

Japan setzt auf Wasserstoff

Rolf Schmid

Japanische Projekte zu Mobilität und Energie sind langfristig angelegt. Sie prüfen Wasserstoffquellen von Ammoniak bis Wasser. Dabei planen Verbände aus Regierung, Kommunen, Forschung und Industrie die Teilaufgaben und setzen sie gemeinsam um.

● Ende des Jahres 2014 erschien ein Weißbuch des japanischen Industrieministeriums zu Wasserstofftechnologien. Es zeichnet die Vision einer Gesellschaft, die im Jahr 2050 ihren Energiebedarf weitgehend mit H_2 deckt. Etliche der Entwicklungen haben ein Pen-

dant in Deutschland (Kasten); diese erwähnt das Weißbuch respektvoll.

In Japan sind solche Studien beliebt, das japanische Industrieministerium benötigt Marktabschätzungen, dessen Projektträger die technischen Optionen. So enthält dieses Weißbuch eine Fülle an Expertenwissen zu Wasserstoff als Energieträger, darunter eine Marktprognose für Japan:

Erst ab etwa dem Jahr 2035 werden demnach dort große Märkte für Wasserstofftechniken erwartet; sie könnten dann aber schnell auf acht Trillionen Yen wachsen; das sind etwa 62 Milliarden Euro oder 1,3 Prozent des weltweiten Chemikalienmarkts im Jahr 2016. Zurzeit bestimmen vor allem stationäre Brennstoffzellen, langsam zunehmend auch wasserstoffgetriebene Fahrzeuge den noch kleinen Markt (Abbildung 1). Japan unterstützt diese frühe Entwicklungsphase mit öffentlich-privaten Partnerschaften (public private partnerships, PPP). Diese langfristige Orientierung ist ein Kennzeichen japanischer Industriepolitik.

Eines dieser Gemeinschaftsprojekte zielt beispielsweise auf die Versorgung mit Wasserstoff über den Seeweg: H_2 soll im südostasiatischen Ölförderland Brunei aus Erdgas erzeugt werden und in Japan als Energieträger dienen. Von Brunei nach Japan transportieren Schiffe den Wasserstoff als

Methylcyclohexan, erzeugt durch Toluolhydrierung. Eine Anlage im japanischen Kawasaki dehydriert das Methylcyclohexan, danach wird das Toluol nach Brunei verschifft und dort wieder hydriert (Abbildung 2). Im Jahr 2019 soll die Prozesskette in Betrieb gehen und pro Jahr 210 Tonnen H_2 für 40 000 Tankfüllungen wasserstoffbetriebener Fahrzeuge liefern.

Wasserstoffbetriebene Fahrzeuge

● Seit Ende des Jahres 2014 ist in Japan für umgerechnet 56 000 Euro die Wasserstofflimousine Toyota Mirai (Abbildung 3) erhältlich, seit März 2016 der Honda Clarity für 60 000 Euro. Die Motoren beider Fahrzeuge arbeiten mit H_2 bei 70 MPa (700 bar) Druck. Die Reichweite beträgt 650 bis 700 km, die Befüllung der Tanks dauert drei Minuten. Die Wagen verbrauchen etwa 1,1 kg H_2 auf 100 km, äquivalent zum Energieinhalt von 3 L Benzin – die Treibstoffkosten liegen bei 9,50 Euro pro kg H_2 , umgerechnet bei etwas über 10 Euro auf 100 km. Seit dem Jahr 2016 ist der Toyota Mirai in Deutschland als Leasing-Fahrzeug erhältlich.

Ende 2016 fuhren etwa 1500 Wasserstofffahrzeuge auf Japans Straßen. Das japanische Industrieministerium rechnet im Jahr 2020 mit 40 000, 2025 mit 200 000 und 2030 mit 800 000 Einheiten. Ausschlaggebend für den Erfolg dieser

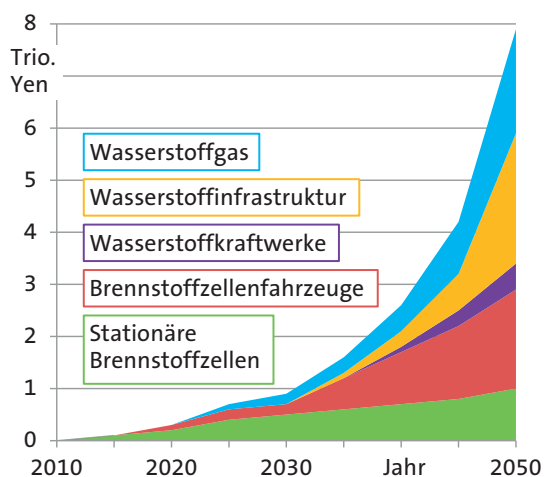


Abb. 1. Marktprognose für Wasserstoff als Energieträger bis zum Jahr 2050 in Japan.

QUERGELESEN

- » Ein japanisches Weißbuch zur Wasserstofftechnik liefert Marktprognosen für Japan bis ins Jahr 2050.
- » Besonders stark wachsen werden die Wasserstoffinfrastruktur und die Zahl der mit Brennstoffzellen betriebenen Kraftfahrzeuge.
- » Japanischen Projekten ist der langfristige Horizont, der Konsens in der Planung sowie die Realisierung in Verbänden aus Regierung, Kommunen, Forschung und Industrie zu eigen.

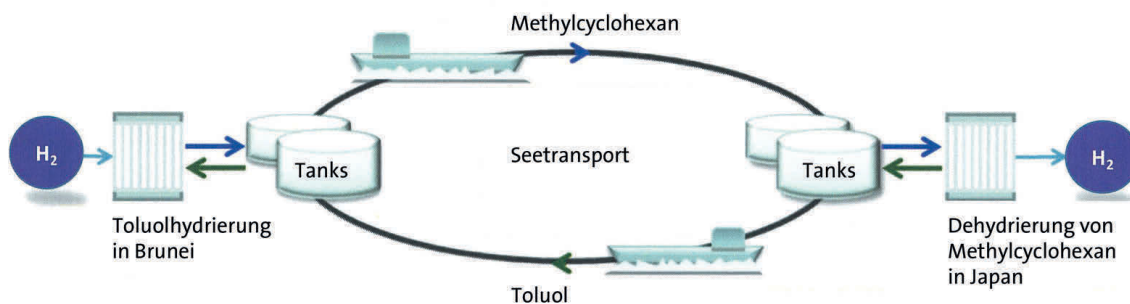


Abb. 2. Hydrierung und Dehydrierung laufen nach dem Spera-Prozess von Chiyoda Corporation.

Technik werden Kosten, Sicherheit und Infrastruktur sein. Der Preis für H₂ liegt in Japan derzeit bei 1000 Yen (7,60 Euro) pro Kilogramm; bis 2020 soll er auf 667 Yen fallen (5,10 Euro).

Das Sicherheitskonzept baut seit dem Jahr 1989 auf dem Standard ISO TC 197 auf, acht Arbeitsgruppen aktualisieren ihn. Für den Ausbau des H₂-Tankstellennetzes in Japan ist seit dem Jahr 2016 die bereits im Jahr 2001 gegründete Fuel Cell Commercialization Conference of Japan zuständig, ein Konsortium aus fast 100 Autobauern, Treibstofflieferanten und weiteren Interessenten. Sie überwachen die Standardisierung des Netzes aus über 90 H₂-Tankstellen (Abbildung 4, S. 1006). In Japan gab es im Jahr 2016 insgesamt etwa 35 000 Tankstellen und über 40 000 Ladestationen für Elektro- und Hybridfahrzeuge.

Stationäre Brennstoffzellen

Seit dem Atomunfall von Fukushima im Jahr 2011 tragen fossile Energieträger fast 90 Prozent zum japanischen Energiemix bei, zur Hälfte ist das importiertes Erdgas. Langfristig soll Japans Energieversorgung weniger umweltschädlich werden, und H₂ soll einen Beitrag dazu leisten. Bei der Verstromung von Erdgas gehen etwa zwei Drittel der Energie als Wärme verloren. Brennstoffzellen können dagegen 80 Prozent oder mehr der im Erdgas enthaltenen Energie als Strom und Wärme bereitstellen.

Im Jahr 2009 entwickelte Masahiro Watanabe von der Yamana-

shi Universität eine Polymerelektrolyt-Brennstoffzelle (PEFC), die den im Erdgas chemisch gebundenen Wasserstoff reduziert und mehr als 99,9 Prozent des dabei entstehenden CO entfernt. Die frei werdende Wärme kann Warmwasser erzeugen, sodass die Energieumwandlungseffizienz des Prozesses bei über 80 Prozent liegt.

Nach der Weiterentwicklung des Konzepts zu einer Feststoffelektrolytbrennstoffzelle (SOFC) mit einer Leistung von 750 bis 1000 Watt wurde sie unter der Bezeichnung „Ene Farm“ zuerst vom japanischen Unternehmen JX, später auch von Toshiba, Eneos und Panasonic kommerzialisiert. Bis zum Jahr 2015 kauften vor allem Eigenheimbesitzer etwa 140 000 Einheiten für zirka 15 000 Euro pro Stück, allerdings mit beträchtlichen staatlichen Prämien.

Von diesem Erfolg ermutigt, entstand Ende 2015 ein Gemeinschaftsprogramm zur Entwicklung von SOFCs der 5-kW-Klasse und höher. Die neue Zielgruppe sind

Kleinbetriebe wie Restaurants, Sporthallen und Arztpraxen. Ein erster Hersteller will ab Oktober Geräte mit 4,2 kW Leistung liefern. Das Unternehmen rechnet dafür mit einem Marktvolumen von 100 000 Stück.

Die nächste Leistungsstufe von 20 kW, gebaut von Hitachi Zosen, soll nun in einem Energieverbund in Osaka erprobt werden. Mitsubishi Heavy Industries arbeitet an SOFCs mit 250 und 2350 kW Leistung.

Kommunale Entwicklungen

Größer dimensionierte SOFCs sollen in den nächsten Jahren ganze Stadtteile mit Strom und Wärme versorgen. Vorreiter ist die Stadt Osaka mit dem Projekt H2Osaka Vision. Im Rahmen dieser öffentlich-privaten Partnerschaft aus etwa 40 Unternehmen soll die Stadtregion bis zum Jahr 2020 zu einem Demonstrationsbeispiel für die Energieversorgung mit Wasserstoff werden. Dazu gehören ein dichtes

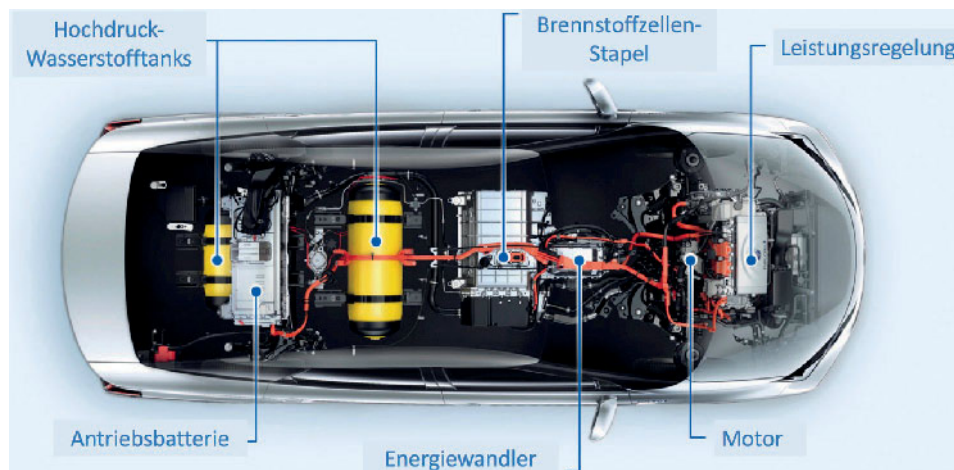


Abb. 3. Antriebs-elemente des Toyota Mirai.

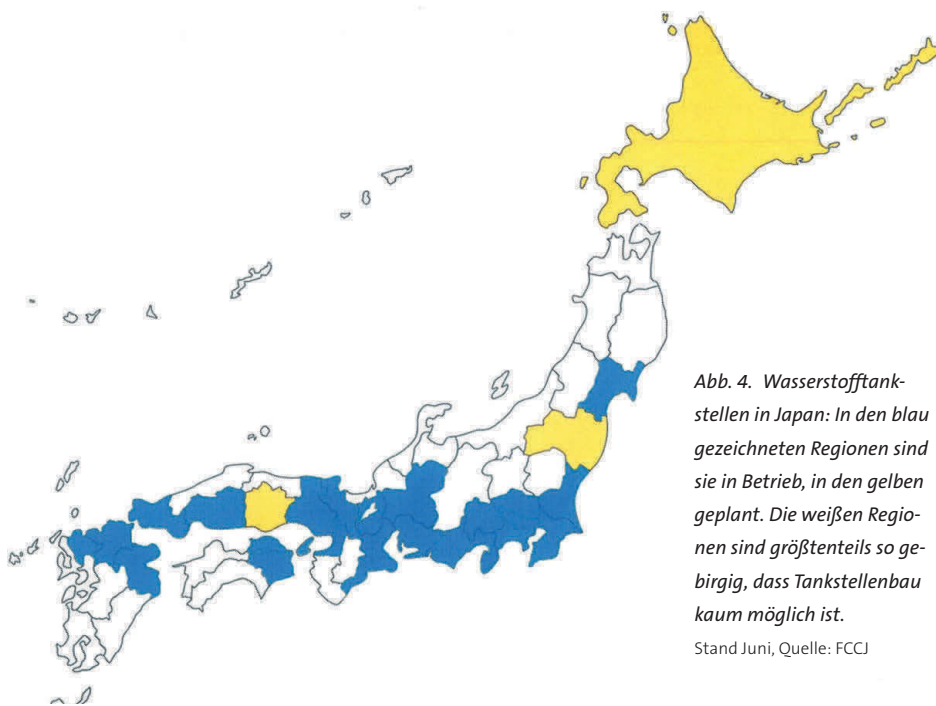


Abb. 4. Wasserstofftankstellen in Japan: In den blau gezeichneten Regionen sind sie in Betrieb, in den gelben geplant. Die weißen Regionen sind größtenteils so gebirgig, dass Tankstellenbau kaum möglich ist.

Stand Juni, Quelle: FCCJ

Netz von Wasserstofftankstellen (derzeit neun) und wasserstoffbetriebene Busse.

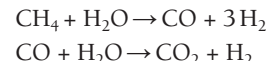
Seit dem Jahr 2014 erprobt Osaka Flughafen Kansai ein Wasserstoffstromnetz, an das Busse, mit Brennstoffzellen betriebene Gabelstapler und lokale Energieverbraucher angeschlossen sind. Zudem ist eine Elektrizitäts- und Wärmeversorgung mit Wasserstoff vorgesehen. Im Juni übergab Hitachi Zosen die erste SOFC der 20-kW-Klasse (Maße: 4,3×2,2×2,8 m) an das Osaka Industrial Technology Institute zur Langzeiterprobung über 4000 Stunden unter Praxisbedingungen.

Die Hafenstädte Kobe und Kawasaki treiben ähnliche Projekte voran. Seit dem Jahr 2006 betreibt die Universität von Kyushu in Fukuoka das Wasserstoffforschungszentrum Hydrogenius, das stattdell unterstützt wird. Es befasst sich vor allem mit der technischen Infrastruktur, darunter Materialien und Messgeräte.

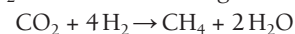
Gasreformierung

● Es gibt verschiedene Verfahren, um Wasserstoff zu gewinnen; sie befinden sich in unterschiedlichen Entwicklungsstadien (Tabelle). In Japan weit entwickelt ist die Reformierung von Erdgas nach den Gleichungen

$\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$



Die Reaktion ist endotherm und wird bei zirka 800°C durchgeführt. Katalysatorvergiftende Schwefelverbindungen entfernt man bis unter 0,1 ppm durch Ni-Mo- oder Co-Mo-Katalysatoren, gefolgt von einer ZnO-Falle. Bei der Reaktion entsteht CO₂, dessen Ausstoß es im Sinn des Pariser Abkommens zum Klimaschutz zu verringern gilt. Eine Lösung für „CO₂-freien Wasserstoff“ – so lautet der japanische Begriff – besteht in einer Methanisierung des CO₂ durch überschüssiges H₂ nach der Gleichung



Das japanische Programm geht davon aus, dass ab dem Jahr 2040 Smart-Energy-Verfahren wirtschaftlich geworden sind. Dabei wird H₂ mit Strom aus erneuerbaren Energien erzeugt: Power-to-gas-Verfahren [diese Nachr. S. 1040]. Dies geschieht beispielsweise durch Elektrolyse mit überschüssigem Solar- oder Windstrom, wobei auch feste Polymerelektrolyte (PEM) zum Einsatz kommen.

Die Planung des japanischen Projekts „Wasserstoff als Energieträger“ ist in drei Phasen eingeteilt. Phase 1 dauert bis zum Jahr 2020: Der Wasserstoff für Japan stammt dann aus Reformgas, Elektrolyse und dem Import per Schiff. Dies gilt auch für Phase 2 bis zum Jahr 2040. Ab dem Jahr 2025 soll Was-

Wasserstoffförderung und -forschung in Deutschland

- » Die Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie steuert das Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur: www.now-gmbh.de/de
- » Die H₂ Mobility Deutschland plant, baut und betreibt Wasserstofftankstellen. Im Juni gab es 30 davon in Deutschland, etwa 100 sollen es im Jahr 2019 sein und bis zu 400 im Jahr 2023. Die Bundesregierung fördert den Bau der Anlagen mit 1,6 Mio. Euro: <http://h2-mobility.de>
- » Der Bundesbericht Energieforschung 2017 zeigt die Förderpolitik der Bundesregierung in der Energieforschung und fasst Fördermittel der Bundesländer und der EU-Forschungspolitik zusammen: <http://bit.ly/2sepVcM>
- » Zusammen mit dem Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie hat Shell eine Energieträgerstudie erstellt, die sich mit der Wasserstoffnutzung befasst: <http://bit.ly/2vly9hw>
- » Der Deutsche Wasserstoff- und Brennstoffzellenverband bezeichnet sich als die „Lobby der Wasserstofftechnologie in Deutschland“: www.dwv-info.de

serstoff als Treibstoff nicht teurer sein als der Treibstoff für Verbrennungsmotoren. Ab dem Jahr 2030 soll die Energieversorgung weitgehend auf Wasserstoff umgestellt sein. In Phase 3 – ab dem Jahr 2040 – soll der Wasserstoff für Japan komplett aus Japan kommen, erzeugt mit Power-to-gas- oder neueren Verfahren.

Wasserstoffquelle Ammoniak

● Ammoniak enthält 17,8 Gewichtsprozent Wasserstoff und lässt sich leicht verflüssigen. Es kann bei 670 °C an Rutheniumkatalysatoren gecrackt und durch LiH oder Elektrolyse dehydriert werden.

Ein Industriekonsortium entwickelte eine modular aufgebaute SOFC der 1-kW-Klasse, die stabil über 1000 Stunden mit einer Energieumwandlungseffizienz von über 50 Prozent läuft. Das Tokyo Institute of Technology gewann flüssigen Ammoniak bei Raumtemperatur aus einem Stickstoff-Wasser-

Wasserstoff	Status	Verfügbarkeit	CO ₂ -Emissionen	Wirtschaftlichkeit
als Nebenprodukt aus Soda- und Stahlproduktion	etabliert	hoch	ja	gut
aus Reformierung fossiler Brennstoffe	etabliert	hoch	gering in CCS-Systemen	gut
aus thermischer Wasserelektrolyse	etabliert	hoch	gering in CCS-Systemen	gut
aus regenerativer Wasserelektrolyse	etabliert	energiekostenabhängig	keine in CCS-Systemen	energiekostenabhängig
aus Biomasse durch Pyrolyse	etabliert	transportkostenabhängig	gering	transportkostenabhängig
aus thermischer Wasserzersetzung	Versuchsstadium	wahrscheinlich hoch	abhängig von Energiequelle	unbekannt
aus Wasserphotolyse	Versuchsstadium	wetterabhängig	keine	unbekannt
aus Ammoniak	Versuchsstadium	hoch	gering in CCS-Systemen	unbekannt

Verfahren, die Wasserstoff gewinnen (CCS: Carbon Capture and Storage, Abscheidung und Speicherung von Kohlenstoff).

stoff-Gemisch; als Katalysator dienten dabei Ru-Nanopartikel auf einem C12A7-Elektrid (12 CaO·7 Al₂O₃). Dieser kleinvolumige Prozess soll nach Vorstellung des Unternehmens Tsubame BHB, an dem der japanische Aromenhersteller Ajinomoto beteiligt

ist, bis zum Jahr 2021 die Ammoniakherstellung revolutionieren.

Rolf Schmid leitet das Steinbeis-Beratungszentrum Asia Technology Consulting in Stuttgart. Zu diesem Artikel sind Literaturhinweise erhältlich – mit Literatur größtenteils in japanischer Sprache – bei rolf.schmid@asia-tech.eu.

Infrastruktur und Produktion für und von Chemie

Chemieparks sichern

● Wie stadtverträglich Chemiestandorte sind und wie sich bei Störfällen Gefahren abwehren lassen, sind Themen der 17. Euroforum Jahrestagung Chemie- und Industrieparks. Vom 29. November bis zum 1. Dezember diskutieren die Referenten und Teilnehmer in Frankfurt Sicherheits-, Energie- und Digitalisierungsprobleme sowie das Verhältnis von Infrastrukturgesellschaften und Ansiedlern.

Beim Spezialtag am 29. November zeigt Jan Wolter, Geschäftsführer beim Bundesverband Allianz für Sicherheit in der Wirtschaft, ASW, Bedrohungsszenarien, Schutzmaßnahmen und rechtliche Vorgaben. Ein Thema wird eine relativ neue Betrugsmasche sein: Die Betrüger geben sich per E-Mail und Telefon als Unternehmenschefs aus und

lassen sich Millionen auf ihr Konto überweisen.

www.euroforum.de/chemieparks

Chemieanlagenindex

● Investitionskosten für Projekte in der chemisch-pharmazeutischen Industrie lassen sich mit dem Chemieanlagenindex schätzen. Der Index des Processnet-Arbeitsausschusses „Cost Engineering“ berücksichtigt den aktuellen Warenkorb für Chemieanlagen und legt ein Wägungsschema zugrunde. Dafür wurde das Planungspaket einer durchschnittlichen Chemieanlage monetär bewertet und jedem Element des Warenkorbs ein Preisindex des Statistischen Bundesamts zugeordnet. Unternehmen können den Index ihren Bedürfnissen anpassen.

<http://processnet.org/pcd.html>

Weltchemiereport

● Der „World Chemistry Report“ des Verbands der Chemischen Industrie zeigt die Entwicklung der chemischen und pharmazeutischen Produktion in 16 Ländern, sechs Regionen und der Welt als Ganzes. Der Bericht ist in englischer Sprache verfasst. MB

Maschinenbau: starke Nachfrage

● Die deutschen Maschinenbauer erhielten im ersten Halbjahr 2017 4% mehr Bestellungen als im Vorjahr. Die Nachfragen aus dem Ausland, vor allem aus Euro-Ländern stiegen dabei um 5%. Die Produktion stieg von Januar bis Mai um 3,5%, die Exporte um 4,1%. Der Branchenverband VDMA erwartet für das Gesamtjahr eine um 3% steigende Maschinenproduktion. CS