

## Energie

## Japans Masterplan

Das japanische Wirtschafts- und Handelsministerium treibt die Forschung für H<sub>2</sub> als Energieträger mobiler und stationärer Anwendungen voran. Dazu gehören Brennstoffzellen und E-Mobilität. Für einen optimalen Energiemix sind technische und wirtschaftliche Aspekte zu berücksichtigen.

**F**ast alle Treibstoffe für die Kraftfahrzeuge auf Japans Straßen sind importiert, davon 87 Prozent aus dem Nahen Osten. Der Selbstversorgungsgrad mit elektrischer Energie ist nach der Fukushima-Nuklearkatastrophe im Jahr 2011 und der Abschaltung der meisten Kernreaktoren in Japan von etwa 20 Prozent im Jahr 2010 auf 8,3 Prozent im Jahr 2016 gesunken. In Deutschland beträgt der Selbstversorgungsgrad etwa 40 Prozent.

Die japanische Regierung hat wegen des gesunkenen Selbstversorgungsgrads ihren Masterplan für die Energieversorgung umgeschrieben und folgt nun dem Ziel 3E+S (energy security, economic efficiency, environment and safety, Abbildung 1).<sup>1,2)</sup> Dies berücksichtigt Verpflichtungen aus dem Kyoto-Protokoll des Jahres 1997 und aus dem 2015er Pariser Übereinkommen und soll einen optimalen Energiemix liefern.

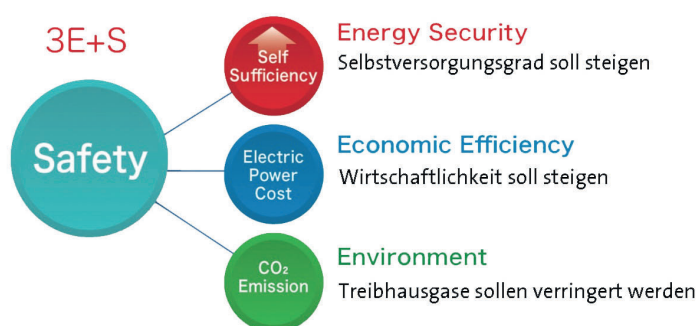


Abb. 1. Plaziele auf Japans Weg in eine Wasserstoff-Gesellschaft: 3E+S (energy security, economic efficiency, environment and safety).

Zum Energiemix wird weiterhin Atomstrom gehören; er soll im Jahr 2030 wieder 20 bis 22 Prozent von Japans Elektrizitätsbedarf decken. Stark wachsen soll der Anteil erneuerbarer Energien, vor allem aus Sonnenstrahlung und Wasserkraftwerken: Im Jahr 2030 werden sie den Plänen zufolge 22 bis 24 Prozent des Elektrizitätsbedarfs decken.

Zudem entwickeln japanische Forscher systematisch eine weitere Energiequelle: Wasserstoff, der ab dem Jahr 2030 ohne CO<sub>2</sub>-Emission zur Verfügung stehen soll; er wird dann nur noch durch Elektrolyse mit regenerativen Energiequellen erzeugt.

### Wasserstoffbetrieben fahren

Seit diesem Sommer ist in Japan außer dem mit H<sub>2</sub> bei 70 MPa (700 bar) Druck betriebenen Toyota Mirai und dem Honda Clarity der

Hyundai Nexa erhältlich. Die Preise der drei Fahrzeuge liegen jeweils über 7 Mio. Yen (umgerechnet etwa 60 000 Euro) und ihre Reichweiten zwischen 650 und 750 km pro Tankfüllung.

Ende des Jahres 2018 fuhren knapp 3000 solcher Fahrzeuge auf Japans Straßen.<sup>3)</sup> Das japanische Wirtschafts- und Industrieministerium schätzt, dass es im Jahr 2020 etwa 40 000 sein werden; sie sollen etwa die offizielle Fahrzeugflotte während der Olympischen Sommerspiele in Tokio stellen. Im Jahr 2025 soll es 200 000 und 2030 zirka 800 000 wasserstoffgetriebene Fahrzeuge in Japan geben.

Brennstoffzellenfahrzeuge (fuel cell vehicle, FCV) sollen ab einem Preis von 2,5 Mio. Yen (20 000 Euro) erhältlich sein. Auch wasserstoffgetriebene Busse wie Toyotas Sora, Lastwagen und Gabelstapler werden entwickelt.

Das H<sub>2</sub>-Tankstellennetz, zurzeit mit 120 Stationen nahezu flächen-

**Rolf Schmid** leitet das Unternehmen Bio-4-Business in Stuttgart und ist Spezialist für Entwicklungen der Biotechnologie in Japan und China. Er war Professor für Technische Biochemie an der Universität Stuttgart und Direktor des gleichnamigen Instituts am Zentrum für Bioverfahrenstechnik.  
<https://bio4business.eu/>

**Hirohisa Uchida** ist Tokai University Distinguished Professor sowie President und CEO des Kanagawa Science Park (KSP). Er hat am Max-Planck-Institut für Metallforschung und an der Universität in Stuttgart studiert und repräsentiert das Land Baden-Württemberg in Japan.



deckend, soll nächstes Jahr 160 und in fünf Jahren 320 Tankstellen umfassen; in den späten 2020er Jahren soll sich deren Geschäft ohne Subventionen tragen. Die Treibstoffkosten für Wasserstoffautos liegen derzeit bei zirka 9,50 Euro pro kg H<sub>2</sub>; die Fahrzeuge verbrauchen etwa 1,1 kg H<sub>2</sub> auf 100 km; 100 km Fahrleistung kosten also etwa 10,50 Euro.

**Elektrifizieren und Heizen**

Der Plan des japanischen Wirtschafts- und Industrieministeriums stellt heraus, dass auch Unternehmen und Haushalte H<sub>2</sub> als Brennstoff nutzen können, deren Elektrifizierung schwierig oder teuer ist. Im Jahr 2009 brachte das Öl- und Gas-Explorations- und Produktionsunternehmen Nippon Oil eine Polymerelektrolytbrennstoffzelle (PEFC) mit einer Leistung von etwa 1000 Watt auf den Markt (Ene-Farm-Programm); Toshiba, Eneos – ein Gemeinschaftsunternehmen von Nippon Oil und Sanyo – und Panasonic entwickelten sie zu Feststoffelektrolytbrennstoffzellen (SOFC) weiter. Wegen staatlicher Prämien kauften vor allem Eigenheimbesitzer bisher ungefähr 200000 Einheiten für jeweils zirka 15000 Euro. Bis zum Jahr 2020 sollen die Preise wegen Skalierungseffekten auf etwa die Hälfte sinken und staatliche Anreize entfallen.

Seit Ende 2015 unterstützt die Regierung die Einführung von Brennstoffzellen der nächsthöheren Leistungsklasse, 20 kW, für kleine Betriebe wie Restaurants, Geschäfte und Arztpraxen. Ein solches Gerät von Hitachi Zosen erreichte bisher eine 52%ige Energieausbeute während einer Betriebsdauer von 4000 Stunden.

Städte wie Osaka, Kobe und Kawasaki versorgen versuchsweise Stadtteile mit H<sub>2</sub>-Energie.<sup>4-6)</sup> Vorläufig setzen sie dabei auf Turbinen, betrieben mit einem Gemisch aus H<sub>2</sub> und Erdgas.

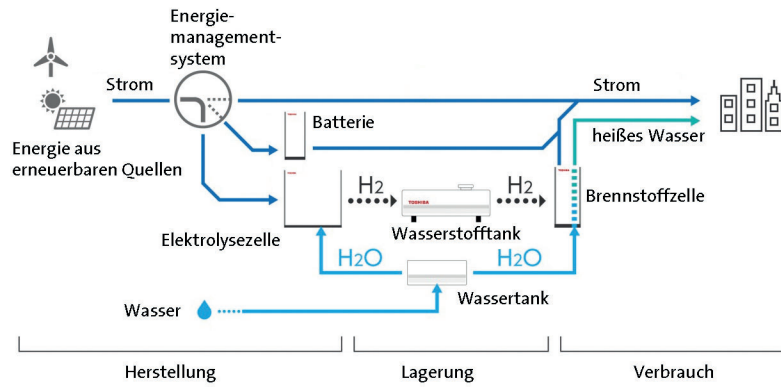


Abb. 2. Das H<sub>2</sub>One-System von Toshiba funktioniert mit dem Wasserstoffmanagementsystem (hydrogen energy management system, H<sub>2</sub> EMS) unabhängig von anderen Wasserstoffnetzen.

Mit H<sub>2</sub> betriebene Brennstoffzellen der Leistungsklasse 100 bis 250 kW sind in der Erprobung. Ein Beispiel ist Osakas Flughafen Kansai, dessen Busse, Limousinen und Gabelstapler über ein eigenes Wasserstoffnetz laufen.<sup>7)</sup> Netzunabhängige Systeme wie das H<sub>2</sub>One-System von Toshiba<sup>8)</sup> sind serienreif (Abbildung 2); sie liefern Energie in entlegenen Regionen oder bei Notfällen.

**Versorgung mit Wasserstoff**

In Japan werden zurzeit jährlich etwa 1000 t H<sub>2</sub> erzeugt. Bis zum Jahr 2030 soll die Produktion auf 300000 Jahrestonnen, bis 2050 auf 10 Mio. steigen. Die derzeitige Versorgung ist nicht CO<sub>2</sub>-neutral, wie im Kyoto-Protokoll gefordert, sondern beruht hauptsächlich auf der Erdgasreformierung bei 800°C

**H<sub>2</sub> IN DEUTSCHLAND: Brennstoffzellenzug ans Meer**

In Niedersachsen haben sich mehr als 20 Unternehmen zu einer Wasserstoffallianz zusammengeschlossen. Die Akteure aus Wirtschaft und Wissenschaft, darunter der Oldenburger Energiecluster Olec und die Universität Hannover, wollen damit eine niedersächsische grüne Wasserstoffwirtschaft aufbauen. Dabei geht es vor allem um Mobilität und maritime Wirtschaft.

Die H<sub>2</sub>-Initiative fördert Pilotvorhaben und Demonstrationsprojekte. So fahren seit einem Jahr zwei Brennstoffzellenzüge auf der Bahnstrecke zwischen Cuxhaven und Buxtehude. Die vom französischen Zughersteller Alstom in Salzgitter gebauten Züge haben auf dem Dach einen Wasserstofftank und eine Brennstoffzelle, um elektrische Energie zu erzeugen. Diese lädt Lithiumionenakkus im Zugboden und treibt den Elektromotor des Zugs

an. Der Wasserstoff stammt allerdings aus gewöhnlicher Elektrolyse, die Strom aus Kohlekraftwerken nutzt und daher nicht CO<sub>2</sub>-neutral ist. Nun soll in Bremervörde eine Tankstelle entstehen, die zumindest einen Teil des Wasserstoffs mit regenerativer Energie erzeugt, und es sind 14 weitere Züge bestellt. MB



Der Brennstoffzellenzug Coradia iLint fährt in Niedersachsen und ist für Hessen geplant. Foto: Alstom, Michael Wittwer

Jahr	2020	2025	2030	2040
<b>H<sub>2</sub>-Versorgung</b>				
	aus australischer Braunkohle für umgerechnet knapp einen Euro pro Normkubikmeter + Transportkosten			
		zunehmend aus erneuerbaren Energien		
			aus preisgünstigen Elektrolysezellen mit geringem Stromverbrauch	
<b>Haushalte</b>				
Ene-Farm-SOFC (> 1 kW)	> 200000 Einheiten	halber Preis pro Einheit führt zu Marktwachstum		
SOFC (> 100 kW)	Tests	Geschäfte und Stadtteile sind versorgt		
<b>Mobilität</b>				
Zahl H <sub>2</sub> -Autos	40000	200000	800000	
Zahl H <sub>2</sub> -Busse	100	1200		
Zahl H <sub>2</sub> -Tankstellen	160	320	900	
Kosten pro Normkubikmeter [Euro]		umgerechnet etwa 2,40	umgerechnet etwa 1,60	

Tab. Japans Planziele zur Wasserstoffversorgung im Zeitstrahl.  
SOFC: Feststoffelektrolytbrennstoffzellen.

nach den Gleichungen  
 $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3 \text{H}_2$  und  
 $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$ .

Parallel dazu baut die japanische Regierung eine Versorgung über den Seeweg auf. Zwei Verfahren kommen dafür infrage:

Kawasaki Heavy Industries stellt mit der Wassergas-Shiftreaktion H<sub>2</sub> aus australischer Braunkohle her und transportiert flüssigen H<sub>2</sub> auf Kühlschiffen nach Japan (hydrogen road).<sup>9)</sup>

Die Spera-Hydrogen-Prozesskette des Energieunternehmens Chiyoda dagegen separiert in Brunei H<sub>2</sub> aus Raffinerieabgasen, produziert über das Hydrieren von Toluol Methylcyclohexan und transportiert dieses in Tankschiffen nach Kawasaki, wo das Toluol dehydriert und zurückgewonnen wird.<sup>14)</sup> Die Spera-Anlage startete in diesem Jahr und soll pro Jahr 210 t H<sub>2</sub> oder 40 000 Tankfüllungen für wasserstoffbetriebene Pkw liefern.

Die beiden Versorgungswege sollen in etwa zehn Jahren zusammen 300 000 t H<sub>2</sub> pro Jahr bereitstellen und ab dem Jahr 2025 kostendeckend arbeiten.

Für den Transport und das Speichern von H<sub>2</sub> innerhalb Japans untersuchen japanische Forscher außer Hydriden nanostrukturierte Fe-Ti-Legierungen, die Wasserstoff re-

versibel binden.<sup>10)</sup> Sie dienen bereits zur Temperaturkontrolle in Gewächshäusern und in der Aquakultur.

Beide H<sub>2</sub>-Herstellprozesse entlassen allerdings Treibhausgase. Großskalige kohlenstoffneutrale Herstellverfahren für Wasserstoff (carbon-free hydrogen) – analog zum H<sub>2</sub>One-System von Toshiba – werden deshalb intensiv bearbeitet und sollen ab Mitte der 2020er Jahre die genannten Versorgungswege

ergänzen und ablösen. Dabei soll H<sub>2</sub> vor allem aus Power-to-Gas-Prozessen kommen, wobei die Wasserelektrolyse mit Überschussstrom im Vordergrund steht.

Die japanischen Experten rechnen für bereits etablierte Techniken mit Kosten von etwa 50 000 Yen pro kW im Jahr 2020 und im Jahr 2032 mit Kosten wie für den als Methylcyclohexan importierten H<sub>2</sub>.

In Fukushima entsteht das „Wasserstoffforschungsareal FH<sub>2</sub>R“. Das von Sangyo erbaute und von Toshiba Energy Systems sowie der Tohoku Electric Power betriebene Forschungszentrum soll zum Jahresende in Betrieb gehen und mit 10-MW-Photovoltaikanlagen und Überschussenergie aus dem Netz jährlich 900 t H<sub>2</sub> liefern.

Zudem untersuchen japanische Forscher flüssiges Ammoniak als Energiequelle. Mit diesem Treibstoff ließen sich das NO<sub>x</sub>-Problem lösen und die Sicherheit beim Treibstofftransport in Tanks verbessern.

Darüber hinaus will die japanische Regierung die Herstellung von H<sub>2</sub> aus ungenutzten regionalen Ressourcen wie Plastikabfällen und Klärschlamm ausbauen (low-carbon hydrogen).

### Projekte des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) will in den nächsten drei Jahren etwa 180 Mio. Euro für Wasserstoffforschung bereitstellen und verdoppelt damit die Mittel der vergangenen drei Jahre. Gefördert wird grüner Wasserstoff, also solcher, der nicht auf fossilen Rohstoffen beruht, sondern klimaneutral erzeugt wurde.

Beispielsweise soll mit 30 Mio. Euro im Power-to-X-Projekt eine effiziente und kostengünstige Elektrolyse zur Marktreife gelangen. Zudem soll Afrika Partner der deutschen Energiewende werden: Für den „Potenzialatlas zu grünem Wasserstoff und synthetischen Kraftstoffen“ analysieren deutsche Unternehmen und Forschungspartner vor Ort Standorte in Afrika, deren Erzeugungs- und Exportpotenziale sowie ihre Erschließung. Und eine deutsch-französische Forschungskooperation will grünen Wasserstoff in Alltagsanwendungen bringen, etwa zum Heizen.

Bis zum Jahr 2030 will die Bundesregierung die jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen auf etwa 350 Mio. Tonnen reduzieren. Im Jahr 2014 waren es 890 Mio. Tonnen.

MB

## Kosten

Für das Jahr 2030 rechnet das japanische Wirtschafts- und Industrieministerium für Treibstoffwasserstoff mit Kosten von etwa 30 Yen (2,5 Eurocent) pro Nm<sup>3</sup>, wenn bis dahin 300 000 Jahrestonnen erreicht sind, was 1 GW Strom entspricht (Tabelle).

Auf weitere Sicht könnten die Kosten auf 1,7 Eurocent pro Nm<sup>3</sup> sinken. Längerfristig sollen die Kosten ähnlich denen bei den derzeitigen Kraftwerken auf Flüssigerdgasbasis sein und 5 bis 10 t H<sub>2</sub>-Gas jährlich entstehen, womit 15 bis 30 GW Strom erzeugt werden könnten.

## Sicherheit

Das japanische Sicherheitskonzept für H<sub>2</sub> als Brennstoff baut auf dem Standard ISO TC 197 auf, bei

Brennstoffzellen für Haushalte auf IEC/TC105. Ein Kabinettsbeschluss vom 14. Dezember 2013 intiierte eine aufsichtsrechtliche Reform für Brennstoffzellenfahrzeuge und Wasserstofftankstellen. Seither aktualisieren acht Arbeitsgruppen die Standards. Neue Vorschriften erlauben höhere Speicherlimits und machen ständiges Überwachen von Brennstoffzellen mit einem Betriebsdruck von 0,1 MPa oder mehr überflüssig. Für H<sub>2</sub>-betriebene Fahrzeuge und H<sub>2</sub>-Tankstellen gelten eigene Sicherheitsmaßnahmen, etwa Feuermelder und Absperrventile. Zudem laufen Programme zur bürgernahen Information über Vorteile und Risiken der H<sub>2</sub>-Technik. <<

- 1) R. Schmid, Nachr. Chem. 65, 2017, 1004
- 2) [www.enecho.meti.go.jp/en/category/brochures/pdf/japan\\_energy\\_2017.pdf](http://www.enecho.meti.go.jp/en/category/brochures/pdf/japan_energy_2017.pdf)
- 3) [www.fchea.org/in-transition/2019/3/11/japan-fuel-cell-developments](http://www.fchea.org/in-transition/2019/3/11/japan-fuel-cell-developments)
- 4) [www.pref.osaka.lg.jp/attach/27285/00000000/vision.pdf](http://www.pref.osaka.lg.jp/attach/27285/00000000/vision.pdf)

- 5) [www.toshiba.co.jp/about/press/2015\\_04/pr2001.htm](http://www.toshiba.co.jp/about/press/2015_04/pr2001.htm)
- 6) [www.gov-online.go.jp/eng/publicity/book/hlj/html/201502/201502\\_05\\_en.html](http://www.gov-online.go.jp/eng/publicity/book/hlj/html/201502/201502_05_en.html)
- 7) [www.toshiba-energy.com/en/hydrogen/about/index.htm](http://www.toshiba-energy.com/en/hydrogen/about/index.htm)
- 8) <https://global.kawasaki.com/en/hydrogen/>
- 9) [www.chiyodacorp.com/en/service/spera-hydrogen/innovations/](http://www.chiyodacorp.com/en/service/spera-hydrogen/innovations/)
- 10) T-Haraki, K. Oishi, H. Uchida et al., Int. J. Mater. Res. 2008, 99, 507–512

## AUF EINEN BLICK

Wasserstoff soll in Japan Bestandteil des Energiemixes werden.

Der Anteil erneuerbarer Energien im Energiemix soll steigen.

Für Fahrzeuge und städtische Energieversorgung sollen neue Geschäftsfelder entstehen.

Weltweit soll H<sub>2</sub> als Energieträger akzeptiert und Sicherheitsstandards dafür sollen international harmonisiert werden.

# Kunststoffwirtschaft in aller Welt

**Clariant investiert in mehr Katalysatoren in China** | Der Schweizer Spezialchemiekonzern Clariant erweitert die Katalysatorenproduktion in Panjin im Nordosten Chinas. Das Unternehmen investiert mehrere zehn Millionen Schweizer Franken in eine Anlage, um diese zu optimieren und eine Produktionslinie für Katalysatoren für die Maleinsäureanhydridproduktion einzurichten. Die Produktionsmenge soll von 1,75 Mio. Tonnen im Jahr 2018 auf knapp über zwei Mio. Tonnen im Jahr 2022 steigen. Maleinsäureanhydrid ist eine Komponente von Polymeren und Beschichtungen.

**Deutsche Kunststoffverarbeitung schwächelt** | Die Deutsche Kunststoffverarbeitung macht in diesem Jahr weniger Umsatz als ein Jahr zuvor. Im zweiten Quartal hat sich die negative Entwicklung verstärkt. So haben die „Fachlichen Betriebsteile“ der Branche ein Umsatzminus

von 2,5 % gegenüber dem zweiten Quartal 2018. Auch die Halbjahressumme fällt um 1,1 % auf rund 27 Mrd. Euro. Der einzige Bereich, der im zweiten Quartal zulegen konnte, war der Baubedarf.

**Solvay verkauft Polyamidgeschäft** | Domo Chemicals mit Sitz in Leuna übernimmt das europäische Performancepolyamidgeschäft des belgischen Chemieunternehmens Solvay. Zum Geschäft gehören Engineering Plastics in Frankreich und Polen, High Performance Fibers in Frankreich sowie Polymer- und Zwischenprodukte in Frankreich, Spanien und Polen. Ebenfalls enthalten ist das Gemeinschaftsunternehmen von BASF und Domo in Frankreich zur Adipinsäureproduktion. Die gesamte Transaktion mit einem Kaufpreis von 1,6 Mrd. Euro soll bis Ende 2019 abgeschlossen sein.

**Röhm geht an Investor** | Evonik Industries hat das Unternehmen Röhm ausgegliedert. Der frühere Methacrylatverbund geht als eigenständiges Unternehmen an die Beteiligungsgesellschaft Advent International. Mit einem Umsatz von 1,9 Mrd. Euro und etwa 3900 Mitarbeitern an 15 Produktionsstandorten zählt Röhm zu den Marktführern der Methacrylatchemie. Als deren Begründer gilt der Chemiker und Firmengründer Otto Röhm (1876–1939), der vor etwa 85 Jahren Acrylglas entwickelte.

**Wacker: mehr Dispersionspulver in Südkorea** | Wacker Chemie hat einen neuen Sprühtrockner zur Dispersionspulverproduktion im südkoreanischen Ulsan in Betrieb genommen. Polymere Dispersionen und Dispersionspulver dienen der Herstellung von Baustoffen.

Jörg Wetterau, Labor für Kommunikation