

Wasserstoff

– Der neue Energieträger –

Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband e.V.

Post: Unter den Eichen 87, 12205 Berlin

Internet: <http://www.dwv-info.de>

E-Mail: h2@dwv-info.de

Telefon: (0700) 49376-835

Telefax: (0700) 49376-329

Inhalt

1	Motivation	3
2	Wie funktionieren Wasserstoffsysteme	9
3	Wasserstoff im internationalen Kontext	15
4	Notwendigkeit eines nachhaltigen Energiesystems mit Wasserstoff	19
5	Die nächsten Schritte	23

1 MOTIVATION

1.1 Wasserstoff

Wasserstoff speichert und transportiert Energie – universell, effizient und sauber.

In einer nachhaltigen Energieversorgung ermöglicht Wasserstoff die Speicherung und den Transport von erneuerbaren Energien und ist damit die optimale Ergänzung zum elektrischen Strom.

1.2 Wasserstoff – Schlüssel nachhaltiger Energieversorgung

Nachhaltigkeit ist auch in der Energieversorgung das langfristige Ziel weltweit, festgehalten in der Agenda 21. Nachhaltigkeit erhält die Lebensgrundlagen und schont die natürlichen Ressourcen.

Nur erneuerbare Energien erfüllen alle Kriterien einer nachhaltigen Energieversorgung. Ein universeller, effizienter und sauberer Speicher ist dabei der entscheidende Schlüssel in der Verbindung von der Energieerzeugung zum Verbrauch.

1.3 Wasserstoff speichert regenerative Überschüsse

Windkraft hat in kurzer Zeit einen beachtlichen Anteil an der Stromerzeugung in Deutschland erreicht. Schon heute übersteigt Windstrom an stürmischen Tagen regional die Nachfrage oder die Kapazitäten des Stromnetzes, nicht nur in Deutschland. Diese zunehmenden Produktionsspitzen kann Wasserstoff speichern und auch anderen Anwendungen zuführen.

1.4 Wasserstoff transportiert Energie

Große Offshore-Windparks werden in absehbarer Zeit Strom teilweise in großer Entfernung von der Küste erzeugen, Solarkraftwerke im Sonnengürtel der Erde werden voraussichtlich später Strom fernab der Verbraucher produzieren. Dieser Strom wird nur zum Teil über Hochspannungsleitungen in die Verbrauchszentren transportiert werden können. Wasserstoff bietet die Möglichkeit, große Energiemengen in Pipelines oder Tankschiffen über große Strecken mit geringen Verlusten zu transportieren. Aber auch dezentral erzeugter Wasserstoff, z.B. durch Vergasung von Biomasse, kann regional und lokal in Gasverteilnetzen zum Verbraucher gelangen.

1.5 Wasserstoff nutzt existierende Infrastruktur

Wasserstoff ist in vielen Eigenschaften dem Erdgas ähnlich. Das bedeutet auch, dass existierende Erdgasverteilnetze mit geringen Modifikationen zur Wasserstoffverteilung genutzt werden können. Das früher nicht nur in Deutschland verwendete Stadtgas bestand zur Hälfte aus Wasserstoff und wurde nach und nach durch Erdgas ersetzt – in den selben Leitungen!

Auch die großen, vorhandenen Langstrecken-Erdgaspipelines können je nach verwendeter Stahlsorte für Wasserstoff genutzt werden.

In verflüssigter Form wird Wasserstoff heute schon in Tanklastzügen auf der Straße transportiert und nutzt dabei die existierende Verkehrsinfrastruktur.

1.6 Wasserstoff speichert Energie im Fahrzeugtank

Autos, Busse, aber auch Flugzeuge und Schiffe speichern Energie im Tank in Form von Kraftstoff. Dies wird auch in Zukunft so sein. Wasserstoff bietet die Möglichkeit, regenerative Energien in den Tank zu bringen und fossile Kraftstoffe schrittweise vollständig abzulösen.

1.7 Wasserstoff ist universell in der Herstellung

Wasserstoff speichert Energie unabhängig von der Energiequelle. Ob Wasserstoff aus Erdgas, Windstrom oder Biomasse erzeugt wird, sieht man ihm ebenso wenig an, wie man Strom seine Erzeugung ansieht. Wasserstoff kann aus jeder Energie hergestellt werden und bietet damit eine praktisch unbegrenzte Vielfalt an Erzeugungsoptionen.

1.8 Wasserstoff ist ökonomisch robust

Die große Vielfalt an Erzeugungsoptionen ist Garant dafür, dass Wasserstoff deutlich stabiler in den Kosten sein wird, als das bei den klassischen Energieträgern Benzin, Diesel oder Erdgas der Fall ist, die jeweils fest an eine Primärenergiequelle mit den ihr eigenen Preisschwankungen gebunden sind. Wie beim Strom wird sich auch für Wasserstoff ein flexibler Erzeugungsmix entwickeln, der sich wechselnden wirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen dynamisch anpassen kann. Wird eine Erzeugungsoption zu teuer oder genügt den Umweltaforderungen nicht, gibt es viele Ersatzoptionen. Dies macht Wasserstoff den Energieträgern, die starr an eine Primärenergie gebunden sind, langfristig wirtschaftlich überlegen.

1.9 Wasserstoff ermöglicht den gleitenden Übergang zur Nachhaltigkeit

Kraftstoffe wie Benzin und Diesel sind an das fossile Erdöl gebunden. Im Gegensatz dazu kann Wasserstoff sowohl aus fossilen als auch aus erneuerbaren Energien erzeugt werden. Ist Wasserstoff einmal als Fahrzeugkraftstoff etabliert und überall verfügbar, kann der Anteil an erneuerbaren Energien zu seiner Erzeugung kontinuierlich bis auf 100% gesteigert werden. Dadurch ist im Verkehr bei Einführung eines einzigen, universellen Kraftstoffs von der heutigen, zu 100% fossilen Energieversorgung ein gleitender Übergang zu einer vollständig erneuerbaren Versorgung möglich.

1.10 Wasserstoff ist universell in der Anwendung

Wasserstoff kann sowohl als Kraftstoff in Transportanwendungen – Auto, Bus, Flugzeug, Schiff – als auch stationär zur Strom- und Wärmeerzeugung oder als Stromspeicher für portable Anwendungen – Laptop, Campingbedarf, Bohrschrauber etc.– eingesetzt werden. Schlüsseltechnologien sind Brennstoffzellen, Verbrennungsmotoren, Gasturbinen und katalytische Brenner. Diese Universalität in der Anwendung zusammen mit der Speicherfähigkeit macht den Wasserstoff zur optimalen Ergänzung zum Energieträger Strom.

1.11 Wasserstoff speichert Energie sauber und klimafreundlich

Die Nutzung von Wasserstoff in Brennstoffzellen ist vollständig emissionsfrei, Verbrennungsmotoren und katalytische Brenner emittieren nur geringste Mengen an Stickoxiden. Wasserstoff kann so die Luftqualität entscheidend verbessern helfen, nicht nur in Europa. Auch das Klimagas Kohlendioxid wird beim Verbrauch von Wasserstoff nicht freigesetzt. Lediglich Wasserdampf wird emittiert, insgesamt jedoch sogar in etwas geringeren Mengen als in der heutigen fossilen Energiewirtschaft.

Auch die Erzeugungstechnologien für Wasserstoff – Elektrolyse, Dampfreformierung, Vergasung – haben extrem niedrige Schadstoffemissionen. Entscheidend für die Gesamtbilanz sind damit die Schadstoff- und Klimagasemissionen der Energiebereitstellung zur Wasserstofferzeugung. Wasserstoff aus Kohlestrom ist daher mit hohen Kohlendioxidemissionen belastet, während Wasserstoff aus Windenergie emissionsfrei ist.

1.12 Wasserstoff speichert Energie effizient

Herstellung, Transport und Nutzung von Wasserstoff weisen für viele Anwendungen hohe Effizienzen auf, insbesondere dort, wo Strom nicht direkt einsetzbar ist. Wichtig

ist dabei die Betrachtung der gesamten Energiekette bis zur Nutzung, da die isolierte Betrachtung einzelner Prozessschritte zu irreführenden Schlüssen verleitet.

1.13 Wasserstoff steigert die Versorgungssicherheit

Die fossilen Energiequellen Kohle, Erdöl und Erdgas sind nur begrenzt vorhanden, gleiches gilt für Uran, das in Atomkraftwerken eingesetzt wird. Jedes Stück Kohle und jeder Tropfen Öl kann nur einmal verbrannt werden, und jede Nutzung fossiler Energien bringt uns deren Ende ein Stück näher. Erneuerbare Energien stehen demgegenüber zeitlich unbegrenzt zur Verfügung.

Diese prinzipielle Endlichkeit der fossilen Energien beginnt sich schon jetzt durch die Verknappung von Erdöl und Erdgas auf dem Weltmarkt bemerkbar zu machen – in Form von Preissprüngen, die dem Gesetz von Angebot und Nachfrage gehorchen. Der prognostizierten Steigerung der Energienachfrage steht das Maximum der weltweiten Erdölförderung gegenüber.

Wasserstoff mit seiner Vielfalt an Erzeugungsmöglichkeiten, insbesondere auch aus erneuerbaren Energien, macht von Energielieferungen aus wenigen, geopolitischen Krisenregionen unabhängig und ermöglicht die stärkere Nutzung einheimischer Energiequellen.

1.14 Wasserstoff transportiert Energie umweltfreundlich

Ob es nun Tankerunglücke sind oder lecke Pipelines – Öltransport ist für die größten Umweltkatastrophen der Menschheitsgeschichte verantwortlich. Leckagen aus Erdgaspipelines verstärken den Klimawandel, da Erdgas hauptsächlich aus dem hochgradig klimarelevanten Methan besteht.

Wasserstoff transportiert Energie umweltfreundlich und ökologisch risikoarm. In der Praxis unvermeidlich auftretende Wasserstoffverluste haben keinerlei negative Umweltauswirkungen.

1.15 Wasserstoff erfüllt alle gesellschaftlichen Ziele

Sicherheit, Wirtschaftlichkeit und Umweltfreundlichkeit sind laut Energiewirtschaftsgesetz die drei primären, gleichrangigen Ziele der Strom- und Gasversorgung in Deutschland im Interesse der Allgemeinheit. Die gleichen politischen Ziele gelten für die anderen Bereiche der Energieversorgung, insbesondere für den Verkehr.

In Verbindung mit erneuerbaren Energien ermöglicht Wasserstoff das gleichzeitige Erreichen aller drei Ziele und löst damit den Zielkonflikt zwischen Versorgungssi-

cherheit, Umweltverträglichkeit und volkswirtschaftlicher Optimierung in der bisherigen Energieversorgung.

1.16 Wasserstoff schafft Arbeitsplätze

Durch die verstärkte Nutzung einheimischer, regenerativer Energiequellen zur Wasserstofferzeugung werden zusätzliche Teile der Wertschöpfungskette nach Deutschland verlagert und schaffen hier Arbeitsplätze.

Weltweit werden große Anstrengungen unternommen, um Wasserstoff und Brennstoffzellen in den Markt einzuführen. Deutschland hat eine gute technologische Ausgangsposition in diesem Rennen. Aber die Konkurrenz aus Japan und Nordamerika ist stark. Sobald Wasserstoff und Brennstoffzellen konventionelle Technologien verdrängen, werden dort Arbeitsplätze erhalten und neu geschaffen, wo die neuen Produkte hergestellt und die neuen Dienstleistungen angeboten werden.

1.17 Wasserstoff ist innovativ

Die mit Wasserstoff verbundenen Technologien erschließen der Industrie neue Geschäftsbereiche und Produkte. Schlüsseltechnologie zur effizienten Umwandlung von Wasserstoff in Strom und Wärme ist die Brennstoffzelle. In Brennstoffzellenautos treibt der Strom über einen Elektromotor das Fahrzeug an. Brennstoffzellenantriebe sind modular und flexibel und erlauben damit völlig neue Fahrzeugkonzepte. Sie sind effizient, emissionsfrei, haben eine höhere Fahrdynamik, sind „rollende Steckdosen“ für beliebige Stromverbraucher und erlauben durch den reinen Elektroantrieb innovative „x-by-wire“-Technologien für Lenkung und Fahrzeugsicherheitsunterstützung. Bei portablen Elektrogeräten wie Laptops ermöglichen Brennstoffzellen deutliche längere Einsatzzeiten. In der Kraft-Wärme-Kopplung erlauben Brennstoffzellen neue Versorgungskonzepte durch die Verknüpfung von Brennstoffzellen-BKHWs in Ein- und Mehrfamilienhäusern zu „virtuellen Kraftwerken“.

Die Industrie hat dies an vielen Stellen erkannt und investiert massiv in die Entwicklung dieser Technologien. Vorreiter sind die großen, internationalen Automobilhersteller, die maßgeblich die Brennstoffzellenentwicklung vorantreiben und die Markteinführung von Brennstoffzellenfahrzeugen vorbereiten.

Höherer Kundennutzen, Umweltfreundlichkeit, Wettbewerbsvorteile gegenüber der konventionell angetriebenen Konkurrenz sowie die Begrenztheit der Erdölressourcen sind die wesentlichen Treiber in diesem Innovationswettbewerb, der in einem hart umkämpften Markt langfristig das Überleben sichert.

2 WIE FUNKTIONIEREN WASSERSTOFFSYSTEME

2.1 Was ist Wasserstoff?

Wasserstoff (chemisch H_2) ist farb- und geruchlos und vollkommen ungiftig. Wasserstoff verbrennt mit unsichtbarer Flamme und strahlt dabei wenig Wärme ab. Bei der Verbrennung von Wasserstoff entstehen nur Wasserdampf und in geringen Mengen Stickoxide. Durch eine geeignete Prozessführung lässt sich die Entstehung von Stickoxiden besser kontrollieren als bei der Verbrennung fossiler Energieträger. Bei der Verwendung von Wasserstoff in Brennstoffzellen entstehen keine umweltrelevanten Abgase, nur reines Wasser.

Wasserstoff wiegt gasförmig 0,09 g pro Liter und ist damit 14 mal leichter als Luft. Wasserstoff wird ab $-253^\circ C$ flüssig und wiegt dann 71 g/Liter. Wasserstoff hat die höchste massenbezogene Energiedichte aller Energieträger: 1 kg Wasserstoff enthält so viel Energie wie 2,1 kg Erdgas oder 2,8 kg Benzin. Volumenbezogen dagegen beträgt die Energiedichte von flüssigem Wasserstoff nur ein Viertel derjenigen von Benzin und ein Drittel derjenigen von Erdgas. Druckwasserstoff bei 70 MPa (700 bar) erreicht bis zu 75% der Energiedichte von Flüssigwasserstoff.

Gewichtsbezogen wird die Verwendung des Energieträgers Wasserstoff – etwa im Kraftfahrzeug – gegenüber Benzin eher vorteilhafter. Volumenbezogen ist aber gegenüber fossilen Kraftstoffen der Energieinhalt geringer. Der Wirkungsgrad bei der Nutzung des Energieträgers gewinnt daher stark an Bedeutung. Erreicht man im Kraftfahrzeug durch die Verwendung von Brennstoffzellen oder durch einen sehr effizienten Verbrennungsmotor eine Verdoppelung der Effizienz, dann braucht für die gleiche Reichweite auch nur halb so viel Kraftstoff mitgeführt zu werden.

2.2 Wie wird Wasserstoff hergestellt?

Wasserstoff ist kein Primärenergieträger wie Kohle, Erdöl oder Erdgas, die alle einem begrenzten Reservoir entnommen werden und dadurch eines Tages nicht mehr zur Verfügung stehen werden. Wasserstoff als Energieträger ist eher vergleichbar mit elektrischem Strom, der aus vielen unterschiedlichen Quellen erzeugt werden kann. Dies können erneuerbare Quellen oder fossile Energieträger unter Ausstoß von Kohlendioxid sein. Im Gegensatz zu elektrischem Strom ist Wasserstoff allerdings sehr gut speicherbar und lässt sich problemlos auch über längere Zeiträume „lagern“ und transportieren. Dadurch lässt sich die Erzeugung von der Verwendung von Energie entkoppeln und zwar zeitlich wie räumlich.

Derzeit sind drei wesentliche Erzeugungspfade für den Wasserstoff von Interesse. Zum einen die Elektrolyse, betrieben mit elektrischem Strom, als zweites die Reformierung wasserstoffhaltiger Gase wie Erdgas oder Biogas sowie die Vergasung von Biomasse. Für die Hauptpfade gibt es jeweils viele Unterpfade, denn elektrischer Strom kann aus vielen Quellen stammen, wasserstoffhaltige Gase lassen sich z.B. auch aus Kohle, Erdöl oder Methanol herstellen, Biomassevergasung kann sich verschiedener Biomassearten bedienen. Zukünftig wird es vielleicht noch weitere Pfade geben, etwa die Wasserstoffproduktion durch Algen oder Hochtemperaturprozesse z.B. in solarthermischen Kraftwerken.

Generell gilt: Wasserstoff ist immer so sauber oder nachhaltig wie der Energieträger, aus dem er hergestellt wird. Kriterium für die Bewertung ist neben den Kosten der Ausstoß von Treibhausgasen, also die Freisetzung von Kohlendioxid und anderen klimarelevanten Gasen.

Zur Bewertung der Umweltvorteile eines Energieträgers muss seine gesamte Nutzungskette betrachtet werden, von der Quelle bis zur Anwendung. Ein Beispiel soll dies verdeutlichen. Um ein Fahrzeug mit dem Energieträger Erdgas anzutreiben, sind zwei Wege möglich: Die Verwendung eines Ottomotors, der statt für Benzin für die Verbrennung von Erdgas optimiert ist, oder die Reformierung des Erdgases zu Wasserstoff und die anschließende Verwendung einer Brennstoffzelle als Fahrzeugantrieb. Beide Wege verursachen Emissionen in Form von Kohlendioxid. Aber obwohl die Reformierung von Erdgas zu Wasserstoff mit Verlusten behaftet ist, sind die Gesamtemissionen an Kohlendioxid im Betrieb mit der Brennstoffzelle geringer, als wenn das Erdgas direkt im Motor verbrannt wird. Hier wirken sich die Effizienzvorteile der Brennstoffzelle positiv auf die Gesamtbilanz aus.

2.3 Welche Potenziale gibt es für die Herstellung von Wasserstoff?

Auch wenn in der Anfangsphase nennenswerte Teile des benötigten Wasserstoffs aus Erdgas stammen werden, sollte es das Ziel sein, die Produktion aus erneuerbaren Energiequellen möglichst schnell auszubauen. Schrittweise können dann fossile Energien durch erneuerbare Energieträger ersetzt werden. Im europäischen Kontext stehen eine ganze Reihe von Potenzialen zur Verfügung:¹

- Nebenprodukt-Wasserstoff: Er fällt in der chemischen Industrie als Koppelprodukt an und wird derzeit hauptsächlich thermisch verwertet. Bis zu

¹ Die Berechnungen basieren auf einem Standard-Pkw mit einem Verbrauch von 1kg Wasserstoff (33,33 kWh) pro 100 km (entsprechend 3,3 l Dieseläquivalent auf 100 km) bei einer Fahrleistung von 15.000 km pro Jahr.

5 Millionen Brennstoffzellen-Fahrzeuge ließen sich in Europa alleine durch diesen Wasserstoff betreiben [HyNet 2004]. Bei der Verwendung dieses Wasserstoffs als Fahrzeugkraftstoff müsste seine bisherige thermische Nutzung durch Erdgas substituiert werden, was zu einer insgesamt geringeren Kohlendioxidbelastung führen würde, als wenn der Wasserstoff aus Erdgas reformiert werden müsste.

- Bis 2010 sollen in Europa 150 GW Windenergie installiert sein. Damit lassen sich 300 TWh Strom pro Jahr produzieren. Das gesamte Windenergiepotenzial für Europa liegt zwischen 3.000 und 4.000 TWh pro Jahr (onshore und offshore). Der Jahresstromverbrauch der EU lag 1998 bei 2.500 TWh. Pro 1000 TWh lassen sich bis zu 120 Millionen Brennstoffzellen-Pkw betreiben.
- Besonders in Südeuropa ist der Betrieb von großen solarthermischen Kraftwerken möglich. In einem Gürtel von Portugal über Spanien, Italien, Griechenland bis in die Türkei liegt das Gesamtpotenzial bei mindestens 4640 TWh pro Jahr, ohne die Türkei bei 1400 TWh/a. Noch nicht berücksichtigt sind die großen Potenziale Nordafrikas. Von Marokko bis Ägypten ließe sich ein Vielfaches dessen installieren, was in Europa möglich ist.
- Das verfügbare Potenzial an Biomasse in Europa (ohne ehemalige Sowjetunion) beträgt 1500 TWh/a. Da etwa 30% davon heute schon im stationären Bereich genutzt werden und diese Nutzung weiter steigen wird, steht höchstens die Hälfte davon für den Verkehr zur Verfügung. Da für die Umwandlung von Biomasse ein anderer Wirkungsgrad gilt, lassen sich mit 750 TWh Biomasse bis zu 150 Millionen PKW betreiben.
- Hinzu kommen weitere Energieformen wie Geothermie oder Wellenkraftwerke. Außerdem wird der lokale Einsatz von Photovoltaik (auf Hausdächern) weiter zunehmen. In Gegenden, in denen sich solarthermische Kraftwerke nicht sinnvoll betreiben lassen, können größere photovoltaische Kraftwerke einen Beitrag leisten.

Wie man sieht ist das Potenzial erneuerbarer Energieträger bei weitem ausreichend für die Verwendung im stationären und im mobilen Bereich. Durch die sinnvolle Verknüpfung aller Energieträger ließe sich selbst bei bevorzugter Verwendung im stationären Bereich ein Großteil des Verkehrs durch Wasserstoff aus erneuerbaren Energien versorgen.

2.4 Wie kommt Wasserstoff zum Verbraucher?

Wasserstoff ist bei Normalbedingungen ein Gas und die notwendige Infrastruktur, um dieses Gas an den Verbrauchsort zu bringen, ähnelt der von Erdgas. Für den Transport können Pipelinenetze oder Lkw-Trailer verwendet werden. Für die stationäre Verwendung, etwa in Brennstoffzellen zur Hausenergieversorgung, wäre ein Verteilungssystem analog zum heutigen Erdgasnetz sinnvoll und technisch problemlos realisierbar. Für die Anwendung als Fahrzeugkraftstoff muss der Wasserstoff verdichtet, verflüssigt oder an Trägersubstanzen angelagert werden. Die Verflüssigung von Wasserstoff erfolgt bevorzugt in größeren Anlagen, die Versorgung von Tankstellen erfolgt – wie heute auch – per Tankwagen. Druckwasserstoff kann auch in kleinen Kompressoren direkt an der Tankstelle erzeugt werden. Hierfür kann entweder eine Pipeline direkt den Wasserstoff liefern oder ein kleiner Reformer aus einer vorhandenen Erdgasleitung Wasserstoff generieren. Alternativ kann ein Elektrolyseur an der Tankstelle den Wasserstoff erzeugen. Realisierbar sind auch kleinste Erzeugungseinheiten, die direkt beim Nutzer installiert werden, sogenannte „Home-Refueler“. Diese können ebenfalls durch Reformer oder Elektrolyseure gespeist werden.

2.5 Wie ändert sich der Alltag durch die Einführung von Wasserstoff?

Wasserstoff und Brennstoffzellen werden in vielen Bereichen des täglichen Lebens zu einer Verbesserung der Lebensqualität führen. Am deutlichsten sichtbar werden zunächst kleinste portable Brennstoffzellen für Anwendungen wie Mobiltelefone oder tragbare Computer. Betrieben mit Wasserstoff oder Methanol erlauben sie gegenüber heutigen Akkus etwa die dreifache Betriebsdauer und sind nach wenigen Sekunden wieder „aufgeladen“.

Weniger offensichtlich aber nicht weniger revolutionär wird die Veränderung sein, die sich in unseren Kellern vollzieht. Die heutigen Heizungsanlagen werden durch Brennstoffzellen ersetzt und liefern neben der benötigten Wärme zusätzlich noch elektrischen Strom. In der Anfangszeit werden diese mit Erdgas betrieben. Ein vorgeschalteter Reformer erzeugt den für die Brennstoffzelle notwendigen Wasserstoff direkt vor Ort. Mit wachsender Infrastruktur für den Leitungstransport von Wasserstoff kann immer mehr Erdgas substituiert werden. Viele Millionen solcher „Kleinkraftwerke“ können große Kraftwerke ersetzen und die Versorgungssicherheit erhöhen. Doch selbst für die Übergangsphase, also dem Betrieb der Brennstoffzelle mit Erdgas, stellt sich ein positiver Umwelteffekt ein: Durch die kombinierte Erzeugung von Strom und Wärme wird Energie gespart, und das reduziert den Ausstoß von Treibhausgasen.

Wesentliche Änderungen wird es auch im Bereich der Mobilität geben. Es gibt kaum ein Verkehrsmittel, bei dem Wasserstoff nicht eingesetzt werden kann. Sogar im Flugzeug und auf Schiffen kann Wasserstoff als Treibstoff dienen. Besonders relevant wird aber die Einführung von Wasserstoff als Kraftstoff im Automobilsektor sein. Zwei wesentliche Konzepte werden dort derzeit verfolgt: Die Verbrennung von Wasserstoff im konventionellen Ottomotor und der Antrieb von Fahrzeugen mittels Brennstoffzelle und Elektromotor. Beide Optionen haben zunächst einmal den Vorteil, lokal, also dort wo das Fahrzeug betrieben wird, (praktisch) keine schädlichen Emissionen zu erzeugen. Je nach dem wie sauber der Wasserstoff hergestellt wurde, kann auch der gesamte Betrieb eines Kraftfahrzeugs ohne schädliche Emissionen erfolgen. Wasserstoff hat also das Potenzial, erneuerbare Energien wie Wind- und Solarenergie oder Energie aus verschiedenen Biomassefraktionen in den Verkehrssektor einzuführen. Dadurch ließen sich sogar Flugzeuge mit Solarenergie betreiben.

Speziell die Einführung von Fahrzeugantrieben auf Brennstoffzellenbasis hat neben der hohen Effizienz noch zusätzliche Vorteile: Der Elektroantrieb ist sehr leise und praktisch frei von Vibrationen. Ein hohes Anfahrtdrehmoment sorgt für ein sehr angenehmes Fahrverhalten und ein exzellentes Beschleunigungsvermögen. Im Stand, etwa an einer Ampel, steht das Antriebssystem komplett. Durch den Elektroantrieb lassen sich leicht fortschrittliche Technologien wie eine Bremsenergierückgewinnung integrieren.

Speziell in den Innenstädten werden wasserstoffbetriebene Kraftfahrzeuge nicht nur zu einer Verbesserung der Luftqualität führen, auch die Lärmbelastung durch den Verkehr wird signifikant sinken. Die Lebensqualität in unseren Städten wird deutlich steigen.

2.6 Ist Wasserstoff sicher?

Wasserstoff ist "zündfreudig", das heißt er reagiert leicht mit Sauerstoff und verbrennt dabei zu Wasser. Dies ist genau die Eigenschaft, die seine Eignung als Energieträger und Kraftstoff ausmacht.

Das Gefahrenpotential von Wasserstoff ist nicht größer als das von Benzin, Diesel, Erdgas oder Uran. Seinen physikalischen und chemischen Eigenschaften nach gehen vom Wasserstoff keine außergewöhnlichen Gefahren aus. Daher gibt es für ihn in Deutschland keine anderen Sicherheitsvorschriften als für andere brennbare Gase.

Flüssige Energieträger führen bei Unfällen häufig zur Bildung von Brandteppichen am Unfallort, z.B. bei Autounfällen oder Flugzeugunglücken, wo ein Großteil der Op-

fer in den Flammen umkommt. Wasserstoff entweicht in solchen Fällen sehr schnell nach oben, wie das Unglück des Zeppelins "Hindenburg" 1937 gezeigt hat. Auf der anderen Seite besteht eine höhere Explosionsgefahr, wenn Wasserstoff in geschlossenen Räumen freigesetzt wird, etwa in Garagen oder Tunneln. Hier ist für eine erhöhte Belüftung und eventuell für zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen zu sorgen. Die chemische Industrie nutzt Wasserstoff in großen Mengen seit über hundert Jahren. Die sicherheitstechnischen Erfahrungen sind dort hervorragend.

3 WASSERSTOFF IM INTERNATIONALEN KONTEXT

Technologisch hat sich Deutschland seit etwa 1975 eine führende Position im Bereich der Technologien zur Erzeugung, Handhabung und energetischen Nutzung von Wasserstoff, insbesondere in mobilen Anwendungen, erarbeitet. Seit etwa Mitte der Neunzigerjahre blieb die Bundesförderung für Wasserstofftechnologien aus mit der Begründung, in Deutschland sei für Wasserstoff alles Wichtige untersucht worden und die Marktnähe fehle. Die Förderung durch die Bundesregierung konzentrierte sich ausschließlich auf die Brennstoffzellentechnologie. Ein Teil dieser ausbleibenden Wasserstoff-Förderung wurde durch Länderförderung ersetzt (Bayern, Baden-Württemberg, Hamburg, Hessen, Mecklenburg-Vorpommern und NRW). Die deutsche Industrie ist im internationalen Vergleich im Wasserstoff noch stark vertreten, orientiert sich jedoch zunehmend an international vorteilhaften Rahmenbedingungen und findet diese gegenwärtig vornehmlich außerhalb Europas.

Der fehlenden strategischen Ausrichtung der deutschen Bundesregierung steht eine sich zunehmend konstituierende strategische Ausrichtung in Deutschlands europäischen Nachbarländern, insbesondere Frankreich, Island, Italien und Norwegen, gegenüber. Island, reich an regenerativen Energiequellen, will bis 2030 frei von Erdölimporten werden, indem es den Straßenverkehr und die Fischereiflotte mit Wasserstoff versorgen wird.

Die USA, der weltweit größte Energieverbraucher, ließ im Januar 2003 aufhorchen, als in der Rede des US-Präsidenten zur Lage der Nation ein nationales Wasserstoffprogramm ausgerufen wurde, welches finanziert über verschiedene Teilprojekte mit insgesamt 1,7 Milliarden US-Dollar in den nächsten 5 Jahren ausgestattet sein soll. Hauptzielrichtung ist, unabhängig von Ölimporten aus potenziellen Krisenregionen zu werden. Die Euphorie, mit der diese Ankündigung im Lande aufgenommen wurde, erinnert Beobachter an die Zeiten des Apollo-Programms.

Seit diesem Zeitpunkt gewinnen auch bei der Europäischen Kommission (EC) das Bewusstsein für und die Förderung von Wasserstoff und Brennstoffzellen an Dynamik. Im Jahre 2003 hat die EC eine High Level Group gegründet, die 2004 die Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform initiierte und durch diese abgelöst wurde, welche die inhaltliche und strategische Ausrichtung der Förderung und Markteinführung von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien in Europa voranbringen soll. Die im 5. Forschungsrahmenprogramm noch sehr bescheidenen Fördermittel für H₂- & BZ-Technologien sollen im 6. Rahmenprogramm in etwa verdoppelt werden. Ferner ist für den Zeitraum 2004 – 2015 im Rahmen der Growth Initiative von Seiten der EU ein Förderbudget von 2,8 Mrd. Euro angedacht, welches komplementär durch

die Förderung der Mitgliedsstaaten und durch die Eigenmittel der Industrie auf ein Gesamtvolumen von fast 10 Mrd. Euro über 12 Jahre für H₂ & BZ-Technologie- und Flottenerprobung anwachsen soll. Ziel der Europäischen Union ist es ferner, bis 2020 20% ihres Energiebedarfs aus erneuerbaren Energiequellen zu decken und etwa 5% des Kraftstoffs für Fahrzeuge durch Wasserstoff zu ersetzen. Solche Ziele sind nur durch gemeinsame Anstrengungen von Politik und Industrie erreichbar, wobei die Politik für die Rahmenbedingungen verantwortlich ist.

Japan als so gut wie hundertprozentiger Energieimporteur hat in der letzten Dekade zielgerichtet Programme zur Entwicklung und Förderung von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien aufgelegt. Folgerichtig wurde es zum Land mit der führenden Position bei der Entwicklung hin zum Kraftstoff Wasserstoff. Inzwischen gibt es im Rahmen des nationalen „Millenium“-Programms und des Japan Hydrogen and Fuel Cell Demonstration Projects (JHFC) bereits 10 Wasserstoff-Tankstellen im Großraum Tokio-Yokohama-Kawasaki. Weitere Tankstellen in vergleichbarer Zahl werden in den kommenden Jahren in den Ballungsräumen von Osaka, Nagoya und Sapporo errichtet werden. Japan ist auf dem Weg zu 50.000 BZ-Fahrzeugen im Jahr 2010 und zu 5 Mio BZ-Fahrzeugen und 4.000 H₂-Tankstellen im Jahre 2020.

Neben Europa, Japan und den USA arbeiten auch Länder wie Kanada, Indien und China an Roadmaps für die Einführung von Wasserstoff. Diese beiden letztgenannten Nationen werden ohne Wasserstoff überhaupt keine einigermaßen umweltverträgliche und flächendeckende Mobilität sicherstellen können, da eine Verknappung und damit Verteuerung von Erdöl und Erdgas in den nächsten beiden Dekaden sowie die Verschärfung des Treibhauseffektes dieses nicht zulassen würden. China, Indien und Indonesien werden im Jahr 2030 insgesamt 3,3 Mrd. Einwohner haben. Selbst wenn dort nur jeder Dritte ein Auto fahren würden, wären in diesen drei Ländern deutlich mehr Pkw zugelassen als heute weltweit. Diese würden alleine knapp die Hälfte des heutigen Weltölverbrauchs von täglich 76 Mio Barrel benötigen!

International scheint der Wasserstoff als neuer Energieträger und als sauberer Fahrzeugkraftstoff nach drei Jahrzehnten des Außenseiterdaseins damit endgültig im Blickpunkt der großen Politik zu stehen: Japans Ministerpräsident Koizumi lässt sich in Wasserstoffautos zu seinen Terminen chauffieren, US-Energieminister Abraham hat im November 2003 in Washington die Welt zu einer Wasserstoff-Partnerschaft versammelt (International Partnership for the Hydrogen Economy – IPHE), und Romano Prodi, Präsident der Europäischen Kommission, will der Nachwelt in Erinnerung bleiben als der Präsident, der in Europa die Einführung von Wasserstoff herbeigeführt hat. Die Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform, die seit Anfang 2004 in Europa installiert ist sowie die IPHE könnten in Europa respektive global Wasserstoff und Brennstoffzellen nennenswert befördern und signifikant bei der Lösung weltweiter Probleme Hilfestellung geben (menschengemachte Treibhausgasemissio-

nen, Endlichkeit fossiler Ressourcen, lokale Luftqualität und Emissionen, sowie Arbeitsmarkt).

Konsequenterweise benötigt Deutschland nun ebenfalls ein nationales Konzept und ein zum Handeln führendes Bekenntnis der Politik zum Wasserstoff, um die Macher und Investoren zu beflügeln und abzusichern. Deutschland sollte sich seiner Stärken besinnen und im europäischen und internationalen Wasserstoffkonzert wieder die ihm zukommende Rolle übernehmen und spielen.

4 NOTWENDIGKEIT EINES NACHHALTIGEN ENERGIESYSTEMS MIT WASSERSTOFF

Erfahrungsgemäß vollziehen sich Änderungen in der Energiewirtschaft langsam. Zeiträume von einigen Jahrzehnten waren nötig, um aus reiner Kohlenutzung einen Energiemix zu machen. Die Anteile von Wasserkraft, Erdöl, Kernspaltung und Erdgas wuchsen langsam. Auch Windkraft, Sonnenstrahlung und Biomasse steigern ihren Beitrag nur schrittweise, denn der Energiemarkt ist groß und bedeutend. Aber von allein vollzieht sich gar keine Entwicklung.

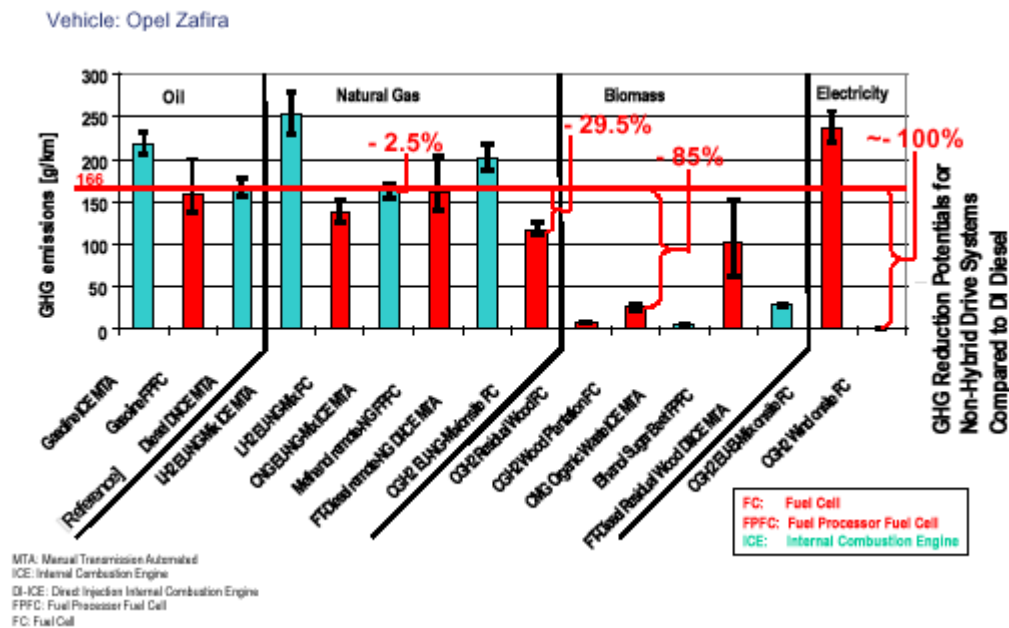
Wasserstoff ist ein integrativer Energieträger. Eine Vielzahl konventioneller und neuer Primärenergiequellen können zu seiner Herstellung verwendet werden. Insbesondere erlaubt der Sekundärenergieträger Wasserstoff einen gleitenden Übergang von der Nutzung fossiler Energiequellen zu einer zunehmenden Nutzung erneuerbarer Energiequellen. Die wertvollen Energieträger elektrischer Strom und Wasserstoff stellen Säulen für die Nachhaltigkeit in der Energiewirtschaft dar.

Die Umweltfreundlichkeit von Wasserstoff hängt maßgeblich vom Einsatz des zu seiner Herstellung verwendeten Primärenergieträgers ab. Wird Wasserstoff aus erneuerbaren Energiequellen erzeugt, ergeben sich sehr geringe Treibhausgasemissionen. Sie resultieren nur aus dem verbleibenden Einsatz konventioneller Kraftstoffe in der Erzeugungskette wie zum Beispiel dem Einsatz von Diesel für die Produktion von Holzhackschnitzeln oder für deren Transport zur Konversionsanlage. Darüber hinaus kommt es beim Anbau von Energiepflanzen aufgrund des dem Boden zugeführten Stickstoffs bei der Düngung zu Lachgas-Emissionen mit starkem Treibhauseffekt.

Wasserstoff in Brennstoffzellen genutzt ist hocheffizient und sauber. Generell können bei der Nutzung von Wasserstoff als Kraftstoff in Brennstoffzellen-Fahrzeugen lokale Schadstoffemissionen praktisch vollständig vermieden werden. Bei der Nutzung in Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor treten lediglich noch geringfügige Stickoxid-Emissionen auf.

Aber selbst die Gewinnung von Wasserstoff aus Erdgas und dessen anschließende Verwendung in einem von Brennstoffzellen angetriebenen Pkw ermöglicht bezüglich der damit verbundenen globalen CO₂-Emissionen eine Einsparung von fast 30% gegenüber einer direkten Nutzung von Erdgas als Kraftstoff wie Abbildung 4-1 zeigt.

Abbildung 4-1: Klimagasemissionen für verschiedene Kraftstoffketten und Antriebssysteme [European GM WtW Study, GM/LBST, September 2002]



Auch aus Kernenergie lässt sich nahezu CO₂-frei Wasserstoff durch Elektrolyse oder über die Spaltung von Wasser mittels Hochtemperatur-Reaktoren herstellen. Die Kernenergie ist wegen ihrer Risiken und wegen der Entsorgungsproblematik politisch umstritten. Daneben stellt sich auch bei der Kernspaltung das Problem der langfristigen Verfügbarkeit des Primärenergieträgers Uran. Die langfristige Verfügbarkeit von Kernbrennstoffen könnte nur durch die Brütertechnologie sichergestellt werden, die jedoch mit Ausnahme von Japan inzwischen weltweit aufgegeben wurde, da sich die Sicherheitsprobleme als technisch nicht beherrschbar herausgestellt haben. Die Debatte um die Einführung des Sekundärenergieträgers Wasserstoff ist von der Diskussion um die Atomenergie zu trennen. Niemand wird etwa auf den Gedanken kommen, Strom sei kein sinnvoller Sekundärenergieträger, bloß weil man Strom auch aus Atomenergie erzeugen kann.

Langfristig kann das Ziel nur sein, Wasserstoff zunehmend unter Einsatz erneuerbarer Ressourcen herzustellen und so eine nachhaltigere Energieversorgung zu realisieren. Durch Wasserstoff gelangt so auch regenerativ erzeugte Elektroenergie als alternativer Kraftstoff in das Verkehrswesen. Er wird zunehmende Unabhängigkeit von Importen bringen. Das wäre ein Stückchen globale Entspannung.

Mit regenerativer Energie und Wasserstoff kann man emissionsfreie, autarke Energieversorgungssysteme für örtlich begrenzte Nutzung einrichten. Ohne zusätzliche

Emissionen könnten sich auch diejenigen, die über keine fossilen bzw. nachwachsenden Ressourcen verfügen und keine Chance haben, in ein Energie verteilendes Netz einbezogen zu werden, mit Elektroenergie versorgen. Das wäre ein Schritt zur Energiegerechtigkeit auf dieser Welt.

Wasserstoff ermöglicht die dringend benötigte Öffnung des Verkehrssektors für erneuerbare Energien. Aufgrund der langen Zeiträume, die die Einführung eines neuen Energieträgers benötigt, wird Wasserstoff keinen Beitrag zum Erreichen der Kioto-Ziele bis 2012 leisten können. Erst in einer weiteren möglichen internationalen Vertragsphase, beispielsweise bis 2020, kann Wasserstoff im Verkehr erste Beiträge zum Klimaschutz leisten, wenn die heutigen Aktivitäten zu seiner Einführung intensiviert werden. Danach kann sich die volle Marktdynamik entfalten und zu einer schnell steigenden Marktdurchdringung von regenerativem Wasserstoff führen.

International bereiten sich die führenden Automobilfirmen auf die breite Markteinführung von Brennstoffzellenfahrzeugen ab 2010 vor. Bis dahin verbleiben noch sechs Jahre, die es zum Aufbau einer Infrastruktur für die flächendeckende Basisversorgung mit Wasserstoff zu nutzen gilt. Bis 2020 werden sich Brennstoffzellenfahrzeuge im Markt etablieren und den weiteren Ausbau der Infrastruktur ermöglichen.

Ausbauziele und die zu beobachtende Marktentwicklung erneuerbarer Energien lassen bis spätestens 2020 die volle Marktreife dieser Technologien erwarten. Gleichzeitig werden ab etwa 2010 deutliche Verknappungen von Erdöl und Erdgas auf den Weltmärkten erwartet, die zu weiter steigenden Preisen fossiler Kraftstoffe führen werden. Daher erwarten Energieexperten, dass die fallenden Kosten regenerativer Energien die steigenden Preise der Fossilen unterbieten werden. Dies wird, die Einführung von Wasserstoff vorausgesetzt, aus dem Verkehrssektor zu einer gewaltigen, zusätzlichen Nachfrage nach erneuerbaren Energien führen.

Neben dem Klimaschutz werden also sowohl die Technologieentwicklung der Brennstoffzellenantriebe im Fahrzeug als auch die der erneuerbaren Energietechnologien die Etablierung von Wasserstoff befördern. Dritter Treiber ist die absehbar rückläufige Verfügbarkeit insbesondere von Erdöl, von dem der Verkehrssektor zu nahezu 100% abhängig ist. Der entscheidende Zeithorizont, für den es sich technologisch und strukturell vorzubereiten gilt, ist somit aus drei grundlegenden Aspekten heraus das nächste Jahrzehnt.

Drei Sparten der Wirtschaft vor allem haben die Rolle des Energiewasserstoffs für ihre Zukunft begriffen und investieren: Automobilindustrie, Stromversorgungsunternehmen, Heizungsfirmen. Dazu kommen der 4C-Markt (Computer, Camcorder, Cordless Phones & Tools) und der Freizeitbereich (Camping und Boote) mit Klein- und Kleinstanwendungen.

In Hausheizungssysteme werden PEM- oder Festoxidbrennstoffzellen integriert. Diese decken die Grundlast ab, ein Brennwertkessel springt bei Spitzenlast an. Der erzeugte Strom wird ins Netz eingespeist. Künftig wird die Vielzahl solcher Anlagen

„virtuelle“ Kraftwerke darstellen. Pilotprojekte gibt es z.B. in Bielefeld, Brake, Düsseldorf, Gelsenkirchen, Groningen, Hamburg, Kassel, Machern bei Leipzig, Oldenburg, Remscheid und Ulm.

5 DIE NÄCHSTEN SCHRITTE

Wie kommen wir unter den vorab skizzierten Beweggründen und Einschätzungen von unserem heutigen Energie- und Verkehrssystem in ein Nachhaltigeres mit Wasserstoff und Brennstoffzellen?

1. Um die Ausrichtung des richtigen Weges zu bestimmen, muss umgehend durch die Wirtschaft in Abstimmung mit der Bundesregierung eine nationale Wasserstoffstrategie für Deutschland formuliert werden, welche integraler Bestandteil einer europäischen H₂&BZ-Strategie sein soll. Erste Schritte in diese Richtung unternimmt der vom BMWA berufene H₂-Strategiekreis.
2. Durch die Politik sind geeignete Rahmenbedingungen zu schaffen, die es Wasserstoff und Brennstoffzellen ermöglichen, sich in ersten Nischenmärkten zu etablieren und langfristig zum Erfolg zu führen. Hier ist auch eine Abstimmung der nationalen Förderinstrumente mit jenen der Europäischen Kommission im Rahmen der Technology Platform und der Growth Initiative erforderlich, um die europaweit zwischen 2004 und 2015 geplanten H₂ & BZ-Projekte mit einem jährlichen Budgetvolumen von rund einer $\frac{3}{4}$ Mrd € gemeinsam in einer 50/50 Private-Public-Partnership schultern zu können.
3. Schließlich sind zwischen den Branchen abgestimmte Aktivitäten der Industrie, des Handwerks und des Dienstleistungssektors im Rahmen der zu entwickelnden Strategie zu definieren, sowohl zur Teilnahme am sich entwickelnden internationalen und europäischen H₂&BZ-Markt als zur Implementierung dieser neuen Technologien im regionalen oder kommunalen Bereich.
4. Neben den technischen und ökonomischen Aspekten müssen unterstützende Tätigkeiten auch für organisatorische, bürokratische und gesellschaftliche Belange geleistet werden: für die Harmonisierung von Zulassungsvoraussetzungen und Normen, für die einheitliche Durchführung von Genehmigungsverfahren, für die Herbeiführung einer breiten gesellschaftlichen Akzeptanz. Dies kann im nennenswerten Umfang dadurch erfolgen, dass staatliche und private Organisationen gemeinsam erste größere Pilotprojekte betreiben und diese in dauerhafte Anwendungen überführen. Da Wasserstoff kurz- bis mittelfristig zuerst im Verkehrssektor kommen wird, würden sich Fahrzeugdemonstrationen im kommunalen Bereich anbieten und gleichzeitig bei der Verminderung der städtischen Partikelbelastung auf ein von der EU gefordertes Niveau behilflich sein können und sich vermutlich über diese EU-weite Rahmenbedingung leichter etablieren können.

