

# **Die Rolle des Wasserstoffs in einer nachhaltig geführten Energiewirtschaft**

**Dr. Ulf Bossel**

European Fuel Cell Forum  
Morgenacherstrasse 2F  
CH-5452 Oberrohrdorf / Schweiz  
Tel.: 0041-56-496-7292  
Fax: 0041-56-496-7202  
[forum@efcf.com](mailto:forum@efcf.com)  
[www.efcf.com](http://www.efcf.com)

18. Juli 2005

## **Energiezukunft**

Eigentlich ist die Energiezukunft deutlich erkennbar. Nach Versiegen der fossilen Vorräte muss die Menschheit ihren Energiebedarf aus erneuerbaren Quellen befriedigen. Statt chemischer Energie wird dann vorwiegend elektrische Energie von Wind-, Wasser und Solarkraftwerken zur Verfügung stehen. Biomasse wird das Energieangebot ergänzen. Mit effizient genutztem Strom wird die Menschheit ihren Energiehunger ebenso gut decken können wie mit schlecht genutzten fossilen Brennstoffen. Die Energiewirtschaft wird auf den Kopf gestellt. Strom ist ausreichend verfügbar, aber chemische Träger werden zum kostbaren Luxus. Die Zukunft gehört der elektrischen Energie.

Viele Befürworter einer nachhaltig geführten Energiezukunft möchten jedoch die chemische Energiewirtschaft beibehalten und fordern den zügigen Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft. Die Umwandlung "grünen" Stroms in Wasserstoff und dessen kommerzielle Nutzung sind jedoch mit hohen Verlusten verbunden. Wasserstoff und der daraus gewonnenen Strom müssen deshalb immer wesentlich teurer sein als direkt verteilte Elektrizität. In einer nachhaltigen, auf Elektrizität aufbauenden Zukunft ist die Energieverteilung mittels Wasserstoff nur für wenige Sonderfälle zu rechtfertigen.

### **Veränderungen im Energiebereich**

In Zukunft werden Solarstrahlung, Wind, Laufwasser, Wellen, Tidenhub, Geothermie und Biomasse geschätzte Energiequellen sein. Die nachhaltig gewonnene Energie muss mit höchster Effizienz verteilt und intelligent genutzt werden, um aus den aufwändig erschlossenen Quellen ein Maximum an Nutzen zu ziehen. Rationeller Umgang mit Energie und Energiesparen sind zwingende Voraussetzungen für die Sicherung der Energieversorgung.

Die eiligst beschlossenen Wasserstoff-Programme in den Vereinigten Staaten und Europa verdeutlichen, dass das Energieproblem auch Politikern bewusst wird. Der begleitende Paradigmenwechsel wird jedoch zu wenig beachtet. Während die heutige Energiewelt auf chemischen Energieträgern aufgebaut ist, wird eine zukünftige Energiewirtschaft vom Strom dominiert. Fossile Brennstoffe sind rar und teuer oder dürfen wegen der CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht mehr eingesetzt werden. Aber Strom ist als Quellenergie vorhanden. Damit werden thermische Kraftwerke, Verbrennungsmotoren, ja selbst Brennstoffzellen überflüssig und Wärmepumpen zu echten Energievermehrungsmaschinen. Wasserstoff jedoch muss elektrolytisch aus Strom gewonnen werden. Dies macht ihn zur teuren "Luxusenergie" für einige spezielle Anwendungen, nicht aber zum universellen Energieträger in einer Wasserstoffwirtschaft. Die Energiewelt muss sich auf Strom, nicht auf Wasserstoff vorbereiten. Die Wasserstoff-Programme könnten zu kostspieligen, zeitraubenden, aber erfolglosen Abenteuern werden.

## Zwischen heute und einer nachhaltigen Energiewelt

Trotz Globalisierung vollzieht sich der Übergang von einer fossilen zu einer nachhaltigen Energiewelt in allen Ländern und Regionen der Erde zeitlich versetzt und mit unterschiedlicher Geschwindigkeit. Die Ölförderländer werden als letzte erneuerbare Quellen erschlossen, während sich Länder wie die Schweiz oder Dänemark schon deutlich in Richtung Naturenergie bewegen, denn sie besitzen keine eigenen Quellen für Kohle, Öl und Gas. Jede Region muss ihren eigenen Weg in die Energiezukunft finden. Der Umstieg kann nicht globalisiert werden. Europa wird Amerika in der Entwicklung vorausziehen.

Noch geht die Politik von der Dominanz der chemischen Energieträger aus und fordert den Ersatz von Kraftstoffen durch künstlich hergestellten Wasserstoff, also eine globale Wasserstoffwirtschaft. Diese Prämisse wird schon bald ihre Gültigkeit verlieren, denn aufgrund steigender Energiepreise bewegt sich der Energiebereich hin zu höherer Effizienz und damit auch hin zu elektrischen Systemen. Erst nach Abschluss dieser Phase wird die Zukunft planbar. Die übereilte Einführung einer Wasserstoffwirtschaft steht auf sehr wackeligen Füßen.

Heute und in Zukunft wird sich die Energienutzung an das Energieangebot anpassen. Die Energiewirtschaft wird von mehreren Seiten bedrängt.

- Verbraucher reagieren auf steigende Energiepreise mit Gebäudesanierungen und sparsameren Fahrzeugen. Der Anteil chemischer Energieträger am Gesamtverbrauch beginnt zu sinken.
- Durch Gebäudesanierungen wird der Heizwärmebedarf so stark reduziert, dass der Einsatz von Elektroheizungen und Wärmepumpen vorteilhaft wird.
- Dreiliter-Autos, Kleinfahrzeuge, Dieselmotoren und Hybridfahrzeuge sind Vorboten einer neuen Mobilitätsstruktur. Für die kurzen Fahrten zur Arbeit werden Kleinfahrzeuge mit physikalischen Energieträgern (Strom, Druckluft, Schwungrad) attraktiv.
- Unter guten meteorologischen Bedingungen liefern Sonne, Wind & Co. bereits mehr Strom als den Betreibern thermischer Kraftwerke lieb ist. Strom verdrängt fossile Träger vom Energiemarkt.

Diese Trends führen zu einer graduellen Substitution chemischer Energieträger durch Elektrizität. Noch vor Einführung des Wasserstoffs werden wesentliche Teile des Energiesystems auf Strom umgestellt sein. Dann aber fehlt die Rechtfertigung für den Einsatz von Wasserstoff, denn mit wenigen Ausnahmen ist die Originalenergie "Strom" dem Abkömmling Wasserstoff bezüglich Aufwand und Kosten deutlich überlegen.

Man muss deshalb genau überlegen, wie viel Wasserstoff in einer nachhaltig geführten Energiewirtschaft überhaupt benötigt wird und welche energetischen Prozesse nur mit Wasserstoff durchgeführt werden können. Zur Optimierung der energetischen Effizienz wird man möglichst viel Strom direkt und möglichst wenig aus Strom erzeugten Wasserstoff einsetzen. Nur so kann der Energiebedarf aus erneuerbaren Quellen nachhaltig gedeckt werden.

## **Energie für eine nachhaltige Energiewelt**

Erneuerbare Energie wird hauptsächlich als Elektrizität "geerntet". Gleichstrom kommt von Solarzellen. Wind-, Wasser-, Wellen-, Gezeiten- oder solarthermische und geothermische Kraftwerke liefern Wechselstrom. Im nachfossilen Zeitalter wird lediglich Biomasse aus natürlichem Wuchs und organischen Abfällen als chemische Primärenergie für die Herstellung flüssiger und gasförmiger Kohlenwasserstoffe zur Verfügung stehen.

Um diese erneuerbare Energie mit höchster Effizienz zu nutzen, müssen verlustreiche Wandlungsprozesse vermieden werden. Biomasse wird deshalb nicht in Kraftwerken "verheizt", um Strom für die elektrolytische Wasserstoff-Erzeugung zu gewinnen. Man wird sie auch nicht auf chemischem Wege in Wasserstoff verwandeln. Aus energetischer Hinsicht ist die chemische Bindung von Kohlenstoff an Wasserstoff eine wichtige Voraussetzung für die chemische Umwandlung von Biomasse in synthetische Kraftstoffe. Mit geringstem Energieaufwand verwandeln Bakterien weiche Biomasse in gasförmige oder flüssige Energieträger durch Gärung und anaerobe Zersetzung. Chemische Prozesse können auch bei höherem Energieaufwand rentieren. Aus energetischer Sicht ist die chemische Wandlung von Biomasse in Methan, Methanol, Äthanol, Biodiesel usw. der Wasserstoffgewinnung immer deutlich überlegen.

Auch wird man regenerativ gewonnenen Strom über Leitungen verteilen, denn es gibt keinen besseren Weg als den direkten Energietransport mit Elektronen. In modernen Netzen wird elektrische Energie mit einem Wirkungsgrad von über 90% umweltfreundlich vom Kraftwerk zu Verbrauchern geleitet.

## **Automobil als Trägheitsfaktor**

Nach Durchführung der vertretbaren Sparsmassnahmen könnte man den Energiebedarf aus erneuerbaren Quellen gut decken, wären da nicht die Bestrebungen rund ums Auto, an chemischen Energieträgern möglichst lange festzuhalten. Automobil- und Ölgesellschaften haben ein verständliches Interesse an chemischen Energieträgern. Detailverbesserungen können nicht darüber hinwegtäuschen. Der Einsatz von Wasserstoff und Brennstoffzelle ist lediglich eine technische Variante von Benzin und Ottomotor, also eine

Fortschreibung der Dominanz chemischer Energieträger. Leider folgt die Politik den Argumenten der etablierten Lobby. Die "Hydrogen Initiative" und das "FreedomCar" Programm von Präsident Bush finden Nachahmer in aller Welt. Die Wasserstoff-Diskussion lenkt ab von dringend benötigten Massnahmen zur Sicherung der Energieversorgung. Energieprobleme können nur durch Erschliessung erneuerbarer Quellen und rationelle Energienutzung gelöst werden, nicht aber durch Einführung eines anderen chemischen Energieträgers.

In der Tat, einige Aspekte der Wasserstoffwirtschaft sind bestechend. So bezaubert die Idee, dass aus Wasserstoff und Luft ohne Ausstoss von Treibhausgasen oder Ozonkillern nur sauberer Wasserdampf entsteht. Auch die Elektrolyse frappt. Man nehme Strom und Wasser und erhält Wasserstoff. Besondere Begeisterung findet die 1838 vom Basler Chemiker Christian Friedrich Schönbein entdeckte und vom Engländer William Robert Grove 1842 verwirklichte Brennstoffzelle. Die verbreitete Faszination von Wasserstoff und Brennstoffzelle sind verständlich. Veränderungen im Energiebereich müssen jedoch auf physikalischen Fakten und technischen Erkenntnissen basieren und nicht auf faszinierenden Beobachtungen und naivem Wunschdenken.

## **Wasserstoffwirtschaft ist Energieverschwendung**

Die relativ günstige Gewinnung von Wasserstoff aus Erdgas ist keine gute Eintrittskarte zur Wasserstoff-Wirtschaft, denn nach Versiegen der fossilen Quellen wird man Wasserstoff nur noch durch die elektrolytische Spaltung von Wasser erzeugen können. Dafür wird Gleichstrom benötigt und zwar viel mehr, als selbst mit bester Technik jemals aus dem erzeugten Brenngas zurück gewonnen werden kann. Bei der Elektrolyse wird elektrische Energie in chemische Energie umgewandelt. Wasserstoff ist also keine Energiequelle, sondern lediglich ein Energieträger, vergleichbar mit dem Wasser in einer Zentralheizung.

Von Quellenergie zur Nutzung gleicht auch der Weg des Wasserstoffs einer Energieverlustkaskade. Jede Stufe ist mit Energieverlusten oder -aufwand verbunden. Bei Wasserstoff sind die Energieverluste jedoch so gross, dass dem Wasserstoff-Verbraucher nur etwa die Hälfte der elektrischen Primärenergie zur Verfügung steht. Selbst mit effizienten Brennstoffzellen lassen sich davon nur 50% wieder in elektrischen Strom verwandeln. Folglich wird nur ein Viertel des erneuerbaren Stroms genutzt, während drei Viertel ungenutzt vergeudet werden. Die hohen Verluste sind physikalische bedingt und können auch durch zusätzliche Forschungen nicht wesentlich verringert werden.

Der interne Energiebedarf der Wasserstoff-Wirtschaft ist eingehend analysiert worden. Die wesentlichen Resultate der Arbeit "The Future of the Hydrogen Economy: Bright or Bleak?" (Die Zukunft der Wasserstoff-Wirtschaft: strahlend

oder trüb?), zu finden unter [www.efcf.com](http://www.efcf.com), der Autoren Ulf Bossel, Baldur Eliasson und Gordon Taylor sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt. Für die wichtigsten Wandlungsschritte ist der benötigte Energiebedarf in den Energieeinheiten MJ (Megajoule) pro kg Wasserstoff oder aber in Prozent der im Wasserstoff enthaltenen Energiemenge (Brennwert oder oberer Heizwert  $H_o = 142 \text{ MJ/kg}$ ) angegeben.

Verfahrensschritte	Technische Angaben	Energieverluste In MJ/kg $H_2$	Verluste in % der von $H_o$
Elektrolyse	1.76 Volt, 1 atm	61	43%
Kompression	1 bar – 200 bar	10	7%
	1 bar – 400 bar	13	9%
	1 bar – 800 bar	17	12%
Verflüssigung	100 kg/h	65	46%
	1.000 kg/h	45	32%
	10.000 kg/h	35	28%
Strassentransport	200 bar, 200 km	18	13%
	200 bar, 400 km	36	25%
	flüssig, 200 km	3	2%
Pipeline	10 bar, 1.000 km	12	8%
$H_2$ -Elektrolyse an Tankstelle	entspricht 60.000 Liter Benzin pro Tag	80*	56%
Betanken	100 bar auf 400 bar	5	4%
Brennstoffzelle		142	50%

\*einschl. Wasseraufbereitung, Kompression, Gebäudeenergiebedarf usw.

Tabelle 1 Typischer Energiebedarf für Erzeugung, Verpackung, Verteilung und Nutzung von Wasserstoff

Zugegeben, auch die heutige Energieversorgung ist nicht frei von Verlusten. Zwischen Ölquelle und Tankstelle werden 8 bis 12% der sprudelnden Energie für Förderung, Raffinierung und Transport benötigt. Für den aus nachhaltig bewirtschafteten Quellen erzeugten Wasserstoff gehen jedoch zwischen erneuerbarem Strom und Verbraucher mindestens 50% verloren oder müssen für Kompression, Verflüssigung, Transport, Umfüllen usw. aufgewendet werden. Noch schlimmer wird es bei einer Rückverstromung des Wasserstoffs. Selbst mit effizienten Brennstoffzellen stehen dem Verbraucher nur etwa 25% des kostbaren Naturstroms zur Nutzung zur Verfügung. Bei direkter Verteilung könnte der Verbraucher jedoch etwa 90% des erneuerbaren Stroms nutzen. Die in Bild 1 gezeigte Verlustkaskade ist für die Wasserstoffwirtschaft repräsentativ.

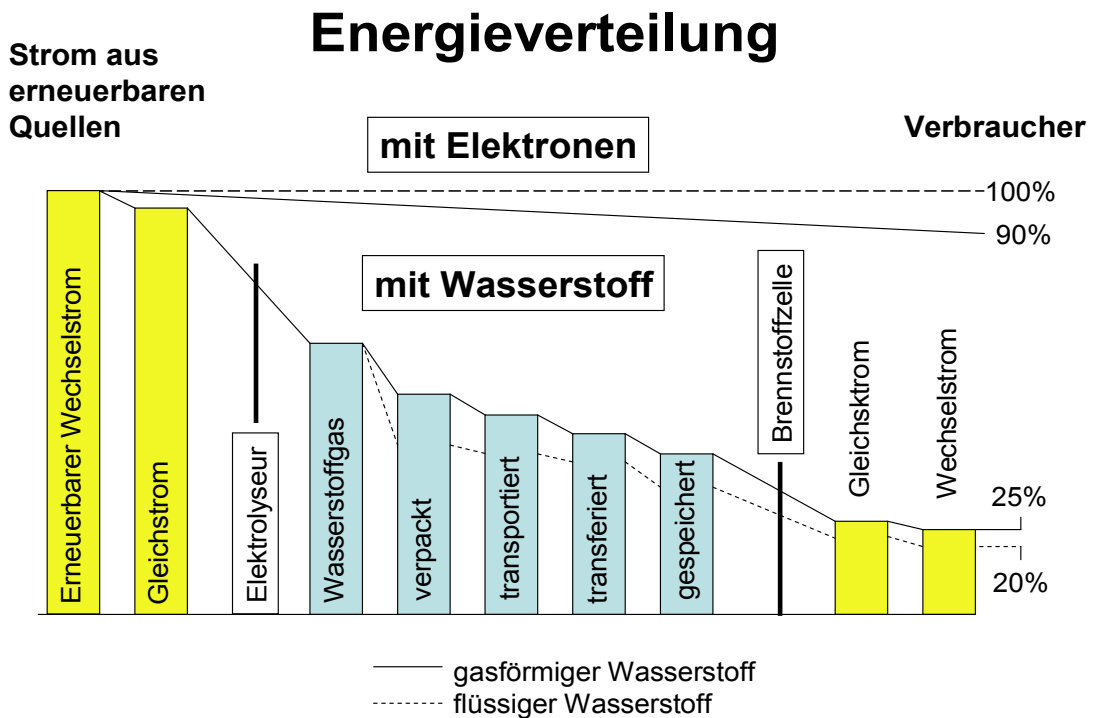


Bild 1 Die Energievernichtungskaskade der Wasserstoffwirtschaft

## Die Besonderheiten des Wasserstoffs

Wasserstoff ist kein Gas wie jedes andere. Aufgrund seiner physikalischen Merkmale unterscheidet er sich deutlich von Erdgas (Methan) oder Luft. Wasserstoff ist 8mal leichter als Methan (Erdgas) und 15mal leichter als Luft. Um die drei Gase auf 200 bar zu komprimieren benötigt man etwa 13,8 MJ/kg für Wasserstoff, 1,4 MJ/kg für Methan, aber nur 0,9 MJ/kg für Luft. Bei Wasserstoff verschlingt die Kompression etwa 9%, bei Methan nur 2,5% des Energieinhalts des jeweiligen Gases. Bei 200 bar sind in einem Liter Wasserstoff 2,6 MJ, in Erdgas jedoch 8,0 MJ oder über dreimal mehr Energie enthalten. Benzin trägt mit 33,8 MJ/Liter sogar 13mal mehr als der auf 200 bar komprimierte Wasserstoff. Brennstoffzellenautos fahren mit Wasserstoff (350 bar) gerade einmal 200 km. Bei gleichem Druck mit Erdgas gefüllt würde die getankte Energie im Erdgasauto Fahrten bis 400 km erlauben. Wasserstoff lässt sich am besten als Kohlenwasserstoff speichern oder transportieren. Ein Kubikmeter flüssiger Wasserstoff wiegt nur 70 kg und ist damit etwas schwerer als Styropor. Aber ein Kubikmeter Benzin wiegt 700 kg und enthält 128 kg Wasserstoff. Entsprechend unterschiedlich sind die Energieinhalte (H<sub>0</sub>): 33,8 MJ für den Liter Benzin, aber nur 9,9 MJ für den Liter Flüssigwasserstoff.

Diese und andere physikalischen Merkmale machen reinen Wasserstoff nur bedingt geeignet für den täglichen Einsatz als Energieträger. So benötigt man für den Transport von Druckwasserstoff (200 bar) in Stahlflaschen etwa 22 Vierzig-Töner, zum Transport der gleichen Energiemenge jedoch nur einen einzigen Benzin-Tanker der gleichen Gewichtsklasse. Wegen des geringen Energieinhalts der Nutzladung werden pro 100 km Lieferdistanz über 6% der gelieferten Energiemenge konsumiert. Bei Benzin sind es nur gerade einmal 0,2%. Für die Verteilung von flüssigem Wasserstoff ist der spezifische Energiebedarf für den Transport niedriger. Dafür werden jedoch mindestens 30% des Energieinhalts für die Verflüssigung benötigt. Eine sinnvolle Lösung für den Strassentransport von reinem Wasserstoff ist nicht in Sicht.

Die Befürworter einer Wasserstoffwirtschaft schlagen deshalb vor, Wasserstoff an Tankstellen vor Ort elektrolytisch zu erzeugen. Eine Autobahntankstelle, die heute täglich etwa 60.000 Liter Benzin oder Diesel verkauft, hätte einen elektrischen Leistungsbedarf von mindestens 26 Megawatt und würde 107 Kubikmeter Wasser täglich benötigen. Die zuverlässige Erfüllung dieser Kriterien rund um die Uhr und zu allen Jahreszeiten ist für viele Standorte auf der Welt kein einfaches Problem. Auch der Energietransport per Pipeline erfordert für Wasserstoff etwa viermal mehr Energie als für Erdgas. Aus verschiedenen Gründen sind die bestehenden Erdgasleitungen nicht für den Transport von Wasserstoff geeignet.

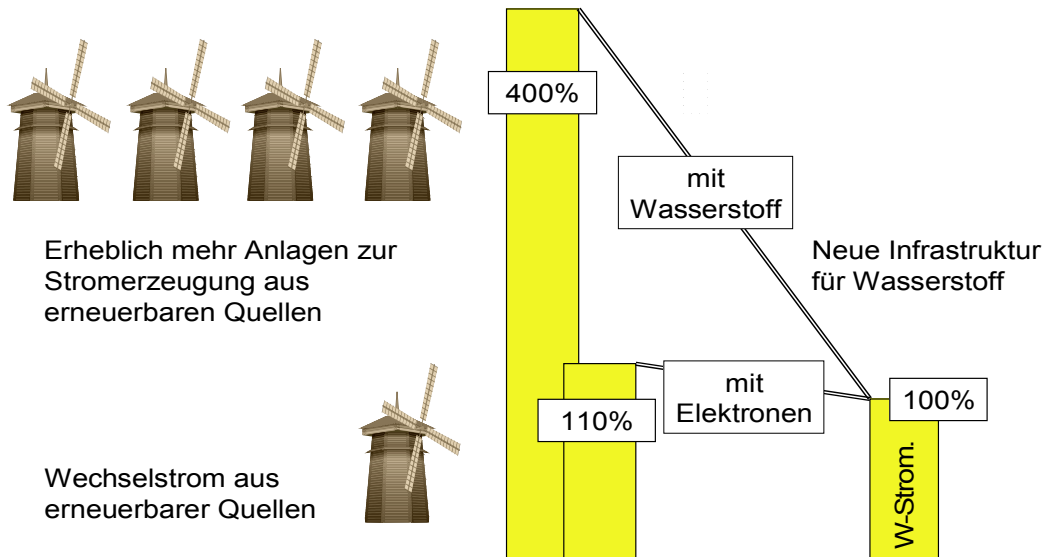
Diese Fakten zeigen, wie sehr sich Wasserstoff von Erdgas unterscheidet und wie neuartig die Probleme einer Wasserstoffwirtschaft sind. Leider lässt sich die Erdgas-Infrastruktur nicht für die Verteilung von Wasserstoff nutzen.

## **Energiebeschaffung für eine Wasserstoffwirtschaft**

Die in Tabelle 1 und Bild 1 dargestellten hohen, mit einer Energieverteilung über Wasserstoff verbundenen Energieverluste müssen durch Bau zusätzlicher Naturstromkraftwerke gedeckt werden. Bei einer Gesamt-Energieeffizienz von 25% gehen in einer Wasserstoffwirtschaft zwischen Stromquelle und Stromverbraucher 75% der Originalenergie verloren. Nur eins von vier Kraftwerken liefert Nutzenergie. Die restlichen drei werden ausschliesslich für die Kompensation der inneren Verluste einer Wasserstoffwirtschaft benötigt (Bild 2). Das kann nicht das Ziel einer zukunftsorientierten Energiestrategie sein. Dagegen liegen die Energieverluste der elektrischen Energieverteilung bei nur 10%. In einer nachhaltig geführten Energiewirtschaft wird man sich den Luxus "Wasserstoff" kaum leisten können. Strom aus erneuerbaren Quellen wird mit Sicherheit vorwiegend als Strom verteilt und genutzt.

# Energieverteilung

## Mit Elektronen oder Wasserstoff?



Ulf Bossel 2004

Bild 2 Energieverteilung mit Elektronen oder Wasserstoff?

## Energiekosten in einer Wasserstoffwirtschaft

Die hohen Verluste bei einer Energieverteilung mit Wasserstoff schlagen sich auch auf die Energiepreise nieder. Verlustenergie wird auch in Zukunft dem Endverbraucher in Rechnung gestellt. Da lediglich 50% der verstromten Naturenergie als nutzbarer Wasserstoff angeliefert werden, dürfte Wasserstoff beim Verbraucher mindestens doppelt so teuer sein wie Strom aus der Steckdose. Heizen mit Strom ist billiger als Heizen mit Wasserstoff. Erdgas wird deshalb kaum durch Wasserstoff ersetzt werden. Elektrische Heizgeräte werden Heizöl und Erdgas ersetzen, nicht aber Wasserstoff.

Die Verteuerung gilt auch für die Stromerzeugung, denn selbst mit effizienten Brennstoffzellen kann man lediglich 50% der im Wasserstoff enthaltenen Energie in elektrische Energie umwandeln. Aus Wasserstoff erzeugter Strom muss deshalb mindestens viermal teurer sein als Netzstrom. Angesichts der deutlich günstigeren direkten elektrischen Lösung kann die Stromerzeugung mit Wasserstoff und Brennstoffzellen nie attraktiv werden. Jeder Versuch, Strom in Form von Wasserstoff zu vermarkten, ist aus ökonomischen Gründen zum Scheitern verurteilt.

Diese Argumente gelten auch für mobile Anwendungen. In einer von Elektrizität dominierten nachhaltig geführten Energiewirtschaft werden Fahrzeuge mit elektrischem Antrieb attraktiv, denn pro Energieeinheit kostet Strom aus der eigenen Steckdose wesentlich weniger als Wasserstoff an der Tankstelle. Auch sind Elektromobile sehr effizient und Bremsenergie kann genutzt werden. Bis zu 80% der "getankten" elektrischen Energie werden den Rädern zugeführt. Im Brennstoffzellen-Fahrzeug wird der doppelt so teure Wasserstoff jedoch nur mit einem Tank-Rad-Wirkungsgrad von etwa 40% genutzt. Ein mit Wasserstoff-Brennstoffzelle ausgestattetes Fahrzeug benötigt etwa viermal mehr Strom als ein Elektrofahrzeug, bzw. verursacht viermal höhere Betriebskosten. Für Fahrten zur Arbeit wird man sich lieber in ein kleines Elektroauto setzen. Halbelektrische Hybridfahrzeuge sind als Familienfahrzeuge attraktiv, denn sie können im Stadtverkehr ebenfalls elektrisch bewegt werden. Mit Lithium-Ionen-Batterien ausgestattete Elektrofahrzeuge fahren 350 km weit mit einer Ladung und sind in wenigen Minuten wieder aufgeladen. Für die Lebensdauer dieser Batterien werden zehn Jahre genannt. Brennstoffzellenautos können diese Werte noch nicht erreichen. Für grössere Distanzen, für den Last-, Luft- und Seetransport wird man synthetische, aus Biomasse hergestellte, Kraftstoffe einsetzen. Bei vergleichbar niedriger Umweltbelastung übertreffen diese Energieträger den Wasserstoff bezüglich Handhabbarkeit, Energiedichte, Sicherheit und Kosten. Eine übereilte Einführung des Wasserstoffs im Verkehrsbereich ist angesichts dieser Entwicklung mit hohen wirtschaftlichen Risiken behaftet.

## **Wohin führt der Weg?**

Der Übergang von der heutigen, vom Erdöl dominierten Energiewirtschaft zu einer nachhaltigen, vom Naturstrom geprägten basiert also nicht auf einer einfachen Substitution fossiler Energieträger durch synthetischen Wasserstoff. Komplexe Veränderungen müssen in allen Bereichen der Energietechnik bedacht werden: Erzeugung, Verteilung, Speicherung und Nutzung. Die Energiewirtschaft wird auf den Kopf gestellt. Während chemische Energieträger heute die Ausgangsbasis bilden, wird es in Zukunft Strom aus erneuerbaren Quellen sein. Heute ist Elektrizität die sekundäre Energieform, morgen ist es der künstliche erzeugte Energieträger Wasserstoff. Während heute Erdgas und Erdöl preisbestimmend sind, wird es in Zukunft elektrischer Strom von Naturkraftwerken sein. Strom wird zur "Leitwährung" im Energiemarkt. Der aus Strom gewonnene Wasserstoff wird deshalb immer teurer sein als die regenerativ erzeugte Elektrizität. Daran lässt sich nicht rütteln, weder mit politischen Entscheidungen noch mit aufwändigen Entwicklungsprogrammen.

In einer nachhaltig geführten Energiewirtschaft wird synthetischer Wasserstoff deshalb keine wichtige Rolle spielen, denn „Strom direkt“ liefert fast immer bessere Lösungen. Der Sekundärträger Wasserstoff kann sich nicht gegen den Primärträger Strom durchsetzen, aus dem er künstlich erzeugt worden ist. In

der nachhaltigen Welt verlieren Umweltargumente ebenfalls ihre Gültigkeit, denn elektrischer Strom ist ebenso sauber wie der daraus gewonnene Wasserstoff. Im Gegenteil, wegen der Ineffizienz der Wasserstoffkette müsste man zur Bereitstellung der benötigten Endenergie wesentlich mehr regenerative Kraftwerke errichten als bei einer direkten Stromverteilung mittels Elektronen. Umweltschützer beklagen sich heute schon über die Verschandelung des Landschaftsbildes durch Windkraftanlagen. Bei einer Energieverteilung mittels Wasserstoff würde sich die Zahl der Windräder vervierfachen. Woher soll die viele Energie für die Erzeugung des Wasserstoffs eigentlich kommen? Eine quantifizierte Antwort auf diese Frage müssen die Befürworter der Wasserstoff-Wirtschaft erst noch liefern.

Ein übereilter Einstieg in eine Wasserstoffwirtschaft wird den Übergang zur Nachhaltigkeit nicht nur stark behindern, sondern vielleicht sogar unmöglich machen. Für alle Befürworter einer nachhaltigen Zukunft hat die Erschliessung neuer Energiequellen eindeutig Vorrang vor der Einführung eines neuen Energieträgers. Dazu gehört auch die Beschäftigung mit der Frage, wie viele Kraftwerke, gleich ob Wind oder Atom, die Menschheit akzeptieren kann. Die Zukunft verlangt markante Veränderungen im Energiebereich. Man sollte mit Mut und Zielstrebigkeit eine nachhaltige Energiewelt direkt ansteuern, statt zuerst einmal mit einer Wasserstoffwirtschaft zu experimentieren.

## **Ulf Bossel**

Geboren 1936 in Braunschweig, aufgewachsen in Nordhessen, Maschinenbau-Studium mit Vordiplom (1959) an der TH Darmstadt und Hauptdiplom in Aerodynamik (1961) an der ETH Zürich. Nach kurzer Anstellung bei Brown Boveri & Cie in Baden / Schweiz 1962 Fortsetzung der Ausbildung in USA an der University of California in Berkeley mit Promotion (1968) über die Erzeugung intensiver Molekularstrahlen mittels eines neuen aerodynamischen Verfahrens. 1968 bis 1970 Assistant Professor (Mechanical and Aerospace Engineering) an der Syracuse University im Staat New York. 1970 bis 1977 Gruppenleiter für Freimolekulare Strömungen bei der DFVLR (heute DLR) in Göttingen. Seit 1975 intensiv mit Energiethemen befasst. Mitbegründer und erster Präsident der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie, Gründung einer eigenen Beratungsfirma für erneuerbare Energien und rationelle Energienutzung, 1986 von Brown-Boveri & Cie (heute ABB) in die Schweiz gerufen, um neue Technologien der Stromerzeugung im Kraftwerksbereich zu etablieren. Seit 1987 mit Brennstoffzellen befasst und Leiter der Brennstoffzellen-Entwicklung mit weltweiter Kompetenz. Nach Einstellung der Aktivitäten bei ABB (aus produktstrategischen Erwägungen) Ende 1990 wieder selbstständig als Berater für Brennstoffzellen mit namhaften Klienten in Japan, Deutschland, Norwegen, Italien, USA, Niederlanden und der Schweiz. Gründer des European Fuel Cell Forum und Veranstalter der internationalen Brennstoffzellen-Tagungen in Luzern. Wegen ihrer inhaltlichen Qualität und der ehrlichen Darstellung wird diese Tagungsreihe inzwischen zu den wichtigsten Veranstaltungen zum Thema Brennstoffzelle und nachhaltige Energieversorgung gezählt.