



Handout zum Vortrag von Dipl.-Ing. Reinhold Wurster, Project Manager Hydrogen,  
L-B-Systemtechnik GmbH, Ottobrunn

## Deutschland hat seinen Vorsprung verloren

Die Zahl der Wasserstoffprojekte wächst weltweit rasant

- **USA: 1,7 Milliarden Dollar Förderung vom Staat**
- **Japan: Großraum Tokio ist fast flächendeckend mit Wasserstoff-Tankstellen versorgt**
- **Speicher: Welche Speicherform sinnvoll ist, hängt auch von der Produktionsart ab**
- **Produktion: Heute aus Erdgas, morgen aus erneuerbaren Energien**
- **Klima und Emissionen: Kein Treibhauseffekt durch Wasserstoff**

*Als 1999 die öffentliche Wasserstoff-Tankstelle am Münchner Flughafen eröffnet wurde, war sie noch die erste ihrer Art. Das hat sich schnell geändert: Mehr als ein Dutzend öffentlicher und insgesamt rund 70 Wasserstoff-Tankstellen gibt es heute weltweit, und in den nächsten zwei Jahren wird sich diese Zahl mindestens verdoppeln. Während in Deutschland eher Stagnation herrscht, sorgen die USA und vor allem Japan mit ausgiebigen Förderprogrammen für einen wahren Wasserstoff-Boom – und liefern dabei zugleich den Beweis für die Alltagstauglichkeit der Technik. Unter Hochdruck wird an den verbliebenen technischen Problemen gearbeitet: Vor allem bei der Produktion und der Speicherung des Wasserstoffs sind noch Fragen offen.*

**Die Zahl der Projekte steigt rasant**

In zahlreichen Pilotprojekten wird der Energieträger Wasserstoff heute weltweit dem Alltagstest unterzogen. Blockheizkraftwerke, energieautarke Häuser, Brennstoffzellenbusse, Wasserstoffbetriebene PKWs, öffentliche Wasserstoff-Tankstellen – die Liste an Projekten ist lang, und sie zeigt: Die Wasserstofftechnik ist längst aus der reinen Erprobungsphase heraus. Die Frage ist



heute nicht mehr, ob diese Technik läuft – sie läuft. Die Frage ist, wie sie am besten eingesetzt werden kann. Und dafür liefern die verschiedenen Projekte wertvolle Erfahrungen.

### **Deutschland hat die Vorreiterrolle verloren**

Dank jahrzehntelanger Anstrengungen der Industrie gehörte Deutschland zu den Pionieren auf dem Gebiet der Wasserstoff-Technik im Verkehrsbereich. So fand zwischen 1984 und 1988 in Berlin der erste öffentliche Flottentest von Wasserstofffahrzeugen (10 Stück) der Firma Mercedes-Benz zusammen mit Aral statt. 1999 wurde dann die weltweit erste öffentliche Wasserstoff-tankstelle am Münchner Flughafen eröffnet – initiiert von der ARGEMUC, einer Arbeitsgemeinschaft von 15 verschiedenen Unternehmen. Seitdem gibt es dort Zapfanlagen für flüssigen wie für gasförmigen Wasserstoff, wobei letzterer vor Ort durch Elektrolyse aus Wasser hergestellt und unter Druck gesetzt wird. Flüssiger Wasserstoff wird dagegen angeliefert und flüssig gespeichert. Drei MAN-Niederflurbusse und diverse PKWs – vor allem Versuchsfahrzeuge von BMW – nutzen die Tankstelle. Alleine die Busse haben bis heute zusammen 300.000 Kilometer zurückgelegt – und das weitgehend problemlos.

Mit Projekten in Berlin, Hamburg und Nordrhein-Westfalen soll dieser Erfolg nun fortgeschrieben werden. Ein Beispiel ist die Clean Energy Partnership (CEP) in Berlin: Die an der CEP beteiligten Partner – Aral, BMW, BVG, DaimlerChrysler, Ford, GHW, Linde und Opel – haben sich 2002 verpflichtet, eine Wasserstoff-Tankstelle mit einer auf etwa 30 Fahrzeuge anwachsenden Fahrzeug-Testflotte zu betreiben. Die CEP wäre damit das größte Wasserstoff-Verkehrsprojekt Europas. Geplant wird seit dem Jahr 2000 – doch fest steht heute lediglich, dass frühestens 2004 die ersten CEP-Fahrzeuge durch Berlin rollen werden. Die CEP ist damit nicht nur beispielhaft für die einstige Pionierstellung Deutschlands, sondern auch dafür, dass der Vorsprung, den das Land einmal hatte, inzwischen aufgezehrt ist.

### **Massive Förderung in den USA**

Die Rolle des Technologieführers haben die USA übernommen. Dort gehen die Pläne schon weit über einzelne Pilotprojekte hinaus: Einige Regionen sollen in den kommenden Jahren mit einer dünnen, aber flächendeckenden Wasserstoff-Infrastruktur ausgestattet werden. In Kalifornien



ist dieses Vorhaben am weitesten fortgeschritten. Dort sollen im Ballungsraum Los Angeles und auf der Achse Sacramento – San Francisco schon in wenigen Jahren Wasserstoff-Fahrzeuge standortungebunden einsetzbar sein. Diese Achse soll sogar bis Denver, Colorado, ausgedehnt werden. Ähnliches ist in Kanada geplant.

In der Californian Fuel Cell Partnership (CaFCP) haben sich bis heute etwa 30 Partner zusammengefunden, die mit zwei öffentlichen Wasserstoff-Tankstellen in Sacramento und Richmond sowie einigen kleineren, nicht-öffentlichen Tankstellen mehr als zwei Dutzend Brennstoffzellenfahrzeuge auf Kaliforniens Straßen betreiben. Bis Ende 2003 soll diese Zahl auf bis zu 60 PKWs und Busse angewachsen sein. Spätestens 2005 wollen dann mehrere öffentliche Busbetreiber mindestens sieben Wasserstoff-Busse auf wichtigen Transitstrecken einsetzen.

Die CaFCP dient, wie alle derartigen Projekte, vor allem dazu, die Alltagstauglichkeit der Wasserstoff-Technologie zu testen, Gefahren- und Fehlerquellen aufzuzeigen, Standards zu entwickeln und Kooperationsmöglichkeiten auszuloten. Auch stehen die Partner, vor allem die Automobilunternehmen, unter Druck: Ein kalifornisches Gesetz schreibt vor, dass bis 2010 mindestens drei Prozent aller Fahrzeuge auf den Straßen des Landes „Zero-Emission-Fahrzeuge“ sein müssen – und völlig emissionsfrei fahren nur Elektro- und Wasserstoff-Fahrzeuge. Auch deswegen will der weltgrößte Automobilhersteller General Motors bis 2010 mit der Serienfertigung von Wasserstoff-PKWs begonnen haben. 50.000 bis 100.000 solcher Autos sollen dann bereits verkauft sein.

Um dieses Ziel zu erreichen, müssen natürlich auch die Autofahrer vom neuen Kraftstoff überzeugt sein. Ein bedeutender Nebeneffekt der Wasserstoff-Projekte ist daher die Werbung für den Energieträger Wasserstoff und die zugehörige Technologie: Nach einer Erhebung der CaFCP hatten beim Projektstart im Jahr 2000 nur 25 Prozent der Kalifornier von Brennstoffzellen gehört – heute sind es mehr als 80 Prozent. Wasserstoff-Projekte sind also auch eine wichtige Public-Relation-Maßnahme, damit die Technik möglichst schnell akzeptiert wird.

Das gilt nicht nur für die Bevölkerung. Auch die Politik spielt für den Durchbruch von Wasserstoff als Energieträger eine große Rolle – und deshalb wird Washington sicher nicht mehr lange auf eine eigene Wasserstoff-Infrastruktur warten müssen. Denn dort sitzt mit Präsident George Bush der wohl wichtigste Förderer der Technologie. Im Frühjahr diesen Jahres kündigte er an, 1,7 Milliarden US-Dollar in den nächsten fünf Jahren für seine „FreedomCAR and Fuel Initiative“ zur



Verfügung stellen zu wollen. Noch wichtiger als der finanzielle Rahmen der Förderung ist jedoch das politische Signal: Die Regierung der USA sieht in Wasserstoff den Energieträger der Zukunft.

### **Schon neun Tankstellen in Japan**

Ähnliche Signale kommen aus Japan. Dort durften bis zum Jahr 2000 auf öffentlichen Straßen überhaupt keine wasserstoffbetriebenen Fahrzeuge fahren. Dann wurde das entsprechende Gesetz geändert und die ersten Planungen für öffentliche Wasserstoff-Tankstellen im Großraum Tokio aufgenommen – zur gleichen Zeit als in Berlin die Vorbereitungen für die Clean Energy Partnership begannen. Heute sind die sechs geplanten Tankstellen eröffnet, der Großraum Tokio ist damit schon fast flächendeckend versorgt.

Im weltweiten Vergleich zeigt die Entwicklung der Wasserstoff-Technologie in Japan zurzeit die größte Dynamik. Mit dem WE-NET (World Energy Network) hatte Japan erst 1993 die Förderung der Wasserstoff-Technologie begonnen. Das Projekt wurde 2002 mit der Eröffnung dreier öffentlicher Wasserstofftankstellen in Osaka, Takamatsu und Tokai abgeschlossen. Allein im Jahr 2003 fördert die japanische Regierung die Entwicklung von Brennstoffzellen für Fahrzeuge mit umgerechnet knapp 150 Millionen Dollar – das ist noch vor den USA die weltweit größte Summe. Als Standortvorteil kommt hinzu, dass die japanische Bevölkerung neuen Technologien generell sehr aufgeschlossen gegenübersteht – selbst wenn diese technisch noch nicht völlig ausgereift sind. Auch achtet Japan, das seinen gesamten, hohen Erdgasbedarf importieren muss, traditionell stark auf Energieeffizienz.

Im Jahr 2004 werden vermutlich zwei weitere Wasserstoff-Tankstellen im Großraum Tokio eröffnet. Der japanische Industriegase-Hersteller Iwatani will noch im gleichen Jahr beginnen, landesweit 170 Tankstellen von 14 Fabriken aus mit Wasserstoff zu versorgen und dort Wasserstoff-Zapfsäulen einzurichten. Und die japanischen Automobilhersteller Toyota, Honda und Nissan treiben die Entwicklung von Wasserstoff-Fahrzeugen voran. Das japanische Wirtschaftsministerium erwartet, dass bis 2010 mindestens 50.000 Wasserstoff-Fahrzeuge auf Japans Straßen unterwegs sein werden, bis 2020 sollen bereits fünf Millionen dieser Fahrzeuge an etwa 4.000 Tankstellen betankt werden können.



## **Fruchtbare Zusammenarbeit in Europa**

In Europa sind es vor allem die vielen unterschiedlichen Gesetze und Regelwerke der einzelnen Staaten, die grenzüberschreitende Projekte schwierig machen. Doch in dieser Schwierigkeit steckt auch eine Chance: Europa ist das ideale Testfeld, um gemeinsame Standards zu entwickeln. Europäische Kooperationen können wichtige Erfahrungen liefern, um weltweite Sicherheitsstandards voranzubringen und die Alltagstauglichkeit der Wasserstoff-Technik zu demonstrieren. Ambitionierte europäische Kooperationen sind beispielsweise das European Integrated Hydrogen Project (EIHP), das sich der Harmonisierung der Regelwerke für den Einsatz von Wasserstoff im Straßenverkehr widmet, sowie die Projekte CUTE (Clean Urban Transportation for Europe), ECTOS (Ecological City Transport System) und CITYCELL.

CUTE, ECTOS und CITYCELL konzentrieren sich auf den öffentlichen Nahverkehr. In einer ersten Phase des Übergangs zu Wasserstoff als Treibstoff wird diesem Bereich sicherlich eine Schlüsselstellung zukommen. Die Projekte CUTE und ECTOS umfassen öffentliche Wasserstoff-Tankstellen in zehn europäischen Großstädten, in denen jeweils drei DaimlerChrysler-Citaro-Busse betrieben werden. Eröffnet sind bereits die Anlagen in Madrid, Barcelona und Hamburg; Reykjavik, Stockholm, Stuttgart, London, Amsterdam, Luxemburg und Porto werden in den nächsten Monaten folgen. Die Tankstelle in Madrid wird zusätzlich von einem Brennstoffzellenbus der Firma Irisbus im Rahmen des CityCell-Projektes angefahren. Insgesamt werden also ab Mitte 2004 im Rahmen des CUTE-Projekts über zwei Dutzend Busse im alltäglichen Dauerbetrieb im Einsatz sein – und das unter unterschiedlichsten Bedingungen: Bei nordischer Winterkälte ebenso wie bei spanischer Sommerhitze, im ebenen Hamburger Terrain ebenso wie auf den bergigen Stuttgarter Strecken.

Wenn sich der Energieträger Wasserstoff künftig im Verkehr durchsetzen soll, darf er nicht in eine Schönwetter-Technik eingebettet sein. Wasserstoff-Fahrzeuge müssen überall auf der Welt ebenso zuverlässig und bequem zu betreiben sein wie heutige Benzin- oder Dieselfahrzeuge. CUTE wird dabei den Einfluss des Standorts und seiner Bedingungen auf die Tauglichkeit der Technik aufzeigen: Welches Klima ist problematisch? Welche Regelwerke fördern, welche behindern, welche Sicherheitsvorschriften sind zu lasch? Wie nimmt die Bevölkerung die Technik auf? Und wie verhält sich die Politik? Wenn man außerdem bedenkt, dass an den verschiedenen



Standorten jeweils unterschiedliche Partner mit ihrer Technik vertreten sind, darf man wohl auf einen produktiven Wettbewerb der Standorte hoffen.

### **Noch sind nicht alle Probleme gelöst**

Auch wenn die bisherigen Erfahrungen aus den Pilotprojekten positiv sind: Bis Wasserstoff wirklich Benzin und Diesel aus den Autotanks verdrängt, sind auch auf technischer Seite noch einige Hürden zu nehmen. Zwei aktuelle Beispiele dafür sind im Folgenden beschrieben: Die Problematik der Produktion und die möglichen Auswirkungen einer Wasserstoff-Welt auf das Klima.

### **Wasserstoff aus regenerativen Energien ist (noch) Zukunftsmusik**

„Wasserstoff macht als Energieträger nur dann Sinn, wenn er mithilfe regenerativer Energien hergestellt wird“ – diese Ansicht ist ebenso weit verbreitet wie unsinnig. Überspitzt dargestellt, hätte man genauso gut mit dem Bau der Glühbirne warten können, bis das erste Elektrizitätskraftwerk steht. Noch unsinniger ist die Annahme, dass nicht genug Wasserstoff für den Straßenverkehr produziert werden kann. Richtig ist: Wasserstoff ist kurzfristig in großen Mengen verfügbar und ökologisch sinnvoll.

So fällt Wasserstoff bei vielen Prozessen der chemischen Industrie an. Allein in Deutschland gibt es rund 15 Produktionsstellen, an denen der überschüssige Wasserstoff heute schlicht verheizt wird und daher problemlos durch Erdgas ersetzt werden kann. Etwa eine Milliarde Kubikmeter Wasserstoff jährlich wären auf diesem Wege unmittelbar zum Preis von Erdgas erhältlich. Das reicht – je nach Verbrauch – für 350.000 bis 650.000 PKWs.

Eine andere billige Energiequelle ist die Überproduktion von Stromerzeugern, vor allem in Wasserkraftwerken. Die Nachfrage nach Energie schwankt täglich und saisonal stark; die Kraftwerke müssen jedoch auf den höchsten Bedarf ausgerichtet sein, damit das Netz nicht zusammenbricht. Wenn weniger Strom abgenommen wird als produziert werden kann, lässt man heute die Turbinen im Leerlauf laufen und leitet das Wasser ungenutzt ab. Diese Überkapazität könnte weltweit genutzt werden, um im großen Stil Wasserstoff aus regenerativen Energiequellen zu erzeugen – ohne dass dafür ein einziges neues Kraftwerk gebaut werden müsste. Pläne dafür



gibt es bereits seit längerer Zeit, zum Beispiel in der kanadischen Provinz Québec und in Brasilien.

Regenerative Energiequellen dagegen werden in Ländern wie Deutschland auf absehbare Zeit nur eine untergeordnete Rolle in der Wasserstoff-Produktion spielen. So lange der Strombedarf in einer Region zu jedem Zeitpunkt größer ist als das Angebot an regenerativ gewonnenem Strom, sollte dieser besser direkt für elektrische Anwendungen verwendet werden. Das gilt jedoch nicht für alle Gegenden: An der Nordseeküste beispielsweise wird die Windkraft schon bald wesentlich mehr Energie liefern als dort benötigt wird, wie die GEO-Studie „Wasserstoff-Erzeugung in Offshore Windparks“ schon 2001 herausgestrichen hat. Anstatt den Strom verlustreich über weite Strecken ins Netz einzuspeisen, könnte er sinnvoller für die Wasserstoff-Produktion eingesetzt werden.

Zunächst werden wir weiterhin in erheblichem Maße auf fossile Rohstoffe zurückgreifen müssen. Zwar bringt das im Vergleich zur direkten Verbrennung von Benzin oder Diesel Energieverluste mit sich – welche im Wasserstoffmotor größer, in der Brennstoffzelle aufgrund des höheren Wirkungsgrades kleiner ausfallen bzw. voll kompensiert werden –, doch bietet dieser Weg die Möglichkeit, anfallendes CO<sub>2</sub> kontrolliert am Ort der Produktion abzufangen und einzulagern. Zudem fallen bei der Verwendung von Wasserstoff in Brennstoffzellen keine Schadstoffe wie Schwefeldioxid, Stickoxide oder Rußpartikel an.

### **Treibhauseffekt durch Wasserstoff?**

Mögliche Gasverluste bei der Produktion, dem Umfüllen und der Speicherung von Wasserstoff werfen eine weitere Frage auf: Was macht der Wasserstoff mit und in unserer Umwelt? Die Umstellung auf den neuen Energieträger hat auf verschiedenen Ebenen erheblichen Einfluss auf Klima und Umwelt.

Die wichtigste Wirkung des Energieträgers Wasserstoff ist, dass er aus jeder beliebigen Primärenergiequelle hergestellt werden kann – also auch aus regenerativen Energien, die den CO<sub>2</sub>-Haushalt der Erde nicht belasten. Zwar wird noch lange Zeit ein erheblicher Teil des weltweiten Wasserstoffbedarfs aus Kohle oder Erdgas produziert werden müssen, aber das dabei entste-



hende CO<sub>2</sub> kann einfacher als heute abgefangen und eingelagert werden, weil es zentral am Produktionsort und nicht im Automotor entsteht.

Ein weiterer positiver Effekt des neuen Treibstoffs: Katalysator, Rußfilter und ähnliche Einrichtungen werden unnötig. Bei der Verwendung von Wasserstoff in Brennstoffzellen entsteht nichts als Wasser (bei der Verbrennung im Motor können noch in geringem Umfang Stickoxide entstehen). Zudem ist Wasserstoff ungiftig und kann weder Boden noch Wasser verschmutzen.

Für die Umwelt sind daher auch Wasserstoff-Lecks in Pipelines und Tanks kein unmittelbares Problem. Entweichen jedoch große Mengen an Wasserstoff in die Atmosphäre, kann das Gas tatsächlich auf verschiedenen Wegen zum Treibhauseffekt beitragen. Mehrere Studien und Berechnungen haben in den letzten Monaten auf diese Möglichkeit hingewiesen, allerdings dabei auch belegt, dass für einen negativen Effekt sehr viel Wasserstoff frei werden muss: In ihrem Aufsehen erregenden *Science*-Artikel vom Juni diesen Jahres gingen die Autoren von 120 Millionen Tonnen entweichendem Wasserstoff pro Jahr aus – das ist mehr, als ganz Europa verbrauchen würde, wenn der Straßen- und Luftverkehr in allen Ländern komplett auf Wasserstoff umgestellt wäre. Dennoch ist es sinnvoll, schon jetzt mögliche Nebenwirkungen des Übergangs zu Wasserstoff als Treibstoff zu bedenken: So sind die Klimabedenken ein weiteres Argument dafür, Transportwege und Speichersysteme möglichst dicht zu gestalten.



## Pressefotos



Wasserstofftag-03\_Wurster\_H2-Tankstelle-Muenchen / Foto: Linde AG

Die weltweit erste öffentliche Wasserstoff-Tankstelle wurde 1999 am Münchner Flughafen eröffnet. Initiator war die AR-GEMUC, eine Arbeitsgemeinschaft von 15 verschiedenen Unternehmen. Drei MAN-Niederflurbusse und mehrere PKWs nutzen die Tankstelle. Alleine die Busse haben bis heute zusammen 300.000 Kilometer zurückgelegt.

|              | <b>Förderung 2002</b><br>(in Mio. US-\$) | <b>Förderung 2003</b><br>(in Mio. US-\$) | <b>Förderung 2004</b><br>(in Mio. US-\$) |
|--------------|--|--|--|
| <b>USA</b>   | <b>76</b>                                | <b>97</b>                                | <b>165</b>                               |
| <b>Japan</b> | <b>91</b>                                | <b>145</b>                               | <b>?</b>                                 |
| <b>EU</b>    | <b>32</b>                                | <b>&gt;60 ?</b>                          | <b>?</b>                                 |

Förderung der Wasserstoff-Technologie: Die USA und vor allem Japan unterstützen die Entwicklung von Wasserstoff-Technologie durch massive Förderprogramme. Die Europäischen Ausgaben bleiben im internationalen Vergleich zurück.

Wasserstofftag-03\_Wurster\_Tabelle-Foerderung / Quelle: LBST

Alle Grafiken, Bilder und Texte stehen hochauflösend im Internet zum Download bereit:  
<http://www.wasserstofftag.de/hydrogen/html/go/rwar-5qfs5z.de.o>