



Die 6 MW-Anlage von Audi in Werlte ist vor einigen Tagen entsprechend zertifiziert worden, dort wird aus dem H₂ Methan für Gasautos produziert, weil die Infrastruktur für deren Betrieb schon vorhanden ist. Audi habe sich wegen der niedrigeren Investitionskosten und der bewährten Technik für eine drucklose alkalische Elektrolyse entschieden, erklärt Hermann Pengg, der dort für die erneuerbaren Energien zuständig ist. Bei entsprechender politischer Weichenstellung (und ohne die EEG-Umlage auf die Elektrolyse) könne mit großen Anlagen in fünf bis zehn Jahren Methan zu den Kosten von Biogas (6 bis 8 Cent je kWh) hergestellt werden. Die reine Betrachtung der Wirkungsgrade beider Typen hält auch Tremel nicht für zielführend. Der Wirkungsgrad sei von der Auslastung abhängig, mit entsprechender Dimensionierung könne also ein höherer Wirkungsgrad erreicht werden – allerdings bei höheren Investitionskosten. Die PEM sei wartungsärmer, aber derzeit noch teurer als die alkalische Elektrolyse. Tremel sieht, wie viele andere Fachleute, den Zukunftsmarkt der Elektrolyse vor allem in der Bereitstellung von Wasserstoff für die Mobilität. Die Konkurrenzfähigkeit der Elektrolyse gegenüber der konventionellen Herstellung aus Erdgas sei abhängig von den Bezugskosten von Strom und Gas, sie beginne bei 20 bis 40 Euro je MWh (ohne Berücksichtigung der Umweltbelastung durch CO₂).

Dass sich angesichts der niedrigen Preise für Erdgas die Einspeisung von grünem Wasserstoff ins Gasnetz mit anschließender Rückverstromung wirtschaftlich nicht lohnt, meinen auch die Kritiker des Gesamtkonzepts. Genüßlich rechnen sie vor, wie in der gesamten Kette die Wirkungsgrade zusammensinken. Nach angenommenen jeweils 70 Prozent in Elektrolyse und Brennstoffzelle zur Rückverstromung bleibt nur noch die Hälfte der eingesetzten Energie übrig. Weitere Verluste entstehen, weil das Wasser gereinigt und unter Druck in den Elektrolyseur geführt wird.

Das Herz der Anlage: Im Stack des Elektrolyseurs sind plattenförmige Zellen aneinandergereiht. Das ganze Paket ist etwa so groß wie ein Buffetisch, drei davon gibt es in Mainz.

miert. Die gesamte Technik sei bewährt und sicher, sagt Metz.

In wechselnden Betriebsarten soll untersucht werden, wie sich die Anlage verhält und wie das Zusammenspiel von Strombezug und Elektrolyse optimiert werden kann, erklärt Scheffer. Erprobt wird zu gleich – wie in anderen Projekten –, wie sich Wasserstoff ins Erdgasnetz einspeisen lässt. In Mainz ist das Netz ein geschlossenes System, was daran hängt, sei im Prinzip bekannt, sagt Jonas Aichinger, der das Projekt für die Stadtwerke Mainz koordiniert. In früheren Zeiten, als es noch Stadtgas gab, lag der H₂-Anteil darin über der Hälfte. Jetzt sollen fünf und später bis zu zehn Prozent eingespeist werden. Problem seien die Endgeräte, erklärt Aichinger, man müsse testen, welchen Anteil sie vertragen. Vor allem die mit Erdgas betriebenen Autos tolerieren nur höchstens zwei Prozent H₂-Beimischung.

Auf die PEM-Elektrolyse setzen die Entwickler große Hoffnung. Sie habe gegenüber der alkalischen Elektrolyse den Vorteil, dass sie auf Lastschwankungen in Millisekunden reagieren könne, erklärt Alexander Tremel, der Elektrolyse-Experte in der zentralen Siemens-Forschung. Damit ließen sich Druckunterschiede leichter beherrschen als mit dem flüssigen alkalischen Elektrolyten. Deshalb kann Primärregelenergie zur Verfügung gestellt werden. Die alkalische Elektrolyse hat dagegen eine Reaktionszeit von einigen Minuten, das reicht für Sekundärregelenergie.

Der Strom gibt Gas

Wind und Sonne liefern Strom – der an guten Tagen keinen Abnehmer findet. Ein viel versprechender Ansatz ist, den Überschuss in Wasserstoff oder Methan umzuwandeln. Das wird in einigen Pilotprojekten erprobt.

Von Lukas Weber

Manche Halbwahrheiten sind nicht kleinzukriegen. Etwa dass Spinat gesund sei, weil er viel Eisen enthalte. Oder dass es bei einem Parkrempler reicht, seine Visitenkarte unter den Scheibenwischer zu klemmen. Und dass sich elektrischer Strom nicht speichern lässt. Zwar taugt das Leitungsnetz tatsächlich nicht zum Horten; es gibt aber durchaus Verfahren, wie sich Schwankungen in Verbrauch und Erzeugung puffern lassen. Strom aus Windkraft und Sonne stehen mal mehr, mal weniger zur Verfügung – ohne Speicher müssen Kapazitäten abgeregelt werden, wenn kein Bedarf ist. Rund 400 Gigawattstunden (GWh) Windenergie im Jahr werden so verschenkt.

Hoffnungsträger für die Umwandlung großer Mengen Überschussstrom in einen Energieträger, der sich lange lagern lässt, und Forschungsgegenstand in fast zwei Dutzend Projekten hierzulande ist eine Technik, die sich mangels eines deutschen Begriffs Power to Gas (PtG) nennt und den Einstieg in die Wasserstoffwirtschaft bringen soll. Beteiligt sind große Industrieunternehmen, Energieversorger, wissenschaftliche Institute und die Politik mit Forschungsmitteln. Die Vision: Aus Überschussstrom wird mittels Elektrolyse Wasserstoff (H₂) erzeugt. Das Verfahren dient zugleich dem Netzmanagement, denn der Elektrolyseur kann Regelenenergie (für die es einen eigenen Markt gibt) bereitstellen und so das Netz vor Überlastung schützen. H₂ lässt sich für vielfältige Zwecke verwenden und wird in einer Menge von rund 520 Milliarden Kubikmeter im Jahr hergestellt. Allerdings bislang zum weitaus größten Teil aus Erdgas und als Nebenprodukt der chemischen Industrie, dabei fällt in großen Mengen das unerwünschte Kohlendioxid (CO₂) an. Wasserstoff kann unter anderem Fahrzeuge antreiben, die aus Brennstoffzellen Strom gewinnen. Er kann wie Erdgas gespeichert und bei Bedarf wieder zu elektrischem Strom umgewandelt oder direkt ins Erdgasnetz eingespeist werden, das rund 230 Terawattstunden (TWh) aufnehmen kann – als Beimischung oder nach der Weiterverarbeitung zu Methan, dem Hauptbestandteil des Erdgases. Zum Vergleich: Der gesamte Jahresstromverbrauch Deutschlands liegt bei etwa 580 TWh.

Wie funktioniert das? In der Schule hat der Chemielehrer Gleichstrom an zwei Elektroden angelegt, die in eine wässrige

Lösung als Elektrolyt getaucht waren. An der Kathode bildet sich aus dem Wasser im darübergestülpten Reagenzglas H₂, dessen Nachweis mit der Verbrennung und einem sanften Puff gelingt, an der Anode bildet sich Sauerstoff (O₂). Das ist schon eine Weile her und war auch damals nicht neu. Tatsächlich datieren erste Versuche, aus Strom mittels Wasser-Elektrolyse H₂ herzustellen, aus der Mitte des neunzehnten Jahrhunderts. Schon ein paar Jahrzehnte später wurde erstmals eine Elektrolyse an ein Kraftwerk gekoppelt.

Heute sind die Verfahren ausgefeilter, das Prinzip bleibt gleich. Ein Elektrolyseur funktioniert wie eine Brennstoffzelle (F.A.Z., Technik und Motor vom 31. März 2015), nur läuft das Verfahren umgekehrt ab. Aus etwa fünf Kilowattstunden (kWh) wird ein Normkubikmeter H₂ (und O₂), dessen Verwertung oft nicht lohnt). Wie in der Brennstoffzelle arbeiten im Elektrolyseur aneinandergereihte Einheiten (Zellen), die zu Stapeln (Stacks) zusammengefasst sind. Und wie dort gibt es verschiedene Typen, von denen in der Praxis zwei eine Rolle spielen und ein dritter gerade erprobt wird. Klassiker ist die alkalische Wasser-Elektrolyse, sie wird seit fast einem Jahrhundert angewendet. Elektrolyt ist in der Regel Kalilauge. Solche Anlagen sind vor allem dort im Einsatz, wo große Mengen günstiger Strom zur Verfügung stehen, etwa an Staudämmen. Der Wirkungsgrad wird mit 60 bis 70 Prozent angegeben.

Der zweite Typ ist der Protonen-Austausch-Membran-Elektrolyseur (PEM). Er hat eine protonenleitende Nafionmembran (eine Modifikation von Teflon), die H₂ und O₂ trennt. PEM-Elektrolyseure gibt es in kleinen Leistungsklassen ebenfalls schon lange, der Wirkungsgrad wurde bisher mit 40 bis 45 Prozent angegeben. Doch die Entwicklung geht weiter: Seit kurzem sind Einheiten mit bis zu zwei Megawatt (MW) Leistung auf dem Markt, die ähnliche Wirkungsgrade wie die alkalische Elektrolyse erreichen sollen. Hersteller sind unter anderem Siemens und Proton. Der dritte Typ ist die Hochtemperatur-elektrolyse. Die erste Anlage ist vor kur-

zem in Dresden in Betrieb gegangen; sie arbeitet mit Temperaturen von rund 900 Grad Celsius und Zellen aus Keramik. In der Versuchsanlage von Sunfire (F.A.Z. vom 25. November 2011) wird aus dem H₂ und CO₂ synthetischer Treibstoff hergestellt. Da Wasserdampf statt Wasser verwendet wird, steigt der Wirkungsgrad, der Hersteller spricht von bis zu 90 Prozent. Für die reine H₂-Produktion kann die Hochtemperatur-Elektrolyse genutzt werden, wenn aus anderen Prozessen viel Wärme zur Verfügung steht. Die keramische Zelle arbeitet in beide Richtungen – sie könnte aus H₂ wieder Strom herstellen.

Das ginge im Prinzip auch mit einem PEM-Elektrolyseur, sagt Klaus Scheffer von Siemens, wenn die gesamte Anlage entsprechend konzipiert wäre. Scheffer ist der Projektleiter des Unternehmens für den Energiepark Mainz, der jüngsten PtG-Anlage in Deutschland. Dort sind Windräder von viermal zwei MW Leistung an eine PEM-Elektrolyseanlage gekoppelt, die mit drei Einheiten von je zwei MW Spitzenleistung die größte PEM-Elektrolyse der Welt ist. Zusammen mit den Stadtwerken Mainz, der Hochschule Rhein-Main und dem Gasspezialisten Linde soll das Miteinander von Elektrolyse, Windanlage, Netzbetrieb und Wasserstoffverwendung erprobt werden.

Das zuvor gereinigte Wasser wird mit Druck in die Elektrolysezellen eingespeist. Dort baut sich durch die Gasbildung ein Druck bis zu 35 bar auf. Die ersten Kompressionsstufen für die Speicherung des H₂ seien deshalb nicht mehr notwendig, sagt Scheffer. Linde verwendet Ionenverdichter, die mit Flüssigkeiten statt Kolben arbeiten, erklärt Stephan Metz, der die Entwicklung bei Linde betreut. Dadurch lasse sich vermeiden, dass der hochreine Wasserstoff durch Schmiermittel verschmutzt werde, außerdem sei der Energieverbrauch geringer. Für das Erdgasnetz und für die Tanks werden etwa 80 bar gebraucht, für den Transport in Lastwagen 200 bar. Derzeit gibt es 19 öffentlichen Wasserstofftankstellen, dort wird das Gas dann auf 700 bar kompri-



Windkraft im Hintergrund: Der Energiepark Mainz ist auf den ersten Blick wenig spektakulär.

Fotos Hersteller

Getäuscht

Wer das zweifelhafte Vergnügen hat, tagtäglich in einem Ballungsgebiet Autobahnstrecken fahren zu müssen, über denen von fern gesteuerte „Lichtemittierende Wechselverkehrszeichen“ versuchen, ins Verkehrsgeschehen einzugreifen, kennt das: Wenn es so neblig ist, dass man den Vordermann kaum mehr sieht, flammt „Achtung Nebel!“ auf. Und wenn es einige Kilometer weiter vorn am Mittelstreifen gekracht hat, leuchtet der orangefarbene und nach schräg rechts unten deutende Pfeil auf. Und der kommt dann noch einmal an der nächsten Leuchtzeichen-Brücke, und vielleicht auch noch ein drittes Mal. Und weder der erste noch der letzte Pfeil veranlasst die allmähliche Räumung des Fahrstreifens. Im Gegenteil, ganz links wird weiter gepowert, aber ein Mütterlein quetscht sich artig mit ihrem Up! vom mittleren Fahrstreifen nach rechts zwischen die Stoßstange an Stoßstange verlangsamen Lastwagen. Schließlich wird aus den Pfeilen das rote Andreaskreuz, und immer noch nicht ist auszumachen, wo nun endlich die Unfallstelle kommt. Die mittlere Fahrspur wird immer langsamer, die rechte steht mehr als das sie stockt. Jetzt wird so forsch wie zahlreich nach ganz links gezogen. Und dort rauscht man dann nach wer weiß wie vielen Kilometern zügig auf dem gesperrten Fahrstreifen an dem Auffahrunfall vorbei, der – dem Verkehrsfunk wie dem Navi, aber offenbar auch der Verkehrszeichen-Fernsteuerung unbekannt – die mittlere Fahrspur blockiert. py.

Unterkühlt

Es ist so viel Kälte auf dieser Welt. Besonders in diesem Raum, der für die Kunden einer sehr erfolgreichen Automarke auf die heimelige Temperatur einer Dubaier Skihalle herunter gekühlt wird. Schön still ist es hier, keine Fliege, kein Staub, Marmor auf dem Boden, überall Pflanzen, Flatscreens mit den vergangenen Helendenken der Autos. Es duftet dennoch nach heißem Gummi und Öl und etwas verbranntem Benzin. Vielleicht ist es eine Art von Autohaus-Parfum. Eine letzte Verbindung zur automobilen Herkunft. Wir entdecken an einem Arbeitsplatz aus Bildschirmen, Rechnern und sehr dunklem Rauchglas einen Menschen. Eine eher jüngere Frau, eine sehr gepflegte Erscheinung, mit der Aura einer Schönheit, die weiß, dass sie Besseres verdient hätte. Sie blickt auf, ohne uns zu sehen. Wir schenken ihr dieses Lächeln, bei dem Frauen noch vor kurzem sofort ihr Make-up erneuert hätten, und bitten beinahe flüsternd um einen Prospekt. Ehrfurcht vor Stille hat uns schon immer ausgezeichnet. „Jetzt?“, fragt die Schönheit sehr leise. Wir nicken bestimmt, und doch bescheiden. Sie erhebt sich, durchquert die Halle – ohne ein weiteres Wort, wir hören das Flüstern ihrer Nylons und das Klacken der Absätze, die Prospekte werden überreicht, die Schönheit schreitet davon. Es fällt kein weiteres Wort. Es ist so viel Wärme in dieser Welt. Man muss nur bereit sein für sie. Und die Autohaus-Schönheit trug überhaupt keine Nylons. wp.

Geblenet

Blender sind nach unserem Sprachgebrauch Autofahrer, die des Nachts ihr Fernlicht nicht rechtzeitig ausschalten, wenn Gegenverkehr naht. Oder solche, deren Scheinwerfer nicht korrekt eingestellt sind und Entgegenkommende sowie Vorausfahrende stören. Die börsentigste Art Blender brachte das Mittelalter hervor, als Menschen zur Strafe mit Blendung das Augenlicht genommen wurde. Dann gibt es noch die Blender im übertragenen Sinn: Sie geben vor, etwas zu sein, was sie nicht sind, aber das mit Stil. Jetzt halten Blender Einzug in die Küche. Die Smoothie-Welle spült sie in Massen und von allen möglichen Herstellern auf den Markt. Schaut man die dazugehörigen Fotos an, sieht man Geräte, die bei uns als Mixer bekannt und seit Jahrzehnten im Gebrauch sind. Die heißen jetzt Blender, denn das ist englisch, und Englisch ist modern. Warum lassen wir uns jetzt einen Blender für einen Mixer vormachen? Wo doch Mixer ein wunderbar lautmaleriesches Wort ist, bei dem das scharf gesprochene „x“ schon die messerscharfe Tätigkeit des Geräts signalisiert? Haben da die Marketingleute nicht genau aufgepasst und nicht gemerkt, dass Blender im Deutschen negativ besetzt ist? Wir sagen weiterhin Mixer und lassen uns nicht von der Werbung blenden. smm.

Altes Talent

Scrambler waren einst leicht fürs Gelände modifizierte Straßenmotorräder. Moto Guzzi und andere haben sie wiederentdeckt, die V7 gibt's als Bausatz. Seite 2

Junges Talent

In der Formula Student Germany zeigen Gruppen von jungen Leuten am Hockenheimring, wie man erfolgreich Renngerät zusammen bastelt. Seite 3



Neuer Trend

Kalter Kaffee wird nicht gebrüht und stehen gelassen, sondern kalt extrahiert. Im Handel sind verschiedene Geräte erhältlich. Seite 4