



**Ozeanwelle:** Wasserstoff gilt als ein Zauberwort, eine Art Sesam-öffne-dich zu künftigen Energiereichtümern



# Wasserstoff: Lösung oder Illusion?

Regierungen und Unternehmen predigen den Aufbruch ins Zeitalter des Wasserstoffs. Strom aus Wasser, das klingt sauber, innovativ und zukunftsfähig. Doch die H<sub>2</sub>-Revolution ist umstritten. Viele Experten halten die angestrebte Wasserstoffwirtschaft für einen Irrweg. **TORSTEN MEISE**

James Swartz und Alfred Spormann, zwei Professoren der Stanford University, haben – vielleicht – eine Lösung für die Energieprobleme der Menschheit: Sie hört auf den Namen Synechocystis und gehört zu den so genannten Cyanobakterien. Das sind zellkernlose Wesen, die Sauerstoff herstellen können und deshalb lange Zeit für Algen gehalten wurden. Mit geringen Manipulationen, so glauben die beiden Forscher, könnte die zwei bis drei Tausendstel Millimeter kleine Synechocystis neben Sauerstoff auch den als Energieträger begehrten Wasserstoff herstellen. Dazu müsste nur ein passendes Enzym in die Zelle geschmuggelt werden, das im sauerstoffreichen Umfeld der Zelle überlebt. Doch genau hier liegt das Problem. Ob Swartz und Spormann ein solches Enzym jemals finden werden, ist völlig offen.

Gestern noch wäre ein Forschungsprojekt mit derartig vagen Erfolgsaussichten nicht einmal als exotische Neuheit am Rande abgehandelt worden. Jetzt jedoch, in Zeiten galoppierender Ölpreiserhöhungen, berichten Online-Dienste darüber, wird das kleine genetische Experiment auf Kongressen diskutiert, und der eine oder andere Venture Capitalist klopft auch schon an die Labortür in Stanford. Denn das nächste große Ding, die wirklich heiße Investition in die Zukunft vermuten risikobereite Finanziere auf dem Gebiet der alternativen Energien. Wasserstoff gilt ihnen dabei als Zauberwort, als eine Art Sesam-öffne-dich zu künftigen Energiereichtümern.

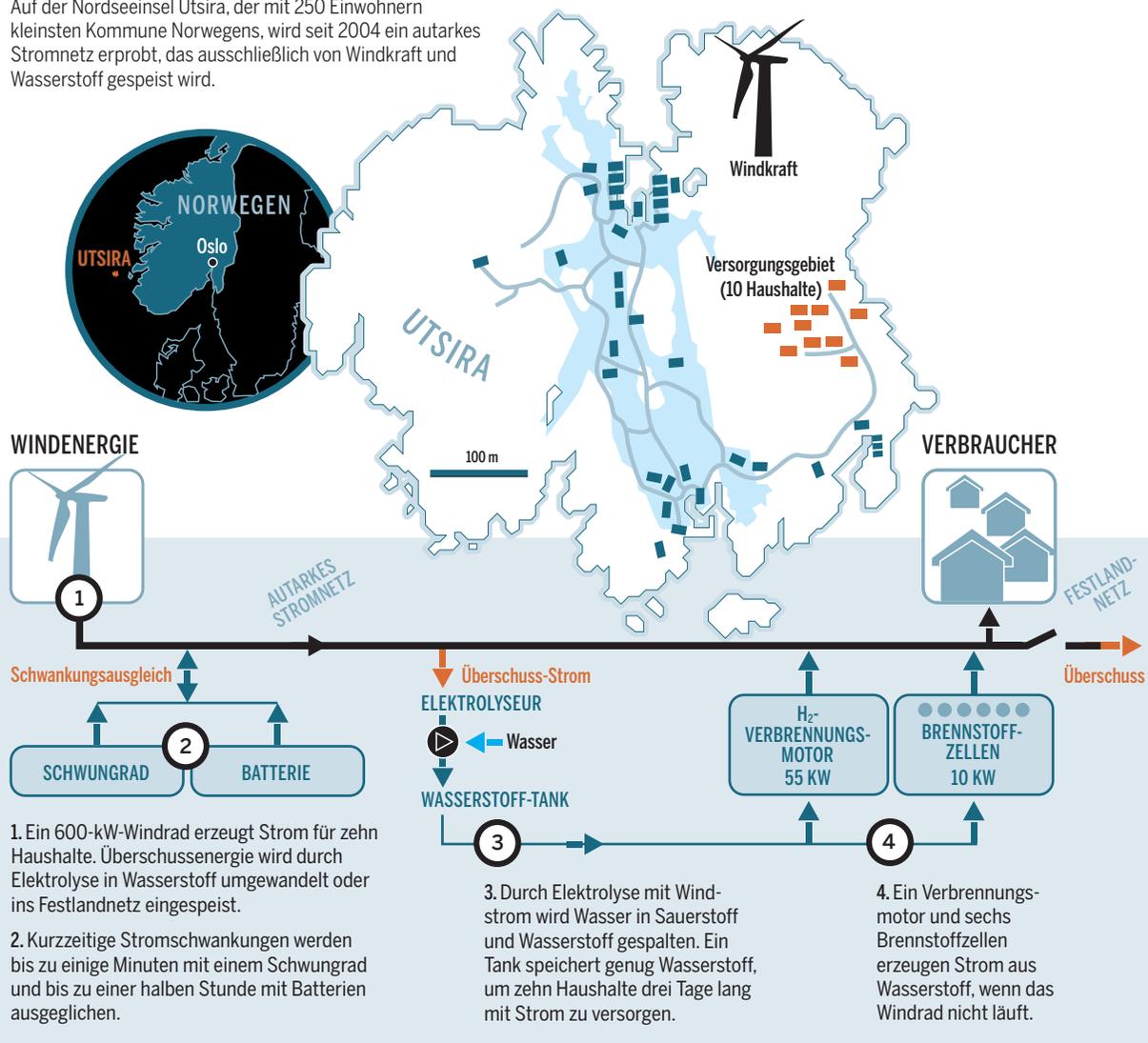
Wasserstoff ist das kleinste, leichteste und häufigste Element im Universum und – gebunden im Wasser – auf der Erde praktisch

unbegrenzt verfügbar. Im Periodensystem der Elemente trägt es die Ordnungszahl 1. Abgekürzt wird es mit H, von Hydrogenium, was „Wassererzeuger“ bedeutet. 900 von 1000 Atomen im Weltall sind Wasserstoffatome. Auf der Erde kommt es in seiner molekularen Form ( $H_2$ ), als farb- und geruchloses Gas, nicht vor. Die überwiegende Zahl der Wasserstoffmoleküle hat sich mit anderen Elementen verbunden, zum Beispiel mit Sauerstoff zu Wasser. Der Grund, warum Wasserstoff als Mittel zur Lösung aller zukünftigen Energieprobleme angepriesen wird, ist inzwischen geläufig: Mit Wasserstoff kann in einer Brennstoffzel-

le Strom erzeugt werden. Dabei reagiert  $H_2$  mit Sauerstoff. Das Abfallprodukt dieses Prozesses ist Wasser. Verglichen mit Verbrennungsmotoren, die mit Benzin oder Diesel arbeiten, gehen Brennstoffzellen etwa doppelt so effizient zu Werke. Bereits im Jahr 1839 erzeugte der walisische Jurist William Robert Grove in einer „galvanischen Gasbatterie“ elektrischen Strom, indem er Wasserstoff und Sauerstoff einer „kalten Verbrennung“ zuführte – es war die erste funktionstüchtige Brennstoffzelle. Seither hat die Idee, Energie aus Wasser zu gewinnen, immer aufs Neue die Welt fasziniert und die Phantasie angeregt. So lässt

## WASSERSTOFF\_UTSIRA

Auf der Nordseeinsel Utsira, der mit 250 Einwohnern kleinsten Kommune Norwegens, wird seit 2004 ein autarkes Stromnetz erprobt, das ausschließlich von Windkraft und Wasserstoff gespeist wird.



1874 Jules Verne eine seiner Romanfiguren sagen: „Wasser ist die Kohle der Zukunft.“ Auch Wissenschaftler wie der Chemiker und Nobelpreisträger Wilhelm Ostwald waren früh von den Fähigkeiten der Brennstoffzelle überzeugt. 1894 prophezeite Ostwald auf der Jahresversammlung des Verbands der deutschen Elektrotechniker – damals ein eher exklusiver Zirkel – das baldige Ende des 1866 entwickelten Siemens-Generators und die Überlegenheit der elektrochemischen Verbrennung.

Doch Ostwald war zu optimistisch. Während der Generator bis heute Stand der Technik ist, gelangte die Wasserstoff-Idee erst mit Beginn der bemannten Raumfahrt in den 1960er Jahren zu einem Teilerfolg. Als die USA nach einem Weg suchten, ihre Raumkapseln mit Strom zu versorgen, fanden sie in der Brennstoffzelle eine ebenso leichte wie effiziente Energiequelle, die noch dazu, als Abfallprodukt, Trinkwasser für die Besatzung lieferte. Innerhalb kürzester Zeit entwickelte die Nasa die dafür notwendige Technik. Nach der Ölkrise in den 70er Jahren blühte erneut die Phantasie. Gewaltige Areale mit Sonnenkollektoren in der Sahara und riesige Windfarmen in Patagonien sollten mit Hilfe von regenerativen Energien Wasserstoff herstellen. Der so gewonnene saubere Energieträger sollte dann – wie heute das Öl – in Tankern zu den Verbrauchern transportiert werden. Doch diese technokratischen Kopfgebirten verschwanden so schnell, wie sie gekommen waren.

Die aktuelle Version des Traums von einer goldenen Wasserstoff-Ära hat der amerikanische Bestsellerautor Jeremy Rifkin vor wenigen Jahren formuliert. In seinem Buch über die „ $H_2$ -Revolution“ träumt er von „dezentralen Energienetzen, die Gemeinden auf der ganzen Welt miteinander verbinden“. Nach dem Vorbild von Internet und World Wide Web soll auch das HEW, das Hydrogen Energy Web, interaktiv sein: Jeder ist gleichzeitig Konsument und Produzent von Energie. Häuser und Fahrzeuge werden in dieser Welt von Brennstoffzellen mit Power versorgt, deren Träger, der Wasserstoff, mit Hilfe erneuerbarer Energien hergestellt wurde. Der Wasserstoff stammt vor allem aus kleinteiligen privaten Solar- und Erdwärmeanlagen und wird über engmaschige Netze verteilt. Selbst das Brennstoffzellen-Auto kann beim Parken ans Strom-Web angeschlossen werden und als kleines Kraftwerk seinen überschüssigen Strom einspeisen. Das Wundermittel Wasserstoff löst dabei nicht nur die globalen Energie- und Umweltprobleme, sondern entmachtete gleichzeitig die Energiekonzerne und verhilft den Entwicklungsländern zu mehr Teilhabe am Reichtum der Industriestaaten.

Rifkins Thesen von der Hydropower-Wunderwelt erscheinen zu schön, um wahr zu werden. Doch sie finden offene Ohren auf allen Kontinenten, auch in Rifkins Heimatland USA. Seit sich auch dort herumgesprochen hat, dass die Ölreserven der Erde

endlich sind, seit immer mehr Experten davor warnen, der Oil Peak, der Höhepunkt der Ölförderung, könne schon in wenigen Jahren erreicht (oder gar schon überschritten) sein, und seit die Energiepreise auch im Land der spritfressenden SUVs schmerzhaft steigen, gehören Begriffe wie Wasserstoffwirtschaft oder Wasserstoff-Autobahn zum neuen Vokabular in der Wall Street und im Weißen Haus.

**BEREITS AM 28. JANUAR 2003** hatte Präsident George W. Bush in seiner Rede zur Lage der Nation für die USA das Wasserstoff-Zeitalter eingeläutet. Mit seiner „Hydrogen Fuel Initiative“ brachte er ein 1,7 Milliarden US-Dollar schweres Forschungsprogramm auf den Weg, das Wasserstoff und Brennstoffzellen als saubere Alternative zu fossilen Energien entwickeln soll. Damit befindet sich die Bush-Administration im Zentrum einer Bewegung, die den Anschein erweckt, als wisse sie, wie, wann und auf welchen technischen Wegen sich die neue Ära des Wasserstoffs verwirklichen lässt:

- Island möchte als erstes Land der Erde vollkommen unabhängig von fossilen Ressourcen werden. Bis 2050 soll sämtliche Energie geothermisch oder durch Wind- und Wasserkraftanlagen erzeugt werden. Wasserstoff spielt als Energieträger eine zentrale Rolle. Nicht nur Autos, auch Fischkutter sollen mit Brennstoffzellen angetrieben werden.
- Kalifornien will bis 2010 ein flächendeckendes Netz von Wasserstoff-Tankstellen aufbauen. Entlang der „Hydrogen Highways“ soll es alle 20 Meilen eine Möglichkeit geben, Brennstoffzellen-Fahrzeuge zu betanken.
- Südkorea hat im Sommer 2005 den Plan verabschiedet, bis 2040 eine funktionsfähige Wasserstoffwirtschaft zu etablieren. 90 Prozent aller neuen südkoreanischen Fahrzeuge sollen dann mit Brennstoffzellen betrieben werden.
- Japan hat seine jährlichen Investitionen in die Brennstoffzellen-Technologie von 11 auf 35,5 Milliarden Yen, umgerechnet rund 250 Millionen Euro, mehr als verdreifacht.
- Die Europäische Union verteilt in einer so genannten Schnellstart-Initiative 2,8 Milliarden Euro öffentliche und private Gelder, um damit bis 2015 wichtige Forschungs- und Entwicklungsvorhaben der Wasserstofftechnologie zu finanzieren.

Unterstützt werden die von hohen Energiepreisen und klimabedingten Katastrophen umgetriebenen Politiker bei ihrem Wasserstoff-Kurs von Öl-Konzernen wie Shell und BP, aber auch von fast allen großen Automobilherstellern, die jeder für sich zum Teil bereits Milliarden in die Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Forschung gesteckt haben.

Ist also alles klar? Sind die zukünftigen Energieprobleme der Menschheit bereits so gut wie gelöst? Man könnte diesen Eindruck gewinnen, nimmt man all die Verlautbarungen, Pläne, Forschungsvorhaben und Resolutionen nur oberflächlich zur Kenntnis. Kaum ein Tag vergeht, ohne dass irgendwo zu lesen ist, Wasserstoff sei der Energieträger der Zukunft, der legitime Erbe von Öl, Benzin und Diesel. Und gibt es nicht bereits Fahrzeuge, die von Wasserstoff angetrieben werden? Sollen nicht bereits 2006 erste Motorräder mit Brennstoffzellenantrieb auf den Markt kommen? Werden nicht U-Boote bereits serienmäßig mit Brennstoffzellen betrieben?

**ALL DAS STIMMT.** Und doch wieder nicht. Denn keines der zahlreichen Vorzeigeprojekte hätte auch nur den Hauch einer Chance, unter wirtschaftlich realen Bedingungen zu bestehen. Weder die drei Wasserstoffbusse, die im Öffentlichen Personennahverkehr durch Hamburg flüstern, noch die dank Windkraft und Wasserstoff seit 2004 energieautarke Insel Utsira in Norwegen – all das sind hochsubventionierte Pilotprojekte. Zum realen Einsatz kommen Brennstoffzellen dort, wo Geld keine Rolle spielt, etwa in der Raumfahrt oder beim Militär.

Ein auf dem Markt konkurrenzfähiges Brennstoffzellen-Fahrzeug wird selbst von optimistischen Herstellern wie DaimlerChrysler nicht vor Mitte des kommenden Jahrzehnts erwartet. All die schönen Wasserstofftankstellen, etwa der von BMW und Linde 1998 am Münchner Flughafen errichtete „Kalte Finger“, sind bislang kaum mehr als potemkinsche Installationen. Fata Morganen einer Zukunft, die noch lange nicht stattfindet. Und, wenn man manchen Kritikern glaubt, niemals wirklich kommen wird.

Nicht wenige Experten halten die wunderbare Welt des Wasserstoffs für einen einzigen Bluff, die einschlägige Forschung für einen Schritt in die falsche Richtung. Zum Beispiel der SPD-Bundestagsabgeordnete und Präsident der Europäischen Sonnenenergievereinigung Eurosolar, Hermann Scheer. Der Träger des Alternativen Nobelpreises gilt als überzeugter Verfechter regenerativer Energien. Doch beim Thema Wasserstoff spricht Scheer von „ökologischem Selbstbetrug“ und „systemischem Unfug“. Und die Argumente, die er anführt, wiegen schwer.

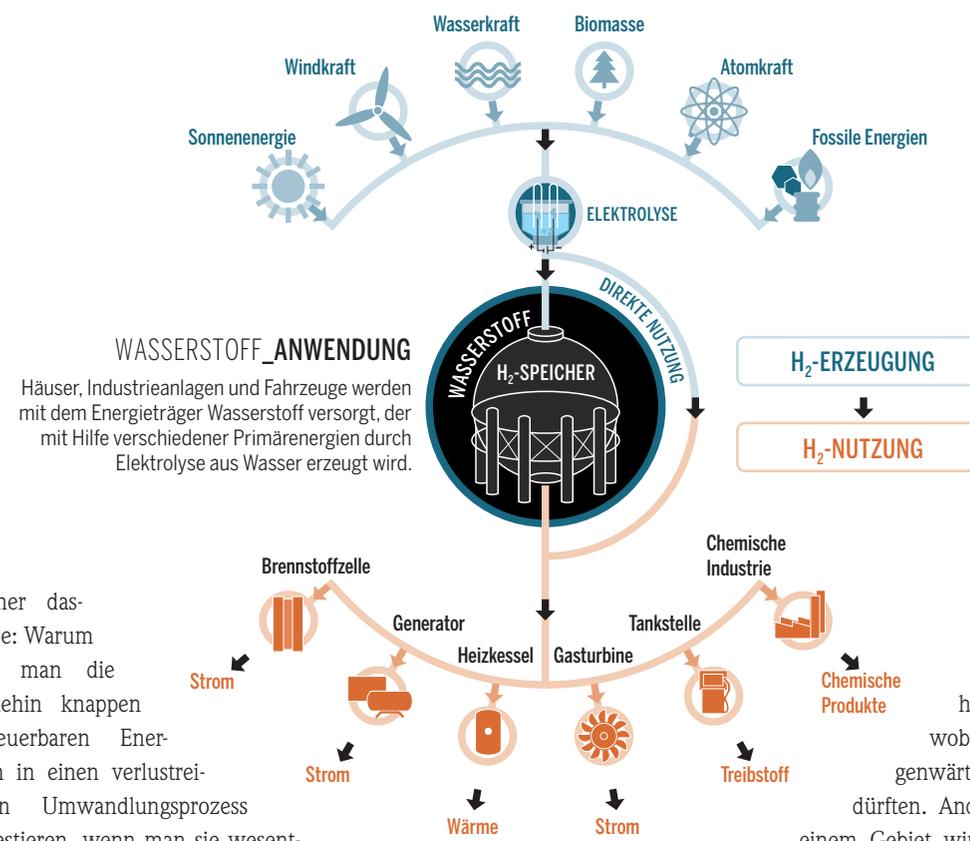
Anders als viele Wasserstoff-Propheten suggerieren, ist Wasserstoff keine Energie, sondern lediglich ein Energieträger, vergleichbar dem warmen Wasser in einer Heizung. Da Wasserstoff in reiner Form so gut wie nicht vorhanden ist, muss er zunächst aus seinen Verbindungen gelöst werden. Wenn Unternehmen wie Linde heute Wasserstoff in industriellem Maßstab herstellen, dann benutzen sie dazu Erdgas oder andere Kohlenwasserstoffe. Standardverfahren ist die Dampfreformierung. Dabei fallen in nicht unerheblichen Maße klimaschädliche Emissionen an.

Klimaneutral lässt sich Wasserstoff aus regenerativen Quellen herstellen, also vor allem mit Hilfe von Windkraft und Solaranlagen. Das Verfahren ist in diesem Fall Elektrolyse. Nur rund vier Prozent des Wasserstoffs werden heute auf diese Weise produziert. Der Grund: Alle Varianten dieses Verfahrens brauchen viel Strom, und der ist teuer. Ein Kilogramm Wasserstoff, per Dampfreformierung hergestellt aus Erdgas oder Kohle, kostet etwa 2,5 US-Dollar. Per Elektrolyse aus Windkraft produziert, kostet es zwischen 7 und 11 Dollar. Stammt der für die Herstellung notwendige Strom aus solaren Anlagen, klettert der Kilogramm-Preis auf 10 bis über 30 Dollar.

Und woher soll der saubere, mit regenerativen Energien produzierte Strom kommen? Eine Studie der britischen University of Warwick gelangte zu dem Ergebnis, dass 100.000 Windkraftanlagen benötigt würden, um die Lkw und Pkw der britischen Inseln mit Wasserstoff aus Elektrolyse zu versorgen. In den meisten Staaten ist der Anteil der Erzeugung erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung noch äußerst niedrig. Und vor allem: Die vergleichsweise geringen Strommengen, die durch Wind und Solarenergie erzeugt werden, können besser direkt als Strom verwendet werden, statt sie umständlich in Wasserstoff zu verwandeln.

Denn hier, im Verhältnis von eingesetzter und letztlich entnehmbarer Energie, liegt das größte Problem der angepeilten Wasserstoffwirtschaft. Soll der Wasserstoff beispielsweise in einer Brennstoffzelle ein Fahrzeug antreiben, kommt nur ein Bruchteil der Energie am Antriebsrad an. Bereits die elektrolytische Umwandlung kostet etwa 35 Prozent der eingesetzten Energie. Zum Transport muss der Wasserstoff verflüssigt oder in speziellen Druckbehältern komprimiert werden. Auch diese Prozesse kosten Energie. Flüssigwasserstoff muss bei minus 253 Grad Celsius gelagert werden. Die Spezialbehälter (zu deren Herstellung Energie verbraucht wird) müssen unter Energieaufwand transportiert werden. Selbst das Umfüllen des Wasserstoffs in einen anderen Tank verschlechtert die Bilanz deutlich.

**EINE MENGE HÜRDEN** also, die den Hydrogen-Highway derzeit noch zum hindernisreichen Holperweg machen. „Selbst mit effizienten Brennstoffzellen stehen dem Verbraucher nur etwa 25 Prozent des kostbaren Naturstroms zur Nutzung zur Verfügung“, rechnet der Brennstoffzellen-Experte Ulf Bossel vor: „Nur eines von vier Kraftwerken liefert Nutzenergie. Die restlichen drei werden ausschließlich für die Kompensation der inneren Verluste einer Wasserstoffwirtschaft benötigt.“ Der ehemalige ABB-Forscher gilt als Kronzeuge der erwachenden Anti-Wasserstoff-Bewegung. Doch Bossel fasst nur zusammen, was Forscher wieder und wieder in Studien errechnet haben. Das Fazit ist



immer das-selbe: Warum soll man die ohnehin knappen erneuerbaren Energien in einen verlustreichen Umwandlungsprozess investieren, wenn man sie wesentlich effizienter direkt verwenden kann?

Der Ausweg aus dem Dilemma ist für viele Befürworter einer Wasserstoffwirtschaft klar: Statt teure Wind-, Wasser- oder Sonnenenergie für die Herstellung von Wasserstoff zu benutzen, könnte man weiterhin fossile Energieträger wie Erdgas oder die noch für einen längeren Zeitraum vorhandene Kohle nutzen – oder Atomstrom. Kritische Beobachter wie Hermann Scheer sehen in den Wasserstoff-Visionen eine eindeutige „Pro-Atom-Kampagnenfunktion“: Unter dem hübschen Deckmantel des sauberen Wasserstoffs solle die von vielen Menschen aus guten Gründen inzwischen verworfene Atomenergie wieder ein positiv besetztes Image zurückgewinnen. Bestätigt sieht sich H<sub>2</sub>-Kritiker Scheer durch einen Blick auf die Strategie der USA, die bei ihrer Wasserstoff-Initiative klar auf die Atom-Option setzt. Unterdessen gehen die Vorbereitungen für den Einstieg ins Wasserstoff-Zeitalter weiter.

BP plant derzeit mit Shell und weiteren Partnern im Norden Schottlands auf der Basis von Erdgas eine gewaltige Wasserstofffabrik, die eine Viertelmillion Haushalte versorgen soll. Verkehrte Welt: Während sich die Öl-Multis zu Protagonisten einer sauberen Wasserstoffzukunft aufschwingen, würden Öko-Apologeten die neue Technik am liebsten noch vor ihrer Geburt

ins Technikmuseum verbannt sehen. Beide Seiten haben ihre Argumente, wobei die Skeptiker gegenwärtig im Vorteil sein dürften. Andererseits: Auf kaum einem Gebiet wird derzeit so umfassend geforscht wie über die Herstellung und Speicherung von Wasserstoff. Beinahe im Wochenrhythmus verkünden Universitäten auf der ganzen Welt wichtige neue Erkenntnisse. Nicht immer lässt sich entscheiden, ob es sich wirklich um einen Durchbruch handelt oder doch nur um einen weiteren Tropfen im Meer der spekulativen Ideen. So wie bei Swartz und Spormann, den Stanford-Forschern, und ihrer Cyanobakterie.

Doch vielleicht werden wir unseren Wasserstoff eines Tages – trotz aller aktuellen Bedenken – im Komposthaufen hinter dem Haus herstellen, wer will das ausschließen? Halbleiterindustrie und Internetbranche haben es innerhalb weniger Jahre geschafft, unsere Art zu arbeiten, zu produzieren und zu kommunizieren radikal zu verändern. Nur wenige hätten dies vor zwei Jahrzehnten ernsthaft vorauszusagen gewagt. Nicht an die revolutionären Potenziale von Wasserstoff zu glauben, hieße einen möglicherweise entscheidenden Teil des zukünftigen Energiemixes abzuschreiben. Noch allerdings findet die Revolution nicht statt.

TORSTEN MEISE arbeitet als freier Journalist in Hamburg.