

Dokumentation der 2. Veranstaltung der Dialogreihe

FORSCHEN:GESELLSCHAFT:ZUKUNFT



WASSERSTOFF – EIN WICHTIGER BAUSTEIN DER SEKTORKOPPLUNG

INHALT

- 03 EINLEITUNG
- 04 ZUSAMMENFASSUNG
DER VORTRÄGE IM PLENUM

INTERVIEWS

- 08 Prof. Dr. Detlef Stolten · **Neue techno-ökonomische Modelle für die Sektorkopplung**
- 10 Dr. Martin Robinius · **Wir brauchen beides: Batterie und Wasserstoff**
- 12 Dr. Michael Weber · **Was die Branche jetzt vor allem braucht, ist eine Würdigung der Rolle des Wasserstoffs in den Energiemarkt-Direktiven der EU**
- 14 Dr. Hoger Klose · **Basis-Chemikalien aus Pflanzen**
- 16 Prof. Dr. Aaron Praktikjno · **Die Akzeptanz dieser Technologie in der Bevölkerung ist hoch**
- 18 Dana Gabriel · **Wasserstoff-Elektrolyse im ganz großen Maßstab**
- 20 Dr. Frank Koch · **Die Nachfrage wächst schneller als das Angebot**

MARKTPLATZ

- 23 **Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft (FiW) e. V. an der RWTH Aachen**
- 24 **EMS**
- 25 **AREVA H2Gen GmbH**
- 26 **Westfälisches Energieinstitut der Westfälischen Hochschule Gelsenkirchen Bocholt Recklinghausen**
- 27 **HyCologne Wasserstoff Region Rheinland e.V.**
Forschungszentrum Jülich
- 28 Institut für Energie- und Klimaforschung Elektrochemische Verfahrenstechnik (IEK-3)
- 30 Institut für Energie- und Klimaforschung Grundlagen der Elektrochemie (IEK-9)
- 31 LLEC-Projektteam

- 32 ZITATE VON WORKSHOP-TEILNEHMERN
- 33 AUSBLICK
- 34 IMPRESSUM

EINLEITUNG

„Wasserstoff – ein wichtiger Baustein der Sektorkopplung“ war das Thema der 2. Veranstaltung in der Dialogreihe „Forschen:Gesellschaft:Zukunft“ im Forschungszentrum Jülich. Dazu eingeladen hatte am 14. Juni 2018 die Stabsstelle ZukunftsCampus (ZC) gemeinsam mit dem Region Aachen Zweckverband und der EnergieAgentur.NRW. Unterstützt wurde die Veranstaltung von JARA, der Jülich-Aachen Research Alliance.

In sieben Fachvorträgen wurden die unterschiedlichen Aspekte der Wasserstoffherstellung und -speicherung sowie deren Einbindung in das nationale Energieverteilnetz betrachtet. Vorgestellt wurden außerdem praktische Anwendungsbeispiele von Wasserstofftechnologien. Auf dem in die Veranstaltung eingebetteten Marktplatz präsentierten zehn „Aussteller“ Forschungsergebnisse und marktreife Produkte.

Für Deutschland und auch international sei das Thema Wasserstoff von essentieller Bedeutung für die Energiewende, sagte Professor Harald Bolt, Vorstandsmitglied des Forschungszentrums Jülich, zum Auftakt des Workshops. Bislang sei der Blick aber fast ausschließlich auf den Stromsektor gerichtet gewesen, vor allem auf die Stromherstellung aus Sonne und Wind, die inzwischen einen respektablen Anteil ausmache.

Allerdings würden andere Energieträger zur Energiegewinnung, beispielsweise Wasserstoff, bisher noch zu wenig betrachtet. Dieser Energieträger werde umweltfreundlich aus Strom und Wasser gewonnen, könne lange gespeichert werden und sei vielseitig verwendbar. Die emissionsfreie Mobilität sei hier nur ein wesentlicher Aspekt im Rahmen des weltweiten Klimaschutzes, um etwa die hohe Schadstoffbelastung in den Megacities rund um den Globus zu senken. Als weiteres Anwendungsbeispiel nannte Herr Bolt die Umwandlung von Biomasse in Wasserstoff.

Er halte es für besonders wichtig, in der Region Lösungen zu entwickeln und zu diskutieren. Eine Zusammenarbeit zwischen dem Forschungszentrum, dem Region Aachen Zweckverband und der EnergieAgentur.NRW in der Dialogreihe „Forschen: Gesellschaft:Zukunft“ sei notwendig, um Forschungsaktivitäten bestmöglich in die Gesellschaft transportieren zu können.

Für den Region Aachen Zweckverband erklärte dessen Geschäftsführerin Frau Professor Christiane Vaeßen die Verpflichtung aller Stakeholder, für die Region zu agieren und die vielfältig vorhandenen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in Produkte umzusetzen. Vor dem Hintergrund des Strukturwandels in der Region nach der Beendigung der Braunkohleförderung und mit Blick auf die Energiewende seien innovative Ideen notwendig. Deshalb seien Veranstaltungen wie diese Workshopreihe mit dem Forschungszentrum Jülich das richtige Instrument, da dort der Transfer von Forschungsergebnissen in Technologien oder Produkte für die Region im Fokus stünde.

Der Zweckverband sieht sich in der Rolle eines Interessenvertreters gegenüber dem Bund und dem Land NRW. In der neu gegründeten Kohlekommission der Bundesregierung müsse die Region zeigen, dass sie gute Argumente habe, um beim Strukturwandel ausreichend Unterstützung zu erhalten. Frau Vaeßen zeigte sich überzeugt, dass die Energiewende in der Region nicht nur bewältigt werde, sondern auch neue Arbeitsplätze schaffe.



ZUSAMMENFASSUNG DER VORTRÄGE IM PLENUM

Professor Dr. Detlef Stolten

ging in seinem Vortrag der Frage nach: „Sektorkopplung – Der Pfeiler der Energiewende?“ Er verwies auf die Herausforderungen, die bis zu einem vollständigen Ersatz der fossilen Energieträger durch regenerative Quellen bewältigt werden müssen. Das Ziel, bis zum Jahr 2050 den Kohlendioxidausstoß um 80 bis 95 Prozent zu reduzieren, könne nur unter Einbeziehung aller Sektoren Erfolg haben. 80 Prozent seien noch zu schaffen, glaubt Herr Stolten. Aber der nächste Sprung auf 95 Prozent werde ein Kraftakt, weil dazu zusätzlich zum Individualverkehr und der Stromversorgung der Haushalte auch der gesamte Flugverkehr, die Industrie und der Transportsektor auf erneuerbare Energien umgestellt werden müssten.

Ein Blick nach Asien zeige, wie etwa China mit dem Ausbau regenerativer Energien umgehe. Dort würden massenhaft Anlagen gebaut und erst dann werde das Problem des Netzausbaus gelöst. In Deutschland sei das umgekehrt, „und dadurch blockieren wir uns selbst“, kritisiert Professor Stolten. Seiner Meinung nach ist die Dichte von Windrädern und PV-Anlagen noch zu gering. Eine höhere Konzentration werde aber vor allem bei Windenergie zu Akzeptanzproblemen und Machbarkeitsgrenzen führen. Die Lösung seien Windräder an und vor der Küste. Stolten fordert zudem, sämtliche Sektoren in einer Gesamtrechnung zu betrachten – vom einzelnen Haushalt über den gesamten Transportsektor bis hin zu Energieherstellern und der Industrie. Als Ersatz fossiler Brennstoffe dürfe jedoch nichts eingesetzt werden, was giftig, fruchtschädigend oder krebserregend wäre.

Professor Stolten lenkte in seinem Vortrag den Blick auch auf das Thema Speicherung. Ein Problem seien vor allem die sogenannten Dunkelflauten, also die Zeiträume, in denen keine Sonne scheint und der Wind nicht weht. Gas sei hier die realistischste Alternative. Denn um die entsprechenden Kapazitäten mit Pumpspeicherkraftwerken zu erreichen, benötige man die Größe des Bodensees und einen Höhenunterschied von 300 Metern. Eine Gasspeicherung dagegen sei deutlich effektiver.

Bis spätestens 2030, so fordert Detlef Stolten, müssten Forschungsergebnisse für die erste Technologie-Generation in der Sektorkopplung vorliegen. Bis 2040 sollten dann Produkte massenhaft in den Markt gehen. Allerdings sei das schwierig

zu berechnen, weil bisher alle Prognosen zu Wirtschaftlichkeit und Effizienz von der Realität übertroffen worden seien. Bis 2050 müsse dann der Kohlendioxidausstoß um 80 Prozent reduziert sein.

Dr. Martin Robinius

erläuterte in seinem Vortrag „Sektorkopplung mittels Wasserstoff“ Forschungsergebnisse aus dem Bereich Verfahrens- und Systemanalyse. Für eine erfolgreiche Sektorkopplung müssten hohe Kapazitäten erneuerbarer Energien bereitgestellt werden. Wasserstoff sei dabei einer der wichtigsten Energieträger. Aber parallel dazu werde vor allem im Mobilitätssektor auch die Batterie gebraucht. Batterie und Wasserstoff stünden nicht in Konkurrenz zueinander, sie würden sich vielmehr sinnvoll ergänzen. Deshalb plädiert Martin Robinius für eine Verbindung dieser beiden Pfade.



Um den CO₂-Ausstoß zu reduzieren, sei ein deutlich stärkerer Beitrag des Mobilitätssektors zwingend notwendig. Grundvoraussetzung seien allerdings ein Auf- bzw. Ausbau eines Wasserstoffpipelinesetzes und der Betrieb von Salzkavernen zur Speicherung des Wasserstoffs über einen längeren Zeitraum. Die Kosten dafür hält Herr Robinius für überschaubar. Er geht nach eigenen Berechnungen von 40 bis 50 Milliarden Euro je Wasserstoff- und Batterieinfrastruktur aus.

Außerdem sieht er im Umbau der Infrastruktur eine Chance für die Wirtschaft in NRW. Dieser sei in gewisser Weise ein Kon-

junkturprogramm, mit dem neue Arbeitsplätze geschaffen würden. So sei beispielsweise Stahl für die Pipelines notwendig. Der komme ebenso aus Deutschland wie gegebenenfalls Transformatoren. Martin Robinius forderte zum Schluss seines Vortrags, die Politik müsse standhaft bleiben bei ihrem Plan, den CO₂-Ausstoß langfristig zu verringern. Aber gleichzeitig müsse auch die Gesellschaft bereit sein, sich neu zu orientieren.

Dr. Michael Weber

präsentierte den Workshop-Teilnehmern „Power-to-Gas Anwendungsbeispiele“ aus Deutschland und NRW. Mit Power-to-Gas kann erneuerbare Energie in großen Mengen in Form von Wasserstoff gespeichert und vielfältig verwendet werden. Deutschlandweit gibt es mehr als 20 Pilotprojekte mit unterschiedlichen Schwerpunkten und Zielen. Das reicht von der Rückverstromung zur Eigenversorgung über eine industrielle Nutzung in Raffinerien bis hin zur Mobilität mit Brennstoffzellen. Herr Weber erklärte, dass dadurch der Energiebedarf im Bereich der Pkw-Nutzung halbiert werden könne. Darüber hinaus gibt es noch zahlreiche andere lohnende Anwendungen im Verkehrs- und Transportsektor.

Herr Weber nannte beispielsweise die Wasserstoffrückverstromung in einem Windpark im mecklenburgischen Grapzow und auf einem ehemaligen Zechengelände im westfälischen Herten. Strom aus Windenergie wird als Wasserstoff gespeichert und über Brennstoffzellen wieder in Strom gewandelt. In einem Projekt in Ibbenbüren wird dieser grüne Wasserstoff nicht selbst verbraucht, sondern in ein Hochdruck-Gasnetz eingespeist. Mit der Methanisierung befassen sich mehrere andere Unternehmen wie etwa Audi. In Werlte im Emsland wird zunächst per Elektrolyse Wasserstoff gewonnen und im zweiten Schritt wird aus Wasserstoff und Kohlendioxid synthetisches Methan erzeugt. Im Rahmen eines EU-Projekts am Braunkohlekraftwerk Niederaußem wird aus Wasserstoff und Kohlendioxid Methanol erzeugt.

Am DLR-Standort Lampoldshausen bei Heilbronn soll aus überschüssiger Windenergie Wasserstoff gewonnen und unter anderem für Raumfahrtantriebtests genutzt werden. Der Energiepark Mainz gilt auch international als Innovationsprojekt im Bereich der Sektorkopplung und Energiespeicherung. Hier ist im Juli 2015 mit der Errichtung der weltweit größten PEM-Elektrolyseanlage begonnen worden. Der dort

erzeugte Wasserstoff wird an Tankstellen und an Industriekunden geliefert sowie ins Gasverteilnetz eingespeist.

Herr Weber betonte in seinem Fazit, dass Power-to-Gas viele Nutzungspfade für Erneuerbare Energien eröffnen kann. Bisher aber seien nur wenige Projekte auch wirtschaftlich. Dazu forderte er „geeignete Rahmenbedingungen wie eine verursachergerechte Stromkostengestaltung, eine faire Anrechnung in Zielmärkten und ein Programm zur Marktaktivierung“.

Dr. Holger Klose

lenkte mit seinem Vortrag „Holistische Konzepte zur Verwertung alternativer Biomasse“ den Blick der Teilnehmer auf eine andere nachhaltige Option der Wasserstoffherstellung durch Bioraffineriekonzepte. In Jülich bauen die Pflanzenforscher mehrjährige Wildpflanzen an und untersuchen, welche Pflanzenteile sich später für eine Fermentierung in der Bioraffinerie eignen. Es geht dabei vor allem um den Holzbestandteil der Pflanzen, die nicht in Konkurrenz zu Nahrungspflanzen stehen. Ziel ist die Herstellung von Rohstoffen und Chemikalien auf Basis von Biomasse. Diese interdisziplinären Projekte werden auch unter ökonomischen Gesichtspunkten begleitet, um die Wirtschaftlichkeit zu untersuchen und neue Wertschöpfungsketten für Produkte auszuloten. Biomasse kann aber nicht nur aus Ackerpflanzen, sondern auch aus Algen gewonnen werden. Auch damit befassen sich die Wissenschaftler im Forschungs-



zentrum. Am Standort Jülich werden Algen gezüchtet und Produktionssysteme mit Erntesystemen verglichen. Neben der Produktion von Treibstoffen aus Algen könnten sie auch zur Abwasserreinigung genutzt werden. Algen seien in der Lage, beim Wachstum Phosphat einzulagern, das in großen Mengen im Abwasser vorkommt. Durch die Nutzung von Algen als Dünger wird das Phosphat wieder auf die Felder gebracht.

Professor Dr. Aaron Praktijn

suchte Antworten auf die Frage „Was darf wasserstoffbasierte Mobilität kosten?“ Die Bereitschaft, einen vergleichsweise hohen Preis für Wasserstofffahrzeuge zu zahlen, sei nicht alleine abhängig vom Budget des Einzelnen, sondern auch vom Nutzen, den ein Käufer für sich erkennt, etwa Kosten- oder Zeitersparnis, Komfort oder Umweltschutz. Die Zahlungsbereitschaft lasse sich mit unterschiedlichen Studienmethoden untersuchen. Üblicherweise werden hierfür echte Markttransaktionen untersucht. Allerdings sei das in neuen Märkten schwierig, da es etwa bei Wasserstofffahrzeugen kaum Verkaufszahlen gebe. Alternativ seien Befragungen potenzieller Kunden möglich. In seinem Vortrag bezog sich Professor Praktijn auf Zahlen, die im Auftrag der Europäischen Kommission erhoben wurden. Dabei zeigte sich, dass nur rund zwei Prozent der Konsumenten bereit wären, einen Aufpreis von mehr als 5000 Euro für wasserstoffbasierte Autos gegenüber fossilen Varianten zu zahlen.



Die Kosten der verschiedenen Brennstoffe liegen allerdings nicht so weit auseinander, wenn man Diesel, Benzin und Wasserstoff miteinander vergleicht. Dabei sei anzunehmen, dass der Preis für Wasserstoff bei höheren Produktionsmengen noch sinken wird, sagte Aaron Praktijn. Das Gleiche ist für die Kaufpreise von Wasserstofffahrzeugen anzunehmen. Ein wichtiges Kriterium, das die Kaufentscheidung mit beeinflusst, ist ein dichtes Tankstellennetz. Wasserstofftankstellen sind aber bisher nur in kleiner Stückzahl vorhanden. Nach Angaben des TÜV-Süd sind im vergangenen Jahr 24 öffentliche Wasserstofftankstellen in Betrieb gegangen. Die Gesamtzahl stieg damit auf 56, davon können 43 wie konventionelle Tankstellen genutzt werden. Im Vergleich gibt es 2018 etwa 14.500 konventionelle Tankstellen in Deutschland.

In der Diskussion wurde deutlich, dass sich der Markt für Mobilität aktuell stark wandelt. Deshalb sei es schwierig, den möglichen Absatz und damit die Preisentwicklung abzuschätzen. Einig waren sich die Workshopteilnehmer, dass der gesellschaftliche Wille Voraussetzung ist für einen technologischen Wandel. Deshalb seien Förderprogramme wünschenswert.

Dana Gabriel

stellte im zweiten Teil der Veranstaltung das Projekt „REFHYNE“ vor. Die weltweit größte Anlage zur Wasserstoff-Elektrolyse soll ab 2020 eine Leistung von zehn Megawatt liefern und auf dem Gelände der größten deutschen Raffinerie im Rheinland von Shell in Wesseling errichtet werden. Damit wird die erste großindustrielle Anwendung der sogenannten Polymer-Elektrolyt-Membran-Technologie (PEM) realisiert. Das Unternehmen will nach Aussage von Gabriel mit dem Projekt seinen CO₂-Ausstoß reduzieren und gleichzeitig zur Stabilisierung des Stromnetzes beitragen. REFHYNE wird von Shell gemeinsam mit ITM Power, SINTEF, thinkstep und Element Energy als europäisches Konsortium realisiert. Die Investitionskosten beziffert das Unternehmen auf 20 Millionen Euro.

Wasserstoff wird im Raffinerieprozess benötigt, unter anderem für die Entschwefelung. Der Standort Wesseling verbraucht 180.000 Tonnen Wasserstoff pro Jahr. Dieser werde unter anderem aus Erdgas gewonnen. Mit dem Bau von REFHYNE könnten jährlich 1300 Tonnen Wasserstoff produziert und in die Raffinerieprozesse integriert werden,



erläuterte Gabriel. Nach Fertigstellung des 10-Megawatt-Elektrolyseurs sollen zunächst drei Jahre lang technische Betriebsdaten gesammelt werden. Auch sei es Teil des EU-Projektes, die Wirtschaftlichkeit der Produktion von Elektrolyse-Wasserstoff zu untersuchen, unter anderem durch Berücksichtigung der Entwicklung der Strom- und Gaspreise.

Der Elektrolyseur besteht aus fünf Modulen, die in einem Container miteinander zu einer Einheit verbunden werden. Die Anlage werde so konstruiert, dass eine Erweiterung und ein Ausbau bis zu 100 Megawatt Leistung realisiert werden könnten. Denn nicht nur die Rheinland-Raffinerie kann mit dem Wasserstoff versorgt werden, es ist auch eine Nutzung im Transportsektor möglich. Shell engagiert sich als Gründungsmitglied von H2Mobility beim Aufbau eines flächendeckenden Wasserstoff-Tankstellennetzes in Deutschland bis 2023. Von der Politik forderte Dana Gabriel bessere Rahmenbedingungen beim Ausbau der Wasserstofftechnologie.

Dr. Frank Koch

ging in seinem Vortrag „Power to mobility – Brennstoffzellen-bus den ÖPNV“ auf die aktuelle Situation in Deutschland und Europa ein. Gerade einmal 90 Brennstoffzellenbusse sind derzeit europaweit im Einsatz. Die Diskussion um Klimaschutz und Diesel-Fahrverbote in den Städten hätten den Druck auf die Verkehrsunternehmen jedoch in der jüngsten Vergangenheit stark erhöht. In diversen Studien würden Antriebskonzepte untersucht. Aber nur wenige Berater würden dabei den Brennstoffzellenbus als Alternative betrachten, weil ihnen oft auch das Wissen darüber fehle, kritisierte Frank Koch.

Dabei biete ein Brennstoffzellenbus viele Vorteile. Neben geringerer Lärmemission und null Schadstoffen bewältige er Reichweiten von durchschnittlich 350 Kilometern. Ein Bus mit Brennstoffzelle sei anders als ein batteriebetriebener Bus nicht auf eine Ladeinfrastruktur an der Route angewiesen und er kann in kurzer Zeit betankt werden – auch mehrmals am Tag. Die Nutzung der Abwärme aus der Brennstoffzelle könne im Winter zum Heizen des Busses genutzt werden.

Bisher gibt es nur wenige Hersteller für Brennstoffzellenbusse, in Deutschland keinen einzigen. Die bisher eingesetzten Fahrzeuge sind laut Koch durchweg Prototypen. Nur in Asien werde ab 2020 ein größerer Einsatz geplant. So will beispielsweise Hyundai in Südkorea jährlich 2000 Busse mit Erdgas-Antrieb durch Brennstoffzellenbusse ersetzen, bis zu einer Gesamtzahl von 20.000. Hyundai und auch Toyota prüften derzeit den Eintritt in den europäischen Markt.

In Deutschland haben sich Stadtwerke und Verkehrsverbünde zu einem deutschen Brennstoffzellenbus-Cluster zusammengeschlossen. Koordiniert wird die Initiative von Dr. Koch sowie Heinrich Klingenberg von der hySOLUTIONS GmbH, die im Auftrag der Stadt Hamburg die Anwendung von Brennstoffzellen und Wasserstoff fördert. In die europäische Beschaffungsinitiative JIVE (Joint Initiative for Hydrogen Vehicles across Europe) sind außerdem die Region Köln, das Rhein-Main-Gebiet und die Stadt Wuppertal eingebunden.

Die Anschaffungskosten für einen Brennstoffzellenbus liegen gegenwärtig bei etwa 625.000 Euro, vor vier Jahren waren es noch 1,3 Millionen Euro. Doch neben den Anschaffungs- und Betriebskosten, die bei einem Massenmarkt deutlich sinken würden, muss auch ein Wasserstoff-Tankstellennetz errichtet werden. Die besten Lösungen seien stark abhängig von den lokalen Bedingungen, führte Frank Koch weiter aus. Als Beispiel nannte er eine Bustankstelle am Chemiapark in Hürth, wo Wasserstoff als Nebenprodukt der chemischen Industrie gewonnen wird. Weitere Tankstellenkonzepte werden in aktuellen Studien untersucht; etwa die Nutzung von Tankstellen von Verkehrsbetrieben in eigenen Busdepots oder eine Eigenproduktion von Wasserstoff durch Stadtwerke als neues Geschäftsmodell.

NEUE TECHNO-ÖKONOMISCHE MODELLE FÜR DIE SEKTORKOPPLUNG

Prof. Dr. Detlef Stolten

Die Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (acatech) hält es für denkbar, dass Deutschland im Jahr 2050 mit mehr als 1000 Terrawattstunden nahezu doppelt so viel Strom verbrauchen wird als heute. Dafür brauchte man aber in etwa das Sechsfache an Windkraft- und Photovoltaikanlagen. Welche Rolle könnte dabei die Sektorkopplung spielen?

Dieser hohe Stromverbrauch ist ja eine Folge der Sektorkopplung. Das heißt, der Stromverbrauch geht nicht hoch, weil wir mehr Strom verbrauchen, im Sinne von mehr Energie verbrauchen, sondern weil wir die Energie, die wir jetzt über Öl beispielsweise importieren, dann über Strom einsetzen würden.

Aber steigt nicht der tatsächliche Stromverbrauch, etwa durch die zunehmende Digitalisierung?

Nein, die Verbräuche insgesamt sinken. Nur bei diesen großen Zahlen ist unterstellt, dass zum Beispiel der Transportsektor elektrifiziert wird, weil man sonst gar nicht von den CO₂-Mengen runterkommt. Es ist unterstellt, dass Teile der Industrie elektrifiziert werden und es ist unterstellt, dass erhebliche Teile des Wärmeverbrauchs verändert werden in zweierlei Richtungen: bessere Isolation und geringerer Wärmebedarf, aber der Rest dann auch überwiegend elektrisch bereitgestellt wird. Biomasse spielt dabei unter anderem eine Rolle, auch andere Dinge, aber es ist schon so, dass aufgrund der hohen Flexibilität der Strom die Hauptrolle spielen wird. Und das ist nicht nur etwas, was sich acatech ausgedacht hat, sondern das ist etwas, das ich als durchaus realistisch ansehe.



Sie beschäftigen sich seit Jahren mit dem Thema Sektorkopplung. Dafür sind Schnittstellen zwischen den einzelnen Sektoren notwendig. Was ist dabei Ihre Aufgabe als Wissenschaftler?

Wir untersuchen, welche Quantitäten realistisch sind und was sie kosten. Wir entwickeln neue Methoden für techno-ökonomische Modelle, in denen wir beispielsweise Windmühlen oder PV-Anlagen platzieren. Hierbei berücksichtigen wir realistische Randbedingungen wie Abstandregeln, Dachausrichtung oder geografische Verteilung. Anschließend nutzen wir Satellitendaten um etwa auf Nabenhöhe der Windenergieanlage die Einspeisung in das elektrische Netz zu modellieren. Diese Einspeisedaten können wir mittlerweile weltweit generieren und analysieren. Zum Beispiel schauen wir uns an, was Wasserstoff an der Tankstelle in Deutschland aus Windstrom in Patagonien kostet. Mit diesen Klima- und Wetterdaten sowie unseren Haushaltsmodellen können wir auch analysieren, inwieweit Dämmung oder PV-Anlagen die elektrische Last in Deutschland verändern.

Prof. Detlef Stolten ist Leiter des Instituts für Elektrochemische Verfahrenstechnik (IEK-3) im Forschungszentrum Jülich und Inhaber des Lehrstuhls für Brennstoffzellen an der Fakultät für Maschinenwesen der RWTH Aachen University. Er forscht in den Bereichen Elektrochemie, Verfahrenstechnik für Brennstoffzellen und Elektrolyse. Ein besonderer Schwerpunkt ist die technisch-ökonomische Systemanalyse für die Transformation des Energiesystems.

Das erfordert durchaus räumlich und zeitlich detaillierte Modelle und auch neue Methoden, die es bisher so nicht gab. Außerdem müssen wir uns die Marktmechanismen anschauen, ob man das überhaupt umsetzen könnte. Denn nur weil etwas physikalisch und technisch machbar ist, muss das am Markt nicht funktionieren.

Zurück zur Sektorkopplung: Sind eigentlich alle Energiesysteme untereinander kompatibel oder muss man entsprechende Anpassungen vornehmen?

PV macht ja nur Strom, wenn die Sonne scheint. Der Nachtstrombedarf muss entweder durch andere Quellen oder über Speicher gedeckt werden. Dafür gibt es Batterien, dafür kann es einen Wasserstoff-Pfad geben, also die Brennstoffzelle zusammen mit Elektrolyse. Und dann gibt es Windmühlen, die unabhängig von der Tageszeit arbeiten, dafür aber auch durchaus eine hohe Fluktuation haben und – wie andere erneuerbare Energien auch – räumliche Vorzüge haben. Das heißt, im Norden weht nun mal der Wind besser als im Süden und am Meer besser als im Inland. Sie können die ostfriesische Küste und die Nordsee auf einer internationalen Windkarte durchaus als prominent sehen, wir haben dort ein gutes Windgebiet.

Jetzt muss man nicht verschiedene Systeme, sondern nur ein System anschauen mit verschiedenen Komponenten darin. Und dieses muss aus einer Mischung aus Erfahrung beim Aufbau und Vorausberechnungen dann entsprechend justiert und zu einem neuen System ausgebaut werden.

Sie haben eben ausgeführt, dass Windstrom vor allem im Norden Deutschlands gewonnen wird. Aber auch der Süden braucht Strom. Brauchen wir also neue Netze, oder reicht die vorhandene Infrastruktur?

Diese großen Leitungen, über die wir da reden, sind in meinen Augen nicht das Problem. Wenn wir Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung machen, dann geht das schon gut, und wenn wir die Leitungen unterirdisch verlegen, bekommen wir auch die gesellschaftliche Akzeptanz. Die andere Möglichkeit ist, Gasleitungen zu legen. Die Wasserstoff-Schiene wird manchmal kritisiert. Wasserstoff muss unter 30 Prozent Energieverlust erst einmal hergestellt werden, eventuell könnte man die Energie als Wärme einkoppeln. Gehen wir mal davon aus, sie ist verloren, dann ist das erst mal ein Gegenargument. Aber ich habe dort Strom, den ich transportieren kann. Und so eine Gaspipeline, die kann bei einem Meter Durchmesser zehnmal so viel transportieren an Energie wie eine klassische Hochspannungsleitung.

Diesen Faktor Zehn muss man eigentlich wieder durch zwei teilen, weil man am Ende der Leitung einen Umwandlungswirkungsgrad von 50 Prozent hat. Aber immerhin sind große Mengen Energie über große Strecken sehr elegant verschoben worden. Und vor allem: Anders als Strom kann man diese Mengen zeitlich auch über die lange Zeiträume speichern und damit ein Werkzeug zur Verfügung stellen, um Windenergie, die in einem hohen Maße im Winter erzeugt wird und nicht im Sommer, dann kostengünstig saisonal zu speichern. Mir persönlich erschließt es sich nicht, dass man sagt, das wird alles im Stromsektor gelöst, der Stromsektor kann das fast ohne Speicherung. Wir haben heute beim Öl zum Beispiel eine lange Speicherkette. Vom Ölfeld über eine Pipeline zu einem Speicher im Hafen, einem Speicher im Schiff, dann wieder im Hafen zu einer Raffinerie, dann Speicher im Lkw, an der Tankstelle und im Auto. Nach meiner Meinung werden wir einen wesentlich höheren Grad als heute diskutiert wird auch als Speicher in einem System mit erneuerbaren Energien brauchen.

WIR BRAUCHEN BEIDES: BATTERIE UND WASSERSTOFF

Dr. Martin Robinius

Wie steht es aus Ihrer Sicht mit der Energiewende – in Deutschland und auch international?

Im Ausland sehen viele Deutschland immer noch in einer Vorreiterrolle. Doch hier im Inland hört man immer häufiger das Argument, die Wende sei teuer und die Ziele gar nicht zu erreichen. Aus meiner Sicht haben wir international die Vorreiterrolle verloren. Wenn man sich beispielsweise in China die Zahl der erneuerbaren Energien anschaut, passiert dort gerade viel mehr als hier, auch wenn dort Kohlestrom immer noch ein Thema ist. Da werden riesige Windparks und PV-Felder installiert. Es müssen aber alle Sektoren angeschaut werden. In den USA zum Beispiel, ich habe in Colorado gearbeitet, fährt fast jeder ein SUV, das sind Autos, die hier Busse wären. Die Tendenz zu mehr SUV sieht man auch mittlerweile in Deutschland. Ich sehe da noch ein riesiges Einsparpotenzial. Das Beispiel zeigt auch, dass die Energiewende in den Köpfen stattfinden muss.

Der Anreiz, außerhalb der Stadt zu wohnen, wird immer mehr vermindert durch schlechte Verkehrsangebote. Da muss die Politik gegensteuern. Als Doktorand hier in Jülich hatte ich ein Fahrrad und bin damit klargekommen. Jetzt wohne ich in Aachen und brauche ein Auto, weil die Anbindung Aachen-Jülich so schlecht ist. Das Forschungszentrum Jülich tut da schon relativ viel – wir haben zum Beispiel einen regelmäßigen Shuttle-Service zur Rurtalbahn. Und langfristig ist das, was die Stabsstelle ZukunftsCampus derzeit plant – es geht da um eine konsequente nachhaltige Entwicklung, eine Bereicherung. Aber es ist so: Erst wenn das Angebot da ist, kann man es auch nutzen. Ich gebe Ihnen ein Beispiel aus den USA. Die Idee bei NREL (National Renewable Energy Laboratory Colorado) ist, kleinere Busse anzubieten, die man bestellen und mit ihnen eine kleinere Strecke fahren kann. Man tippt in sein Smartphone, ich will um 17 Uhr nach Hause fahren, das Programm vergleicht das mit anderen Anfragen und wählt für die betreffenden Personen das Shuttle aus, das alle gemeinsam ans Ziel bringt. Man kann das zum Beispiel für Jülich weiterdenken. Man könnte im Shuttle einen Tisch bereitstellen, einen Zugriff aufs Internet, und dann kann ich während der Fahrt schon einen Teil der Arbeit erledigen. Wer auf dem Land wohnt, würde das dann nicht mehr als Nachteil empfinden, wenn der Weg als Arbeitszeit angerechnet würde. Die Stabsstelle ZukunftsCampus (ZC) versucht gerade ein

ähnliches Projekt mit dem Titel „smartCommuter: Intelligent geroutete Kleinbusse mit mobilem Co-Working Space als punktgenauer Mobilitätsservice für Berufspendler“ zu starten. Für eine nachhaltige Entwicklung und als einer der ersten potenziellen Kunden hoffe ich, dass sie damit Erfolg haben werden. Diese Aktivitäten sind langfristig auch der Schlüssel, um die klügsten Köpfe nach Jülich zu bewegen.

Sie haben sich unter anderem in einem Forschungsprojekt am Jülicher Institut für Elektrochemische Verfahrenstechnik (IEK-3) mit den Kosten eines Infrastrukturausbaus beschäftigt. Es ging da um die Kernfrage: batteriebetriebene E-Autos oder Brennstoffzellenfahrzeuge, die Wasserstoff tanken. Zu welchem Ergebnis kommen Sie?

Oft heißt es: entweder oder. So ist es aber nicht. Wir brauchen beide Antriebsarten. Wir haben in unseren Untersuchungen mal unterstellt, dass die Hälfte von rund 40 Millionen Fahrzeugen in Deutschland (genau: 46 Mio. Pkw) batterieelektrische Fahrzeuge sind, die andere Hälfte Brennstoffzellenfahrzeuge. Bei Brennstoffzellenfahrzeugen lägen die Kosten für die Infrastruktur bei etwa 40 Milliarden Euro, bei batterieelektrischen Fahrzeugen noch zehn Milliarden Euro höher.

Bei Brennstoffzellen können wir relativ leicht Strom aus Wasserstoff herstellen. Den können wir unter Tage speichern, ähnlich wie heute schon Erdgas. Und dann können wir bei einer Windflaute bis zu zwei, drei Wochen aus den Salzkavernen die Brennstoffzellenfahrzeuge betanken. Die Salzkavernen sind im Norden Deutschlands, also dort, wo der Überschuss aus Windenergie entsteht. Und wir konnten zeigen, dass man im Norden die saisonalen Speicher aufbauen und über ein Pipelinenetz beispielsweise zu gewissen Hubs Wasserstoff transportieren kann. Von dort aus könnten Lkw die Tankstellen beliefern.

Hier am Forschungszentrum Jülich untersuchen wir unter anderem auch sogenannte Liquid Hydrogen Carrier. Es geht darum, den Wasserstoff in einem flüssigen Träger zu speichern, und den kann man transportieren wie heute Benzin. Das hat Wirkungsgradverluste, aber in Jülich wird daran geforscht, den Wirkungsgrad so zu verbessern, dass es eine Alternative ist.

Dr. Martin Robinius ist Abteilungsleiter der Verfahrens- und Systemanalyse des Instituts für Elektrochemische Verfahrenstechnik (IEK-3) am Forschungszentrum Jülich. Er forscht im Bereich techno-ökonomische Modellierung, Analyse und Bewertung von Energiesystemen und ist in verschiedene Projekte zu Technologien für die Energiewende auf nationaler und internationaler Ebene eingebunden.



Bei den batterieelektrischen Fahrzeugen geht es hauptsächlich um den Ausbau des Verteilnetzes. Batterieelektrische Fahrzeuge sind jetzt in der Einführung günstig, weil wir ein gut ausgebautes Netz haben, wenn wir aber zu einer höheren Marktdurchdringung kommen, wird es kostenintensiver. Wir haben die batterieelektrische Infrastruktur mal ohne Wasserstoff berechnet, dazu mussten wir uns zwei Optionen überlegen: Wie können wir diese „kalte Dunkelflaute“ – also die Zeit ohne Wind und genügend Sonne – überbrücken? Wir haben es zum Spaß einmal mit Batterien gerechnet und sind auf mehrere tausend Milliarden Euro gekommen. Das ist unbezahlbar und niemand denkt ernsthaft über diesen Pfad nach. Alternativ dazu haben wir untersucht, konventionelle Kraftwerke als Backup vorzuhalten. Im Ergebnis haben zwar die batterieelektrischen Autos den besseren Wirkungsgrad,

aber mit Blick auf die CO₂-Emissionen stehen sie im Vergleich zum Wasserstoff, der die erneuerbaren Energien in Überschusszeiten speichern und bei Bedarf nutzen kann, unter diesen Randbedingungen schlechter da.

Wenn man beide Systeme miteinander kombiniert, kommen wir auf 40 bis 50 Milliarden Euro an Investitionen je Infrastruktur. Das hört sich relativ viel an. Aber wir geben bis 2030 allein rund 200 Milliarden Euro aus für die Straßen und Brücken in Deutschland. Wir haben bisher die Infrastrukturen stark vernachlässigt, aber eine Volkswirtschaft lebt davon. Gerade jetzt, wo wir hohe Steuereinnahmen haben, müssen wir langfristig in Infrastruktur investieren.

Viele Verbraucher sehen Wasserstoff als Energieträger kritisch – nicht zuletzt wegen der möglichen Brandgefahr. Glauben Sie, dass Wasserstoff künftig als Kraftstoff so selbstverständlich wird wie heute Diesel und Benzin?

Wenn ich Vorträge halte, ist oft eine der ersten Fragen: Wie sicher ist Wasserstoff? Für mich gilt, wenn der TÜV zertifiziert, dass man mit einem Brennstoffzellenfahrzeug fahren kann, ist das sicherheitstechnisch abgeklärt. Das Spannende ist, Wasserstoff ist gar nicht so gefährlich, wie man das vom ersten Gefühl her glaubt. Es gibt Versuche – etwa von Toyota – wo auf die Tanks von Brennstoffzellenfahrzeugen geschossen wurde, um die Sicherheit zu testen. Aber es gibt dann keine Explosion, sondern Wasserstoff ist sehr leicht und entweicht bei einer Entzündung in einer konzentrierten Stichflamme nach oben. Bei Benzin und Diesel brennt das komplette Fahrzeug. Eigentlich sind Diesel und Benzin brandtechnisch viel gefährlicher. Aber wir haben bei Diesel und Benzin gelernt, mit den Risiken umzugehen. Wir müssen aufklären und den Verbrauchern sagen, wenn eine neue Technik vom TÜV zertifiziert wird, dann ist das sicher. Batterien können auch brennen. Da haben wir eher ein größeres Problem. Und bezüglich einer Wasserstoffpipeline: Das ist vergleichbar mit Gaspipelines, mit denen wir seit Jahrzehnten sicher leben. Wir kommen übrigens aus einer stark Wasserstoff-getriebenen Zeit. Das frühere Stadtgas, welches in jeden Haushalt geliefert wurde, hatte hohe Konzentrationen von Wasserstoff.

WAS DIE BRANCHE JETZT VOR ALLEM BRAUCHT, IST EINE WÜRDIGUNG DER ROLLE DES WASSERSTOFFS IN DEN ENERGIE-MARKT-DIREKTIVEN DER EU

Dr. Michael Weber

Bereits 1874 sprach der Schriftsteller Jules Verne von der Wasserstoffherzeugung aus Wasser durch Elektrolyse. Das ist 144 Jahre her. Seit mehr als 50 Jahren wird ernsthaft über Wasserstoff als Energieträger diskutiert. Müssten wir nicht längst weiter sein?

Der Bedarf ist sicher da. Die Vermeidung von Schadstoff- und Klimagasemissionen ist dringender denn je, und für den hinreichenden Schutz des Klimas ist Wasserstoff unverzichtbar. Er kann mit Strom aus erneuerbarer Energie immer dann erzeugt werden, wenn diese reichlich vorhanden sind, und dann durch Nutzung in Industrie und Verkehr bis zum Doppelten der Energie aus fossilen Quellen ersetzen.

Klimaschutz und die Nutzung erneuerbarer Energie sind aber erst seit gut einem Jahrzehnt das dominante Ziel. Früher war es die Unabhängigkeit von Erdölimporten als Folge der ersten Ölkrisen. Dazwischen gab es eine Motivationspause, denn zu wenige Bürger und Entscheider hatten begriffen, dass die Energieversorgung fast vollständig auf erneuerbare Energien umgestellt werden muss. Und unter denen, die es verstehen, wird fortlaufend über den richtigen Weg gerungen.

Vor diesem Hintergrund ist der Aufbau einer neuen Infrastruktur eine enorme Herausforderung, zu deren Bewältigung es starker, ausdauernder Partner und staatlichen Handelns bedarf. Das Industriekonsortium H2Mobility, das bis 2019 für 100 und bis 2023 für 400 öffentliche Wasserstofftankstellen sorgt, erbringt seit einigen Jahren mit gewisser staatlicher Unterstützung eine enorme Vorleistung. Wasserstoff findet in der öffentlichen Wahrnehmung jetzt zunehmend Interesse, und immer mehr Entscheider begreifen: Die Zeit zu Handeln ist gekommen.



Was bedeutet „Power-to-Gas“, und warum befasst sich die EnergieAgentur.NRW damit?

Power-to-Gas ist die Wandlung von Strom in die gasförmigen Energieträger Wasserstoff oder Methan und erlaubt die Speicherung sehr großer Energiemengen. Diese können dann ins Gasnetz eingespeist oder Wasserstoffanwendungen zugeführt werden: Das reicht von der Rückverstromung über die Nutzung in der Mobilität bis zur Verwendung in industriellen Prozessen und der Wandlung in andere Energieträger. Das Netzwerk „Netze und Speicher“ bündelt seit knapp drei Jahren die Diskussion um das Thema Sektorkopplung in allen Aspekten, während das von Professor Stolten im Jahr 2000 mitgegründete Netzwerk „Brennstoffzelle und Wasserstoff“ thematisch enger fokussiert ist und vorrangig Unternehmen und Konsortien bei der Entwicklung von Innovationen unterstützt. Hier wurde unter anderem eine Wasserstoff-Potenzialstudie für NRW vorbereitet, die kürzlich vom Wirtschaftsministerium zur Bearbeitung ausgeschrieben wurde.

Dr. Michael Weber ist als Senior Consultant bei der EE Energy Engineers GmbH für die EnergieAgentur.NRW tätig. Er arbeitet dort in den Netzwerken „Brennstoffzelle und Wasserstoff, Elektromobilität“ sowie „Netze und Speicher“. Arbeitsschwerpunkte sind die Themen Wasserstoff als Energiespeicher, Gasnetze und Sektorkopplung.

2017 musste Toyota alle 2800 weltweit verkauften Mirai wegen Mängeln an der Betriebssoftware zurückrufen. Der Mirai ist das einzige Wasserstoffmodell des Autoherstellers. Die Zahl belegt: Die Technologie ist beim Verbraucher noch nicht angekommen. Wie steht es mit praktischen Anwendungen im Bereich Power-to-Gas?

Da möchte ich vorsichtig widersprechen. Das Verbraucherinteresse an Wasserstofffahrzeugen ist trotz der noch hohen Preise größer als die Produktionskapazitäten, aber natürlich ist die Dichte des Tankstellennetzes für viele Interessenten noch ein Hindernis, das auch den Herstellern bewusst ist. Die Produktionszuwächse sind aber schneller als in der Entstehungszeit der Auto-Mobilität. Wir brauchen hier nicht zu verzagen. Die Fans der Wasserstofftechnologie werden mehr, und die Modellpalette wächst.

Was Power-to-Gas betrifft: Das ist sicher keine Technologie für „normale“ Verbraucher. Es gibt zwar inzwischen Angebote für Hausbesitzer, die sich eine Energieautarkie oder ein Gefühl davon leisten können und wollen, aber das ist eine Nischenanwendung. Primär ist Power-to-Gas eine Technologie für Unternehmen der Energiewirtschaft im weitesten Sinn. Mit den zahlreichen Demonstrationsprojekten wollen solche Unternehmen Erfahrung sammeln und einen Ruf erwerben, um bei einem anlaufenden Markt von Anfang an dabei zu sein. Nur ganz wenige deutsche Projekte sind aktuell für den Betreiber wirtschaftlich. Ein Beispiel ist der Verkauf von sogenanntem „Windgas“ an Gaskunden, die bereit sind,

für einen kleinen Anteil einen Aufschlag zu zahlen, weil sie an die Notwendigkeit der Technologie glauben. Das ist Engagement auf einem Niveau, das sich sicher noch mehr Gaskunden leisten können.

Das Thema Power-to-Gas wurde unter der letzten Bundesregierung leider so sehr verkannt, dass man trotz der Abregelung von 4,5 TWh an erneuerbarer Energie in Deutschland. Im Jahr 2015 keine Bedingungen schaffen wollte, die Power-to-Gas-Anlagen an geeigneten Standorten einen Bezug dieses Stroms zu akzeptablen Kosten ermöglicht hätte. Der Wert „Effizienz“ genoss einen geradezu dogmatischen Vorrang. Inzwischen ist man technologieoffener, bewertet Flexibilität und Speicherfähigkeit höher und nimmt Power-to-Gas ernst.

Man scheut sich aber noch, geeignete Maßnahmen zu ergreifen oder gar ein Level-Playing-Field für klimafreundliche Technologien zu schaffen. Trotzdem sehen wir immer neue Projekte und zunehmendes Interesse. Was die Branche jetzt vor allem braucht, ist eine Würdigung der Rolle des Wasserstoffs in den Energiemarkt-Direktiven der EU, denn Unternehmen können nur dann weiter in technologischen Fortschritt investieren und Kostendegression erreichen, wenn diese Direktiven und Markteinführungsprogramme die kommerzielle Serienproduktion erlauben. Für potenziell neue Zulieferer ist aber jetzt eine gute Zeit, um mit den Anlagenherstellern in Kontakt zu treten. Als Netzwerker werden wir diese darin nach Kräften unterstützen.

BASIS-CHEMIKALIEN AUS PFLANZEN

Dr. Holger Klose

Sie sind Biotechnologe und untersuchen Struktur und Zusammensetzung der pflanzlichen Zellwand. Wo besteht da der Zusammenhang mit der Energiewende?

Wir alle fahren Auto, fliegen mit dem Flugzeug und brauchen Strom. Zusätzlich verbraucht unsere Gesellschaft jede Menge Materialien – alltägliche Gegenstände – aus Kunststoff, deren Produktion basiert hauptsächlich auf der Verwendung von Erdöl als Ausgangsstoff. Für all diese Dinge müssen wir alternative Lösungen finden und wir müssen jetzt damit beginnen.



Lignocellulose – das ist der Stoff, aus dem pflanzliche Zellwände hauptsächlich bestehen – ist eine spannende und auch eine vielversprechende Alternative als Rohstoff. Lignocellulose in Pflanzen hat viele Funktionen: Zum Beispiel sorgt sie für die strukturelle Integrität und vermittelt Schutz vor Schädlingen. Deswegen ist sie aber auch schwieriger umzusetzen als pflanzliche Speicherpolymeren wie beispielsweise Stärke. Ein Schwerpunkt unserer Arbeit ist deshalb aufzuklären, warum Lignocellulose so Widerstandsfähig ist und welche Faktoren die Abbaubarkeit und die Verwertbarkeit beeinflussen. Der erste Schritt dazu ist, ein genaues Verständnis ihrer Struktur und Zusammensetzung zu bekommen.

Mit welchen Pflanzen arbeiten Sie und was genau wird dabei untersucht?

Wir haben mehrjährige Pflanzensorten ausgewählt. Diese Pflanzen haben einen großen Vorteil, mit ihnen kann sehr viel Biomasse erzeugt werden kann. Vergleicht man den Ertrag dieser mehrjährigen Pflanzensorten mit Mais- oder Weizenstroh kann, man durchaus wettbewerbsfähige Mengen erzielen. Was wir in unseren bisherigen Versuchen erreichen konnten, liegt etwa bei 25 Tonnen Pflanzenmaterial pro Hektar.

Miscanthus – auch Chinaschilf genannt – ist relativ bekannt, aber auch andere Gräser oder Verwandte der Sonnenblume, die Silphie etwa oder die Sida, ein Malvengewächs, werden bei uns dahingehend näher untersucht. Diese Pflanzen sind nach der Etablierung sehr genügsam und benötigen weniger Dünger bei hohen Erträgen. Silphie und Sida haben zusätzlich eine lange Blühperiode, was die Bienen erfreut. In kommenden Projekten wollen wir mit anderen Forschern zusammen auch die ökologischen Vorteile solcher Biomasseproduktion genauer beleuchten.

Dr. Holger Klose ist seit Januar 2018 Leiter des Forschungsbereichs Alternative Biomasse im Institut für Bio- und Geowissenschaften (IBG-2) am Forschungszentrum Jülich. Er leitet außerdem das interdisziplinäre Projekt AP3 des Bioeconomy Science Center NRW. Dabei soll ein neues Bioraffinerie-Konzept zur Verwertung mehrjähriger Pflanzen etabliert werden.

Eine Kultur dieser mehrjährigen Pflanzen produziert bis zu 15 Jahre lang Biomasse. Dadurch ist aber auch ein Feld für mehr als ein Jahrzehnt blockiert. Das bedeutet, dass der Landwirt darauf angewiesen ist, mit der Kultivierung der Pflanzen Geld zu verdienen. Eine weitere Facette des AP3-Projektes ist es, aufzuzeigen, wie dies funktionieren kann. Nach einigen Jahren können hohe Erträge erwirtschaftet werden.

Konkret wollen wir in unseren Bio-Raffinerie-Projekten aus den Pflanzen Basischemikalien als Ausgangsstoffe für andere Prozesse machen. Aber es wird noch einige Jahre dauern, bis wir in die Nähe industriell relevanter Größenordnungen kommen. Allerdings kann man schon heute die Silphie oder Miscanthus als Alternative zu den typischerweise genutzten Pflanzen wie Mais in Biogasanlagen verwenden. Aber es wäre nicht Sinn der Sache, eine Maismonokultur durch die Silphie-monokulturen zu ersetzen. Da gilt es auch gute Lösungen zu finden. Ein Problem, welches bei Raffineriekonzepten oft vorhanden ist, ist die Variabilität in der Zusammensetzung der Biomasse, also wie genau das Verhältnis von Cellulose, Lignin und anderen Polysacchariden ist. Die Prozesse müssen da sehr genau auf diese Zusammensetzung abgestimmt werden. Deshalb erforschen wir, welche Zusammensetzung dann welches Verfahren erfordert, um daraus Wertstoffe oder Energie zu gewinnen.



Welche Bedeutung hat die Biomasse bei der Energieerzeugung im Vergleich zu Solar- und Windenergie? Wo sehen Sie Vor- und Nachteile?

Letzten Endes ist Biomasse auch ein Sonnenkraftwerk, weil alles über die Photosynthese läuft. In dem Punkt, Lichtenergie zu fixieren, ist die Photosynthese ziemlich gut. Insofern ist die Biomasse in mehrerlei Hinsicht eigentlich eine spannende Alternative: Wir haben die Speicherfunktion – Baum oder Feld – und die Möglichkeit, daraus Rohstoffe oder Energie zu gewinnen. Dieser direkte Zusammenhang besteht bei Wind und Sonnenenergie so nicht. Letztlich wird es aber nicht heißen, entweder – oder, sondern es ist wichtig, ein Gesamtkonzept zu entwickeln. Denn wir entwickeln hier nicht die Lösung für alle Energieprobleme, aber Biomasse kann ein wichtiger Baustein bei dieser Lösung sein.

DIE AKZEPTANZ DIESER TECHNOLOGIE IN DER BEVÖLKERUNG IST HOCH

Prof. Dr. Aaron Praktikjno

Warum kostet ein Wasserstoffauto um die 70.000 Euro, wenn ein e.GO – das Elektroauto, das in der Region Aachen gebaut wird – mit Batterie für 16.000 Euro zu haben ist?

Eine wasserstoffbasierte Mobilität hat im Gegensatz zur batteriebetriebenen Mobilität zwei wesentliche Unterschiede. Erstens ist die Reichweite bei Wasserstoffautos höher als bei Elektroautos. So wirbt e.GO mit Reichweiten um die 100-150 Kilometer pro Ladung, während bei Wasserstoffautos Reichweiten um die 400 bis 500 Kilometer nicht unüblich sind. Zweitens ist die Betankung eines Wasserstoffautos deutlich schneller als die Ladedauer bei einem E-Auto. Bei einem e.GO dürfte eine volle Batterieladung zwischen drei und zehn Stunden dauern, je nach verfügbarem Spannungsanschluss. Eine komplette Befüllung eines Wasserstoffautos dagegen dürfte um die zehn Minuten dauern. Durch diese zwei wesentlichen Unterschiede ergeben sich auch unterschiedliche Anwendungsfelder. Ein reines E-Auto ist mit den gegebenen Spezifikationen realistisch nur als Stadtauto einsetzbar. Mit einem Wasserstoffauto kann ich dagegen mit einer einzigen Tankfüllung problemlos von Berlin nach Hamburg fahren. Der relativ schnelle Betankungsvorgang bei Wasserstoffautos ermöglicht darüber hinaus auch Fahrten über längere Distanzen wie bei einem Benzin- oder Dieselfahrzeug und so beispielsweise über ganz Europa, ein entsprechendes Tankstellennetz vorausgesetzt.

Was muss bei einer Kostenrechnung zur wasserstoffbasierten Mobilität alles berücksichtigt werden? Sicher nicht allein die Anschaffungskosten für die Fahrzeuge?

Aus Nutzersicht müssen neben den Anschaffungskosten für das Fahrzeug die Betriebskosten berücksichtigt werden. Insbesondere sind dies die Kosten für den Treibstoff, also die Kosten für den Wasserstoff. Aktuell sind es näherungsweise 10 Euro/100 km, die man für Wasserstoff ausgeben müsste. Außerdem müssten die Kosten für die Instandhaltung und den Verschleiß berücksichtigt werden, die bei Wasserstoffautos höher sein dürften als bei Verbrennern. Hinzu kämen dann die Kfz-Versicherung sowie die Kfz-Steuer, die momentan aber für Wasserstoffautos wie auch für E-Autos nicht erhoben werden.



Prof. Dr.-Ing. Aaron Praktiknjo ist seit Oktober 2015 Juniorprofessor für Energie-ressourcen- und Innovationsökonomie im E.ON Energy Research Center, einem integrierten interdisziplinären Institut an der RWTH Aachen. Er ist außerdem Mitglied der Jülich Aachen Research Alliance (JARA Energy). Seine Forschungsschwerpunkte sind die Energiesystemanalyse, Design und Modellieren von Energiemärkten sowie die Sicherheit der Energieversorgung.



Aus gesamtsystemischer Perspektive müssten darüber hinaus noch die Kosten für die Wasserstoffinfrastruktur eingerechnet werden, also die Kosten für die Produktion des Wasserstoffs, die Lagerung und der Transport des Wasserstoffs vom Produzenten zur Tankstelle und schließlich die Kosten für die Wasserstofftankstellen.

Selbst wenn die Infrastruktur zügig errichtet werden könnte – es geht auch um eine Akzeptanz dieser Technologiewende. Sind die Menschen bereit dafür oder wie und womit kann man sie anderenfalls überzeugen?

Aktuelle Studien zur Akzeptanz von Wasserstoffmobilität, die wir durchgeführt haben, zeigen, dass die Akzeptanz dieser Technologie in der Bevölkerung hoch ist und die Menschen in Europa bereit dafür wären. Gerade die Vorteile der wasserstoffbasierten Mobilität wären gute Verkaufsargumente. Die größte Hürde stellen allerdings tatsächlich die Kosten dar. Meiner Meinung nach ist der aktuell zunehmende Erfolg der E-Mobilität gegenüber der Wasserstoffmobilität maßgeblich auf eine geschickte Industriepolitik in China zurückzuführen. Durch das beherzte Vorantreiben von Massenproduktion der Komponenten für E-Mobilität in China sind die Preise für E-Mobilität in den letzten Jahren weltweit stark gefallen. Andere Länder sind diesbezüglich wesentlich zurückhaltender, auch im Hinblick auf die Wasserstoffmobilität. Einzig in Japan und Korea gibt es größere Bemühungen für eine Verbreitung auf dem Massenmarkt seitens Toyota mit seinem Modell Mirai und Hyundai mit dem ix35 Fuel Cell.

WASSERSTOFF-ELEKTROLYSE IM GANZ GROSSEN MASSSTAB

Dana Gabriel



Shell investiert am Standort Wesseling rund 20 Millionen Euro in die weltgrößte Anlage zur Wasserstoff-Elektrolyse. Was ist das Besondere des Projektes – neben seiner Größe?

Dieses Projekt ist in vielerlei Hinsicht ein Novum: Mit 10 Megawatt (MW) ist es die weltweit größte Polymer-Elektrolyt-Membran (PEM)-Elektrolyse. Diese Technologie ist bisher vornehmlich in kleineren Anwendungen eingesetzt worden. Gleichzeitig ist es das Ziel des Projektes, auch ein Design für eine modular aufgebaute 100-MW-Elektrolyse vorzulegen. Zum ersten Mal wird eine solche Anlage in einer Raffinerie eingesetzt: Nur dadurch kann eine so große Anlage gebaut werden, da immer eine ausreichende Wasserstoffnachfrage vorhanden ist. Durch die Verbindung der etablierten Raffineriewelt mit der neuen Elektrolyse-Welt werden technische Themen angesprochen, die ein Umdenken erfordern, dass für beide Seiten von Vorteil ist.

Des Weiteren soll auch der Einsatz der Elektrolyse für den Netzausgleich getestet werden. Diese neue Verwendungsmöglichkeit wird ab dieser Größenordnung für Netzbetreiber interessant. Wir sind gespannt, wie sich dies weiter entwickeln wird.

Dana Gabriel ist diplomierte Verfahrenstechnikerin und Teamleiterin in der Technologie-Abteilung der Shell-Raffinerie Rheinland. Unter anderem ist sie verantwortlich für die Themen Energieeffizienz, Energiekostenoptimierung und Energiewende und begleitet im Rahmen dieser Aufgaben das REFHYNE-Projekt.

Die gewonnene Energie der Anlage soll ab 2020 komplett am Standort Wesseling verbraucht werden. Wer wird noch von den gewonnenen Erkenntnissen profitieren?

Neben der Verwendung des Wasserstoffs in der Raffinerie ist es auch angedacht, den qualitativ hochwertigen und reinen Wasserstoff – er eignet sich in dieser Qualität für Brennstoffzellen – im Mobilitätsbereich einzusetzen, sei es für Pkw, Busse, Lkw oder auch zukünftig für Züge. Wir werden dabei Erfahrungen sammeln, wie so etwas auch integriert in eine Raffinerie bewerkstelligt werden kann. Da die Elektrolyse auch mit grünem Strom versorgt werden kann, kann sogenannter grüner Wasserstoff geliefert werden, sodass Shell damit auch einen Beitrag für die Energiewende im Verkehrsbereich leistet. Die während des fünfjährigen Projektes gewonnenen Erkenntnisse werden außerdem mit einem Abschlussbericht der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt, um Innovationen im Bereich der Wasserstoffherzeugung weiter voranzutreiben.



Das Projekt wird mit öffentlichen Fördermitteln unterstützt. Braucht es mehr Förderung – nicht nur finanzieller Art – um mehr Unternehmen zu bewegen, die Energiewende mit solchen Vorzeigeprojekten voranzubringen?

Besonders wichtig ist die Demonstration, dass Projekte in dieser Größenordnung umsetzbar sind. Die Alltagstauglichkeit der Technologien im industriellen Prozess muss bewiesen und der Lernprozess bei der Skalierung vorangetrieben werden, denn nur dadurch können die Kosten reduziert und die Wasserstofftechnologie insgesamt wirtschaftlich werden. Darüber hinaus ist neben den Demonstrationsprojekten, welche zurzeit noch auf finanzielle Förderung* angewiesen sind, auch die Marktentwicklung notwendig. Je mehr Anwendungen wirtschaftlich möglich werden – Pkw, Busse, Lkw, Züge oder auch großindustrielle Anwendungen wie zum Beispiel indirekte Beimischung von grünem Wasserstoff in Kraftstoffe über den Raffinerieprozess –, desto mehr Volumen kann produziert werden, und umso schneller geht es voran mit der Lernkurve und der Kostendegression. Dafür ist es dringend notwendig, dass auch die entsprechende Wertschätzung von grünem Wasserstoff in der Gesetzgebung berücksichtigt wird und dass Wasserstoff den Platz in der Energiewende bekommt, den er durch seine vielfältigen Verwendungsmöglichkeiten auch einnehmen sollte.

(*Das Projekt „Refhyne“ wird mit Mitteln der Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking im Rahmen der Finanzhilfvereinbarung Nr. 779579 unterstützt. Dieses Unternehmen erhält Unterstützung aus dem Forschungs- und Innovationsprogramm der Europäischen Union „Horizont 2020“ und der Wasserstoffindustrie und der Wasserstoff-Europa-Forschung.)

Weitere Informationen unter:
www.shell.de

DIE NACHFRAGE WÄCHST SCHNELLER ALS DAS ANGEBOT

Dr. Frank Koch

Seit 2006 gibt es Erfahrungen mit dem Einsatz von Brennstoffzellenbussen. 90 fahren in Europa, auch in Deutschland gibt es inzwischen Pilotprojekte. Wie weit ist man bei der Entwicklung?

Große Flotten, wo man sagen könnte, Brennstoffzellenbusse haben einen signifikanten Anteil am Verkehrsnetz, gibt es bisher nicht. Das liegt daran, dass alle Projekte bisher Demo-Projekte von Prototyp-Fahrzeugen waren, die damals sehr viel Geld gekostet haben. Man wollte testen, ob die Brennstoffzelle überhaupt für den Einsatz im ÖPNV geeignet ist, etwa wie haltbar sie ist. Denn man muss sehen, dass ein Bus eine viel höhere Laufleistung hat als ein Auto. Dann hat man geschaut, wie Wasserstofftankstellen funktionieren, ob sie zuverlässig sind. Mittlerweile ist man bei der Entwicklung so weit, dass einzelne Hersteller sich trauen, größere Stückzahlen zu produzieren.



Warum sind bisher deutsche Hersteller nicht darunter?

Erstaunlich ist, dass in diesen frühen Projekten gerade die deutschen Hersteller sehr engagiert waren. Wir hatten verbrennungsmotorische Wasserstoffbusse von MAN, die wurden unter anderem am Flughafen München eingesetzt und bei den Berliner Verkehrsbetrieben. Und wir hatten Fahrzeuge der Bussparte von Daimler, die wurden u. a. in Hamburg, Bozen und der Schweiz eingesetzt. Leider haben die deutschen Hersteller dann in den letzten Jahren verstärkt an Diesel-Hybridbussen gearbeitet und inzwischen auch an batteriebetriebenen Bussen. Wir wissen, dass Daimler in den nächsten zwei Jahren neben dem Batteriebus, der in diesem Jahr vorgestellt wird, auch mit einem Brennstoffzellenbus auf den Markt kommen will. Aber aktuell gibt es keinen Brennstoffzellenbus eines deutschen Herstellers.

Der Druck auf die Fahrzeughersteller wächst – auch wegen der Diskussion um Diesel-Fahrverbote in den Städten. Das betrifft auch die Verkehrsbetriebe, die auf umweltfreundliche Fahrzeuge umrüsten müssen. Welche Folgen hat das nach Ihrer Einschätzung?

Der Druck lastet in erster Linie auf den Verkehrsbetrieben, weil die Kommunen einen sauberen ÖPNV haben wollen. Seit gut zwei Jahren gibt es immer häufiger Ausschreibungen von Verkehrsbetrieben, die Berater suchen zur Analyse der passenden Antriebskonzepte für die jeweilige Stadt. Es geht dabei fast immer um elektrische Antriebe, sei es Brennstoffzelle oder Batterie, und um die Fragen, wie oft fährt ein Bus am Tag, welche Linien muss er bedienen, wie lang sind diese und wie sieht die Topographie aus? Wir haben tatsächlich Städte, die sind von der Topographie her so anspruchsvoll, zum Beispiel Wuppertal, dass man mit einem Batteriebus keine Chance mehr hat. Diese Analysen werden gerade gemacht. Wir haben Nahverkehrsunternehmen im sogenannten Brennstoffzellenbus-Beschaffungscluster versammelt, der vom Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU) aus Brüssel initiiert wurde, und damit konnten wir europaweit eine

Dr. Frank Koch ist Ingenieur der Chemietechnik. Seit 2000 ist er bei der EnergieAgentur.NRW tätig und dort im Team des Netzwerks „Brennstoffzelle und Wasserstoff, Elektromobilität“. In seinem Arbeitsbereich befasst er sich mit Brennstoffzellenfahrzeugen und der Wasserstoffinfrastruktur.

Nachfrage nach Brennstoffzellenbussen von 1600 Fahrzeugen generieren. Was allerdings fehlt, ist das Angebot. Wir sehen, dass ausländische Hersteller deutlich stärker auf das Thema ansprechen. Führend ist die Firma Van Hool aus Belgien. Es gibt VDL in den Niederlanden, Solaris in Polen und zwei Hersteller in Großbritannien. Aber von deutschen Busherstellern kamen bei jüngsten Ausschreibungen keine Angebote. Langfristig, das sagen alle Experten, werden die Antriebe elektrisch sein. Das reduziert nicht nur die Schadstoffe. Diese Busse sind sehr viel leiser, was für Fahrgäste und Anwohner viel mehr Komfort bringt.

Denken Sie, dass der Einsatz von wasserstoffbasierten Brennstoffzellenbussen den ÖPNV generell teurer machen würde?

Natürlich sind die Busse im Moment teurer als mit herkömmlicher Technik. Wir kommen allerdings von einem sehr hohen Preisniveau. Noch vor drei, vier Jahren hat man für einen 12 Meter-Bus rund eine Million Euro gezahlt. Wir sind jetzt im aktuellen EU-Projekt JIVE bei einem Preis von 650.000 Euro pro Bus. Das ist immer noch viel Geld, aber die Hersteller sagen, wenn Sie mal 100 Stück auf einen Schlag bauen können, dann würde der Preis auf 450.000 Euro runtergehen. Wir kennen Zahlen aus China, wo Busse für 180.000 Euro gebaut werden. Sicher nicht in der Qualität wie das, was deutsche Verkehrsunternehmen erwarten würden, aber die Zahl zeigt, dass die Preise sinken können, wenn die Stückzahlen steigen.

Wir haben bei dem Projekt JIVE auch eine interessante Förderung. Ein Teil der Busse wird von der EU gefördert, und dann gibt es vom Bundesverkehrsministerium eine Kofinanzierung über das Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP). Im Endeffekt kostet mit dieser Kofinanzierung der einzelne Bus das Verkehrsunternehmen nur 90.000 Euro mehr als ein Dieselbus. Deswegen hatten wir eine so hohe Nachfrage, dass wir Verkehrsunternehmen sogar absagen mussten. Wir hätten gut und gerne 300 Busse unterbringen können, aber es war nur Geld für 150 Busse da.



Würden Sie zustimmen, dass hier die Politik stärker gefordert ist, finanzielle Förderprogramme aufzulegen?

Ja. Wir diskutieren mit dem Bundesverkehrsministerium, ein ähnliches Förderprojekt aufzusetzen wie das, welches das Umweltministerium für Batteriebusse angeboten hat. Da gab es 80 Prozent Förderung der Mehrkosten, bei den Brennstoffzellenbussen nur 40 Prozent. Das halten wir für eine Ungleichbehandlung. Denn in einigen Städten – wir haben eben etwa Wuppertal mit seinen vielen Steigungen angesprochen – funktionieren Batteriebusse einfach nicht. Auch im Regionalverkehr oder in Städten mit großen Liniennetzen nicht. Deswegen schafft der Regionalverkehr Köln auch nur Brennstoffzellenbusse an. Da finde ich, muss es eine Gleichbehandlung der Konzepte geben.

MARKTPLATZ

Vertreter aus Industrie, Wissenschaft und Forschung präsentierten auf dem Marktplatz ihre Produkte, Projekte und Technologien. Die Teilnehmer konnten hier Fragen diskutieren, Kontakte knüpfen und Informationen austauschen.



PRAXISERFAHRUNGEN UND SEKTORENKOPPLUNG BEI DER SYNTHESE VON METHANOL ZU BIOGAS

Das FiW beschäftigt sich mit Fragen der Energieoptimierung. Zum Spektrum zählen Energieanalysen für kommunale und industrielle Kläranlagen bis hin zu interdisziplinären Forschungsvorhaben und Beratungsleistungen für Kläranlagenbetreiber und Kommunen.

Im Bereich der Energieforschung befassen sich die Aachener Wissenschaftler in dem vom Land NRW geförderten Projekt „WaStrak II“ mit der praktischen Umsetzung der Methanolsynthese. In der WaStrak-Versuchsanlage auf dem Gelände des Klärwerkes Emschermündung wird seit September 2016 Methanol produziert. Das Vorhaben wird vom FiW in Kooperation mit der Emschergenossenschaft, der Tuttahs & Meyer Ingenieurgesellschaft für Wasser-, Abwasser- und Energiewirtschaft sowie dem Ingenieurbüro Redlich und Partner durchgeführt.

Die halbtechnische Produktion von Methanol erfolgt in zwei Teilschritten. Der erste Vorgang dient der Herstellung von Synthesegas aus Faulgas durch Dampfreformierung. Dabei wird entschwefeltes und getrocknetes Biogas dem Reformierzugeführt und synthetisiert. Im zweiten Teilschritt werden das verdichtete Synthesegas, Kohlenstoffdioxid (CO_2) sowie der durch Elektrolyse gewonnene Wasserstoff (H_2) dem Methanol-Synthesereaktor hinzugefügt.

Die Endprodukte dieses Verfahrens bestehen aus Wasser, Synthesegas und Methanol. Das synthetisierte Methanol kann in Kläranlagen zur Kohlenstoffdosierung eingesetzt werden oder extern etwa bei der Kraftstoffgewinnung, Biodieselherstellung, in der chemischen Industrie, in Mikrogasturbinen und Motor-BHKW.



EMS

TYP-4-DRUCKBEHÄLTER FÜR WASSERSTOFF

Das Jülicher Unternehmen EMS ist ein führender Hersteller hochwertiger Kohlefaserprodukte, etwa stationären und mobilen Speicher für Wasserstoff, die an Tankstellen oder in Fahrzeugen eingesetzt werden können. Die CFK-Druckbehälter vom Typ 4 bieten gegenüber anderen Druckbehältern wesentliche Vorteile. Die kohlefaserverstärkte Struktur sorgt für ein besseres Verhältnis von Festigkeit zu Gewicht. Dadurch können Tankbehälter für Busse und Lkw um bis zu 450 Kilogramm leichter sein als andere Materialien.

Weitere Vorteile der CFK-Druckbehälter sind Beständigkeit, Röntgendurchlässigkeit sowie die fehlende thermische Ausdehnung und Langlebigkeit – das Unternehmen geht von einer Lebensdauer von etwa 30 Jahren aus. Die Sicherheitsanforderungen sind sehr hoch: Bei einer zwei Jahre dauernden Zertifizierung werden die Behälter zu Testzwecken beschossen, Lastwechsel-Tests unterzogen und müssen Berst-Tests überstehen.

Hergestellt werden die Tanks im sogenannten Nasswickelverfahren. Dabei werden innen und außen Kohlefasern auf einen mit Kleber bestrichenen Kunststoffkern aufgebracht. Drücke bis zu 700 Bar sind möglich. Im nächsten Schritt will EMS in die Serienfertigung gehen und strebt dabei auch eine Zusammenarbeit mit Erstausrüstern an.

EMS bietet darüber hinaus innovative Lösungen für das H₂-Transportwesen und für die Wasserstoffinfrastruktur, in denen diese Behälter eingesetzt werden.



AREVA H2Gen GmbH

FRÜHE GESCHÄFTSMODELLE MIT DEM EINSATZ DER PEM-ELEKTROLYSE IM PRIMÄRREGELENERGIE-MARKT

Das Unternehmen mit Hauptsitz in Köln sowie weltweiten Partnern und Niederlassungen entwickelt und vertreibt Wasserstoffgeneratoren in verschiedenen Leistungsklassen von 25 KW bis zu Multi-Megawatt-Anlagen. Diese Art von Elektrolyse-Anlagen ist auf mehrere internationale Märkte mit unterschiedlichen Einsatzgebieten ausgerichtet. Beispiele sind Industrieanwendungen in der Erdölchemie. Das Konzept eignet sich auch für „Power-to-Gas“. Denn noch geht weltweit viel Energie aus erneuerbaren Anlagen verloren, weil sie nicht ins Stromnetz eingespeist wird. Für diese „verlorene“ Energie sieht das Kölner Unternehmen einen ausreichend großen Markt. Beispiele sind die Stabilität des Stromnetzes, die abgasfreie Mobilität von Elektrofahrzeugen mit Brennstoffzelle und weitere industrielle Anwendungen.

Die Elektrolyseure von AREVA H2Gen basieren auf einer Modulararchitektur und Komponenten, die sich in Industrieanlagen bewährt haben. Sie sind das Ergebnis von mehr als 25 Jahren Forschung und Entwicklung und ausgerichtet auf einen schnell wachsenden Weltmarkt.

Seinen Kunden bietet AREVA H2Gen Komplettlösungen vom Entwurf innovativer Wasserstoffkonzepte über die Planung und technische Entwicklung bis hin zur Installation einer kompletten Infrastruktur. Darüber hinaus unterstützt das Unternehmen auch Forschungsinstitute bei der Analyse verschiedener Entwicklungsstrategien. Als einziger französischer Hersteller von Elektrolyseuren erhält AREVA H2Gen Fördergelder vom französischen Staat und ist Partner verschiedener Entwicklungs- und Forschungsprogramme.



**Westfälisches Energieinstitut der Westfälischen Hochschule
Gelsenkirchen Bocholt Recklinghausen**

PEM-HOCHDRUCKELEKTROLYSE AUF BASIS DER HYDRAULISCHEN VERPRESSUNG

Wasserstoff wird vor der Einspeisung ins bestehende Erdgasnetz unter Druck gesetzt. Das geschieht normalerweise in einem gesonderten Prozess nach der Elektrolyse. In einem Forschungsprojekt mit Industriepartnern – iGas Energy GmbH, ProPuls GmbH und Obitronik GmbH – arbeitet das Institut an einem vollmodularen PEM-Elektrolyseur mit segmentierten, planaren Polplatten (VOMPELS), mit dem die nachgelagerte mechanische Kompression entfällt. Das spart Ressourcen und Geld, denn das Bauteil zur mechanischen Komprimierung ist wartungsintensiv und teuer. Durch hydraulische Verpressung der Stacks soll eine homogene Druck- und Stromverteilung über den gesamten Stack erreicht werden. Damit gibt es keine Begrenzung der maximal möglichen aktiven Zelfläche, wodurch eine Weiterentwicklung in allen Größenordnungen möglich werden soll. Die ersten Studien waren erfolgreich. Jetzt soll mit dem Aufbau eines Demonstrators gezeigt werden, dass Wasserstoffproduktion auch bei höheren Drücken realisiert werden kann.

Eine im Projekt VOMPELS entwickelte Elektrolyseurzelle soll eine elektrische Leistungsaufnahme von bis zu 4,8 kW haben und 600 Quadratzentimeter aktive Zelfläche. Das Modul soll aus mindestens vier solcher Zellen bestehen. Die Wissenschaftler untersuchen in dem Projekt außerdem die elektrische Leitfähigkeit verschiedener Materialien und Materialkombinationen für den Einsatz als Polplatten und Stromverteiler.

Um vom Labormaßstab auf industrielle Dimensionen zu kommen, werden in verschiedenen Projektarbeiten die Bauteile optimiert, um beispielsweise mit einem neu entwickelten Zelldesign eine verbesserte Strom- und Medienführung zu erreichen. Untersucht werden außerdem die Segmentierung und der Stackaufbau.

Im vergangenen Jahr ist das Projekt „VOMPELS“ in die landesweite Leistungsschau „KlimaExpo.NRW“ aufgenommen worden.



HyCologne Wasserstoff Region Rheinland e.V.

2004 startete der Verein zunächst als Interessengemeinschaft zur Nutzung von Wasserstoff aus der Chemischen Industrie am Standort Hürth. Seit der Vereinsgründung 2007 ist die Zahl der Mitglieder auf 30 gestiegen, darunter Hochschulen, DLR, Verkehrsunternehmen, Kommunen und zahlreiche Industrieunternehmen. HyCologne versteht sich als Wasserstoff-Energie-Cluster und will durch die Bündelung regionaler Akteure die Markteinführung neuer Technologien und Produkte fördern.

Aktuelles Projekt ist die Begleitung von zwei Wasserstoffbussen in Hürth und Brühl, die von der Regionalverkehr Köln betrieben werden. Bis 2020 sollen im Großraum Köln 30 Wasserstoff-Brennstoffzellenbusse fahren und drei Tankstellen installiert werden.

Außerdem kooperiert HyCologne und pflegt einen intensiven Erfahrungsaustausch mit nationalen und internationalen Projektpartnern. Ziele von HyCologne sind neben der Schaffung neuer Arbeitsplätze und dem Klimaschutz auch eine regionale Standortvermarktung durch die Förderung geeigneter innovativer Technologien.

HyCologne ist zudem Partner zweier europäischer Verbundprojekte: Mit JIVE (Joint Initiative für Hydrogen Vehicles across Europe) und MEHRLIN (Models for Economic Hydrogen Refuelling Infrastructure) wird der Einsatz von 144 Brennstoffzellenbussen und der Ausbau von sieben Wasserstofftankstellen initiiert.

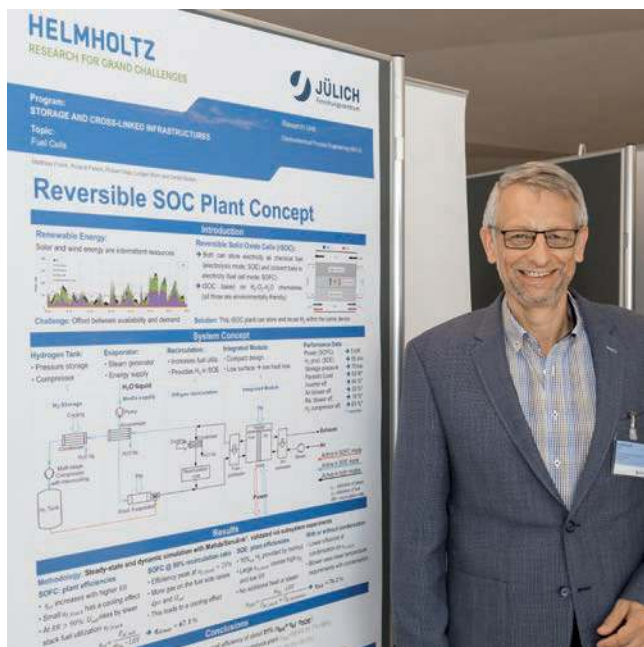


Forschungszentrum Jülich, Institut für Energie- und Klimaforschung Elektrochemische Verfahrenstechnik (IEK-3)

BEITRÄGE DER FORSCHUNG FÜR DIE ENTWICKLUNG KOSTENGÜNSTIGER UND GROSSSKALIGER PEM-ELEKTROLYSEURE

Am Institut für Elektrochemische Verfahrenstechnik (IEK-3) arbeiten Wissenschaftler an einer neuen Generation von PEM-Elektrolysezellen. Durch ein optimiertes Beschichtungsverfahren konnte der Gehalt von teurem Iridium und Platin um das Fünf- bis Zehnfache reduziert werden. Gleichzeitig werden maßgeschneiderte poröse Transportschichten verwendet, die hohe Leistungsdichten erlauben und einen dauerhaften stabilen Betrieb auch bei abrupten Stromschwankungen ermöglichen.

Zu den Forschungsschwerpunkten im Bereich der Niedertemperatur-Elektrolyse gehören neben der elektrochemischen Analyse auch die Untersuchung von Membran-Elektroden-Einheiten, die Entwicklung und Erprobung neuer Prozesstechniken sowie die Konzeptentwicklung und praktische Umsetzung von fortschrittlichen Stapel- und Systemkonzepten.



POWER-TO-GAS-TO-POWER – FORSCHUNGSFRAGEN rSOC

Reversible Brennstoffzellen, die sich in zwei Richtungen betreiben lassen, werden im Forschungszentrum Jülich entwickelt. Sie erzeugen – je nach Bedarf – Strom oder Wasserstoff. Zu Demonstrationszwecken wurde im Labor ein 5-kW-Stack mit Hochtemperatur-Brennstoffzellen aufgebaut, der auch im Elektrolysemodus betrieben werden kann. Die Zellen arbeiten bei 600 bis 800 Grad Celsius und erreichen dabei im Brennstoffzellenmodus höchste elektrische Wirkungsgrade von bis zu 60 Prozent. Mit Kraft-Wärme-Kopplung lässt sich die Abwärme zum Heizen oder Kühlen nutzen, was die Effizienz noch weiter verbessert. Der Zellaufbau beruht auf in Jülich entwickelten, extrem langlebigen keramischen Festoxid-Brennstoffzellen. In einem Langzeittest liefern diese seit über zehn Jahren Strom – so lange wie keine andere Zelle dieses Typs zuvor. Die reversible Variante als rSOC (reversible Solid Oxide Cell) ist bisher nicht so lange haltbar.

Solche Zellen könnten beispielsweise dazu beitragen, abgelegene Inseln oder Hütten und Stationen in den Bergen autark mit Energie zu versorgen. Mithilfe von Strom, der aus Solar-

zellen oder von Windrädern stammt, produzieren die Zellen dann Wasserstoff, der sich auch über lange Zeiträume gut speichern lässt. Ebenfalls nützlich: Beim Rückverstromen fällt als Endprodukt reines Wasser ab, das man für die Wasserversorgung verwenden kann.



POWER-TO-FUEL – FORSCHUNGSFRAGEN



Im Kompetenzzentrum Power-to-Fuel befassen sich Mitarbeiter des Forschungszentrums Jülich und der RWTH Aachen mit der Nutzung von Kraftstoffen als Energiespeicher. Mit der Entwicklung innovativer Prozesse soll eine höchstmögliche Effizienz bei der Umwandlung der Energie erreicht werden. Dazu werden sowohl Elektrolyse- und Katalyse-Prozesse betrachtet als auch die Optimierung von Kraftstoff und Motor. Langfristig werden für Lkw, schwere Nutzfahrzeuge und Flugzeuge flüssige Kraftstoffe mit hoher Energiedichte benötigt. In Jülich werden die verschiedenen Power-to-Fuel-Routen hinsichtlich der technischen Umsetzung und der Herstellkosten miteinander verglichen. Betrachtet werden Methanol, höhere Alkohole, Ether (DME, OME3-5) und Kohlenwasserstoffe (z. B. via Fischer-Tropsch-Synthese). Neben der techno-ökonomischen Bewertung wird experimentell an neuen Katalysatoren geforscht, mithilfe von Strömungssimulationen innovative werdenReaktorkonzepte entwickelt.

**Forschungszentrum Jülich, Institut für Energie- und Klimaforschung
Grundlagen der Elektrochemie (IEK-9)**

POWER-TO-SYNGAS: HOCHTEMPERATUR-KO-ELEKTROLYSE IN KOPERNIKUS P2X

Bei dem sogenannten „Power-to-Syngas“-Verfahren werden Wasserdampf und Kohlendioxid zu Synthesegas umgewandelt. Dabei handelt es sich um ein Gemisch aus Kohlenmonoxid (CO) und Wasserstoff. Es handelt sich um ein universell einsetzbares Zwischenprodukt, das bereits die Elemente Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff enthält, die für die Weiterverarbeitung zu hochwertigen Chemikalien wie Ammoniak und Methanol erforderlich sind. Das wiederum sind die chemischen Grundbausteine von Kunstharzen, Düngemitteln, Kraftstoffzusätzen und Kraftstoffen.

Synthesegas wird bisher aus fossilen Brennstoffen hergestellt: durch die Vergasung von Kohle und insbesondere durch die sogenannte Dampfreformierung fossiler Flüssigkeiten oder Erdgas. Die Kohlenmonoxid-Elektrolyse von CO₂ bietet gegenüber den konventionellen Verfahren mehrere Vorteile. Die Emission von Treibhausgasen könnte so signifikant reduziert werden, und die aufwendige Reinigung würde entfallen, denn im Gegensatz zu Gasgemischen aus fossilen Brennstoffen ist das Endprodukt weitgehend frei von Schwefel- und Stickstoffkomponenten. So wird ein für die Weiterverarbeitung notwendiges Reinheitsniveau erreicht.

An dem Projekt P2X sind 17 Forschungseinrichtungen, 26 Industrieunternehmen sowie drei zivilgesellschaftliche Organisationen beteiligt. Federführend sind das Forschungszentrum Jülich, die RWTH Aachen und die Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie (DECHEMA).



Forschungszentrum, LLEC-Projektteam

LIVING LAB ENERGY CAMPUS (LLEC)

Bei dem Projekt auf dem Campus des Forschungszentrums Jülich sollen skalierbare Technologie-Demonstratoren nebst zugehöriger IT-Plattform zur Produktion, Verteilung, Speicherung und Nutzung regenerativ erzeugter Energien entwickelt werden. Im laufenden Betrieb sollen innovative Modellierungs-, Planungs- und Regelungswerkzeuge angewendet und optimiert werden. Damit wird ein Teil des Campus zu einem Reallabor für die Energiewende und zu einem Vorbild für Smart Cities.

Zunächst wird ein digitales Modell des Campus erstellt. In virtuellen Bilanzräumen können dann Energieerzeuger, -speicher und -verbraucher miteinander agieren und einzelne Komponenten aufeinander abgestimmt werden. Dazu wird u. a. untersucht, wie groß PV-Anlagen, Batteriespeicher oder ein Elektrolyseur für die Wasserstoffgewinnung ausgelegt sein müssen, um unter bestimmten Randbedingungen möglichst wirtschaftlich zu arbeiten. Im Betrieb sollen Daten gesammelt und modellbasierte, prädiktive Regelungskonzepte entwickelt werden, in welche die Nutzung der Objekte, das Energieangebot und auch die Entwicklung des Wetters einbezogen werden.

Strom wird vor allem aus Photovoltaikanlagen auf Dächern und integriert in Gebäudefassaden gewonnen. Zwei Lithium-Ionen-Großbatterien dienen als Energiespeicher, einer davon zudem als unterbrechungsfreie Stromversorgung für Teile der Infrastruktur der Supercomputer. Überschüssiger Solarstrom wird mit einem Elektrolyseur in Wasserstoff umgewandelt und kann später in einer Brennstoffzelle verstromt, dem BHKW beigemischt oder auch als Treibstoff genutzt werden. Dazu wird auf dem Campus eine entsprechende H₂-Infrastruktur geschaffen.



ZITATE

von Workshop-Teilnehmern

„Es gab sehr interessante Vorträge. Man hat deutlich gemerkt, dass das Thema in der Gesellschaft angekommen ist und es sehr unterschiedliche Aspekte und Blickwinkel gibt. Wichtig ist sicher auch die Forderung, dass es bei der Technologieentwicklung in Deutschland etwas schneller gehen muss.“

„Ich arbeite im Bereich Power-to-Fuel und schaue mir verschiedene Anlagen und Anlagensysteme an, um Kraftstoffe auf Basis erneuerbarer Energie herzustellen. Ich interessiere mich für die einzelnen Komponenten, also für Elektrolyseur-Anlagen oder Wasserstoffspeicher, die hier auch gezeigt werden. Und ich hoffe, neue Informationen zu bekommen.“

„Ich bin als Unternehmer hier. Mein Eindruck ist, dass der Workshop sehr professionell ist. Ich finde diese Veranstaltungen im Forschungszentrum generell immer wieder bereichernd. Ich bin erstaunt, was hier in der Nachbarschaft alles erforscht wird.“

„Im Rahmen von erneuerbaren Energien interessiert mich natürlich auch das Thema Wasserstoff, beispielsweise aus Wasser durch Elektrolyse einen speicherbaren Energieträger zu machen. Gerade in dem Bereich habe ich heute einiges gehört, was neu für mich ist. Und es war interessant zu erfahren, wie viele praktische Beispiele es inzwischen gibt.“

„Es ist eine interessante Einstiegsveranstaltung zum Thema Wasserstoff. Ich forsche selbst in dem Bereich, deshalb sind die Themen mir nicht neu. Aber für andere Teilnehmer ist sicher interessant zu erfahren, was die Technologie für Komponenten beinhaltet. Und dafür ist die Veranstaltung gut.“

„Ich bin als Wissenschaftler mehr in den Details zu Hause, also Katalysatoren, Membrane und Materialien. Die Veranstaltung nutze ich um mir einen Überblick über weitere Anwendungen zu verschaffen und Anregungen zu bekommen, in welche Richtung wir als Forscher weiterarbeiten müssen. Ich bin als Chemiker mehr am Anfang der Kette und zum Schluss muss unsere Arbeit ja in nutzbare Anwendungen münden.“

AUSBLICK

Die Veranstalter des Workshops „Wasserstoff – ein wichtiger Baustein der Sektorkopplung“ möchten sich bei allen Mitwirkenden – den Referenten sowie den Teilnehmern und Mitdiskutanten – für Ihre Teilnahme, an der zweiten Veranstaltung Dialogreihe „Forschen:Gesellschaft:Zukunft“ bedanken.

Im Verlauf der Veranstaltung ist sichtbar geworden, dass das Thema Wasserstoff noch weitergehender Betrachtung in vielfältiger Weise bedarf. Neben den technologischen Fragestellungen sind insbesondere auch Fragen nach der Wirtschaftlichkeit und der Akzeptanz der Nutzung von Wasserstoff – vor allem im Mobilitätsbereich – zu beantworten.

Es ist es in diesem Zusammenhang von großer Bedeutung, seitens der Forschung und Wissenschaft weiter an innovativen Konzepten und Technologien zu arbeiten. Wichtig ist es in diesem Kontext auch, die Zivilgesellschaft in diesen Prozess enger als bisher einzubinden. Je schneller und rascher sich gerade auf dem Weg in die dauerhafte Anwendung befindliche Technologieoptionen der Gesellschaft „präsentieren“, umso weniger Gegenwehr und Ressentiments bei deren Etablierung ist zu erwarten. Einen Beitrag hierzu wird das Forschungszentrum Jülich in den kommenden fünf Jahren leisten, indem es gemeinsam mit der Hochschule Bonn-Rhein-Sieg und dem Wissenschaftsladen Bonn als Partner im Rahmen eines BMBF- und GWK-geförderten Projekts „Campus to world – Eine Innovation Mall für das Wissen“ errichtet.

Ziel dieses Projekts ist es, gemeinsam neuartigen Ansätzen des Wissenstransfers eine bessere Vernetzung von Wissenschaft und Gesellschaft zu erreichen. Diese Vorgehensweise wird dabei unterstützen, die Verankerung neuartiger Technologie- und Anwendungskonzepte in den Alltag effizienter zu gestalten.

Die Veranstaltung hat deutlich gemacht, dass – hoffentlich verstärkt „grün“ produzierter – Wasserstoff einen wichtigen Beitrag zu einer nachhaltigen Wende auf dem Energie- und Mobilitätssektor leisten kann und wird. Die Sektorkopplung mit Beteiligung wasserstoffbasierter Technologien und Antriebe ist ein wichtiger Baustein/Pfeiler für die zukünftige und nachhaltige Energieversorgung.

Die Veranstaltung am 14. Juni 2018 ist für die Organisatoren – das Forschungszentrum Jülich, dem Region Aachen Zweckverband sowie der EnergieAgentur.NRW – der Anstoß, ihre gemeinsamen Aktivitäten für die Region zu verstärken, um den Transfer von Forschungsergebnissen in Technologien oder Produkte für die Region voran zu bringen.



Die Organisatoren:

Stabsstelle ZukunftsCampus



EnergieAgentur.NRW



JARA –
Jülich Aachen Research Alliance



Der Zweckverband der Region Aachen



Impressum

Herausgeber: Forschungszentrum Jülich GmbH • 52425 Jülich • Konzeption und Redaktion: Dr. Peter Burauel, Dr. Regina Eich-Brod, Stabsstelle ZukunftsCampus (ZC) • Forschungszentrum Jülich • Autoren: Dr. Peter Burauel, Dr. Regina Eich-Brod, Helga Hermanns • Grafik und Layout: Grafische Medien, Forschungszentrum Jülich • Bildnachweis: Ralf-Uwe Limbach, Forschungszentrum Jülich • Kontakt: Dr. Peter Burauel • Tel.: 02461 61 - 6613 • Fax: 02461 61 -9713 • E-Mail: p.burauel@fz-juelich.de • Stand: Dezember 2018

Auszüge aus diesem Heft dürfen ohne weitere Genehmigung wiedergegeben werden, vorausgesetzt, dass bei der Veröffentlichung das Forschungszentrum Jülich genannt wird. Um ein Belegexemplar wird gebeten. Alle übrigen Rechte bleiben vorbehalten.



Seit August 2010 ist das Forschungszentrum für das „audit berufundfamilie“ zertifiziert. Jülich hat sich damit verpflichtet, kontinuierlich Maßnahmen zur besseren Vereinbarung von Beruf und Familie zu definieren und umzusetzen.

