern vielmehr von unsere Fähigkeit, ihren Wert und ihre Wichtigkeit abzuschätzen. Der Wille der Gesellschaft, die Mentalitäten zu ändern oder neue Mentalitäten zu akzeptieren, geht nicht von selbst, und dies spielt natürlich auch eine Rolle bei der Akzeptanz und Diffusion einer Innovation. In vielen Fällen sind es nur die Synergien zwischen einer Anzahl von neuen Technologien, zusammen mit dem Soziallernen, das erlaubt, neue Opportunitäten wahrzunehmen.²⁹

Welche Rolle können die heutigen Innovationen für die Brennstoffzelle spielen? Die Brennstoffzelle braucht, wie gesehen, Wasserstoff, damit sie funktionieren kann. Gute Lösungen für die Herstellung und Speicherung von grossen Mengen Wasserstoff existieren heute noch nicht. Die technologischen Fortschritte könnten den Weg zur „Hydrogen Economy“ erleichtern, da im Verbund mit regenerativer Energieerzeugung Wasserstoff folgende Vorteile aufzeigt:³⁰

- Zur Speicherung von Energie,
- Zum Transport von Energie und
- Als schadstofffreier mobiler Energieträger.

Der Einstieg in eine „Hydrogen Economy“ wird dann als wichtige Option gesehen, wenn der Beitrag von Stromerzeugern aus erneuerbaren Quellen (Windenergie, Sonnenenergie, Biomasse) ein solches Ausmass erreicht, dass Stromangebot und –nachfrage nur über einen Speicher angepasst werden können. Simulationsrechnungen mit den Eckdaten der deutschen Stromwirtschaft zeigen, dass dies bei einem Anteil regenerativer Energieträger von etwa 20-25 % am Strommix der Fall ist, wobei diese Grenze nicht starr zu sehen ist.³¹ Als „Speichermedium“ von Strom hat Wasserstoff heute die attraktivsten Eigenschaften: gegenüber der Stromspeicherung in Akkumulatoren ist der Materialaufwand um ein Vielfaches geringer. World Business Council for Sustainable Development

²⁹ World Business Council for Sustainable Development: “Exploring Sustainable Development”, S. 8

³⁰ Zittel, Wurster, Weindorf: “Wasserstoff in der Energiewirtschaft”

³¹ Zittel, Wurster, Weindorf: “Wasserstoff in der Energiewirtschaft”

Die Expansion des Anteils regenerativer Energie am Strommix wird, unter den heutigen Rahmenbedingungen, stark von deren Kosten beeinflusst sein. Eine mögliche Entwicklung der Produktionskosten ist in der Abbildung 10 zu sehen. Wind und Biomasse sind schon heute an der Grenze der Wirtschaftlichkeit, während Photovoltaik noch weit davon entfernt ist. Diese Entwicklung der Kosten spricht aber für eine Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energie am Strommix. Wann die Grenze von 20 bis 25% erreicht wird, ist schwierig zu sagen. Der Wasserstoff wird aber wahrscheinlich erst dann eine strategische Bedeutung in der Speicherung und im Transport von Energie bekommen. Fortschritte und Innovationen im Bereich der Wasserstofftechnologien werden sich sicher zu diesem Zeitpunkt beschleunigen. Ob die Brennstoffzelle nur dann ihr Marktfenster haben wird, oder ob sie schon früher einen Einsatz (mit einem anderen Treibstoff als Wasserstoff) findet, ist noch offen.

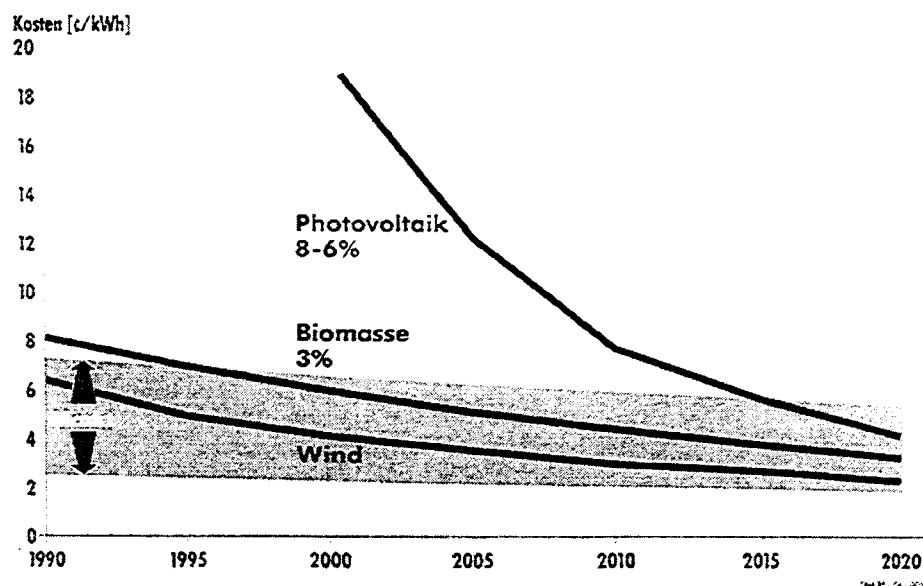


Abbildung 10: Abnehmende Kosten für nachhaltige Energieproduktion. Die Prozente geben das Kostensenkungspotential pro Jahr an.³²

Mit diesem Beispiel sind wir eigentlich schon in den Zukunftsprojektionen, aber damit wird gut aufgezeigt, wie technologische Fortschritte in einem Bereich zu Kettenreaktionen führen und neue Lösungen wahr machen können. Die Zusammenhänge und Synergien zwischen den Technologien und der Umwelt sind schwer zu prognostizieren, da die Welt heute so vernetzt ist. D.h., was in einem Bereich geschieht kann das Potential haben, andere Bereiche stark zu beeinflussen.

³² SAM Sustainability Group

Damit technologische Fortschritte und Innovationen möglich sind, sind zuerst F&E Gelder sowie F&E Personal notwendig. Die Abbildung 11 zeigt die heutige Situation in diesem Bereich.

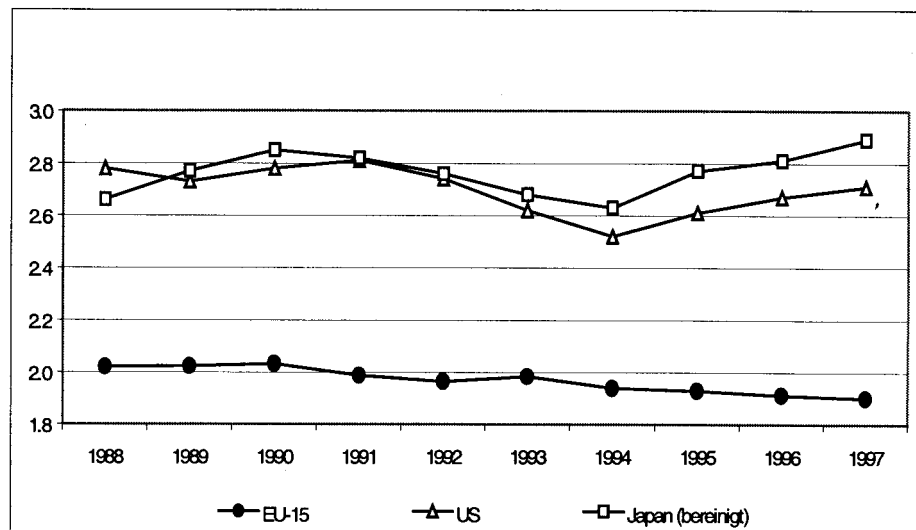


Abbildung 11: Entwicklungstendenz der F&E-Aufwendungen der Triade (in % des BIP)³³

Eine Vision kann die technologischen Fortschritte eines Landes beschleunigen, da sie drei wichtige Funktionen erfüllt:³⁴

- Sie gibt eine Forschungsrichtung.
- Sie vereinfacht die Koordination und
- Kann die Arbeitskräfte mobilisieren.

Obwohl der Bund kürzlich mehr Klarheit in die Forschung und Entwicklung der Schweiz gegeben hat, in dem er klare Forschungsschwerpunkte definiert hat, kann aber noch nicht von einer Vision gesprochen werden.

³³ Laafia: „F&E-Aufwendungen und –Personal in Europa“, S.1

³⁴ OCDE: „Les technologies du XXI^e siècle“, S.115

Auf Basis dieser Ist-Analyse können die folgenden drei Projektionen (siehe Abbildung 12) abgeleitet werden:

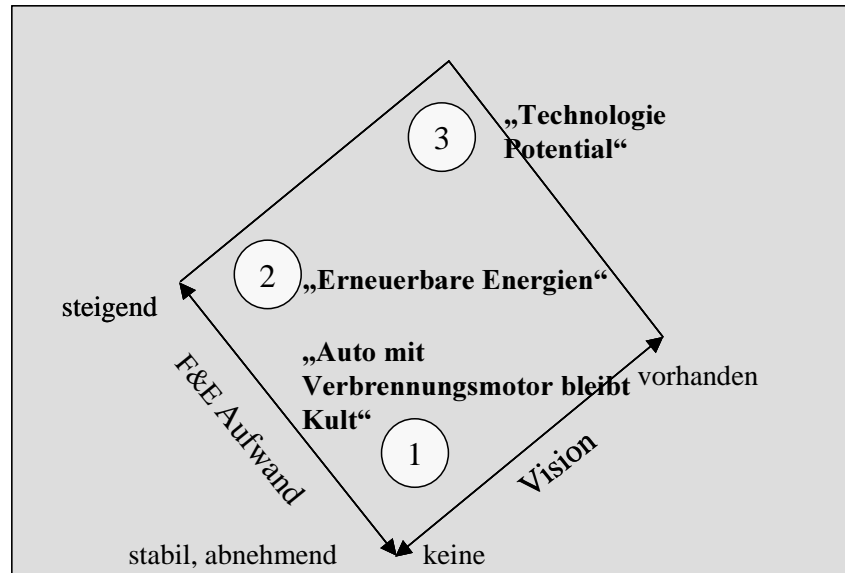


Abbildung 12: Projektionen des Schlüsselfaktors „Technologische Fortschritte“

Projektion 1: „Auto mit Verbrennungsmotor bleibt Kult“

Das Auto bleibt der Motor der technologischen Fortschritte. Der Verbrennungsmotor wird weiterentwickelt. Die Leute brauchen das schöne Geräusch dieses Motors. Die Substitutionstechnologien des Verbrennungsmotors bleiben unwirtschaftlich und finden nur in sehr spezifischen Nischenmärkten den Marktdurchbruch.

Projektion 2: „Erneuerbare Energien“

Ein steigender F&E-Aufwand im Bereich der erneuerbaren Energien führt zu grossen technologischen Fortschritten. Die Wirtschaftlichkeit dieser Technologien ist erreicht und der Anteil der erneuerbaren Energien am Strommix nimmt zu. Bei der Speicherung von Energie bekommt der Wasserstoff eine strategische Rolle zu. Der Wasserstoff wird dank Brennstoffzellen wieder in elektrischen Strom umgewandelt.

Projektion 3: „Technologie Potential“

Die Preis/Leistungsverhältnisse von einer grossen Anzahl neuer Technologien bringen dem Endkunde grosse Vorteile. Er steigt deswegen auf energieeffiziente Lösungen um: die Brennstoffzelle substituiert den Verbrennungsmotor, anstatt in New York ein Meeting zu haben, werden Video-Konferenzen eingesetzt, usw. Diese Zukunftsprojektion ist mit einer Änderung des Lebensstils verbunden.

6.2.2 Förderungen

Anreize werden allgemein durch die Regierung angewendet, um die Einleitung einer neuen Technologie, die der Gesellschaft Vorteile bringen wird, zu fördern. Weil die Brennstoffzelle eine neue Technologie ist und aktuell in sehr begrenzter Quantität produziert wird, ist sie teurer als die herkömmlichen Technologien, wie z.B. der Verbrennungsmotor. Sobald die Brennstoffzelle mit reifen Produktionsmethoden in Massen produziert wird, wird die Brennstoffzelle wahrscheinlich konkurrenzfähiger sein. Jedoch, um die Marktfähigkeit in naher Zukunft zu erhöhen, während die Kosten der Brennstoffzelle noch hoch sind, wären Förderungsmassnahmen (finanzielle und nicht finanzielle) wünschenswert.

Das Hauptziel der schweizerischen Energiepolitik auch in den nächsten zehn Jahren, ist die Senkung des CO₂-Ausstosses. Dazu hat sich die Schweiz im Kyoto-Protokoll verpflichtet. Die Reduktion der CO₂-Emissionen soll unter anderem mit dem Nachfolgeprogramm zu Energie 2000 (das Energiegesetz, in Kraft seit dem 1. Januar 1999, ist die Grundlage dazu) erreicht werden. Es beruht auf drei Pfeilern:³⁵

- Gesetzgebung
- Förderung
- Zusammenarbeit der öffentlichen Hand (Bund und Kantone) mit der Wirtschaft.

Das Programm besteht aus Massnahmen zur rationellen Energienutzung und zur Förderung der erneuerbaren Energien. Der Bund und die Kantone sollen unter anderem die Anstrengungen der Wirtschaft zur Vermarktung neuer Technologien unterstützen.

Das Volk hat am 24. September 2000 die Solarinitiative, das Förderabgabegesetz (FAG) und die Grundnorm für eine Lenkungsabgaben auf nicht erneuerbaren Energien abgelehnt. Damit wird auf Bundesebene auch weiterhin das Energiegesetz Grundlage für dessen Programm sein. Dem Bund stehen dafür jedoch wesentlich weniger Mittel zur Verfügung: Anstelle der erhofften rund 450 Mio Franken/Jahr aus dem FAG sind nur gerade etwa 50 Mio Franken, wie für das bisherige Ende letzten Jahres auslaufende Programm „Energie 2000“ (wenn das Parlament jedes Jahr dieses Budget zustimmt), budgetiert.³⁶ Mit den kleinen, in Jahrestanchen zu erhaltenden Budgets wird die Förderung der rationellen Energienutzung, der erneuerbaren Energien und der neuen Technologien auch weiterhin schwierig sein. Insbesondere wird es dem Bund nicht mehr möglich sein, wie bisher gezielte Anschub-Finanzhilfen an Anlagen zur Beschleunigung von deren Markteinführung auszurichten. Die bisher dafür vorhandenen Subventionsmittel des Bundes gehen nach Energiegesetz künftig als Globalbeiträge an

³⁵ Energiegesetz

³⁶ Departement für Umwelt, Verkehr, Energie, Kommunikation: „EnergieSchweiz, das Nachfolgeprogramm zu Energie 2000“

die Kantone, die damit ihre eigenen Schwerpunkte bilden können. Auch die Brennstoffzelle wird vom Bund eine nur relativ gering Unterstützung erfahren. Sie wird sich in den nächsten Jahren, wie bis anhin, vor allem auf die Mitfinanzierung erfolversprechender Forschungsvorhaben und von Pilot- und Demonstrationsanlagen beschränken müssen.³⁷

Auf der internationalen Ebene gibt es einige Beispiel von Förderungsmassnahmen, insbesondere aus Deutschland und Kalifornien:

- Die Bundesregierung Deutschland beschliesst am 18. Oktober 2000 das nationale Klimaschutzprogramm. Im Jahr 2001 werden 107 Mio. DM zusätzlich für die Energieforschung und für Marktanreizprogramme für erneuerbare Energien zur Verfügung stehen. Davon sind 40 Mio. DM für die Brennstoffzellen vorgesehen.³⁸
- Die Bundesregierung Deutschlands hat Anfang 1999 das Dächer-Solarstromprogramm gestartet. Es gewährt kleinen und mittleren Unternehmen, aber auch privaten Verbrauchern zinsverbilligte Darlehen zur Einrichtung von Photovoltaikanlagen.³⁹
- In Kalifornien gibt es zahlreiche Massnahmen zur Unterstützung der EV (Electric Vehicle). Die meisten basieren auf Kostenvorteile für den Konsument, falls er auf diese Technologie umsteigt.⁴⁰
- Das seit April wirksame, neue Gesetz über erneuerbare Energien (EEG), das derzeit der EU-Kommission vorliegt, garantiert dem Hersteller einen Mindestpreis und die vorrangige Abnahme des alternativen Stroms durch den Netzbetreiber.⁴¹

Auf Basis dieser Ist-Analyse können die folgenden zwei Projektionen abgeleitet werden:

Projektion 1: „Stabilität“

Im internationalen Vergleich hat die Schweiz eine führende Position im Bereich des Umweltmanagements. Die umweltschonenden Technologien werden kontinuierlich politisch unterstützt. Aber keine neuen Massnahmen werden eingeführt, um diese Technologien massiv zu fördern. Die Stabilität herrscht. In diesem Umfeld wird die Förderung der Brennstoffzelle weiterhin schwierig sein.

Projektion 2: „Erhöhung der Förderungen“

Auf der internationalen Szene führen immer mehr Staaten Förderungsmassnahmen ein. Diese Massnahmen haben einen positiven Einfluss auf deren Wirtschaften und erhöhen deren Wettbewerbsfähigkeit. Diese Situation übt immer mehr Druck aus auf den

³⁷ Schärer: „Brennstoffzellen für eine nachhaltige Energiezukunft?“, S.1

³⁸ <http://www.hydrogen.org/Neuigkeiten/gazette.html>

³⁹ http://www.wissenschaft.de/sixcms/detail.php?id=38763&template_id=518&query_id=279

⁴⁰ <http://77www.arb.ca.gov/msprog/zevprog/incentiv.htm>

⁴¹ Zeller-Silva: „Höhenflug deutscher Windaktien“

Wirtschaftsstandort Schweiz und die Politiker beschliessen deshalb, neue Förderungsmassnahmen zu unterstützen, die auch vom Volk akzeptiert werden. Die Brennstoffzelle wird signifikant unterstützt.

6.2.3 Lebensqualität

Um eine gute Lebensqualität zu gewährleisten, ist auf der einen Seite das Umweltbewusstsein der Gesellschaft, und auf der anderen ein Engagement der Gesellschaft für die Umwelt erforderlich.

Die Konsumenten bezeichnen sich zum Teil umweltbewusst (siehe Abbildung 13). Über 60% der Konsumenten in Deutschland und Schweden, und über die Hälfte in G.B. sind bereit, eine Prämie für „grünen Strom“ zu bezahlen. Wenn der Konsument eine bewusste Entscheidung für Öko- oder grünen Strom treffen kann, besteht eine Marktchance für reine Ökostrom-Anbieter oder neue Technologien. Die Brennstoffzelle hat deshalb gute Chancen sich in einem Nischenmarkt positionieren zu können.

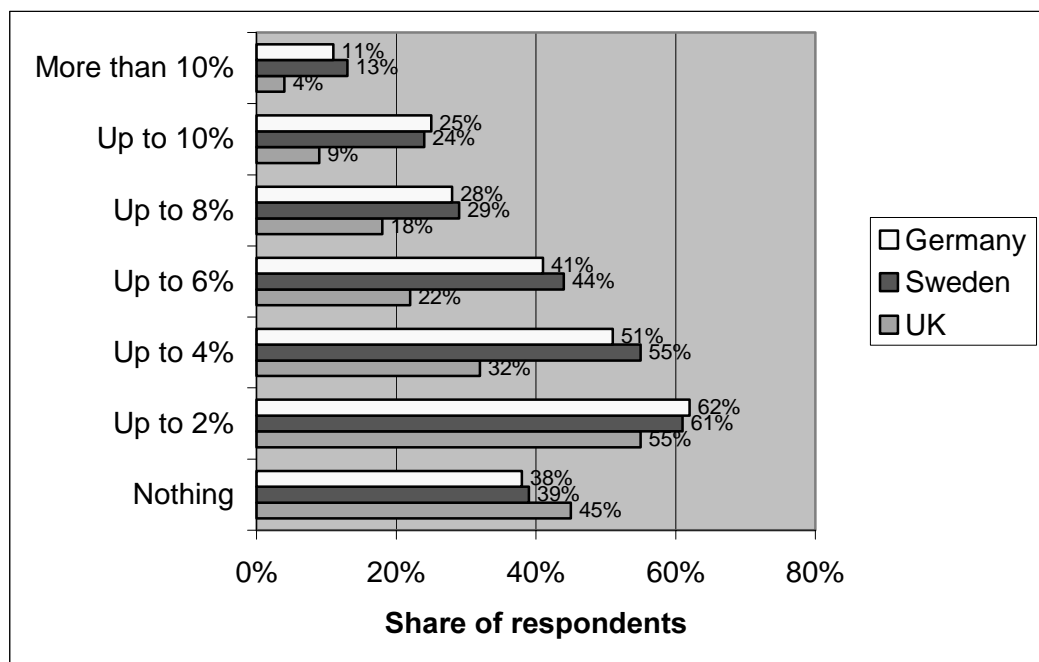


Abbildung 13: Umweltbewusstsein: Bereitschaft zum Aufpreis für „Grünen Strom“.⁴²

Die Deutschen bezeichnen sich als umweltbewusst, doch beim Klimaschutz zeigen die meisten kaum Engagement. So haben seit der Öffnung des Strommarktes in Deutschland gerade einmal 50.000 Haushalte zu Anbietern von Strom aus umweltfreundlichen aber vergleichsweise teuren Quellen wie Wasser, Sonne und Wind gewechselt. Der Anteil am deutschen Stromverbrauch, der direkt von reinen Ökostrom-Anbietern bezogen wird,

⁴² SAM Sustainability Group

liege derzeit bei 0,1 Prozent. Diese Aussage stammt von Uwe Leprich vom Institut für ZukunftsEnergieSysteme in Saarbrücken.⁴³

Keine Trendwende gibt es auch im Strassenverkehr, der ein Grossteil des Kohlendioxids ausstösst. Die Zahl der Personenkilometer im öffentlichen Personennahverkehr ist seit 1999 im Vergleich zum Vorjahr leicht um 1,2 Prozent auf 89 Milliarden Kilometer gestiegen. Zugleich wuchs die Autoflotte in Deutschland zum 1. Januar 2000 um 1,7 Prozent oder 700.000 Autos auf einen Fahrzeugbestand von 42,4 Millionen Personenkraftwagen.⁴⁴

„Klimawandel und Klimakatastrophen scheinen für die meisten Bundesbürger immer noch weit weg zu passieren“, sagt der Sprecher des Bundes für Umwelt und Naturschutz, Rüdiger Rosenthal. Zwar sei vielen Menschen bewusst, dass der Klimawandel ein grosses Problem werden könne. „Beim Ändern des Verhaltens hapert es aber noch.“⁴⁵

Auf Basis dieser Ist-Analyse können die folgenden drei Projektionen (siehe Abbildung 14) abgeleitet werden:

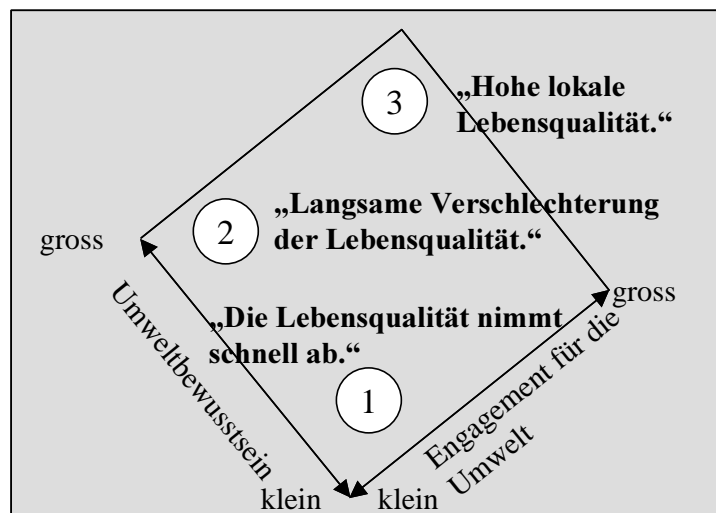


Abbildung 14: Projektionen des Schlüsselfaktors „Lebensqualität“

Projektion 1: „Die Lebensqualität nimmt schnell ab.“

Die Luftverschmutzung hat sich in einigen Standorten der Welt verbessert. Die Bevölkerung hat deshalb den Eindruck, dass die heutigen Massnahmen genügen, wie z.B. das „Waste Management“, um die heutigen Umweltprobleme zu lösen. Aus diesem Grund zeigen sie kein Engagement für die Umwelt und sind kaum umweltbewusst. Diese Situation führt zu einer schnellen Verschlechterung der

⁴³ http://www.wissenschaft.de/sixcms/detail.php?id=38763&template_id=518&query_id=279

⁴⁴ http://www.wissenschaft.de/sixcms/detail.php?id=38763&template_id=518&query_id=279

⁴⁵ http://www.wissenschaft.de/sixcms/detail.php?id=38763&template_id=518&query_id=279

Lebensqualität. Die Brennstoffzelle findet in diesem Umfeld den Marktdurchbruch nicht.

Projektion 2: „Langsame Verschlechterung der Lebensqualität.“

Vielen Menschen ist bewusst, dass der Klimawandel ein grosses Problem werden kann. Aber für die meisten scheint der Klimawandel und die Klimakatastrophen immer noch weit weg zu sein. Die Bevölkerung ist deswegen nur zum Teil umweltbewusst, mit aber wenig Engagement für die Umwelt. Diese Projektion entspricht einer Fortsetzung der heutigen Situation. Die Brennstoffzelle findet nur in kleinen Nischen eine Anwendung.

Projektion 3: „Hohe lokale Lebensqualität.“

In dieser Projektion sagt sich die Bevölkerung stark umweltbewusst und zeigt zudem ein grosses Engagement für die Umwelt. Folgende Ereignisse könnten dazu beitragen: die Umweltkatastrophen, die weltweit zunehmen, belasten den Bürger „emotional“; die Förderungsmassnahmen des Staates; usw. Die Brennstoffzelle gewinnt hier schnell an Bedeutung.

6.2.4 Gesetze

Der US-Bundesstaat Kalifornien hat ein Gesetz (the Zero Emission Vehicles (ZEVs) mandate) erlassen, das:⁴⁶

- einerseits 6% der neu angebotenen Fahrzeuge in Kalifornien im Jahr 2003, SULEVs (Super Ultra Low Emission Vehicles) sein müssen,
- und andererseits 4% der neu angebotenen Fahrzeuge in Kalifornien im Jahr 2003 reine ZEVs sein müssen. Nur diese Autos sind emissionsfrei.

Kalifornien (mit seinem „ZEV Mandat“), Massachussetts und New York, welche die weltweit strengsten Abgasvorschriften kennen, üben am meisten Druck auf die Industrie aus. Dieser Druck hat schon zu zahlreichen Innovationen geführt. Hier einige Beispiele dazu:

- Die Elektrofahrzeuge. Diese Fahrzeuge gehören zu den ZEVs. In Kalifornien fahren heute schon 2000 solche Autos auf den Strassen.⁴⁷
- Fahrzeuge mit Hybridantrieb: eine Kombination zwischen Elektro- und Verbrennungsmotor. Diese Autos gehören zu den SULEVs.
- Brennstoffzellenautos. Wenn diese Fahrzeuge Wasserstoff als Treibstoff benützen, gehören sie zu den ZEVs. Sonst gehören sie zu den SULEVs.

⁴⁶ <http://www.arb.ca.gov> (Fact Sheet: Zero Emission Vehivles and Clean Air)

⁴⁷ <http://www.arb.ca.gov> (Fact Sheet: Zero Emission Vehivles and Clean Air)

1997 haben sich die Industrieländer im Rahmen des Kyoto-Protokolls engagiert, die CO₂-Emissionen zu reduzieren. Die Schweiz will, mit Hilfe des CO₂-Gesetzes (in Kraft seit dem 1. Mai 2000), die CO₂-Emissionen aus dem energetischen Nutzen fossiler Energieträger bis zum Jahr 2010 gegenüber 1990 gesamthaft um 10 Prozent vermindern. Genauer sind die Emissionen aus der energetischen Nutzung fossiler Brennstoffe um 15 Prozent und die Emissionen aus fossilen Treibstoffen (ohne Flugtreibstoffe für internationale Flüge) um 8 Prozent zu verringern. Das Reduktionsziel soll in erster Linie durch energie-, verkehrs-, umwelt- und finanzpolitische sowie durch freiwillige Massnahmen erreicht werden. Im Fall, dass das Reduktionsziel nicht erreicht werden kann, wird der Bundesrat die CO₂-Abgabe einführen. Der Abgabesatz beträgt je Tonne CO₂ höchstens 210 Franken.⁴⁸

Auf Basis dieser Ist-Analyse können die folgenden zwei Projektionen abgeleitet werden:

Projektion 1: „Verschärfung der Umweltgesetze.“

Die Umweltgesetze, wie z.B. das CO₂-Gesetz, haben zu positiven Ergebnissen geführt. Sie waren einerseits für die Steigerung der Lebensqualität verantwortlich, und haben andererseits unerwartet die Wettbewerbsfähigkeit des Wirtschaftsstandortes Schweiz gestärkt. Der politische Wille, neue Umweltgesetze (z.B. Verschärfung der NO_x Regulierung, usw.) vorzuschreiben, ist aufgrund dieser Erkenntnisse verstärkt. Die positiven Einflüsse von einem Umweltgesetz wurden auch von der Bevölkerung erkannt. Deswegen ist das Volk auch bereit, neue Gesetze zu akzeptieren. Die Umweltgesetze verstärken die Position der Brennstoffzelle.

Projektion 2: „Die Bevölkerung akzeptiert keine neue Gesetze mehr.“

Die Bevölkerung fürchtet, dass neue Gesetze einen negativen Einfluss auf die Wettbewerbsfähigkeit der Schweiz haben würden. Gewisse „Lobbys“, wie z.B. der „Transport-Lobby“ üben einen grossen Druck auf die Regierung aus, damit sie keine neuen Gesetze vorschlägt. Die meisten Gesetze werden deswegen nicht mehr akzeptiert.

6.2.5 Lebensstil

Die letzten Jahre waren durch eine Zunahme der Mobilität geprägt. Z.B. der Markt für mobile Elektronikgeräte wuchs während der letzten vier Jahre enorm, vorangetrieben durch das explosive Wachstum im Markt für Handys (über 400 Millionen Einheiten wurden im Jahr 2000 verkauft). Die Märkte für Hand Held- und Laptop-Computer sind auch gewachsen, jedoch langsamer (siehe Abbildung 15). Diese Zunahme der Mobilität ist auch im Verkehrswachstum zu sehen.

⁴⁸ CO₂-Gesetz

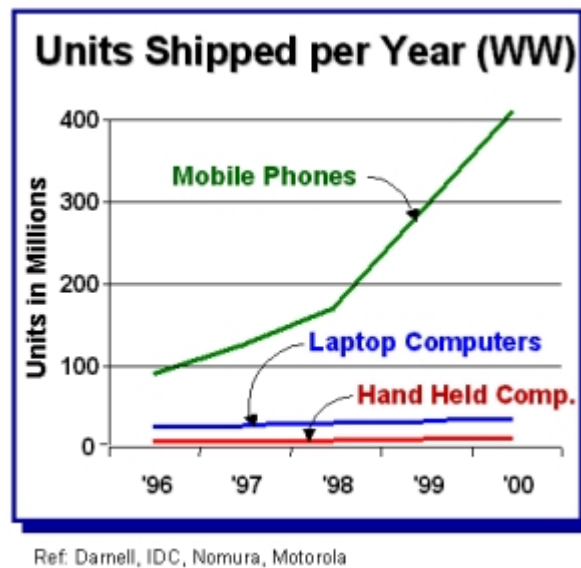


Abbildung 15: Wachstum der Märkte für mobile Elektronikgeräte⁴⁹

Auf Basis dieser Ist-Analyse können die folgenden zwei Projektionen abgeleitet werden:

Projektion 1: „Die Zunahme der Mobilität bleibt ein allgemeiner Trend.“

Diese Projektion ist eine Fortsetzung der heutigen Situation. Alle Bereiche, wie z.B. der Strassen- oder Luftverkehr, der Verkauf von mobilen Elektronikgeräten, usw., zeigt ein kontinuierliches Wachstum. Die Mobilität bleibt bei den meisten Leuten ein Bedürfnis, da sie damit das Gefühl bekommen, mehr Freiheit und Macht zu haben. Für die Erfüllung dieses Bedürfnisses sind Sie auch bereit mehr zu bezahlen. Die Brennstoffzelle wird, aufgrund seiner Vorteile, die vorhandenen Technologien substituieren.

Projektion 2: „Die Technologie erlaubt weniger Mobilität.“

Die kontinuierliche Erhöhung der Leistungen der neuen Technologien (Internet, Video-Conference, usw.) erlaubt, dass eine Menge von Tätigkeiten direkt von zu Hause oder vom Arbeitsplatz getätigt werden können. Die Mobilität liegt nicht mehr im Trend. Deswegen ist der Kunde nicht mehr bereit für „Mobilität“ mehr zu bezahlen. Der Preis/Leistungsverhältnis der Brennstoffzelle muss verbessert werden, damit diese Technologie auf dem Markt eine Chance hat.

⁴⁹ <http://www.motorola.com/ies/ESG/3spotlight.html>

6.2.6 Kosten

Bei der Anwendung der Brennstoffzelle ist der Automarkt am weitesten fortgeschritten. Die Grundtechnik funktioniert und wäre bereits alltagstauglich. Die in den vergangenen Monaten vorgestellten Autos (z.B. die NECAR 5) und Busse erbringen gegenüber den heute üblichen Fahrzeugen vergleichbare Leistungen. Doch einem endgültigen Durchbruch stehen vorerst noch die sehr hohen Kosten im Weg.⁵⁰

Die Brennstoffzelle, die am PSI und an der ETH in Zürich entwickelt wird, steht vor den gleichen Problemen. Die Kostenstruktur des Brennstoffzellenstapels sieht heute wie folgt aus:⁵¹

- 1/3 der Kosten fallen auf die Polymermembrane. Die Kosten der Membrane liegen heute bei ungefähr 800 USD/m².
- 1/3 der Kosten fallen auf die Bipolarplatte. Die Kosten der Bipolarplatten liegen heute bei 600 USD/kW.
- 1/3 der Kosten fallen auf die Elektroden. Der Katalysator, Platin, ist hier der Kostentreiber. Heute wird 2.85 g/kW Platin benützt.

Die Kosten des Brennstoffzellenstapels liegen heute bei 5000-7000 USD/kW. Die Kosten eines Automotors liegen bei 30 USD/kW. Es wurde festgelegt, dass die Kosten des Brennstoffzellenstapels auf ungefähr 60 USD/kW gesenkt werden müssen, damit diese Technologie konkurrenzfähig wird.

Die Entwicklung der Kosten der Brennstoffzelle werden in der Zukunft von zwei Faktoren abhängig sein:

- Die technologischen Fortschritte. Welche innovative Lösungen werden die Ingenieure finden, um die Wettbewerbsfähigkeit dieser Technologie zu steigern. Im Jahr 2000 gab die ganze Brennstoffzellenindustrie wöchentlich 10 Mio. \$ aus. Im Jahr 2001 werden die Investitionen voraussichtlich doppelt so hoch sein.⁵² DaimlerChrysler hat z.B. Anfang dieses Jahres angekündigt, ungefähr 1 Mia. Euro bis 2004 in die Brennstoffzellen-Technologie zu investieren (das Forschungsprogramm wurde im Jahr 1991 gestartet).⁵³ Diese Zahlen zeigen, dass die Industrie unter Druck steht, innovative Lösungen zu finden, damit diese Gelder so schnell wie möglich wieder rentabilisiert werden können. Dieser Punkt wird hier nicht näher eingegangen, da diese Fakten unter dem Schlüsselfaktor „technologische Fortschritte“ inbegriffen sind.
- Der modulare Aufbau der Brennstoffzelle erlaubt „economy of scales“. Deswegen sind die Kosten sehr stark von der Nachfrage abhängig. Die Brennstoffzelle muss aber im Fahrzeugbereich nicht grosse Marktanteile gewinnen, um eine genügend hohe produzierte Stückzahl zu erreichen. Nur einige Prozent würden reichen, da der Markt für Automotoren riesig ist: 180

⁵⁰ Müller: „Brennstoffzellen sind ein heisses Anlagethema geworden“

⁵¹ Interview mit Herrn Martin Ruge am 20 November 2000.

⁵² Müller: „Brennstoffzellen sind ein heisses Anlagethema geworden“

⁵³ Le Temps, 03.01.2000

Mrd. \$ werden jährlich umgesetzt.⁵⁴ Wie die Entwicklung der Nachfrage aussehen könnte, ist in der Abbildung 16 zu sehen.

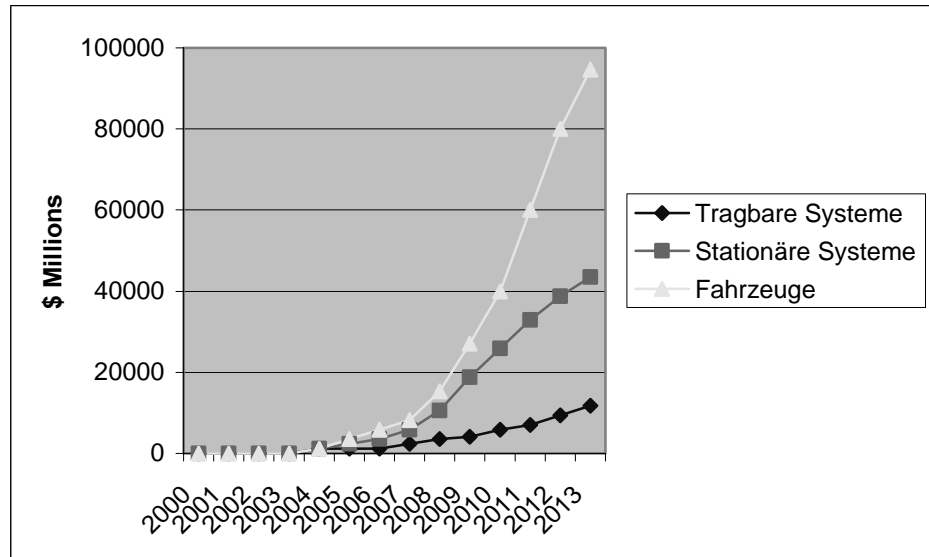


Abbildung 16: Fuel cell market size – Analyst Projections⁵⁵

Auf der Basis dieser Ist-Analyse können die folgenden zwei Projektionen abgeleitet werden:

Projektion 1: Die Brennstoffzelle wird ein Massenprodukt

Die positive Entwicklung der Nachfrage erlaubt eine kontinuierliche Senkung der Kosten. Jede Kostensenkung gibt der Nachfrage einen neuen Impuls. Die Brennstoffzelle findet den Marktdurchbruch in Bereiche, in denen die Nachfrage genug gross ist.

Projektion 2: Die Brennstoffzelle bleibt ein Nischenprodukt

Die Brennstoffzelle findet nur eine Anwendung in ganz spezifischen Märkten, in denen die Nachfrage sehr gering ist. Die Stärken der Brennstoffzelle (emissionsarm, leise, usw.) werden in diesen Märkten stärker gewichtet als seine Schwächen (hohe Kosten, usw.). Diese geringe Nachfrage erlaubt keine grosse Kostensenkung.

⁵⁴ Müller: „Brennstoffzellen sind ein heisses Anlagethema geworden“

⁵⁵ Johnson Matthey

6.2.7 Kommunikation

Die Kommunikation ist vor der Markteinführung einer neuen Technologie von grosser Bedeutung. Eine gute Kommunikation hilft bei der Mobilisierung aller Interessengruppen (siehe Abbildung 17), welche vom Markterfolg oder auch Misserfolg des geplanten Produktes oder Technologie betroffen sind. Sogar gut entwickelte Produkte haben manchmal Mühe, eine gute Marktakzeptanz zu bekommen. Dies hängt in vielen Fällen von der Art und Weise ab, wie die Markteinführung und Distribution des Produktes durchgeführt wird.

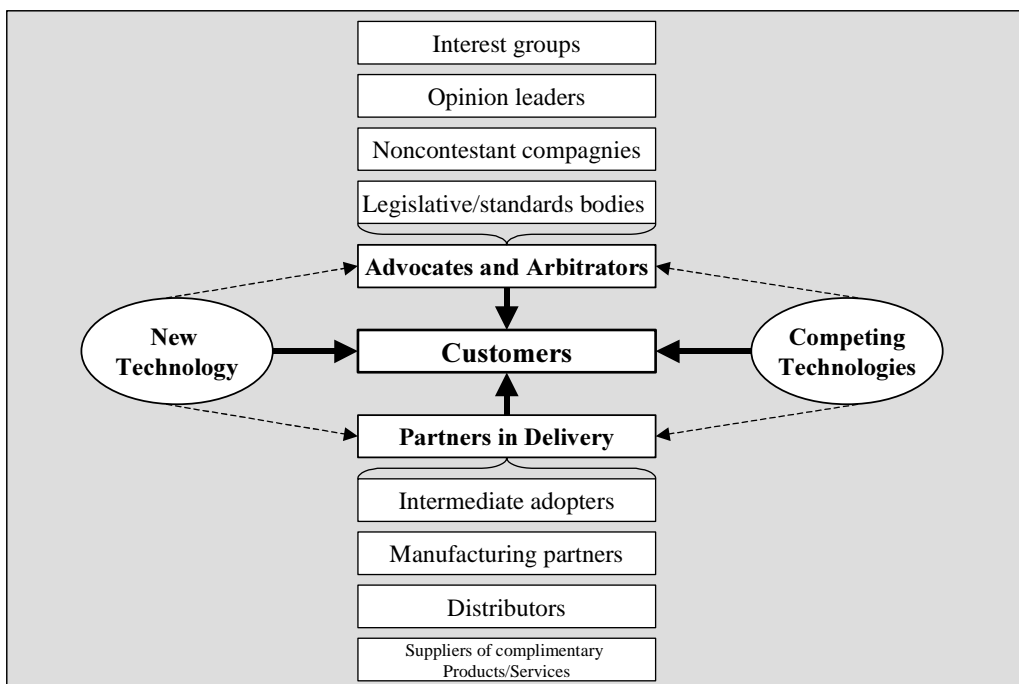


Abbildung 17: Interessengruppen bei der Markteinführung einer neuen Technologie⁵⁶

Wie sieht die Situation heute in der Schweiz aus? Interviews ergaben, dass die Kommunikation um die Brennstoffzelle entweder nicht existiert oder schlecht durchgeführt wird. Unter den gefragten Leute, gab es einige einflussreichen Personen, die über die effektiven Leistungen dieser Technologie und den heutigen Entwicklungsstand zu wenig informiert waren.

Auf Basis dieser Ist-Analyse können die folgenden zwei Projektionen abgeleitet werden:

⁵⁶ Tschirky/Koruna: „Technologie Management“, S.259

Projektion 1: „Management-Kraft.“

Das Management des Projektes führt eine ausgezeichnete Kommunikation durch und erhöht damit die Bekanntheit der Brennstoffzelle. Dies erhöht die Chancen, die nötigen Interessengruppen zu mobilisieren. Zudem wird dadurch die Diffusion der Brennstoffzelle auf dem Markt erleichtert.

Projektion 2: „Ungenügende Kommunikation des Management.“

Die Kommunikation des Managements ist ungenügend. Deswegen kann die Brennstoffzelle die unterschiedlichen Interessengruppen nicht begeistern.

6.2.8 Anwendungsbereiche

Die Brennstoffzelle hat das Potential, in mehreren Bereichen eine Anwendung zu finden. Die Unternehmen, die morgen Erfolg mit der Brennstoffzelle haben werden, sind wahrscheinlich diese, die pro Anwendungsbereich die guten Allianzen und Partnerschaften mit den unterschiedlichen Interessengruppen (siehe Abbildung 17) tätigen werden. Welche Gründe sprechen für solche Partnerschaften:

- Die heutige Industriestruktur ist eine gegebene Struktur. Die Erfolgchancen einer neuen Technologie sind bedeutend höher, wenn mit dieser Struktur gearbeitet und kooperiert wird, anstatt zu versuchen, diese Struktur zu ändern.
- Für den Endkunden ist es immer schwierig, den Wert einer neuen Technologie einzuschätzen. Je grösser die Innovationshöhe der Technologie, desto schwieriger ist diese Einschätzung. Das Vertrauen in eine Technologie kann stark steigen, indem der Endkunde sieht, dass sie von einflussreichen Personen und Unternehmen unterstützt wird.
- Die Partnerschaften erlauben einen wertvollen Know-How-Transfer und zeigen auch Vorteile bezüglich der Kosten auf. Es ist z.B. weniger teuer einen Partner für die Distribution des Produktes zu finden, als ein Vertriebsnetz alleine aufzubauen.

Wie sieht die Situation heute aus? Einige Partnerschaften und Allianzen haben sich hauptsächlich um das zukünftige Brennstoffzellenauto gebildet:

- “The California Fuel Cell Partnership” ist eine einzigartige Partnerschaft zwischen Autohersteller, Ölkonzerne, Brennstoffzellenhersteller und des US-Bundesstaates Kalifornien. Diese Partnerschaft hat sich zwischen 2000 und 2003 vier Ziele gesetzt:⁵⁷
 - ⇒ Diese Technologie mit 70 Fahrzeugen und Busen auf den Strassen von Kalifornien zu testen.

⁵⁷ <http://www.fuelcellpartnership.org/aboutus.html>

- ⇒ Die Demonstration der Wirtschaftlichkeit der Infrastrukturen für alternative Brennstoffe wie Wasserstoff oder Methanol.
- ⇒ Identifikation der potentiellen Probleme bis zur Markteinführung und Suche nach Lösungen.
- ⇒ Erhöhung des Interesses des Publikums für die Brennstoffzelle und Vorbereitung des Marktes für die Markteinführung.
- Einige der weltgrößten Spieler in ihren jeweiligen Industrien verkündeten am 12. September 2000 eine kooperative Vereinbarung. Das Ziel dieser Vereinbarung ist festzulegen, was erforderlich ist, um die Markteinführung von Brennstoffzellen, die Methanol als Treibstoff benützen, zu vereinfachen. Methanex Corporation, DaimlerChrysler AG, BP, BASF, Statoil und XCELLSIS arbeitet hier zusammen.
Dr. Ferdinand Panik, Projektleiter des Brennstoffzellenprojektes bei DaimlerChrysler und CEO von XCELLSIS hat dazu gesagt: "The fuel cell drive will guide us to the age of sustainable mobility. Within the widely-discussed question of whether hydrogen or methanol is the right fuel for fuel cells, we bet on methanol for passenger cars. Moreover, today's distribution system can be adjusted in a cost-effective way to accommodate methanol, including the future option of production from renewables. In a strong alliance we are heading for the future market entry of this technology."⁵⁸
- DaimlerChrysler Japan und Nippon Mitsubishi Oil Co., der grösste japanische Energielieferant, wollen gemeinsam den Einsatz von Brennstoffzellenfahrzeugen in Japan fördern und Fragen der Kosteninfrastruktur klären. Nippon Mitsubishi unterhält in Japan 29 öffentliche „Eco-Tankstellen“, die elektrischen Strom, Erdgas, Methanol, und Flüssiggas anbieten. Aber das erste Brennstoffzellen-Testfahrzeug wird Methanol als Treibstoff nutzen.
DaimlerChrysler hat im Laufe des Jahres 2000 einen 34% Anteil an Mitsubishi übernommen. Der Methanolhersteller Methanex Corp. hat mit Mitsubishi Corp. eine strategische Allianz geschlossen, um den Gebrauch von Methanol in umweltfreundlichen Brennstoffzellenautos in Japan zu fördern. Methanex (Vancouver, Kanada) ist der grösste Methanolhersteller und –händler der Welt. Die Firma ist bereits Partner von DaimlerChrysler in ähnlich gelagerten Projekten in Kanada.⁵⁹
- In April 1999 wurde ein Joint Venture in Island gegründet, in der Vistorka H.F (ein Konsortium in Island), in dem DaimlerChrysler, Norske Hydro und Shell Hydrogen involviert sind. Das Joint Venture will untersuchen, wie Island in Richtung der „hydrogen economy“ geführt werden kann. Eine der ersten Anwendung, die untersucht wird, ist ein Brennstoffzellen-Busservice, der Wasserstoff als Treibstoff benützt.⁶⁰

⁵⁸ <http://www.methanol.org/methanol/press/pr000912.html>

⁵⁹ <http://www.hydrogen.org/Neuigkeiten/gazette.html>

⁶⁰ <http://www.shellhydrogen.com/hydrogen-en/content/0,6013,30718-56069,00.html>

Auf Basis dieser Ist-Analyse können die folgenden zwei Projektionen abgeleitet werden:

Projektion 1: „Gute Partnerschaften werden gebildet.“

Gute Partnerschaften und Allianzen werden gebildet. Die Vorteile dieser Partnerschaften werden genutzt. Diese Situation erhöht die Wettbewerbsfähigkeit der Brennstoffzelle. Dies erlaubt die konventionellen Technologien zu konkurrenzieren.

Projektion 2: „Die Partnerschaften geben keinen Impuls an der Technologie.“

Die nötigen Partnern, die die Brennstoffzelle unterstützen könnten, werden nicht gefunden. Die Brennstoffzelle steht vor schwierigen Zeiten.

6.2.9 Umweltproblem

Wie unter dem Schlüsselfaktor Energie geschrieben ist, wird der Weltenergieverbrauch zunehmen. Wird versucht, diesen Energieanstieg mit dem heutigen Energiemix, der zu rund 90 Prozent auf fossilen Energien basiert, zu decken, erwachsen zwei Probleme:⁶¹

- Die Verknappung der Öl- und Gasressourcen wird deutlich spürbar sein.
- Grossen Zuwachs der CO₂-Emissionen (siehe Abbildung 18).

⁶¹ <http://www.shell.com/de-de/content/0,4645,27239-52830,00.html>

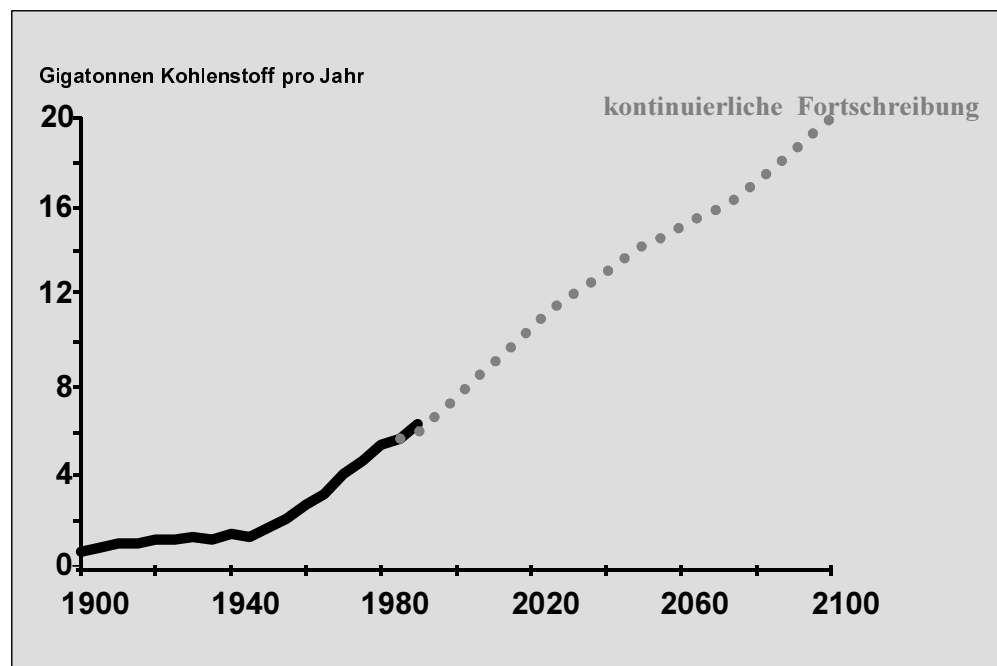


Abbildung 18: CO2-Emissionen fossiler Energieträger⁶²

Die Temperaturerhöhungen unseres Klimas (siehe Abbildung 19) sind wahrscheinlich im wesentlichen durch die Kohlendioxidemissionen verursacht. Dies wurde aber noch nicht wissenschaftlich bewiesen. Es wird aber immer offensichtlicher, dass zwischen der Erwärmung der Atmosphäre und der Zunahme von Umweltkatastrophen, wie z.B. in der Schweiz der Sturm „Lothar“, ein Zusammenhang besteht.

⁶² <http://www.shell.com/de-de/content/0,4645,27239-52830,00.html>

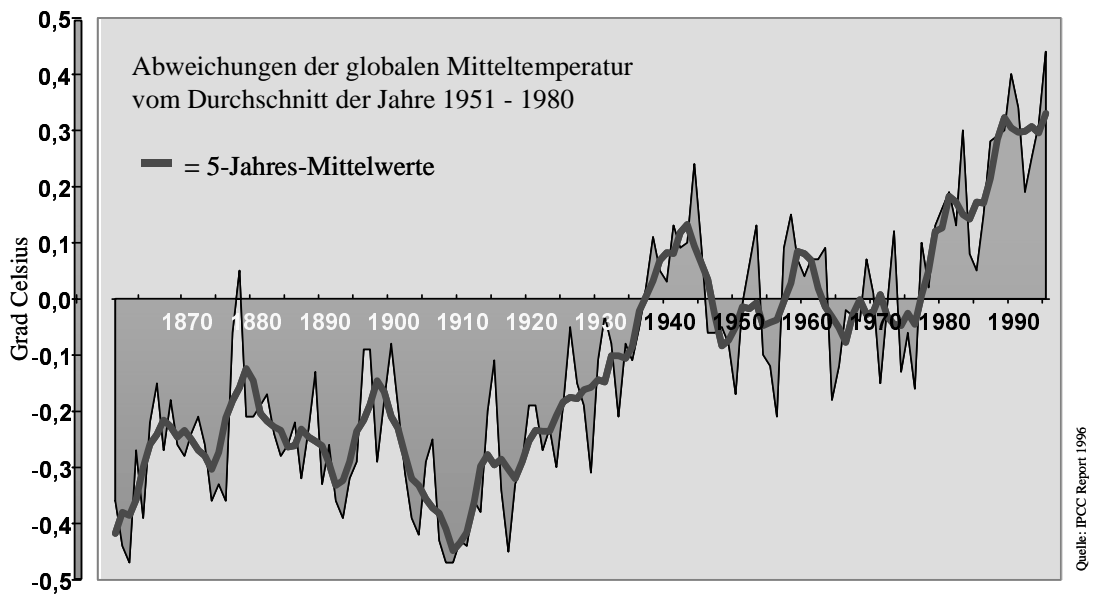


Abbildung 19: Temperaturerhöhung im 20. Jahrhundert⁶³

Katastrophen verursachten auch im Jahr 2000 Elend und materielle Schäden: Gemäss ersten Schätzungen von Swiss Re kamen bei Grossschäden weltweit 17 000 Menschen ums Leben, und der finanzielle Gesamtschaden aus Katastrophen wird – ungeachtet indirekten wirtschaftlichen Schäden – auf rund USD 38 Mrd. geschätzt.⁶⁴

Obwohl in La Haye keine grossen Massnahmen gegen die Temperaturerhöhungen der Welt getroffen wurden, ist sicher, dass die klimatischen Risiken und die Zerstörungen, die mit diesem Phänomen verbunden sind, gefährlich zunehmen. Die Tätigkeit der Industrie der Rückversicherungen und der Gesamtwert der jährlichen Zurückzahlungen messen den Umfang der Veränderungen des Klimas und deren Kosten (siehe Abbildung 20).

⁶³ <http://www.shell.com/de-de/content/0,4645,27239-52830,00.html>

⁶⁴ http://www.swissre.com/e/media/news/press2/press01/press100101_e.Paras.0021.File.doc

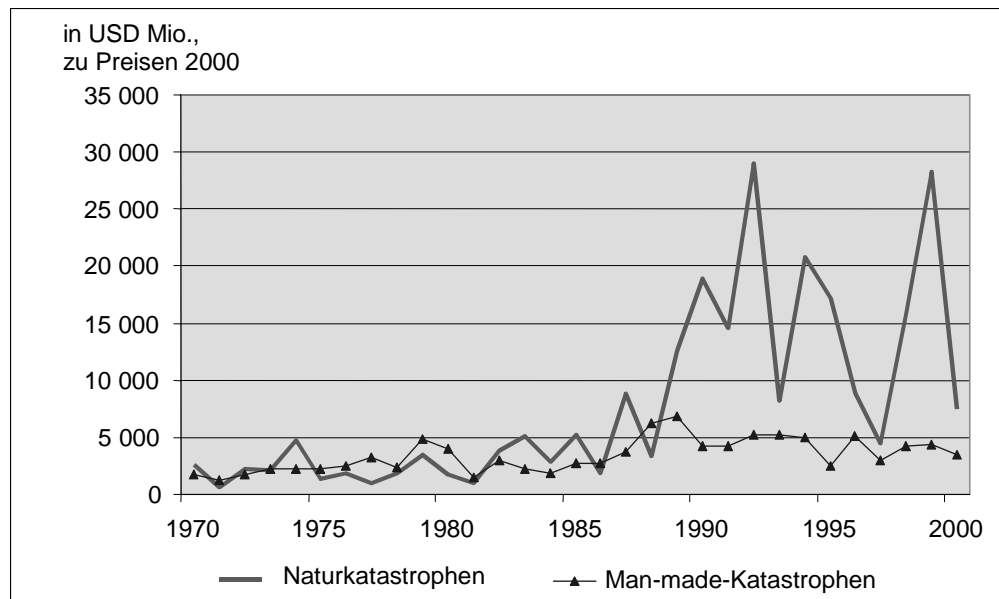


Abbildung 20: Kosten der Naturkatastrophen für die Swiss Re seit 1970⁶⁵

Auf Basis dieser Ist-Analyse können die folgenden zwei Projektionen abgeleitet werden:

Projektion 1: „Das Umweltproblem besteht.“

Der Zusammenhang zwischen Kohlendioxid, Temperaturerwärmung und Klimakatastrophen ist bewiesen. Die Anzahl der Klimakatastrophen und deren Schäden nimmt massiv zu. Die Brennstoffzelle bekommt die nötigen Unterstützungen.

Projektion 2: „Das Umweltproblem ist nicht gravierend.“

Die Anzahl der Klimakatastrophen nimmt ab und der Klimawandel ist nicht gravierend. Der Zusammenhang zwischen Kohlendioxid und Klimawandel wird immer mehr in Frage gestellt.

6.2.10 Energie

Der Energieverbrauch wird von drei wichtigen Rahmenbedingungen beeinflusst:

- des Bevölkerungs-
- des Wirtschafts- und
- des Verkehrswachstums.

⁶⁵ http://www.swissre.com/e/media/news/press2/press01/press100101_e.Paras.0021.File.doc

Das heute unveränderte Wachstum der Weltbevölkerung, der Weltwirtschaft und des Weltverkehrs wird einen Anstieg des Energieverbrauchs zur Folge haben. Nimmt der Verbrauch von fossilen Brennstoffe drastisch zu, so wird die Endlichkeit von fossilen Öl- und Gasressourcen deutlich spürbar sein (siehe Abbildung 21).

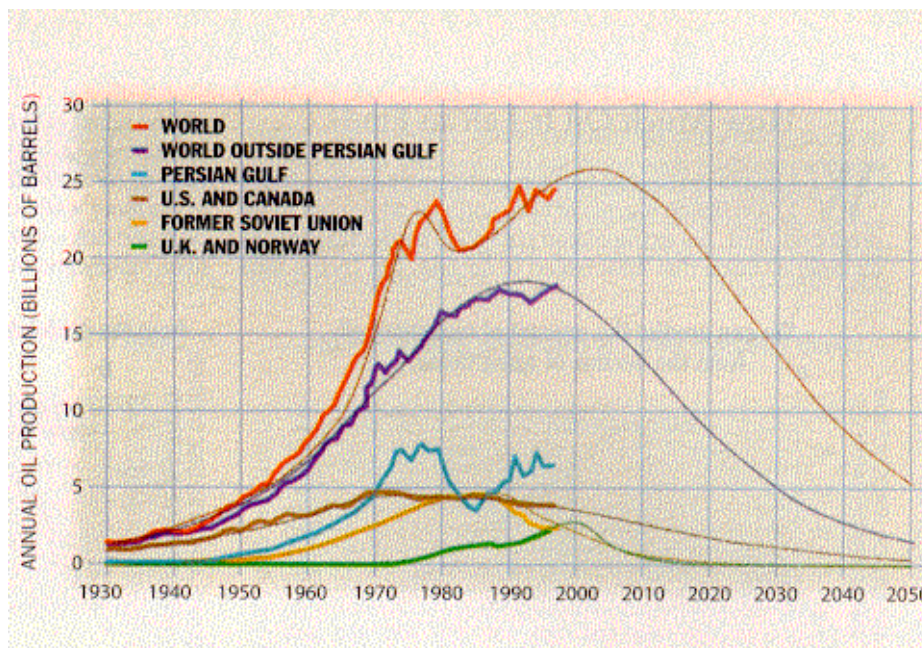


Abbildung 21: Entwicklung der Ölproduktion⁶⁶

Jedes Mal, wenn der Erdölpreis und der Gaspreis hoch war, spürten die Industrieländer ihre Abhängigkeit von den fossilen Brennstoffen wieder. Erst dann befasst sich die breite Öffentlichkeit mit nichtfossilen Energiequellen.⁶⁷

Die EU will sich jetzt von der Ölpreisabhängigkeit lösen. Im Europäischen Weissbuch ist festgelegt, dass von derzeit 6% bis zum Jahre 2010 rund 12% des Energieverbrauchs aus nicht fossilen Energiequellen stammen soll. Seit letzten Jahres diskutieren die europäischen Staaten über einen Vorschlag, den Anteil bis ins Jahr 2010 sogar auf beachtliche 22% zu steigern. Bereits heute stammen 2% des innerhalb der Europäischen Union verbrauchten Stroms aus erneuerbaren Quellen (ohne Wasserkraft). Diese Zahl soll sich bis ins Jahr 2010 verdoppeln. In der Schweiz sind es bereits heute 4%. Auch Mineralölkonzerne wie BP/Amoco (Solarenergie) und Royal Dutch/Shell (nahezu alle Sparten) engagieren sich bereits im Bereich erneuerbarer Energien. Royal Dutch/Shell schätzt, dass bis 2050 rund 50 % des weltweiten Stromverbrauchs von diesem Sektor erzeugt werden.⁶⁸

⁶⁶ Campell, Laherrère: "The End of Cheap Oil", S. 63

⁶⁷ Drack: „Nachhaltige Energie setzt auch Investoren unter Druck“

⁶⁸ Zeller-Silva: „Höhenflug deutscher Windaktien“; Herb: „Frischer Wind ins Energie-Portefeuille“

Auf Basis dieser Ist-Analyse können die folgenden drei Projektionen abgeleitet werden:

Projektion 1: Die Energiepreise nehmen zu

Die benötigte Energie zur Deckung des Weltenergieverbrauchs wird weiterhin hauptsächlich aus fossilen Brennstoffen erzeugt. Die jährliche Produktion von fossilen Brennstoffen ist ungenügend, um den Weltenergieverbrauch zu decken. Diese Situation führt zu steigenden Energiepreisen. Der hohe Wirkungsgrad der Brennstoffzelle wird in diesem Umfeld erkannt.

Projektion 2: Die Energiepreise bleiben stabil.

Die erneuerbaren Energien nehmen langsam an Bedeutung in der Produktion von Energie zu. Die Produktionsländer der fossilen Brennstoffe sind zudem fähig, das Angebot auf die Nachfrage zu regeln. Diese Situation führt zu stabileren Preisen. Die Energiepreise und der Beitrag von Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen sind nicht hoch genug um die Brennstoffzelle zu unterstützen.

Projektion 3: Die Energiepreise nehmen ab.

Die erneuerbaren Energien sowie innovative und effiziente Technologien finden den Marktdurchbruch. Die Produktionskapazitäten für die fossilen Brennstoffe sind plötzlich zu gross. Diese Situation drückt die Preise nach unten. Im Verbund mit den erneuerbaren erneuerbaren Energien spielt die Brennstoffzelle trotzdem eine strategische Rolle.

7 Schlussfolgerung

Die Tabelle 4 fasst die wichtigsten Ergebnisse dieses Berichtes zusammen: die Schlüsselfaktoren mit deren Zukunftsprojektionen.

Schlüsselfaktoren	Zukunftsprojektionen
Technologische Fortschritte	„Auto mit Verbrennungsmotor bleibt Kult.“
	„Erneuerbare Energien.“
	„Technologie Potential.“
Förderungen	„Stabilität.“
	„Erhöhung der Förderungen.“
Lebensqualität	„Die Lebensqualität nimmt schnell ab.“
	„Langsame Verschlechterung der Lebensqualität.“
	„Hohe lokale Lebensqualität.“
Gesetze	„Verschärfung der Umweltgesetze.“
	„Die Bevölkerung akzeptiert keine neue Gesetze mehr.“
Lebensstil	„Die Zunahme der Mobilität bleibt ein allgemeiner Trend.“
	„Die Technologie erlaubt weniger Mobilität.“
Kosten	„Die Brennstoffzelle wird ein Massenprodukt.“
	„Die Brennstoffzelle bleibt ein Nischenprodukt.“
Kommunikation	„Management-Kraft.“
	„Ungenügende Kommunikation des Managements.“
Anwendungsbereiche	„Gute Partnerschaften werden gebildet.“
	„Die Partnerschaften geben keinen Impuls an der Technologie.“
Umweltproblem	„Das Umweltproblem besteht.“
	„Das Umweltproblem ist nicht gravierend.“
Energie	„Die Energiepreise nehmen zu.“
	„Die Energiepreise bleiben stabil.“
	„Die Energiepreise nehmen ab.“

Tabelle 4: Die Schlüsselfaktoren mit den Zukunftsprojektionen

Diese Schlüsselfaktoren sind stark in die Vernetzung des Systems eingebunden. D.h. eine Entwicklung eines Schlüsselfaktors kann zu einer Kettenreaktion führen und das System massiv ändern. Das System ist deswegen mit Unsicherheiten verbunden und risikoreich.

Die heutige Situation kann aber trotzdem wie folgt beschrieben werden:

- Der Weltenergieverbrauch wird weiter steigen, vor allem wegen des Bevölkerungs- und des Wirtschaftswachstums.
- Die Ressourcen an fossilen Brennstoffen nehmen langsam ab.
- Es besteht ein drohendes Umweltproblem.

Deswegen besteht die Notwendigkeit der Effizienzsteigerung der Energieverwendung. In diesem Umfeld wird die Brennstoffzelle wahrscheinlich seine Chance auf dem Markt haben. Wann? Dies wird von der Entwicklung der anderen Schlüsselfaktoren abhängig sein. Wenn sich z.B. die Umweltgesetze verschärfen, die Förderungen sich erhöhen, eine hohe lokale Lebensqualität vorhanden ist, eine gute Kommunikation durchgeführt wird, die guten Partnerschaften gebildet werden, usw., kann die Brennstoffzelle den Marktdurchbruch schneller finden. Aber dies sollte, in der Szenario-Bildung (der nächste Schritt nach der Szenario-Prognostik), genauer beschrieben werden.

8 Literaturverzeichnis

Air Resources Board	000	Zero Emission Vehicles and Clean Air URL: http://www.arb.ca.gov
Appleby, A. John	999	The Electrochemical Engine for Vehicles In: Scientific American, July, 58-63
Artiget, Folrencio	001	Les catastrophes naturelles ont coûté 38 milliards. In: Le Temps, 11. Januar, 27
Campbell, Colin J.; Laherrère, Jean H.	998	The End of Cheap Oil. In: Scientific American, März, 60-65
Departement für Umwelt, Verkehr, Energie, Kommunikation	000	EnergieSchweiz, das Nachfolgeprogramm zu Energie 2000 URL: http://www.admin.ch/bfe/presse/0007045d.htm
Drack, Corina	000	Nachhaltige Energie setzt auch Investoren unter Strom. In: Finanz und Wirtschaft, 27. September, 44
Fink, Alexander; Schlake, Olivier; Siebe, Andreas	000	Wie Sie mit Szenarien die Zukunft vorausdenken. In: Harvard Business manager, Februar, 34-47
Gausmeier, Jürgen; Fink, Alexander; Schlake, Olivier	996	Szenario-Management, Carl Hanser Verlag, München, Wien
Herb, Ernst	000	Frischer Wind ins Energie-Portefeuille. In: Finanz und Wirtschaft, 2. Dezember, 15
Huber, F.	998	Produkt- und Prozessinnovation, Lehrschrift zur Vorlesung von Prof. F. Huber, ETH Zürich
Kabza, Alexander	000	PEMFC-Proton exchange fuel cell URL: http://www.pemfc.de
Kordes, Karl; Simader, Günter	996	Fuel Cell and their Applications, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, Deutschland

Laafia, Ibrahim	999	F&E-Aufwendungen und –Personal in Europa URL: http://europa.eu.int/comm/eurostat/
Lloyd, Alan	999	The Power Plant in your Basement In: Scientific American, July, 64-69
Müller, Giorgio V.	000	Brennstoffzellen sind ein heisses Anlagethema geworden. In: Finanz und Wirtschaft, 28. Juni, 43
OCDE	998	Les technologies du XXI ^e siècle
Schweizerische Rückversicherungs-Gesellschaft	001	Pressmitteilung: Vorläufige Katastrophenbilanz für 2000.
Schärer, U.	000	Brennstoffzelle für eine nachhaltige Energiezukunft?, Europäische Messe für Umwelttechnik, Messe Basel.
Scherer, Günther	998	Brennstoffzellen – eine zukünftige Quelle zur Stromerzeugung, ETG-Tagungszyklus, Mai, Technikum Winterthur
Simader, Günter; Heissenberger, Thomas	999	Brennstoffzellen–Systeme – Energietechnik der Zukunft?, Informationsbroschüre im Rahmen des Projektes „Brennstoffzellen-Information-Initiative“, Wien
Tschirky, Hugo; Koruna, Stefan	998	Technologie-Management, Verlag Industrielle Organisation, Zürich
US Department of Energy, Advanced Fuel Cell Commercialization Working Group	995	Commercialization of Fuel Cells In: Energy – The International Journal, May, Volume 20, Number 5
Vahrenholt, Fritz	001	Energieversorgung – die entscheidende Herausforderung der Zukunft URL: http://www.shell.com/de-de/content/0,4645,27239-52830,00.html
World Business Council for Sustainable Development	997	Exploring Sustainable Development, WBCSD Global Scenarios 2000-2050, Summary Brochure URL: http://www.wbcd.ch/printonly.htm#top
Zeller-Silva, Gabriele	000	Höhenflug deutscher Windaktien. In: Finanz und Wirtschaft, 28. Oktober

Zittel, Werner; Wurster, Reinhold; Weindorf, Werner	996	Wasserstoff in der Energiewirtschaft URL: http://www.hydrogen.org/indexd.html
---	-----	--

9 Anhang

9.1 Hauptkonkurrent: Ballard Power Systems

Technologisch am weitesten fortgeschritten ist die kanadische Ballard Power Systems, die mehr als 350 Patente besitzt. Das erste der meist 20 Jahre laufenden Patente wird 2007 auslaufen. Nächstes Jahr (2001) wird Ballard mit der Serieproduktion tragbarer Stromgeräte beginnen, welche die benzinbetriebenen Stromgeneratoren ersetzen sollen. Ein Jahr später sind Brennstoffzellen für Transportbusse, 2003 für stationäre Stromstationen und ab 2003 oder 2004 für Autos an der Reihe, erklärte der Ballard-Finanzchef Paul Lancaster. Gemäss Lancaster hat die bisher stets Verluste schreibende Ballard genügend Mittel, um in den nächsten vier Jahren die Marktreife seiner Produkte zu finanzieren. Über 90% des Umsatzes erzielen die Kanadier in den USA, Japan und Deutschland.⁶⁹

Vor drei Jahren haben sich Daimler-Chrysler und Ford an Ballard beteiligt. Mit 18,6% bzw. 14% sind sie die grössten Aktionäre des Unternehmens.

Anfang September lieferte Ballard Generation Systems, eine Tochter Gesellschaft, das dritte Testbrennstoffzellen-Kraftwerk an das Elektrizitätswerk Elektra Birseck in Baselland.⁷⁰

9.2 Einflussanalyse

Die Bewertung des Einflusses der Einflussfaktoren-Paare erfolgt anhand der folgenden Skala:⁷¹

- 0 = keine oder sehr schwache Wirkung, d.h. wenn sich Einflussfaktor A sehr stark verändert, wirkt sich dies gar nicht oder nur sehr schwach auf Einflussfaktor B aus.
- 1 = schwache oder zeitlich verzögerte Wirkung, d.h. wenn sich Einflussfaktor A verändert, wirkt sich des schwach auf Einflussfaktor B aus.
- 2 = mittlere Wirkung, d.h. wenn sich Einflussfaktor A stark verändert, beeinflusst das den Einflussfaktor B mit mittlerer Stärke.
- 3 = starke oder sehr starke Wirkung, d.h. wenn sich Einflussfaktor A leicht verändert, wirkt dies sehr stark auf Einflussfaktor B aus.

⁶⁹ Finanz und Wirtschaft, 28.06.2000

⁷⁰ Finanz und Wirtschaft, 27.09.2000

⁷¹ Szenario-Management, S.191

In der Tabelle 4 sind die Ergebnisse der Bewertung des Einflusses der Einflussfaktoren-Paare zu sehen.

Einflussfaktoren		Einflussfaktoren																												
		Gesetze	Förderungen	Wissenschaftliche Gemeinschaft	Technologische Fortschritte	Lebensstil	Lebensqualität	Marktwirtschaft	Medien	Umweltproblem	Infrastruktur	Produktion des Brennstoffes	Platin	Energiepreise	Unternehmen	Patente	Kosten	Emissionen	Preis	Verfügbarkeit	Ergonomie	Ängste	Kommunikation	Anwendungsbereiche	Batterie	Verbrennungsmotor	Andere Brennstoffzellen	Aktivsumme		
EF1	Gesetze	0	3	2	3	2	2	2	1	1	1	1	0	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34
EF2	Förderungen	0	0	1	2	1	1	2	1	1	2	1	0	1	1	0	3	0	2	0	0	0	1	1	1	1	1	1	25	
EF3	Wissenschaftliche Gemeinschaft	2	2	0	3	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	15	
EF4	Technologische Fortschritte	0	2	1	1	1	0	1	2	1	1	1	1	2	3	3	2	2	2	2	1	1	1	2	1	2	2	36		
EF5	Lebensstil	1	1	1	2	2	1	2	2	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	21		
EF6	Lebensqualität	1	1	1	1	2	0	1	2	1	1	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	21		
EF7	Marktwirtschaft	1	1	0	2	1	1	1	1	0	0	0	2	2	2	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17		
EF8	Medien	1	1	1	0	2	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	13		
EF9	Umweltproblem	3	2	3	2	1	3	0	2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	1	1	24		
EF10	Infrastruktur	0	1	0	1	0	2	0	1	1	3	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	0	0	1	18		
EF11	Produktion des Brennstoffes	2	1	1	1	0	1	0	0	2	2	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	18		
EF12	Platin	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	8		
EF13	Energiepreise	1	1	1	3	2	1	0	2	1	2	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	2	1	1	1	1	24		
EF14	Unternehmen	0	1	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	2	3	1	2	1	1	0	1	2	0	0	0	0	0	17		
EF15	Patente	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	2	1	1	0	2	2	0	0	0	0	14		
EF16	Kosten	0	3	0	3	1	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	3	1	1	0	3	3	1	1	1	25		
EF17	Emissionen	0	0	0	1	1	3	0	1	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	2	1	3	1	1	1	19		
EF18	Preis	0	3	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	2	1	1	1	1	17		
EF19	Verfügbarkeit	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	1	1	1	1	1	9		
EF20	Ergonomie	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	8		
EF21	Ängste	2	1	1	1	2	0	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	1	17		
EF22	Kommunikation	0	2	2	0	1	2	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	15		
EF23	Anwendungsbereiche	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	2	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	2	1	1	1	1	15		
EF24	Batterie	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	9		
EF25	Verbrennungsmotor	2	0	1	2	2	1	0	1	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	16		
EF26	Andere Brennstoffzellen	1	1	1	2	1	1	0	1	1	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	2	1	1	1	1	18		
	Passivsumme	18	27	18	36	25	32	5	22	21	20	13	1	17	18	10	21	5	19	5	5	14	35	35	13	18	20			
	Mittlere Aktivsumme	18																												
	Mittlere Passivsumme	18																												

Tabelle 5: Einflussanalyse

Die Aktivsumme eines Einflussfaktors ist die Zeilensumme aller Beziehungswerte. Sie zeigt die Stärke an, mit der ein Einflussfaktor direkt auf alle anderen Einflussfaktoren wirkt.

Die Passivsumme eines Einflussfaktors ergibt sich aus der Spaltensumme. Sie ist ein Mass dafür, wie stark der jeweilige Einflussfaktor durch alle übrigen Einflussfaktoren beeinflusst wird.

9.3 System-Grid

Das System-Grid (siehe Abbildung 22) wird in fünf unterschiedliche Bereiche geteilt:

- **Bereich 1: Impulsive Einflussfaktoren**
Diese Faktoren wirken stark in das System, ohne dass sie selbst stark beeinflusst werden.
- **Bereich 2: Dynamische Einflussfaktoren**
Diese Faktoren wirken sehr stark in das System und werden ebenso stark aus dem System heraus beeinflusst.
- **Bereich 3: Reaktive Einflussfaktoren**
Diese Faktoren beeinflussen das betrachtete System nur sehr schwach, werden aber sehr stark beeinflusst.
- **Bereich 4: Puffernde Einflussfaktoren**
Diese Faktoren beeinflussen das System am wenigsten und werden kaum beeinflusst. Daher können sie bei der Auswahl von Schlüsselfaktoren zuerst vernachlässigt werden.
- **Bereich 5: Neutrale Einflussfaktoren**
Einflussfaktoren innerhalb des neutralen Bereichs liegen in der Übergangzone der vier vorher beschriebenen Bereiche. Ihre Charaktereigenschaften lassen sich daher nicht eindeutig festlegen. Dennoch bilden sie in vielen Szenarien einen grossen Anteil der Schlüsselfaktoren.

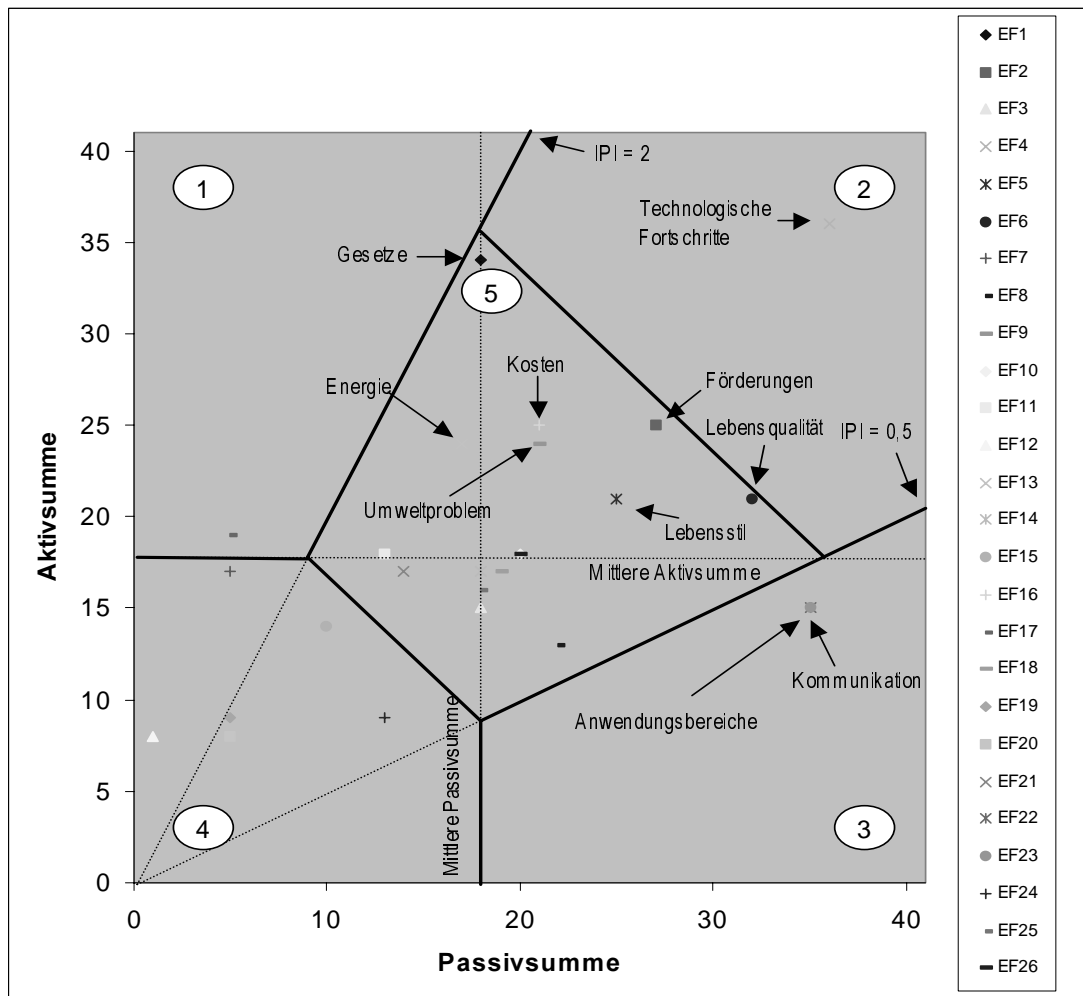


Abbildung 22: System-Grid

9.4 Dynamik-Index

N°	Einflussfaktor	Dynamik-Index	N°	Einflussfaktor	Dynamik-Index
EF4	Technologische Fortschritte	1296	EF14	Unternehmen	306
EF2	Förderungen	675	EF25	Verbrennungsmotor	288
EF6	Lebensqualität	672	EF8	Medien	286
EF1	Gesetze	612	EF3	Wissenschaftliche Gemeinschaft	270
EF5	Lebenstil	525	EF21	Ängste	238
EF16	Kosten	525	EF11	Produktion des Brennstoffes	234
EF22	Kommunikation	525	EF15	Patente	140
EF 23	Anwendungsbereiche	525	EF24	Batterie	117
EF9	Umweltproblem	504	EF17	Emissionen	95
EF13	Energie	408	EF7	Marktwirtschaft	85
EF10	Infrastruktur	360	EF 19	Verfügbarkeit	45
EF26	Andere Brennstoffzellen	360	EF20	Ergonomie	40
EF18	Preis	323	EF12	Platin	8

Tabelle 4: Dynamik-Index (Aktivsumme mal Passivsumme) der Einflussfaktoren.

9.5 Fragekatalog

Mit den vielen Interviewpartnern wurde versucht ein Gespräch durchzuführen. Für den Einstieg wurden Fragen vorbereitet. Nicht jeden Interviewpartner hatte die selbe Zeit, um dieses Gespräch durchzuführen, und zudem hatten Sie nicht das selbe Wissen über die Brennstoffzelle. Aus diesen Gründen konnten nicht immer alle Fragen gestellt werden.

Die Fragen lauten:

1. Welche Faktoren beeinflussen die Brennstoffzelle?
2. Welche Faktoren können helfen, dass sich die Brennstoffzelle als neue Energiequelle durchsetzt?
3. Welche Substitutionstechnologien sehen Sie für die Brennstoffzelle? Im Preis-Leistungs Vergleich wie ist die Brennstoffzelle heute positioniert und wie wird sich dies in der Zukunft entwickeln?
4. Welchen Anwendungsbereich der Brennstoffzelle (Tragbare Systeme, Stationäre Systeme oder Fahrzeuge) wird sich zuerst durchsetzen und aus welche Gründe?
5. Welche Einflüsse werden politische, soziale sowie ökologische Rahmenbedingungen bei dieser Technologie haben?
6. Welche Faktoren wecken heute die Interesse an nachhaltige Energie (dazu gehört die Brennstoffzelle) auf? Werden es in der Zukunft die selben Faktoren sein?
7. Welche Faktoren oder Entwicklungen der Brennstoffzelle können die Leistung dieser Technologie steigern oder seine Kosten senken?
8. Die Analyse der Markteinführung von erfolgreichen Technologien kommt zur Schlussfolgerung, dass die richtige Technologie zum richtigen Zeitpunkt auf den Markt kommen muss. Eine bessere Technologie, die zu früh kommt, wird nicht gekauft. Wenn sie zu spät kommt, wird das Marketing fast unmöglich. Ist der richtige Zeitpunkt für die Brennstoffzelle-Technologie jetzt gekommen? Können Sie bitte Ihre Antwort begründen.
9. Aus welchen Gründen, investieren Sie in die Brennstoffzellen-Technologie?
10. Mit welchen Argumente würden Sie einem Investor empfehlen, in neue Energiequellen (die Brennstoffzelle zählt dazu) zu investieren?
11. Welche Rolle spielt der Finanzmarkt in der Entwicklung der Brennstoffzelle?
12. Kann das Konzept „Sustainable Development“ den Durchbruch der Brennstoffzelle als neue Energiequelle unterstützen?
13. Ist das Konzept „Sustainable Development“ eine globale geteilte Vision oder ist es nur eine Modesache?
14. Im Fall, dass sich die Brennstoffzelle als neue Energiequelle durchsetzt, wird dies der Grund sein, weil sie technologisch fortgeschrittener ist (Technology Push) oder weil

- ein Marktbedürfnis vorhanden ist (Market Pull)? Welche Faktoren könnten das Technology-Push und/oder das Market-Pull Muster unterstützen?
15. Welche Rolle spielt der Beschaffungsmarkt und der Absatzmarkt bei einer solchen Technologie? Welche Faktoren sind hier relevant?
 16. Welche Rolle werden Preis und Service beim Durchbruch der Technologie spielen?
 17. Was sind die treibende Elemente in der Kostenstruktur einer Brennstoffzelle (PEM)? Welche Entwicklungen sind hier zu erwarten?
 18. Wird die Nanotechnologie die Entwicklung der Brennstoffzelle beschleunigen? Wenn ja, in welchem Bereich wird sie einen Einfluss haben und welche positive Effekte wird sie mitbringen?
 19. Wie schätzen Sie die Position der Schweiz im Bereich der Brennstoffzellen-Forschung (Forschungsprogramme, Anzahl Forscher in der Schweiz, F&E Ausgaben in der Schweiz)? Welche Stärken und Schwächen sehen Sie?
 20. Welche Rolle wird der Publik- und Private-Sektor beim Durchbruch der Brennstoffzelle spielen? Welche Hilfe können Sie für einen eventuellen Durchbruch dieser Technologie geben?
 21. Welche Rolle wird die Deregulation des Energiesektors in der Kommerzialisierung der Brennstoffzelle spielen?
 22. Wie schätzen Sie die Bedürfnisse von morgen im Bereich der Energie aus? Welche Eigenschaften muss die Energie von morgen erfüllen? Ist die Brennstoffzelle in der Lage sie zu erfüllen? Welche Bedingungen muss sie dafür noch erfüllen?
 23. Welche Ängste weckt bei Ihnen die Brennstoffzelle?
 24. Welche Ängste weckt bei Ihnen einen 300 bar Wasserstoff-Tank?
 25. Welche Faktoren muss eine Technologie erfüllen, damit Sie politisch unterstützt wird?
 26. Aus welchen Gründen unterstützen Sie die erneuerbare Energie?
 27. Warum sind sie an der Brennstoffzelle, als neue Energiequelle für ihre Produkte, interessiert? (Frage an Hilti)
 28. Welche Faktoren müssen noch erfüllt werden, damit Sie sich entscheiden in diese Technologie zu investieren?
 29. Wie viel wären Sie bereit zu zahlen, Kosten/kWh., wenn man weiss, dass der Strom aus der Steckdose wenig kostet?

9.6 Resultate der Interviews und des Brainstormings

Interview mit Herrn Rüdiger Spielkamp, Arthur D.Little, 14.11.2000

Herr Spielkamp sieht folgende Einflussfaktoren, die die Brennstoffzelle beeinflussen könnten:

- Effizienz. Seiner Meinung nach, sollte die Effizienz der Brennstoffzelle noch gesteigert werden. Wenn diese positive Entwicklung möglich ist, wird es sicher ein entscheidendes Argument für den Markt sein. Die PAFC ist ausgereift, nur noch kleine technische Fortschritte sind zu erwarten. Deswegen wird sich die PAFC sicher nicht am Markt durchsetzen.
- Massenproduktion. Die entscheidende Frage wird sein: wie kann die Massenproduktion die Kosten pro Kilowatt senken, damit diese Technologie konkurrenzfähig wird?
- Preisentwicklung. Die Entwicklung des Strompreises im Verhältnis zum Gaspreis wird im stationären Bereich eine entscheidende Rolle spielen.
- Umweltfreundlichkeit, Umweltbewusstsein. Dieser Aspekt wird sicher einen stärkeren Einfluss in Deutschland und in Nord Europa haben.
- Regulierung durch den Staat. Neue Gesetze oder staatliche Anreize werden für den Durchbruch dieser Technologie von grosser Bedeutung sein.
- Finanzmärkte. Wie lang werden die Finanzmärkte, die genügend Atmen den Firmen geben, die im Bereich der Brennstoffzelle tätig sind? Anders gesagt, sind diese Firmen in der Lage, einmal schwarze Zahlen zu schreiben.
- Hersteller. Die Nachfrage im Bereich Brennstoffzellen ist zur Zeit am steigen. Viele Unternehmen wollen, insbesondere im „Utility-Sektor“, Versuche mit dieser Technologie durchführen. Das Angebot, die Produktion, hauptsächlich bei den Komponenten, ist heutzutage zu klein. Diese Situation führt zu Problemen auf dem Beschaffungsmarkt.
- Sicherheit. In diesem Bereich werden zwei Aspekte eine entscheidende Rolle spielen:
 - ⇒ Die Versorgungssicherheit des Brennstoffes.
 - ⇒ Die Speicherungssicherheit: in diesem Bereich sieht Herr Spielkamp keine technischen Probleme, aber er denkt trotzdem, dass es Ängste auslösen könnte. Um dieses Problem zu lösen, muss ein grosser Aufwand in der Kommunikation getätigt werden.
- Nachhaltige Entwicklung. Dies ist eine Vision, die aus den Vereinigten Staaten kommt. Sie könnte die Entwicklung der Brennstoffzelle unterstützen. Die Wahl von Herr Bush könnte diese Vision wieder in Frage stellen.

**Dr Claude Roulet, Vice President Technical Coordination
Europe for Schlumberger LTD, Paris, France, 16.11. 2000**

Herr Roulet hat am 16. November, im CERN in Meyrin, eine öffentliche Präsentation über die Brennstoffzelle gegeben. Seinen Blick auf diese Technologie, sowie die Fragen und Anregungen des Publikums, waren besonders interessant.

Heute gibt es 2 Hauptgründe, die das Interesse an die Brennstoffzelle aufwecken:

- Die Verbesserung der Lebensqualität. Dies hat einen direkten Einfluss auf:
 - ⇒ Unser direktes Umfeld
 - ⇒ Das klimatische Umfeld
- Nachhaltige Entwicklung. Hier spielen zwei Aspekte eine wichtige Rolle:
 - ⇒ Die Steigerung der Effizienz.
 - ⇒ Die Reduktion der CO₂-Emissionen.

Welche Rolle kann die Brennstoffzelle in diesem Umfeld spielen?

Die Brennstoffzellen können Wirkungsgrade von 60 bis 70 % aufzeigen, während konventionelle Verbrennungsmotoren nur Wirkungsgrade von 10 bis 20 % erreichen. Ausserdem gibt es bei der Brennstoffzelle keine CO₂-Emissionen, sondern nur Wasserdampf-Emissionen, wenn reiner Wasserstoff als Brennstoff genutzt wird.

Die Speicherung von reinem Wasserstoff kann nach zwei unterschiedlichen Prinzipien erfolgen:

- In einem gasförmigen Zustand: um eine genügende Autonomie zu erreichen, hauptsächlich bei Fahrzeugen, sind hier grosse Volumen erforderlich, die in einem Auto nicht genügend Platz haben. Befriedigende Resultate sind auch nicht erreicht, wenn der Wasserstoff unter Druck (zwischen 150 und 300 bar) gespeichert wird.
- In einem flüssigen Zustand: Wasserstoff ist flüssig bei sehr kalten Temperaturen, nahe zum absoluten Zero. Dies führt zu Problemen bei der Speicherung. Die Transformation, vom gasförmigen zum flüssigen Zustand, kostet ungefähr 30% an Energie.

In Kalifornien kommt in 2003 ein neues Gesetz, das sagt, dass 4 % der neuen Fahrzeuge Null-Emissionsfahrzeuge (ZEV: Zero Emission Vehicle) sein müssen. Dies kann nur auf zwei Weisen erreicht werden:

- Mit reinem Wasserstoff. Da Wasserstoff in gasförmiger Form für Fahrzeuge ungeeignet ist, ist geplant, flüssigen Wasserstoff zu benützen. Laut Herr Roulet ist aber noch nicht geregelt, wer die Investitionen, die für den Aufbau der Infrastruktur notwendig sind, unterstützen wird. Es wurde z.B. noch kein Budget dafür präsentiert. Die Firma Shell hat aber schon gute Lösungen für die Distribution des flüssigen Wasserstoffes bereit.
- Dank Elektrofahrzeuge. Die „Electric Vehicle“ sind aber heute nicht konkurrenzfähig, wegen einer zu geringen Autonomie.

Wegen den Nachteilen des flüssigen Wasserstoffes haben die beteiligten Industrien versucht das Gesetz zu ändern, damit nur extrem niedrige Emissionsfahrzeuge (SULEV: Super Ultra Low Emission Vehicle) benutzt werden können. Diese Fahrzeuge würden Methanol als Brennstoff benützen. Die Investitionskosten in den Aufbau der Infrastruktur, für die Methanoltankstellen, könnten von den Ölkonzernen einfacher getragen werden.

Herr Roulet sieht für die PEMFC gute Aussichten im mobilen Einsatz. Die Kosten sind aber noch ein Nachteil für die Kommerzialisierung dieser Technologie. Die Massenproduktion wird aber diese Kosten erheblich senken. Wie begründet er diese Annahme? Heute fahren schon sechs Busse mit einer PEM Brennstoffzelle. Diese Busse sind schon Millionen Kilometer problemlos gefahren und kosten heute nur doppelt soviel, als ein konventioneller Bus. Dies zeigt das Kostensenkungspotential bei einer Massenproduktion.

Im stationären Bereich, scheint Herr Roulet Vertrauen in der PAFC zu haben. Heute wurden schon 200 Anlagen, die mit dieser Technologie laufen, installiert. Die heutigen Kosten sind aber noch zu hoch, 4000 USD/Kilowatt, da eine Gas-Turbine 500 USD/Kilowatt kostet. Damit die PAFC konkurrenzfähig wird, müssen die Kosten auf 1000 USD/Kilowatt gesunken werden. Dieses Kostenniveau wird mit der Serienproduktion wahrscheinlich erreicht.

Am Ende kamen einige Fragen über die Wasserstoffspeicherung, Sicherheit, Explosionsgefahr, obwohl das Publikum, meiner Meinung nach, einen wissenschaftlichen Hintergrund hatte (die Präsentation von Herr Roulet fand im CERN statt).

Interview mit Herrn Bruno E. Raschle, Managing Directors der Advisers on Private Equity (Adveq) in Zürich. Herr Raschle war Seed-Investor und bis 1997 Verwaltungsrat der kanadischen Ballard Power Systems, November 2000

30. Mit welchen Argumente würden Sie einem Investor empfehlen, in die Brennstoffzellen-Technologie zu investieren?
- Modulare Lösung (Economy of Scale)
 - Unterstützt durch Utility-, Automobil- und Oelindustrie
 - Quantensprung in Output
 - Kann bestehende Infrastruktur benutzen
 - Umweltverträglich
31. Welche Faktoren können helfen, dass sich die Brennstoffzelle als neue Technologie durchsetzt?
- Gesetzgebung
 - Staatliche Anreize
32. Welchen Anwendungsbereich der Brennstoffzelle (Tragbare Systeme, Stationäre Systeme oder Fahrzeuge) wird sich zuerst durchsetzen und aus welchen Gründen?
- Fahrzeuge: Kosten/Nutzen-Verhältnis gross; Gesetzgebung USA; Massenprodukt; breite Unterstützung
33. Welche Faktoren wecken heute das Interesse an erneuerbarer Energie? Werden es in der Zukunft dieselben Faktoren sein?
- Heute: Umweltverträglichkeit
 - morgen: totale Kosten, totale Umweltverträglichkeit
34. Die Analyse der Markteinführung von erfolgreichen Technologien kommt zur Schlussfolgerung, dass die richtige Technologie zum richtigen Zeitpunkt auf den Markt kommen muss. Eine bessere Technologie, die zu früh kommt, wird nicht gekauft. Wenn sie zu spät kommt, wird das Marketing fast unmöglich. Ist der richtige Zeitpunkt für die Brennstoffzelle-Technologie jetzt gekommen? Können Sie bitte Ihre Antwort begründen.
- ich bin mit Ihrer Annahme nicht einverstanden
 - Voraussetzungen sind: Order of Magnitude Innovation, Managementkraft, Kapital, Abstützung.
 - Obiges ist bei Brennstoffzellen vorhanden. Execution has become Key!

35. Im Fall, dass sich die Brennstoffzelle als neue Technologie durchsetzt, wird dies der Grund sein, weil sie technologisch fortgeschrittener ist (Technology Push) oder weil ein Marktbedürfnis vorhanden ist (Market Pull)? Welche Faktoren könnten das Technology-Push und/oder das Market-Pull Muster unterstützen?
- Bei Brennstoffzellen ist beides vorhanden!
 - Diskontinuitäten werden ausgeschöpft und gleichzeitig neu geschaffen. Die Deregulierung der Energiewirtschaft wird neue ungeahnte Möglichkeiten eröffnen. Kostengünstige neue Lösungen vorausgesetzt, oder, die mit der Deregulierung erzeugte Systemwechsel wird zu neuen Lösungen führen oder deren Einführung beschleunigen.
36. Wie schätzen Sie die Bedürfnisse von morgen im Bereich der Energie ein? Welche Eigenschaften muss die Energie von morgen erfüllen? Ist die Brennstoffzelle in der Lage sie zu erfüllen? Welche Bedingungen muss sie dafür noch erfüllen?
- billigere totale Kosten (variable und fixe Kosten)
 - umweltverträglich
 - Kosten müssen noch weiter reduziert werden
37. Wie schätzen Sie die Position der Schweiz im Bereich der Brennstoffzellen-Forschung (Forschungsprogramme, Anzahl Forscher in der Schweiz, F&E Ausgaben in der Schweiz)? Welche Stärken und Schwächen sehen Sie?
- CH hat den Kampf Ende 80er/frühe 90er Jahre verloren
 - Centre of excellences befinden sich heute ausserhalb der CH
38. Centre of excellence befindet sich, ihrer Meinung nach, heute ausserhalb der Schweiz. Wird die Schweiz nur ein Käufer dieser Technologie im Ausland sein oder bleibt trotzdem eine Chance, diese Technologie im Land zu produzieren? Kann sich die Schweiz in Nischenmärkte noch positionieren?
- Die CH wird sich leider auf den Kauf beschränken müssen.
39. Welche Rolle wird die Deregulation des Energiesektors in der Kommerzialisierung der Brennstoffzelle spielen?
- Beschleunigung der Markteinführung. Die Infrastrukturkosten sind heute so hoch, dass dezentrale, infrastrukturarme Lösungen gefragt sind. Politisch lassen sich heute Grosskraftwerke auch nicht mehr einfach so durchsetzen. Ferner, mit zunehmender Deregulierung, werden die bis heute vorgefundenen Systemabgrenzungen Oel/Gas/Elektrizitätswirtschaft verwischt, d.h. „Cross-selling“ wird dabei ermöglicht, teilweise sogar erzwungen werden.
40. Welche Ängste weckt bei Ihnen ein 300 bar Wasserstoff-Tank?
- keine (ich weiss zuviel!)
 - es geht auch übrigens ohne Wasserstofftanks!

41. Welche Substitutionstechnologien sehen Sie für die Brennstoffzelle? Im Preis-Leistungs Vergleich, wie ist die Brennstoffzelle heute positioniert und wie wird sich dies in der Zukunft entwickeln?
 - Zur Zeit keine absehbar
 - Preis/Leistung muss noch eine Order of Magnitude runter kommen.
42. Welche Rolle spielt der Beschaffungsmarkt und der Absatzmarkt bei einer solchen Technologie? Welche Faktoren sind hier relevant?
 - Breite Abstützung (heute gegeben)
 - Totale Kosten und Diskontinuität unter gleichzeitiger Benutzung bestehender Kanäle.
43. Welche Rolle werden Preis und Service beim Durchbruch der Technologie spielen?
 - Entscheidende Rolle
44. Wie sehen Sie die Zukunft der Brennstoffzelle, im Fall Herr Bush als neuer Präsident der Vereinigten Staaten gewählt wird?
 - Ich meine, heute müsste dies keinen Einfluss mehr haben: (1) die Erdölindustrie hat selber schon Milliardenprojekte für ein Nichtabseitsstehen bereitgestellt/ausgegeben, (2) Kalifornien hat die Einführung ihrer einschneidenden neuen Umweltgesetzgebung auf den Einführungszeitpunkt der Brennstoffzelle angepasst (alle Tankstellen in Kalifornien sind heute schon auf den Einsatz von Methanol vorbereitet); die Kaliforniengesetzgebung ist in den USA von verschiedenen anderen Staaten übernommen worden, (3) namhafte Automobilhersteller wie Daimler, Ford, Toyota etc haben die Einführung kommerzieller Produkte auf 2004 geplant (Produktionsstätte, Zulieferketten werden heute aufgebaut) und (4) im stationären Bereich sind heute die Fixkosten für die Energiebereitstellung so hoch, dass neue, infrastrukturarme Lösungen gesucht werden.
45. Ist der Endkunde bereit, in die Brennstoffzelle-Technologie zu investieren, im Fall die staatlichen Anreize oder Gesetzgebungen sich langfristig nicht durchsetzen? Wenn ja, aus welchen Gründen?
 - Nein! Voraussetzung sind Produkte mit ähnlichen Anlage- und Betriebskosten.

46. Die Kosten der Brennstoffzelle müssen noch weiter reduziert werden. Denken Sie, dass das gewünschte Kostenniveau einmal erreicht wird? Wenn ja, welche Argumente haben Sie dazu? Und ab welchem Kostenniveau (Kosten/Kilowatt) hat die Brennstoffzelle eine Chance auf dem Markt (für Mobile Anwendungen)? Für welches Jahr erwarten Sie dieses Kostenniveau?
- Die Zielgrösse für ein, zum Verbrennungsmotor konkurrenzfähiges System einer Brennstoffzelle ist ca. USD50/kW. Nach inoffiziellen Informationen ist man heute praktisch dort. Die heutigen Entwicklungen konzentrieren sich auf die Optimierung der Lebensdauer und Fertigungsanforderungen, sowie Systemintegration.
47. Kann das Leitbild Sustainable Development - heutige Bedürfnisse befriedigen, ohne die Möglichkeiten der Bedürfnisbefriedigung zukünftiger Generationen einzuschränken- den Durchbruch der Brennstoffzelle als neue Energiequelle unterstützen?
- ja
48. Ist das Leitbild „Sustainable Development“ eine globale geteilte Vision oder ist es nur eine Modesache?
- Leider ist es heute noch eine Modeangelegenheit. Politisch wird man aber nicht mehr darum herkommen, sie zu konkretisieren und umzusetzen. Dies kann aber noch 10 Jahre dauern.
49. Heute herrscht auf dem Markt ein so genanntes „Chicken-or-egg“ Problem. Ihrer Meinung nach, wie wird man aus diese Situation kommen?
- Im Fahrzeug Bereich existieren 3 Konsortium:
 - ⇒ Ballard/Daimler-Chrysler/Ford
 - ⇒ Toyota
 - ⇒ General Motors
 - Das Konsortium Ballard/Daimler-Chrysler/Ford, ist bereit Fabrikationsstätten aufzubauen für die Serienproduktion. Die Lösung des „Chiken-or-egg“ Problems wird von der Herstellerseite kommen.
 - Diese Konsortium arbeiten unter Hochdruck. Der Direktor der Motorfertigung der Daimler-Chrysler hat mir gesagt: „die bestehende Lösung kann nur noch 2 bis 3 Prozent optimiert werden. Innerhalb von 5 bis 10 Jahren müssen neue Lösungen gefunden werden, damit ein neuen Quantensprung erreicht werden kann.“ Diese Situation ist positiv für die Weiterentwicklung der Brennstoffzelle.
 - Die Kommerzialisierung der Brennstoffzelle wird das Interesse dieser Technologie erwecken. Eine Dynamik wird sich einsetzen und die Politik wird diese Technologie vermehrt unterstützen. In Kalifornien fangen schon einige Politiker, sich mit diesem Thema zu profilieren.

Interview mit Herrn Martin Ruge, Doktorand an der ETH in Zürich, 20.11.2000

Die Kosten eines Brennstoffzellenstapels können heute wie folgt aufgeteilt werden:

- 1/3 der Kosten fallen auf die Polymermembrane. Die Kosten der Membrane liegen heute bei 800 USD/m².
- 1/3 der Kosten fallen auf die Bipolarplatte. Die Kosten der Bipolarplatten liegen heute bei 600 USD/kW. Sie sind von der Grösse der Bipolarplatte abhängig. Ungefähr 12 Bipolarplatten werden gebraucht, damit eine Leistung von 1 KW erreicht wird.
- 1/3 der Kosten fallen auf die Elektroden. Der Katalysator, Platin, ist hier der Kostentreiber. Heute wird 2.85 g/kW Platin benützt.

Die Kosten eines Brennstoffzellenstapels liegen heute bei 5000-7000 USD/kW. Die Kosten eines Automotors liegen heute bei 30 USD/kW und die einer Batterie zwischen 170 und 1020 USD/kWh. Es wurde festgelegt, dass die Kosten des Brennstoffzellenstapels auf ungefähr 60 USD/kW gesunken werden müssen, damit diese Technologie konkurrenzfähig wird.

Die folgenden Zielgrössen sind wahrscheinlich erreichbar:

- 80 bis 100 USD/m² für die Polymermembrane.
- 30 bis 40 USD/kW für die Bipolarplatte.
- 1.5 bis 2 g/kW Platin ist ein realistisches Ziel. Ein Preis von 10 USD/m² sollte erreicht werden können. Aber der Preis wird sehr stark von der Entwicklung des Platinpreises abhängig bleiben.

Diese Zahlen stammen aus der Erfahrung und dem Entwicklungsstand der Automobilindustrie. Sie geben aber trotzdem einen guten Blick über den Stand heute und die möglichen Entwicklungen, die für die PEM Brennstoffzelle zu erwarten sind. Diese Zielgrössen reichen aber noch nicht, um das gewünschte Kostenniveau von 60 USD/kW zu erreichen.

Das Kostensenkungspotential wird von der produzierten Stückzahl stark abhängig sein. Die folgenden Faktoren werden auf die Herstellungskosten einen Einfluss nehmen:

- Kosten der Rohstoffe.
- Das Herstellungsverfahren.
- Die Montage.
- Zu letzt noch die Prüfung des Stapels. Bei einer neuen Technologie darf man sich keinen Fehler erlauben.

Über die Situation auf dem Beschaffungsmarkt: heutzutage gibt es noch zu wenig Komponentenhersteller, die Konkurrenz auf diesem Bereich ist noch zu gering. Die Komponentenhersteller haben die Verhandlungsmacht. Sie können die Preise ihrer Komponenten fixieren. Diese Situation ist für die Kosten einer Brennstoffzelle ungünstig. Herr Ruge meint aber, dass diese Situation sich in einer nahen Zukunft ändern wird, da der Markt der Brennstoffzelle immer attraktiver wird.

Heute existieren folgende grosse Komponentenhersteller:

- SGL Carbon. Sie produzieren Elektroden und Bipolarplatten.
- Johnson Matthey. Sie produzieren Elektroden.
- UCAR. Sie produzieren Elektroden.

Auf dem Absatzmarkt wird der Preis eine bedeutende Rolle spielen. Wenn der Ölpreis weitersteigt, kann der hohen Wirkungsgrad dieser Technologie ebenfalls eine entscheidende Rolle spielen.

Die Nanotechnologie wird eine begrenzte Rolle in einem kurzfristigen Zeithorizont spielen, da heute schon 1 bis 2 Nanometer pro Platin-Partikel erreicht werden. Diese Resultate werden mit dem Nasschemische-Verfahren erreicht. Längerfristig ist der Einfluss der Nanotechnologie schwieriger einzuschätzen. Die Nanotechnologie wird sicher eine grössere Rolle bei den Hochtemperatur-Brennstoffzellen spielen. Herr Ruge denkt insbesondere an die SOFC.

Heute existiert noch keine optimale Lösung für die Speicherung des Wasserstoffes. Die existierenden Lösungen haben alle ungewünschte Nachteile:

- Gasförmige Speicherung des Wasserstoffes. Hier existieren zur Zeit die folgenden Lösungen:
 - ⇒ Speicherung des Wasserstoffes in Stahlflaschen. Diese Lösung hat folgende Nachteile: der Wasserstoff ist unter Druck gespeichert (zwischen 200 und 300 bar) und die Flasche ist schwer.
 - ⇒ Speicherung des Wasserstoffes in Kohlenfaser-oder Glasfaserflaschen. Diese Flaschen sind leichter als Stahlflaschen aber der Wasserstoff ist immer noch unter Druck gespeichert.
- Flüssige Speicherung des Wasserstoffes. Diese Lösung ist unbeliebt, da der Wasserstoff nur um -253 °C in einem flüssigen Zustand zu finden ist.
- Speicherung des Wasserstoffes in Metallhydride. Die maximale Speicherkapazität liegt zwischen 2 bis 4 Gewichtsprozent, die in Form von Wasserstoff gespeichert werden können. Dies führt in den meisten Fällen zu schweren Lösungen. Zudem muss der Wasserstoff sehr rein sein. Bei unreinem Wasserstoff bildet sich Metaloxyde, was die Speicherkapazität einschränkt.
- Speicherung von Wasserstoff in Nanoröhren. Diese Methode könnte interessant sein, aber sie befindet sich zur Zeit noch in einem frühen Entwicklungsstadium.

Interview mit Prof. Markus Meier, Professor an der ETH in Zürich, 20.11.2000

Die Energie von morgen sollte die folgenden Eigenschaften erfüllen:

- Erneuerbar sein.
- Der Kreislauf sollte sauber, d.h. es sollte z.B. keine Sonnenenergie sein, die irgendeinen Schadstoff herstellt.
- Die Energie sollte transportabel sein.
- Die Energie, sowie sein Transport, sollte wirtschaftlich sein.

Die Brennstoffzelle erfüllt alle Eigenschaften, um in diesem sauberen Kreislauf eine bedeutende Rolle zu spielen.

Dafür müssen aber die Kosten noch nach unten getrieben werden. Dies wird für die Bipolarplatte und für die Endplatte kein Problem sein, unter der Annahme, dass die produzierte Stückzahl gross genug ist. Um eine möglichst hohe Stückzahl zu bekommen, sollte dieselbe Bipolarplatte für alle Anwendungen genutzt werden. Über die zukünftige Entwicklung der Kosten der Membrane oder der Elektroden kann sich Prof. Meier nicht äussern. Seiner Meinung nach müssen gute Lösungen bezüglich der Entsorgung des Platins gefunden werden, oder ein neuer Katalysator muss entwickelt werden, der das Platin ersetzt.

Die Finanzmärkte können bei der Entwicklung der Brennstoffzelle zwei Rollen spielen:

- Eine attraktive Rolle, da sie die Innovation fördern können.
- Eine negative Rolle. Der Finanzmarkt und die Forschung und Entwicklung haben unterschiedliche Zeithorizonte. Bei den Finanzmärkten ist er kurzfristig und bei der Forschung und Entwicklung ist er langfristig. Wenn die Erwartungen der Finanzmärkte nicht erfüllt werden können, besteht eine Gefahr für die Innovation. Die Zeithorizonte der F&E müssen deswegen übereinstimmen.

Die nachhaltige Entwicklung ist heute noch eine Modesache, da es in der Umsetzung noch keine konkreten Lösungen gibt. Die Brennstoffzelle erfüllt die Bedingungen der Nachhaltigkeit, wenn es in einem sauberen Kreislauf eingebettet ist. Dies ist aber heute noch nicht der Fall. Solange der ganze Kreislauf nicht stimmt, wird die Brennstoffzellen-Technologie nur eine Exote Technologie bleiben.

Prof. Meier denkt, dass der Wasserstoff lokal produziert werden sollte, damit das Land unabhängig vom Import wird. Im Transportbereich gibt es heute noch keine Steuern (der Kerosin ist z.B. steuerfrei). Längerfristig gesehen, wird dieser Bereich sicher auch besteuert werden. Dies hätte einen schlechten Einfluss auf die Entwicklung der Brennstoffzelle, da der Transport von Wasserstoff teurer wäre.

Der PSI gehört zu den 10 besten Instituten weltweit im Bereich der Brennstoffzellenforschung. Sie waren zurzeit nicht in der Lage diese Technologie kommerziell umzusetzen. Die Zusammenarbeit mit dem IKB sollte zu fruchtbaren

Resultaten führen. Es wäre schade für die Schweiz zu sagen, wir entwickeln die Brennstoffzelle nicht mehr weiter, weil eine Firma (Ballard) ungefähr 350 Patente in diesem Bereich besitzt. Die Firma Ballard wird nicht in der Lage sein, die ganze Welt mit seinen Produkten zu beliefern. Es besteht immer noch die Möglichkeit sich in Nischenmärkten zu positionieren. Ein Nischenmarkt könnte die „Stationäre Stromversorgung im Feld“ sein. Hier gehört z.B. der Campingmarkt oder die Baustellen. In diesem Nischenmarkt werden kleine Leistungen während einer kurzen Zeit benötigt. Herr Meier kann sich sonst gut vorstellen, dass die Busse, die kurze Strecken fahren müssen und eine kleine Leistung benötigen, eine der ersten Anwendung der Brennstoffzellen sein werden.

Zur Zeit sieht Herr Meier den Engpass nicht in der Versorgung des Brennstoffes, sondern in der Speicherung des Brennstoffes. Bei der Speicherung des Wasserstoffes besteht noch keine ideale Lösung. In diesem Bereich muss noch Forschungsarbeit betrieben werden.

**Interview mit Herrn Daniel Schmid, Doktorand an der ETH in
Zürich, 22.11.2000**

Die Konkurrenz wird in diesem Bereich nicht leicht sein, hauptsächlich gegen Ballard Power System, die ungefähr 350 Patente hat. So viele Patente zu besitzen und zu verteidigen kostet jedes Jahr viel Geld. Ballard wird sicher nicht genügend Geld haben, um langfristig alle Patente zu behalten. Die Firma Ballard hat tatsächlich eine Spitzenrolle und die Konkurrenten werden sich im Verfolgungsfeld befinden. Die Firma Ballard wird aber nicht in der Lage sein, die ganze Welt mit seinen Brennstoffzellen zu beliefern. Zudem ist die Firma Ballard hauptsächlich auf dem Markt der Fahrzeuge positioniert. Die Möglichkeit besteht immer noch, sich in Nischenmärkten zu positionieren. Dies sollte aber jetzt erfolgen. Die Fachkompetenz der ETHZ besteht auf dem Bereich des Stapels. Auf diesem Bereich ist die ETHZ, qualitativ gesehen, sehr gut positioniert und dies sollte sie auch benützen.

Der Zielmarkt der ETHZ ist im hochwertigen professionellen Bereich zu finden. In diesem Bereich ist der Sicherheitsaspekt ein weniger sensibles Thema, als z.B. im Konsumbereich. Der Sicherheitsaspekt ist aber nicht zu unterschätzen, z.B. bei der Speicherung des Wasserstoffes, da ein Unfall mit einer neuen Technologie, die Entwicklung dieser Technologie negativ beeinflussen kann. Im extrem Fall kann der Staat sogar das Verbot einer Technologie verlangen, um die Ängste, die nach einem Unfall auftreten können, zu beruhigen.

Im Konsumbereich ist die Sicherheit ein sensibleres Thema, als im professionellen Bereich. Die Akzeptanz einer Wasserstoff-Druckflasche ist sicher noch nicht erreicht. Hier muss zuerst das Vertrauen der Leute gewonnen werden. Die Ängste müssen zuerst abgebaut werden. Dies kann mit einer guten Kommunikation erreicht werden, wird aber Zeit und wahrscheinlich viel Geld kosten.

Herr Schmid sieht folgende Faktoren, die dem Endkunden die Brennstoffzelle attraktiv machen würden:

- Die Brennstoffzelle ist lokal emissionsfrei.
- Die Brennstoffzelle ist leise.
- Die Brennstoffzelle ist eine Neuheit, der Endkunde will deswegen dabei sein.
- Ein gutes Preis/Leistungsverhältnis.
- Billige Betriebskosten.
- Das externe Design wird sicher eine ganz wichtige Rolle spielen, um den Kunde emotional an das Produkt zu binden.

Der Service wird sicher eine wichtige Rolle spielen. Er sollte folgende Eigenschaften aufzeigen:

- Ein gutes Reparaturnetzwerk sollte vorhanden sein.

- Die Wartezeiten bei den Reparaturen sollten klein sein. Idealerweise würde man direkt eine Ersatzbrennstoffzelle bekommen.
- Der Service sollte möglichst billig sein. Wenn möglich, sogar gratis. Die Brennstoffzellen sollten mit einer Garantie verkauft werden, d.h. im Fall ein Problem bei der Brennstoffzelle auftreten würde, sollte man gerade eine neue gratis bekommen.

Strom aus der Steckdose kostet fast nichts. Der Strom, der mit der Brennstoffzelle erzeugt wird, wird sicher mehr kosten. Ist der Endkunde bereit, einen höheren Preis zu bezahlen? Herr Schmid sieht hier zwei Gründe:

- Der Kunde ist heute bereit, mehr zu zahlen, damit er Geräte mobil einsetzen kann. Gute Beispiele dazu sind der Laptop und das Handy. Die Energie aus einer Batterie ist teurer als die Energie aus der Steckdose. Diese Situation spricht für die Brennstoffzelle im mobilen Einsatz.
- Mit einem Qualitätslabel kann umweltschonende Energie sicher teurer verkauft werden. Der Endkunde sollte wählen können, welche Energie er favorisieren will. Dies ist mit dem heutigen Strommixkonzept nicht möglich.
- Ein Gesetz könnte diesen Energien einen Vorteil geben, obwohl sie mehr kosten. Dieses Gesetz sollte aber weltweit einsetzbar sein. Herr Schmid kann sich gut vorstellen, dass einmal gesagt wird, 1/3 der konsumierten Energie muss erneuerbare Energie sein.

Interview mit Herrn Walter Odoni, Hilti AG, 22.11. 2000

Die Firma Hilti AG, stellt netzunabhängige Geräte mit einem Akku-Betrieb her. Diese Geräte sind sehr beliebt und die Nachfrage ist stark am steigen. Die Firma Hilti AG schaut, welche Alternativen zum Akku existieren. Die Brennstoffzelle könnte eine Alternative sein.

Die Brennstoffzelle sollte folgende Anforderungen erfüllen, damit es für die Firma Hilti AG interessant wäre:

- Mit dem Akku konkurrieren können.
- Periodenschaltungen unterstützen. Dies ist für die Produkte von Hilti wichtig.
- Leistung. Muss hohe Leistungen unterstützen. Bei den Hilti Produkten braucht man „Pik“ an Leistungen. Es ist nicht wie bei Laptop oder Handy, wo Niederleistungen genügen.
- Muss genügende Energie bereitstellen.
- Muss handtauglich sein. Deswegen werden z.B. keine Hochtemperaturen erlaubt.
- Gewicht und Volumen. Muss leicht und transportabel sein. Hilti hat hier drei verschiedene Visionen:
 - ⇒ Ein tragbares System.
 - ⇒ Ein tragbares System, das der Arbeiter auf sich tragen kann.
 - ⇒ Ein tragbares System, der als Akku Lader funktionieren würde.
- Lebensdauer. Idealerweise sollte das System die Lebensdauer der Werkzeuge haben. Die Lebensdauer der Werkzeuge ist heute von 150 echten Arbeitstunden.
- Kosten. Auf einer Baustelle gibt es immer Strom, und dieser Strom ist für den Handwerker gratis. Er kann seine Akku einfach wieder aufladen. Der Preis der Brennstoffzelle sollte nicht den Preis des Akkus und der Ladezelle überschreiten, d.h ungefähr 150 CHF. Diese Zahl ist als eine ganz spontane Schätzung von Herrn Odoni zu verstehen.

Damit der Kunde bereit wäre mehr zu bezahlen, muss er einen grossen Vorteil sehen. Heute kann der Handwerker mit einem Akku 10 Minuten (effektive Zeit) bohren. Bei hohen Leistungen sind dies nur noch 2 bis 3 Minuten. Kann er mit einer Brennstoffzelle eine Stunde bohren, wird der Kunde sicher anfangen nachzudenken.

Das grösste Problem sieht Herr Odoni bei der Speicherung des Wasserstoffes, und dies wegen den folgenden Gründen:

- Heute sind die Druckflaschen schwer.
- Diese Druckflaschen sollte man einfach kaufen können. Ein gutes Distributionsnetzwerk sollte vorhanden sein.
- Wenn die Druckflaschen leer sind, müssen sie ans Einkaufsort zurück gebracht werden, geprüft werden, bevor sie wieder nachgefüllt werden können. Die Anforderungen sind zu gross. Herr Odoni stellt sich auf diesem

Bereich etwas wie ein Akku vor. Der Akku wird gebraucht und geht in die Entsorgung. Ein neuer Akku wird einfach gekauft.

- Die Sicherheit ist ein ganz wichtiges Thema. Auf einer Baustelle sind die Werkzeuge schlecht behandelt, sie werden z.B. öfters vom ersten Stock auf den Boden geworfen. Damit muss bei der Brennstoffzelle auch gerechnet werden. Deswegen ist eine Druckflasche mit Wasserstoff schlecht geeignet. Herr Odoni stellt sich besser einen Brennstoff vor, der bei Raumtemperatur flüssig wäre. Deswegen denkt er, dass die DMFC für die Hilti AG vielleicht besser geeignet wäre.

An Stelle von Generatoren wäre die Brennstoffzelle sicher interessant, da sie wenig Lärm macht und lokal emissionsfrei ist. Herr Odoni konnte noch letzte Woche feststellen, wie ein Generator in einem Innenraum unangenehm ist: reden war fast nicht mehr möglich und der Geschmack der Emissionen war unangenehm. Er kann sich gut vorstellen, dass auf diesem Gebiet eine Firma ein Produkt auf den Markt bringen wird und auf diese Weise eine Nachfrage kreieren. Wird die Firma Hilti AG diesen Schritt wagen? Die Möglichkeit besteht, aber die Firma Hilti AG würde zuerst eine sorgfältige Marktstudie, Kundenbefragung, sowie eine Kostenanalyse durchführen, bevor Sie einen Entscheid treffen würde. Herr Odoni stellt sich vor, dass eine Start-up diesen ersten Schritt machen wird.

Die Ökologie kann, gegen die Generatoren, sicher für die Brennstoffzelle ein gutes Verkaufsargument sein. Solange aber kein Gesetz, eine saubere Entsorgung der Akku verlangt, wird die Ökologie kein gutes Verkaufsargument gegen die Akku sein. Auf diesem Gebiet sollte die Brennstoffzelle andere Vorteile aufzeigen, die als Verkaufsargument benützt werden könnten. Herr Odoni denkt z.B an ein besseres Gewicht/Leistungsverhältnis.

**Interview mit Frau Christiane Langenberger, Ständerätin,
27.11.2000**

Frau Langenberger sieht folgende Faktoren, die die Brennstoffzelle beeinflussen könnten:

- Politik. Man sollte abklären ob ein Interesse, politisch gesehen, für diese Technologie existiert oder nicht.
- Wirtschaft. Kann diese Technologie zum wirtschaftlichen Aufschwung beitragen? Kann diese Technologie Arbeitsplätze schaffen?
- Gesellschaft. Ist das Land für Umweltprobleme sensibel? Die Anstrengungen der Bevölkerung auf dem Gebiet der Umwelt sind schon gross, wenn man dies mit anderen Länder vergleicht, wie Frankreich zum Beispiel. Haben sie dort eine Sackgebühr? Sind sie so gut wie uns im Bereich des Recyclings? Die Schweiz ist ein kleines Land. Wenn grosse Umweltverschmutzer, wie die Vereinigten Staaten, keine Lust haben die CO₂-Emissionen zu verringern, wie lange wird ein kleines Land wie die Schweiz noch zusätzliche Gebühren akzeptieren, die unsere Wettbewerbsfähigkeit beeinträchtigen?
- Ökologie. Die Schweiz sollte eine führende Position in den Umwelttechnologien haben. Eine Wahl von Herr Bush in den Vereinigten Staaten könnte aber einen negativen Einfluss auf die umweltfreundliche Technologien haben. Und dies auch in der Schweiz.
- Gesetze. Der Staat kann die CO₂-Abgabe einführen im Fall die Schweiz nicht in der Lage ist, seine CO₂-Emissionen zu verringern. Es ist aber immer schwer etwas dem Konsument vorzuschreiben, wozu er nicht vorbereitet ist. Die Notwendigkeit besteht deswegen, der Konsument über Umweltprobleme zu informieren. Dies ist ein langer Prozess, der in mehreren Etappen durchgeführt werden muss. Dieser Prozess könnte schon in den Schulen beginnen. Nächsten März wird ein Bericht publiziert, wie man die jungen Leute schon in der Schule, über Umweltprobleme sensibilisieren kann. Die Nordischen Länder sind für solche Probleme sensibler. Frankreich hat in diesem Bereich Fortschritte gemacht. Weitere Klimakatastrophen könnten aber dazu beitragen, dass die Sensibilisierung schneller stattfindet.
- Medien. Die Medien spielen in der Information der Bevölkerung nur eine begrenzte Rolle, da sie die Information nur schematisch darstellen und die Majorität der Bevölkerung sie nicht liest.
- Sicherheit und Kosten. Die Technologische Fortschritte werden sicher diese Probleme lösen können.
- Förderungen. Subventionen können die Entwicklung der Brennstoffzelle unterstützen, aber der Erfolg dieser Technologie wird letztlich durch den Markt bestimmt.
- Liberalisierung der Elektrizitätsmärkte. Neue Lösungen, neue Technologien sowie die erneuerbaren Energien werden davon profitieren.

Frau Langenberger hatte Mühe meine Fragen zu beantworten, da die Brennstoffzelle eine Neuheit für Sie war. In den Kommissionen (Parlament), zu denen Frau Langenberger gehört, wird über klimatische Bedingungen sowie über den Klimawandel gesprochen. Es wird aber nie über umweltschonenden Technologien gesprochen. Frau Langenberger wird versuchen dieses Thema in den Vordergrund zu bringen, und warum nicht daraus später eine Technologie-Vision für die Schweiz zu entwickeln.

Interview mit Herrn Roland Pfeuti, Head Energy Investment Products, und Rolf Wüstenhagen, Energy Analyst, SAM Sustainability Group, 28.11.200

Herr Pfeuti und Herr Wüstenhagen sehen die folgenden Trends und Einflussfaktoren, die die Brennstoffzelle beeinflussen könnten:

- Globale Megatrends
 - ⇒ Abnahme der fossilen Brennstoffe. Die Ölreserven sind der „driver“ für die Energiewirtschaft. Die Ölreserven haben einen Einfluss auf den Ölpreis. Laut Cambridge Energy Research Associates (CERA) wird der Ölpreis während den 10 bis 20 nächsten Jahren zwischen 20-25 USD/Barrel liegen. Dieser Preis ist zu niedrig, damit die Brennstoffzelle, mittelfristig gesehen, mit dem Verbrennungsmotor oder Hybrid-Motor konkurrenzfähig wird.
 - ⇒ Klimaveränderung/Umweltbelastung. Die CO₂-Emissionen sind eine der grössten Sorgen. Obwohl in La Haye keine Lösung gefunden wurde, wie die Vereinbarungen von Kyoto umgesetzt werden sollten, wird die Klimaproblematik aktuell bleiben. Einige weitere Klimakatastrophen könnten dazu beitragen.
 - ⇒ Nachfrage in Entwicklungsländer. Rund 755 Mio. Haushalte sind ohne zuverlässige Stromversorgung, was eine der grössten Chancen für neue Energietechnologien darstellt.
- Einflussfaktoren
 - ⇒ Deregulierung/Liberalisierung. Die Deregulierung wird zu volatilen Elektrizitätspreisen führen. Diese Preisvolatilität wird die Wettbewerbschancen der Brennstoffzelle erhöhen.
 - ⇒ Umweltbewusstsein. Über 60% der Konsumenten in Deutschland und Schweden, und über die Hälfte in G.B. sind bereit, eine Prämie für grünen Strom zu bezahlen. In den nächsten Jahren wird eine zunehmende Nachfrage nach „sauberem“ Strom erfolgen.
 - ⇒ Nachfrage nach zuverlässiger Versorgung. Im IT-Bereich ist z.B. eine hohe Qualität des Stromes gefragt, da ein Stromausfall enorme Kosten verursacht. Hier kann die Brennstoffzelle eine bedeutende Rolle spielen.
 - ⇒ Technologiereife. Die Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit der Brennstoffzelle muss zum gewünschten Niveau gebracht werden, sonst wird sie nicht akzeptiert. Die Erwartungen bei Industrien sind hier höher.
 - ⇒ Technischer Fortschritt. Er führt zu abnehmenden Kosten für nachhaltige Energieproduktion, sowie für die Produktion von Brennstoffzellen.
 - ⇒ Kosten. Die Wirtschaftlichkeit der Technologie muss noch verbessert werden. Alles was teuer ist, braucht für den Endkunden ein Erklärungsbedarf. Deswegen wird eine gute Kommunikation und

Schulung von grosser Bedeutung sein. Ein anderer wichtiger Punkt wird sein: ist der Endkunde in der Lage, die kommunizierten Argumente wahrzunehmen. Bei der Erfüllung eines Kundenbedürfnisses ist die Kommunikation einfacher und der Endkunde schneller bereit einen höheren Preis zu bezahlen.

- ⇒ Miniaturisierung. Im mobilen Bereich sollte sie noch fortgeföhren werden, damit sie die gewünschte Akzeptanz findet.
- ⇒ Verschärfung der NO_x und CO₂ Regulierungen. Neue Gesetze sind positiv, sie „puschen“ die Wirtschaft an neue Grenzen.
- ⇒ Zunehmender Fokus auf Effizienz und Verwendungsmöglichkeiten verschiedener Brennstoffe.
- ⇒ Zunehmende Transparenz in den Gestehungskosten herkömmlicher Stromproduktionsarten.
- ⇒ Treibstoff. Welche Technologie/Treibstoff-Lösung wird sich durchsetzen? Diese Frage ist heute noch offen. Wasserstoff, der auf eine saubere Art produziert wird, ist noch lange nicht vorhanden. Wasserstoff, der aus Benzin produziert wird, braucht einen aufwendigen Reformier und ist wenig effizient. Wasserstoff, der aus Methanol produziert wird, braucht einen ausgereiften Reformier, aber hier besteht noch das Problem der Infrastruktur.
- ⇒ Infrastruktur. Wenn genügend Hersteller sich für eine Technologie/Treibstoff-Lösung entschieden haben, muss die benötigte Infrastruktur aufgebaut werden, damit die Technologie eine Akzeptanz im Markt findet.
- ⇒ Anbietermarkt. Eine kritische Masse von Anbieter einigt sich für eine Technologie/Treibstoff-Lösung, und versucht diese auf den Markt zu bringen.
- ⇒ Lobbys.
- ⇒ Endkunde. Im mobilen Bereich (Fahrzeuge) genügt das Verkaufsargument „braucht weniger Treibstoff“ nicht. Die Bedürfnisse von einer speziellen Kundschaft muss angesprochen werden. Z.B. Kunde, die an neuen Technologien Freude haben.
- ⇒ Ängste. Die Ängste, die Wasserstoff auslösen könnte, können durch eine gute Kommunikation reduziert werden.
- ⇒ Wettbewerb. Im mobilen Bereich wird die Konkurrenz gegen Ballard schwierig sein.

Sie betrachten den Durchbruch der Brennstoffzelle im mobilen Bereich (Fahrzeuge) pessimistisch, da die Wirtschaftlichkeit noch ungenügend ist und die heute genutzten Treibstoffe noch keine attraktive Lösung darstellen. Es kostet z.B. viel Energie, Methanol aus Erdgas herzustellen, und zudem ist dieser Prozess nicht umweltfreundlich. Bis Wasserstoff aus einem sauberen Prozess wirtschaftlich hergestellt werden kann, wird es noch lange dauern. Die Firma Ballard wird seine Ziele sicher nicht erreichen können. Im heutigen Umfeld ist der Hybrid-Motor die bessere Lösung.

Im stationären Bereich sieht aber die Situation viel besser aus. Die Liberalisierung der Märkte wird das Marktumfeld massiv ändern und diese Technologie fördern. Eine dezentrale Energieversorgung wird allen Beteiligten Kostenvorteile bringen. Die PEMFC wird aber in diesem Bereich sicher nicht der grosse Sieger sein.

Interview mit Prof. Wokaun, Professor an der ETH in Zürich, 29.11.2000

Prof. Wokaun sieht folgende Faktoren, die die Brennstoffzelle beeinflussen könnten:

- Die Kundenakzeptanz. Dafür ist es notwendig, dass die Brennstoffzelle folgende Charakteristiken aufweisen kann:
 - ⇒ Die Zuverlässigkeit.
 - ⇒ Die Service-Intervalle müssen genügend lang sein. Eine Lebenszeit der Membrane von 10'000 Stunden wurde bewiesen. Dies ist ein gutes Resultat, wenn man denkt, dass ein Auto ungefähr alle 3000 Stunden in den Service muss.
 - ⇒ Eine gute Autonomie, eine gute Reichweite muss erreicht werden.
- Die Infrastruktur ist ein wichtiger Punkt. Der Benutzer der Brennstoffzelle muss ohne Schwierigkeit Treibstoff bekommen.
- Der Preis. Die Kosten. Heute liegen die Kosten ungefähr bei 7000 USD/kW.

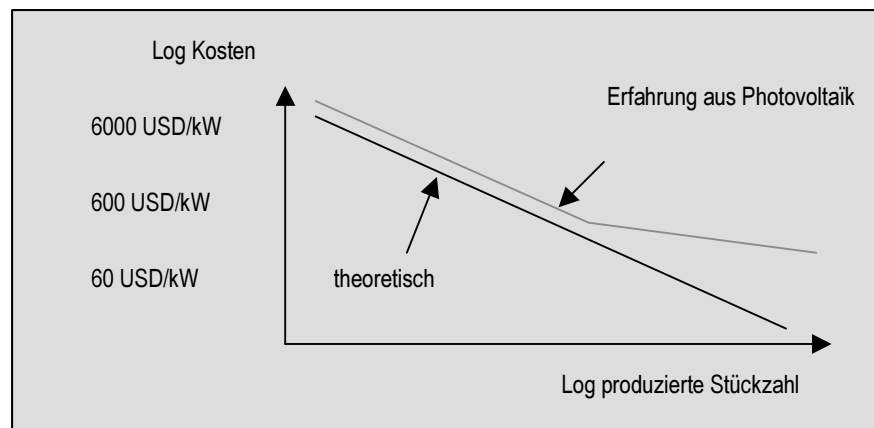


Abbildung 23: Die Kosten im Verhältnis der produzierten Stückzahl

Für den stationären Bereich sind die Ziele bei 600 USD/kW und für den mobilen Bereich sind die Ziele bei 60 USD/kW. Die Ziele des stationären Bereiches können wahrscheinlich erreicht werden. Für den mobilen Bereich ist es schwieriger zu sagen, ob die gesetzten Ziele erreicht werden können. Es ist schwierig zu beurteilen in welcher Proportion die Kosten mit der produzierten Stückzahl gesenkt werden können. Die Erfahrung aus der Photovoltaik zeigt, dass das Kostensenkungspotential, im Verhältnis zur Stückzahl, plötzlich abgenommen hat (siehe Abbildung 23).

- Politische Faktoren werden einen Einfluss haben, insbesondere die CO₂-Reduktionsziele. Der CO₂ ist ein Schadstoff, der am meisten Probleme verursacht. Die meisten Schadstoffemissionen (NO_x, usw.) können mit einem Katalysator verringert werden. Der Katalysator löst aber das Problem der CO₂-Emissionen nicht.

- Soziale Faktoren werden auch einen Einfluss haben. Hier werden die Werte der Gesellschaft und Trends eine grosse Rolle spielen:
 - ⇒ Unter Werte ist hauptsächlich das Konsumverhalten zu verstehen. Ist zum Beispiel eine Familie bereit, nur ein Auto zu besitzen anstatt drei. Sind die Leute bereit „Multimobile Konzepte“ zu benützen.
 - ⇒ Der andere soziale Faktor sind die Trends. Es wird sehr schwierig sein, die gleichen Leistungen wie ein Verbrennungsmotor zu erreichen. Deswegen braucht die Brennstoffzelle einen Trend oder eine spezifische Technologie Freude, damit sich diese Technologie auf dem Markt durchsetzen kann. Z.B. liegt es im Trend mit einem Brennstoffzellenauto zu fahren.
- Ökologische Faktoren spielen ebenso eine Rolle, insbesondere die Klimaprobleme und die Klimaveränderungen.
- Der Brennstoff. Aus dem Brennstoff sollte mit möglichst wenig CO₂-Emissionen, Wasserstoff erzeugt werden. Hier sind noch alle Lösungen möglich. Volkswagen will aus synthetischem Benzin Wasserstoff erzeugen. Hingegen will BMW direkt aus Benzin Wasserstoff erzeugen. Daimler-Chrysler verfolgt zur Zeit noch alle Optionen. Prof. Wokaun kann sich gut vorstellen, dass in einer Übergangsphase Wasserstoff aus Erdgas erzeugt wird. Die heutigen Pipeline könnten auf diese Weise benützt werden. Ein Reformier, direkt an der Pipeline angehängt, würde auf diese Weise der Wasserstoff produzieren.
- Die Speicherung. Es wurde bewiesen, dass Wasserstoff sicher unter einem Druck von 400 Bar gespeichert werden kann. Dies wurde mit einem Verbundmaterial erreicht. Dies sollte aber noch durch den Staat genehmigt werden. Heute existieren keine interessanten Alternativen zur Druckflasche. Nur ab einer Speicherkapazität von 15 Gewichtsprozent Wasserstoff, ist eine Alternative zur Druckflasche interessant. Bei Nanoröhren sind zur Zeit nur 2 Gewichtsprozent Wasserstoff erreicht worden.
- Ängste. Wasserstoff könnte wegen der Explosionsgefahr, gewisse Ängste auslösen. Dies ist aber nur eine Gewöhnungssache der Bevölkerung. Ein Tank mit 15 Liter Benzin ist ebenso gefährlich.
- Patente. Die Patente werden eine zunehmende Bedeutung haben. Heute besitzen das PSI nur zwischen 4 und 6 Patenten in diesem Bereich.
- Platin. Wenn man das Platin gut recyceln kann, ist dieser Werkstoff kein limitierender Faktor. Eine Anfangsinvestition ist notwendig. In der Folge wird der Werkstoff nach Recycling wieder verwendet.

Brainstorming am Paul Scherrer Institut (PSI), 05.12.2000

Die folgende Frage wurde gestellt: „Welche Faktoren beeinflussen die Brennstoffzelle?“.

Die folgenden Faktoren wurden nach dem Brainstorming gefunden:

Umwelt-Klima	Modularität der BZ-Technologie	Entwicklung der Börsen	Nachfrage
Politik-Gesetze	Medien	Entwicklung neuer Materialien	Kosten
Akzeptanz Wasserstoff	Akzeptanz	Auto kein Kultobjekt mehr	Ästhetisches Empfinden
Entwicklung Technologie	Verfügbarkeit Pt	Umwertbewusstsein der Gesellschaft	BZ als Schulstoff
Preisentwicklung fossile Energieträger	Weniger Auto	Reformer-Technologie	Naturgesetz
Preis Technologie BZ	Materialentwicklung	Lebensdauer der Zelle	Verkehrsdichte
Lebensdauer Technologie BZ	Mein Energiekonsum	Kosten-Nutzen Rechnung	Mensch
Unser PSI Beitrag!	Design der „neuen“ Autos	Das Sicherheitsbewusstsein der Konsumenten	Projektleiter-Verkäufer
Logistik Treibstoffe	Tempolimit	Kosten der Katalysatoren	Das Ende der Welt!
Gesellschaftliche Zwänge	Lärmbelastung	Medien	Neue Energieträger
Nischenanwendungen	Bevölkerungsentwicklung	Brennstoffverfügbarkeit	Wasserstoff-Infrastruktur
1L oder 3L-Auto	Recycling von Pt	Kosten der PEM	Wasserstoff-Speicher
Zuverlässigkeit	Lebensqualität	Solarenergie Gewinnung	Öffentliche Hand
Bedienungsfreundlichkeit	Idealismus	Treibhaus Effekt	Forschungsoffenheit
Automobilindustrie „not invented here“	Kosten für den Brennstoff (Wasserstoff, Methanol)	Ozon	Neue Transportmittel-entwicklungen
Edelmetalle-Wiederverwendung von Materialien	Ölpreis	Öllobby	Verkehrspolitik
Die Grösse der herstellbaren Menge an Öko-Brennstoffen (Wasserstoff)	Neue Materialien	Leistungslimit für Auto (Pw)	Der „Zustand“ der Luft
Gesetzgebung	Hochtemperatur Membran	Bestehende Technologien	Motivation-Projekte
Emissionsgrenzwerte	Die Anzahl der Konsumenten auf der Erde und deren Verbrauchsgewohnheiten	Bevölkerungsentwicklung	Die Psychologie der Konsumenten
Konsumverhalten	Neue Katalysatoren	Soziale Faktoren	Welcher Brennstoff?
Pt-Menge	Kyoto-Protokoll	Unsere Ansprüche	Life-cycle analysis
Fortschritt der Forschung	Finanz Unterstützung durch den Staat	Wirtschaftsentwicklung	Dritte Welt
Werbung	Kooperation Mineralölfirmer und BZ-Hersteller	Life Style	Unfallsicherheit
Anwendungsspektrum	Wasserstoff-Speicher-Technologie	Begeisterung	BZ ist Kult
Lebenszyklusanalyse der BZ	Grösse der Familie	Forschung und Forscher	

**Interview mit Herrn Daniel Brélaz, Stadtrat, Lausanne,
12.12.2000.**

Herr Brélaz sieht folgende Faktoren, die einen Einfluss haben könnten, damit die Brennstoffzelle, politisch eine Unterstützung bekommt:

- Ein gutes politisches „Lobbying“ muss durchgeführt werden.
- Eine finanzielle Unterstützung des Projektes durch die Industrie muss vorhanden sein.
- Das Projekt muss natürlich von Qualität sein.
- Das Timing ist auch einen wichtigen Punkt, um die gewünschte Unterstützung zu bekommen. Die Ängste, die vorhanden sind, können einen guten Indikator für das richtige Timing sein.
- Das Problem der CO₂-Emissionen. Zu diesem Problem wurden noch keine konkreten Massnahmen gefunden. Dies hat die Konferenz in La Haye kürzlich auch gezeigt. Das Problem auf der politischen Seite sieht wie folgt aus: für einen Politiker ist es einfacher, sich den neuen Technologien zu widmen, anstatt der Bevölkerung zu erklären, dass sein Konsumverhalten ungünstig ist. Bis 2010 sollten die CO₂-Emissionen, im Vergleich mit 1990, um 10 Prozent verringert werden. Ist ein politisches Ziel und niemand weiss, ob dieses Ziel technisch erreicht werden kann. Und ist eigentlich dieses Ziel von 10 Prozent genügend? Deswegen ist notwendig, dass neben den technologischen Fortschritten, auch eine neue Organisation der Gesellschaft stattfindet. Das ist immer schwierig zu erreichen. Dieser Punkt kann nur erreicht werden, wenn die Leute umweltbewusst sind und weniger Individualist.

In der Schweiz gibt es ein CO₂-Gesetz: wenn die Schweiz bis 2004 nicht beweisen kann, dass sie in der Lage ist bis 2010 die CO₂-Emissionen um 8 Prozent beim Benzinverbrauch und um 15 Prozent bei den anderen Brennstoffen zu verringern, kann das CO₂ zwischen 0 und 210 FRS/Tonne besteuert werden. Die Industrie wird von diesem Gesetz nicht direkt betroffen, wenn sie beweisen kann, dass sie im In- oder Ausland Geld investiert hat, um die CO₂-Emissionen zu verringern. Die Bevölkerung wird von diesem Gesetz hauptsächlich betroffen werden.

Bei der Brennstoffzelle sollten die folgenden Faktoren untersucht werden, damit sie eine Chance hat, die benötigten Unterstützungen zu bekommen:

- Die Brennstoffzelle sollte möglichst emissionsfrei sein. Deswegen wäre der beste Treibstoff Wasserstoff.
- Der ganze Kreislauf des Wasserstoffes sollte möglichst emissionsfrei und wirtschaftlich sein. Es sollte zuerst abgeklärt werden, ob die heutigen Technologien dies erlauben.
- Das Problem der Versorgung des Wasserstoffes sollte gelöst werden. Zuerst muss aber noch geklärt werden, aus welchem Brennstoff Wasserstoff erzeugt werden kann. Können die Leitungen, die heute Erdgas transportieren, morgen auch Wasserstoff transportieren? Oder sind für

Wasserstoff andere Normen notwendig? Kann Wasserstoff aus Erdgas wirtschaftlich und möglichst emissionsfrei produziert werden? Viele andere Lösungen sind noch möglich. Die Investitionen, die in den Aufbau der Infrastruktur notwendig wären, sollten einfach gerechtfertigt und getragen werden können.

- Die Brennstoffzelle sollte eine hohe Lebensdauer aufzeigen können.
- Die Entsorgung sollte problemlos erfolgen können.

Interview mit Herrn Thomas Bürki, Technologie-Spezialist der Energie-Agentur der Wirtschaft (EnAW), 21.12.2000.

Herr Bürki sieht folgende Faktoren, die die Brennstoffzelle beeinflussen könnten:

- Die Herstellkosten und der Preis der Brennstoffzelle.
- Die Zuverlässigkeit wird für die Kundenakzeptanz eine wichtige Rolle spielen.
- Ein gutes Marketing muss durchgeführt werden. Die Kundenakzeptanz kann z.B. verbessert werden, wenn die Brennstoffzelle als ein „Prestige“ Produkt präsentiert wird. Wenn ein Brennstoffzellenauto mehr Prestige hat als ein Auto mit Verbrennungsmotor, wäre der Kunde bereit, mehr für dieses Produkt zu bezahlen.
- Staatliche Unterstützung, wie steuerliche Anreize, Brennstoffsubventionen, oder Investitionssubventionen. In der Schweiz werden die Unterstützungen hauptsächlich in Form von F&E Investitionen oder Unterstützung von Pilot- und Demonstrationsanlagen sowie –projekte sein. Im Rahmen des Energiegesetzes kann der Bund zur Förderung der Energie- und Abwärmenutzung jährliche Globalbeiträge an die Kantone ausrichten. Diese Globalbeiträge können die jährlichen Kredit des Kantons für das Projekt nicht überschreiten. Die Kantone haben auf diese Weise die Möglichkeit, Schwerpunkte zu bilden. Ein Schwerpunkt könnte die Brennstoffzelle sein.
- Das CO₂-Gesetz. Der Einfluss dieses Gesetzes wird einen geringen Einfluss auf die Brennstoffzelle haben, da die Nachteile dieser Technologie nicht in den Kosten des Treibstoffes stehen, sondern in den Kosten der Technologie selbst. Zudem kann die Brennstoffzelle, hauptsächlich im mobilen Bereich, kein schneller Beitrag bei der Minderung der CO₂-Emissionen bringen. Man kann nicht ausschliessen, dass in Zukunft noch schärfere Vorschriften oder Gesetze abgestimmt werden, wie z.B. eine Vorschrift auf die Kilometerleistung.
- Der Bund entwickelt ein Label für CO₂-arme Produkte. Dieses Label könnte die Brennstoffzelle bei umweltbewussten Kunden attraktiver machen. Dieses Label könnte aber nur helfen, dass die Brennstoffzelle ein gutes Nischenprodukt wird. Damit die Brennstoffzelle ein Massenprodukt wird, müssen die Kosten unbedingt noch gesenkt werden.
- Ängste. Die Brennstoffzelle könnte gewisse Ängste erwecken. Sie sollten aber gering bleiben, da es eine kleine Technologie ist. Die grösseren Technologien, wie z.B. die Nuklearkraftwerke, wecken viel mehr Ängste in der Gesellschaft.
- Infrastruktur. Hier gibt es grundsätzlich 3 Möglichkeiten:
 - ⇒ Erdgas. Für diesen Brennstoff bestehen schon gute Infrastrukturen, die bei stationären Anwendungen der Brennstoffzelle eine gute Anwendung finden könnten.
 - ⇒ Methanol. Wenn man denkt, dass in Brasilien ein grosser Teil der Autos Ethanol (er wird aus Zuckerrohr produziert) als Treibstoff

benützen, kann man sich gut vorstellen, dass die Produktion von Methanol und die Herstellung einer Infrastruktur möglich ist.

- ⇒ Wasserstoff. Diese Lösung ist noch sehr weit entfernt, da das Speicherproblem noch nicht gelöst ist, und weil die Herstellung bei Massenproduktion noch unklar ist.
- Kommunikation. Laut Herr Bürki ist die Entwicklung im Bereich der Brennstoffzelle leider am verschlafen. Warum? Wenn man in so einem Zukunftsgebiet nichts hört, ist dies ein schlechtes Zeichen. Entweder heisst es, dass nichts passiert, nichts vorwärts geht, oder dass die Kommunikation sehr schlecht ist.

Auf dem Markt herrscht heute ein sogenanntes „chicken-or-egg“-Problem. Dieses Problem wird sehr wahrscheinlich von der Herstellerseite gelöst, da sie wegen den schon getätigten Investitionen im Bereich der Brennstoffzelle und dem Kaliforniengesetz unter Druck stehen.