

AVENUE

Ausgabe Frühjahr 2020

Wasserstoff und Synfuels

Die Treibstoffe der Zukunft





«Die Zeichen stehen gut, dass sich Wasserstoff als Ergänzung zu den auch künftig in der Mobilität unverzichtbaren fossilen Treibstoffen und zum Batterieantrieb etablieren kann.»

Dr. Roland Bilang
Geschäftsführer Avenergy Suisse

«Wenn die Zeit nicht reif ist, kann nichts es geschehen machen; wenn sie reif ist, kann nichts es verhindern.» So lautet ein chinesisches Sprichwort.

Schon seit mehr als 20 Jahren spricht man von der Wasserstoffrevolution. Immer wieder gab es Anstrengungen, der Technologie zum Durchbruch zu verhelfen. Während Jahrzehnten kam man nicht wesentlich über ein Versuchsstadium hinaus. Wasserstoffbetriebene Brennstoffzellen-Fahrzeuge galten als Nischenprodukte. Das sind sie zwar heute noch. Aber die Zeichen stehen gut, dass sich Wasserstoff etablieren kann – nicht als Ersatz, aber als Ergänzung zu den auch künftig unverzichtbaren fossilen Treibstoffen und zum Batterieantrieb, welcher derzeit vor allem von der Politik forciert wird.

Während die Branche heute die Versorgungssicherheit im Bereich Mobilität mit den seit Jahren bewährten Produkten Benzin und Diesel sicherstellt und das Land täglich mit diesen unentbehrlichen flüssigen Energieträgern beliefert, treibt sie die Entwicklung parallel dazu in Richtung CO₂-neutrale Treibstoffe voran. Was heute für Benzin und Diesel gilt, das gilt auch in Zukunft für die CO₂-neutralen Alternativen: Die Mitglieder von Avenergy Suisse garantieren deren Versorgungssicherheit.

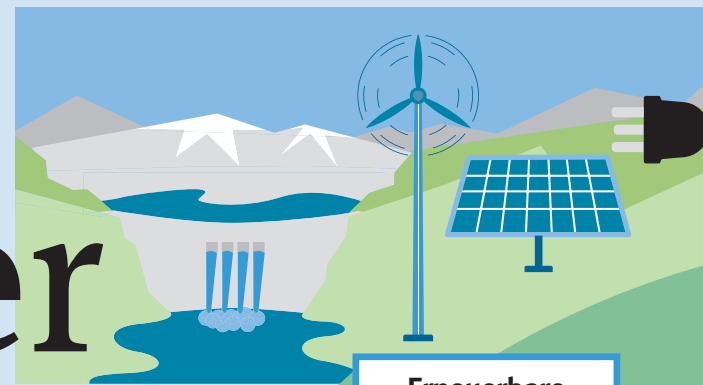
Gegenüber der Batterie bietet Wasserstoff als Energiespeicher wesentliche Vorteile für die Elektromobilität. Dazu zählen die höhere Reichweite, die kurze Betankungszeit und das geringe Gewicht des Energiespeichers Wasserstoff.

In technischer Hinsicht sind die Lösungen mit Wasserstoff erst seit wenigen Jahren ausgereift und massentauglich. Dies betrifft sowohl die Wasserstoffherstellung durch Elektrolyseure als auch den Bereich der Brennstoffzellen. Nun zeigt sich, dass es sich um eine zukunftssträchtige Technologie handelt, die preislich schon in der jetzigen Anfangsphase mithalten kann, auch weil der Energieträger steuerbefreit ist. Es ist davon auszugehen, dass die Preise weiter sinken, wenn sich die Technologie nun etabliert.

Wasserstoff ist nicht die einzige umweltfreundliche Technologie, mit der sich die Branche in der Schweiz beschäftigt. Es gibt bereits Techniken, mit denen synthetisches, erneuerbares Methan (vergleichbar mit Erdgas) und sogar Diesel hergestellt werden können. Diese Technologien sind zwar derzeit noch nicht massentauglich. Dank ihnen werden aber künftig vollständig CO₂-neutrale Treibstoffe für die Luftfahrt zur Verfügung stehen.

Ist die Zeit für Wasserstoff und Co. als Ergänzung zu den fossilen Treibstoffen reif? Urteilen Sie selbst.

Vom Wasser zum Wasser



Erneuerbare Stromerzeugung

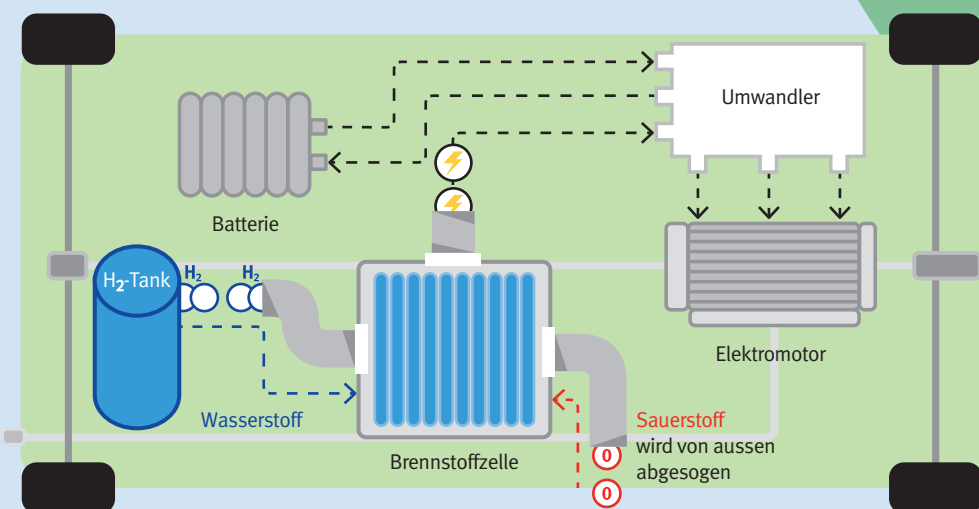
Nachhaltige Energiequellen

Es kann nur dann **klimaneutraler Wasserstoff** produziert werden, wenn für die Produktion Strom aus nachhaltigen Energiequellen (Wasser, Wind, Sonne) verwendet wird.

H₂-Brennstoffzellen-Elektrofahrzeug

Ein Brennstoffzellen-Elektrofahrzeug produziert für seinen Elektromotor aus Wasserstoff H_2 und Sauerstoff O selbst elektrische Energie.

Verbrauch in der Brennstoffzelle

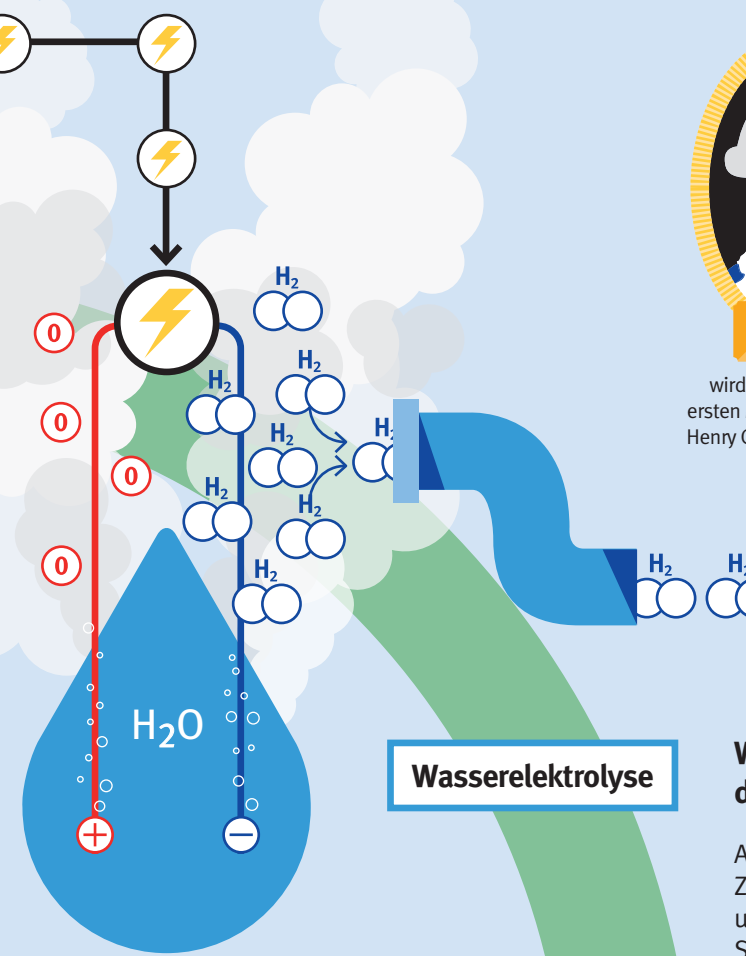
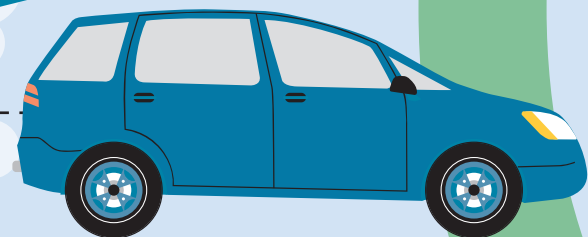


Wie funktioniert ein Brennstoffzellenauto?

Aus **Wasser** wird also wieder **Wasser**.

H_2O
Brennstoffzellenautos stossen lediglich **Wasserdampf** aus.

Emittierter Wasserdampf wird an die Umgebung abgegeben

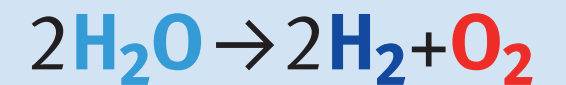


Wasserelektrolyse

Wasserstoffherstellung durch Elektrolyse

Als Wasserelektrolyse versteht man die Zerlegung von Wasser in Wasserstoff H_2 und Sauerstoff O mithilfe von elektrischem Strom.

Wasser (H_2O) wird unter Gleichstrom gesetzt, wodurch gasförmiger Wasserstoff (an der Kathode $-$) und Sauerstoff (an der Anode $+$) entsteht, im Wasser nach oben wandert und oberhalb des Wassers als Gas gesammelt werden kann. Volumenmässig entsteht dabei genau die doppelte Menge Wasserstoff wie Sauerstoff.



Reaktion der Wasserelektrolyse

Speicherung, Transport und Verkauf



Speicherung, Transport und Verkauf von Wasserstoff

Wasserstoff kann trotz seinem Aggregatzustand ohne Probleme **gelagert** oder auch **transportiert** werden. Dabei entspricht **1 kg H₂** der Energie von etwa **4 l Benzin**.



1766

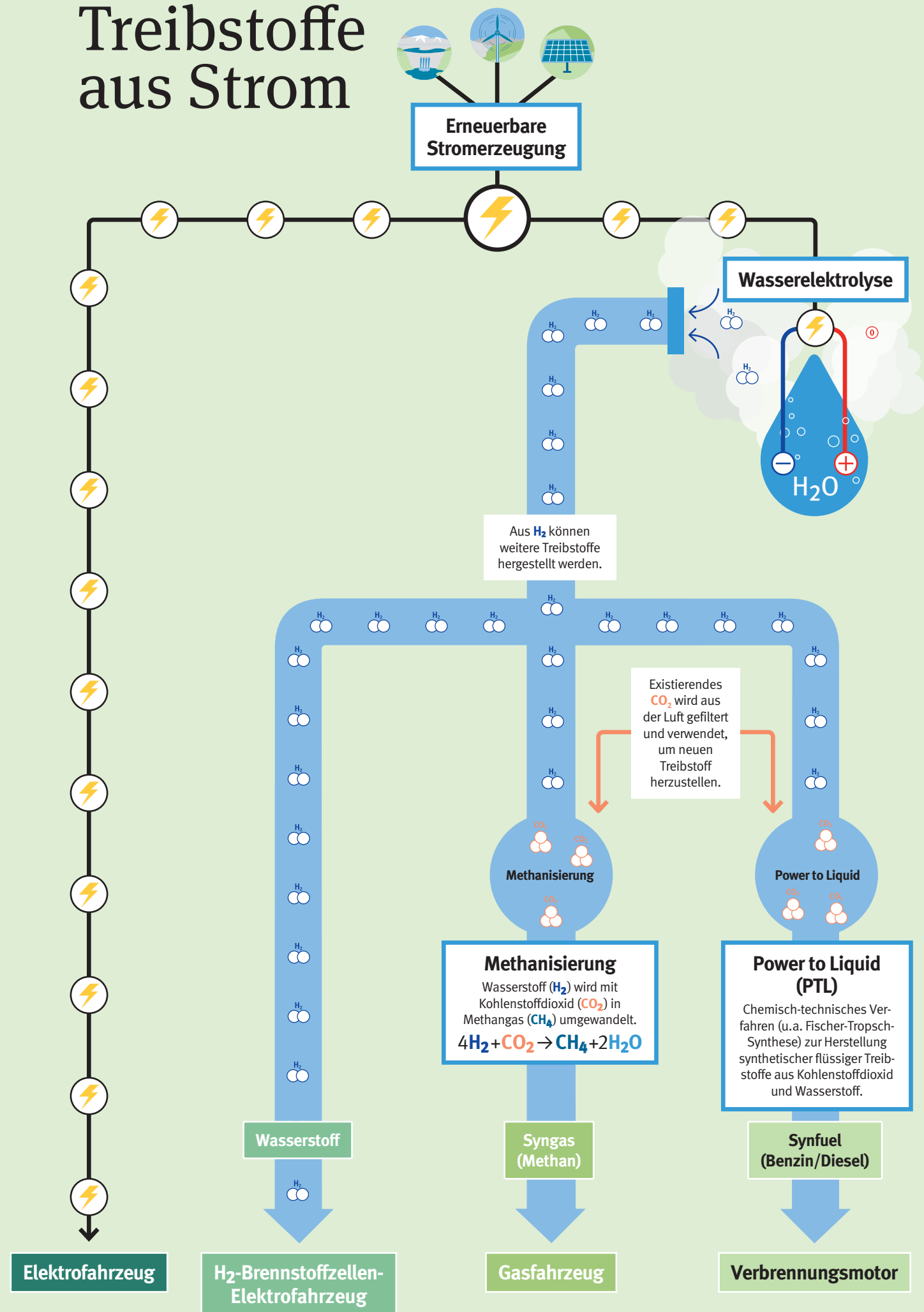
wird Wasserstoff zum ersten Mal per Zufall durch Henry Cavendish entdeckt.



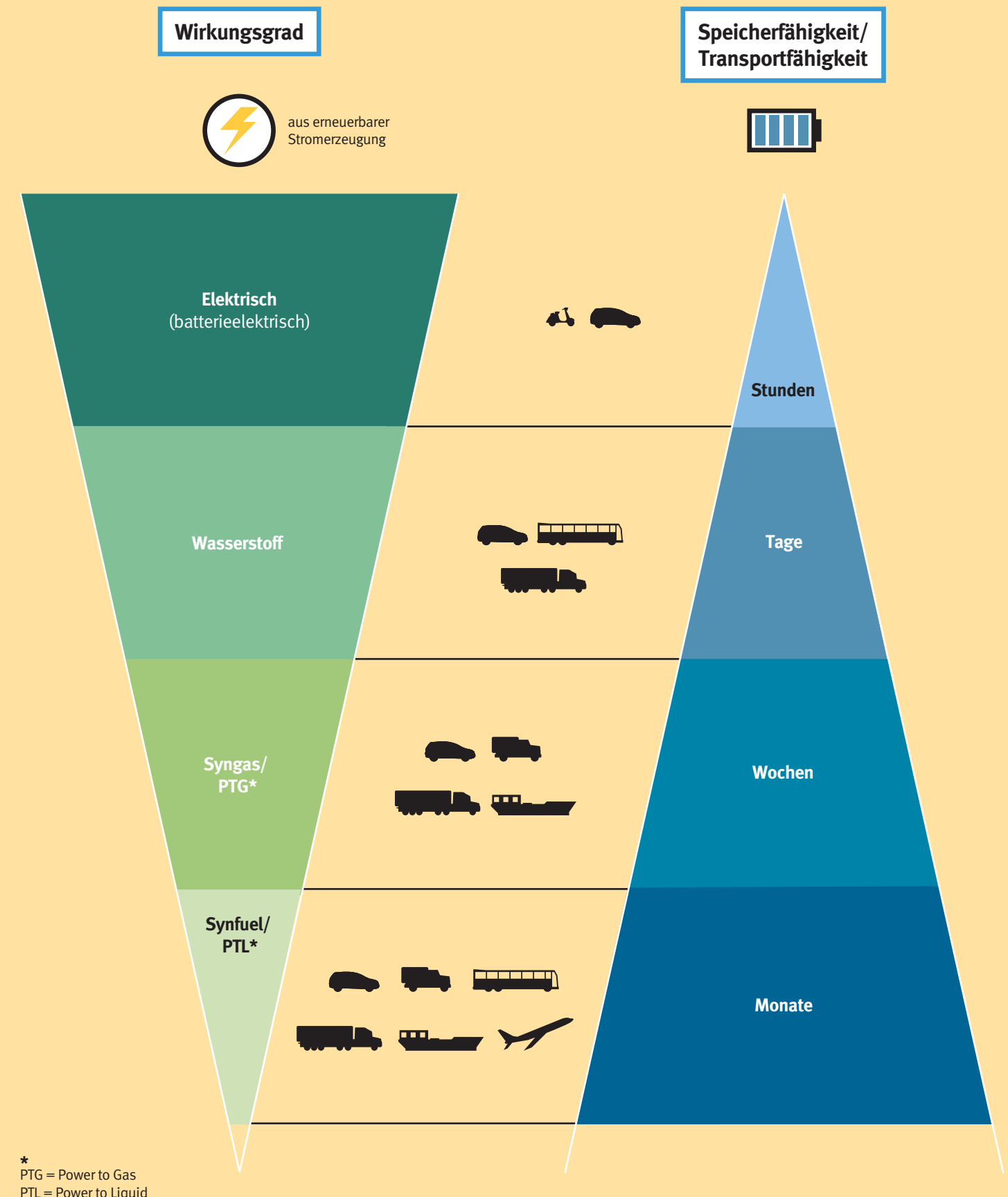
Wolfgang Amadeus Mozart ist 1766 zehn Jahre alt. Aber das ist eine andere Geschichte ...

250 Jahre später

Treibstoffe aus Strom



Wirkungs-Leistungs-Verhältnis



«Wasserstoff: Ergänzung zu fossilen Treibstoffen und Alternative zur Batterie»

In der Schweiz kann Wasserstoff künftig einen wertvollen Beitrag zu einer klimaverträglicheren Mobilität leisten – die Branche geht wichtige Schritte in diese Richtung, sagt Fabian Bilger, Leiter HSSE und stellvertretender Geschäftsführer von Avenergy Suisse.



«Ja, heute sind Wasserstoffautos alltagsfähig.»

Fabian Bilger
stellvertretender Geschäftsführer
Avenergy Suisse

Herr Bilger, über Wasserstoff im Bereich Mobilität wird derzeit viel berichtet. Wie effizient ist Wasserstoff?

Fabian Bilger: Ein Kilogramm Wasserstoff beinhaltet rund zweieinhalb Mal so viel Energie wie Diesel oder Benzin. Deshalb ist Wasserstoff grundsätzlich sehr geeignet als Energieträger für die Mobilität, wo viel Energie mit möglichst wenig Zusatzgewicht gefragt ist. Da Wasserstoff ein leichtes und deshalb flüchtiges Gas ist, sind Lagerung und Transport herausfordernd. In Fahrzeugtanks wird Wasserstoff oft unter hohem Druck gelagert. Dafür braucht es die entsprechende Infrastruktur an den Tankstellen.

Ist die Technologie auch CO₂-neutral?

Lokal – also bei der Herstellung von Strom in einer Brennstoffzelle im Fahrzeug – ja. Bei diesem Prozess entsteht nur Wasserdampf. Wie bei allen alternativen Energieträgern muss man sich



den Herstellungsprozess ansehen. Wasserstoff ist ein Massengut. Weltweit werden – vor allem in der Industrie – jedes Jahr rund 60 Millionen Tonnen Wasserstoff verbraucht. Dieser stammt zum allergrössten Teil aus der Reformierung von Gas und Kohle. Auf diese Weise hergestellter Wasserstoff ist aber nicht rein genug für die Anwendung in der Brennstoffzelle. Dafür benötigt man Wasserstoff aus Elektrolyse – also der direkten Aufspaltung von reinem Wasser mithilfe von Strom. Ist dieser Strom CO₂-neutral, so ist es auch der daraus gewonnene Wasserstoff.

Handelt es sich bei Wasserstoff nicht auch um ein Treibhausgas?

Wasserstoff ist ein sogenanntes indirektes Treibhausgas. Das heisst, es kann die Lebensdauer von anderen Treibhausgasen verlängern – insbesondere von Methan und Ozon. Allerdings reden wir hier von Wasserstoff, der vor dem Einsatz im Fahrzeug verloren geht, also zum Beispiel durch Undichtigkeiten in den Lager- und Transportsystemen. Nach dem Einsatz im Fahrzeug ist der Wasserstoff als Wasser bereits gebunden. Es gibt noch wenige Untersuchungen, wie der Resteffekt auf das Klima wäre, wenn Wasserstoff der primäre Energieträger werden würde. Britische Wissenschaftler haben in einer Studie errechnet, dass das globale Treibstoffsystem nur noch sechs

Tausendstel der heutigen Klimawirkungen hätte, wenn es komplett von fossil auf Wasserstoff umgestellt würde. Dies wäre ein Riesenschritt hin zur CO₂-Neutralität.

Was ist ein Wasserstoffauto, und wie funktioniert ein solches?

Ein Wasserstoffauto ist ein Elektroauto. Die Achsen werden also, wie bei reinen Batteriefahrzeugen auch, von Elektromotoren angetrieben. Der Strom dafür stammt auch aus einer Batterie – der sogenannten Traktionsbatterie. Im Gegensatz zu den reinen Batteriefahrzeugen ist diese aber viel kleiner und dadurch wesentlich leichter. Diese Batterie wird während der Fahrt ständig durch den Strom geladen, den die Brennstoffzelle

bei der Oxidation von Wasserstoff produziert.

Betankt werden die Fahrzeuge mit gasförmigem Wasserstoff. Bei Personewagen beträgt der Druck im Fahrzeugtank 700, bei Lastwagen 350 bar. Die Reichweite pro Tankfüllung ist vergleichbar mit jener eines klassischen Verbrennungsmotors. Sie beträgt also zwischen 400 und 700 Kilometer.

Wo sehen Sie die Vorteile von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen mit Brennstoffzellen?

Für die Nutzerinnen und Nutzer solcher Fahrzeuge stehen sicher die Vorteile des schnellen Betankens und der hohen Reichweite im Vordergrund. Gerade in kälteren Regionen ist es zudem von

Es gibt noch wenige Untersuchungen, wie der Resteffekt auf das Klima wäre, wenn Wasserstoff der primäre Energieträger werden würde.



Vorteil, dass das Fahrzeug mit der Abwärme der Brennstoffzelle beheizt werden kann und man nicht elektrische Energie aus der Batterie braucht. Das bringt zusätzlich Reichweite gerade bei tieferen Temperaturen. Und natürlich: Man fährt ein Elektroauto mit all seinen Eigenschaften wie geräuschem Fahrgenuss, zügiger Beschleunigung, wenig Wartungsaufwand und der Fähigkeit, Bremsenergie zurückzugewinnen.

Welches sind die Vorteile hinsichtlich des Energiesystems?

Aus Sicht des Energiesystems ist Wasserstoff ein dankbarer Stromspeicher. Mit dem Wandel zu immer mehr Flatterstrom aus Wind und Sonne, der nicht unbedingt dann anfällt, wenn wir ihn brauchen, sind wir auf zusätzliche Speicher angewiesen. Insbesondere die saisonale Speicherung – also den Überschussstrom vom Sommer in den Winter zu bringen – ist mit Wasserstoff in der Schweiz im grossen Stil möglich. Die Möglichkeit, Energie als Wasserstoff abzusetzen, hilft ausserdem Produzenten von Wind- oder Solarstrom, ihre Anlagen rentabel zu betreiben. In Zeiten von tiefen Strompreisen, haben die Wind- oder Solarparkbetreiber einen zweiten Absatzmarkt mit stabileren Preisen für ihre Energie zur Verfügung. In diesem

Sinne hilft Wasserstoff beim Ausbau der erneuerbaren Energien, indem Investitionen in diese Anlagen rentabler und sicherer werden.

Sind Wasserstofffahrzeuge alltagsfähig, und können sie Benzin- und Dieselaautos ersetzen?

Ja, heute sind Wasserstoffautos alltagsfähig. Die Brennstoffzellen sind langlebig und belastungsfähig und können auch in widrigen z. B. winterlichen Bedingungen von –30 Grad betrieben werden. Immer mehr grosse Automobilhersteller bieten entweder bereits ein Wasserstofffahrzeug an –

Die Brennstoffzellen sind langlebig und belastungsfähig und können auch in winterlichen Bedingungen von –30 Grad betrieben werden.

allen voran Toyota, Hyundai, Honda und Mercedes – oder führen Projekte mit sehr hohem Entwicklungsfortschritt. Das grösste Hindernis für eine flächendeckende Verbreitung der Technologie war und ist das fehlende Wasserstoff-Tankstellennetz. Der Auf-

bau eines solchen Netzes wird derzeit in der Schweiz von der Branche vorangetrieben, in enger Koordination mit den Fahrzeugherstellern.

Wie erfolgt der Aufbau des H₂-Tankstellennetzes in der Schweiz?

Zu diesem Zweck wurde bereits im Mai 2018 der Förderverein H₂ Mobilität Schweiz gegründet. Die Mitglieder sind namhafte Unternehmen: Agrola, AVIA, Coop, Coop Mineraloel AG, fenaco, Migrol, Migros, SOCAR, Emil Frey, Shell, Galliker Transport & Logistics, Camion Transport, G. Leclerc Transport, F. Murpf, Tamoil, Chr. Cavegn AG und Emmi Schweiz. Bei den Mitgliedern handelt es sich also um Tankstellen- oder Flottenbetreiber, die alle stark an der Wasserstofftechnologie interessiert sind. Diese haben sich bereit erklärt, die Tankstelleninfrastruktur in der Schweiz privatwirtschaftlich zu erstellen und eine Lastwagenflotte zu betreiben, welche diese dann auch entsprechend auslastet.

Eine Investition in mehr Diversifikation

Für Martin Osterwalder von der AVIA-Tankstelle Osterwalder St. Gallen AG bedeutet der Bau der weltweit leistungsfähigsten Wasserstofftankstelle eine Investition in die langfristige Zukunft seines Unternehmens.



Die Kundschaft wartet auf die Inbetriebnahme.

Martin Osterwalder
AVIA-Tankstelle Osterwalder St. Gallen AG

Wer in St. Gallen von Westen herkommend auf der Oberstrasse entlang der Bahngeleise unterwegs ist, kann die beiden grossen Silos der AVIA-Tankstelle Osterwalder St. Gallen auf der rechten Seite kaum übersehen. Hier entsteht laut Martin Osterwalder die weltweit leistungsfähigste H₂-Betankungsanlage. Rund zwölf Fahrzeuge können hintereinander ohne Unterbruch mit Wasserstoff befüllt werden. Dann erst müsse in der Anlage für eine kurze Zeit zusätzlicher Druck für weitere Betankungsvorgänge erzeugt werden, erklärt Martin Osterwalder nicht ohne Stolz. «Doch das ist eine recht theoretische Überlegung, weil kaum je zwölf Fahrzeuge hintereinander ohne Unterbruch aufgetankt werden. Die Zapfsäule ist also jederzeit einsatzbereit.»

Das Medieninteresse an der geplanten Eröffnung vom 17. April 2020 war enorm gross. Mehr als 60 Medienschaffende haben ihr Interesse bekundet. «Wir waren überwältigt», sagt Martin Osterwalder. Doch das Coronavirus hat dem Pionier einen Strich durch die Rechnung gemacht: «Leider waren bis vor Kurzem einige Bestandteile der Anlage am Zoll in Italien

blockiert und Ingenieure aus Deutschland konnten aufgrund der Einreisebeschränkungen nicht in St. Gallen arbeiten.»

Dass sich die Eröffnung nun verzögerte, sei extrem schade. «Das Interesse an der Tankstelle ist nicht nur bei den Medien gewaltig, auch die Kundschaft wartet auf die Inbetriebnahme.» Dazu gehören diverse Unternehmen in der Umgebung. Und auch die St. Galler Kantonspolizei verfügt neuerdings über Brennstoffzellenautos von Hyundai (Modell Nexa) in ihrer Flotte. Ab Mai können die ersten Fahrzeuge betankt werden: «Wir nehmen die Anlage still in Betrieb und denken, dass wir dann das Eröffnungsfest im Sommer nachholen können», ist Martin Osterwalder zuversichtlich.

Um jederzeit über genügend Wasserstoff zu verfügen, ist das Unternehmen mit der SAK (der St. Gallisch-Appenzellischen Kraftwerke AG) ein Joint Venture eingegangen und beteiligt sich an einem 2-Megawatt-Elektrolyseur. Der Tankstellenbetreiber produziert also den notwendigen Wasserstoff selbst. Für Osterwalder ist dies ein logischer Schritt: «Im Treibstoffgeschäft sind wir immer abhängig von Lieferanten. Wenn wir aber schon von Anfang an in diese neue H₂-Technologie investieren, dann wollen wir auch bei der Produktion mit dabei sein.»

Als Tankstellenbetreiber müsse er einen nachhaltigen Businesscase schaffen. Als Ergänzung zu den fossilen Treibstoffen sehe er am ehesten Wasserstoff. «Der Batterieautofahrer kommt nämlich nicht an die Tankstelle, um sein Fahrzeug dort während 20 und mehr Minuten zu laden – das macht er zu Hause oder allenfalls noch an einer Ladesäule beim Einkaufszentrum.» Die Tankstellen indes seien prädestiniert für den H₂-Verkauf.

Darüber hinaus könnten die Tankstellen laut Osterwalder mit der H₂-Technologie einen Beitrag an den Umbau der Stromproduktion auf erneuerbare Energien leisten. Denn mit dem «überschüssigen» Strom aus erneuerbarer Produktion könne Wasserstoff, aber auch synthetischer Treibstoff (Synfuels) produziert werden.

«Wasserstoff und Synfuels sind Teile der Lösung der Stromspeicherproblematik», ist Martin Osterwalder überzeugt. Und dass er mit seiner H₂-Tankstelle eine wichtige Investition in die Diversifikation seines Unternehmens tätigt, steht für ihn ausser Frage.

«Mehr als nur ein grünes Etikett»

Zusammen mit dem Förderverein H₂ Mobilität und H₂ Energy stellt die Hyundai Motor Company die Weichen für eine nachhaltige Flotte von schweren Brennstoffzellen-Lastwagen in der Schweiz – mit einem verblüffenden Geschäftsmodell.

Unscheinbar wirkt die Firmenadresse im Glattpark in Opfikon – zwischen Kitas, einer Pizzeria und zahlreichen Bürogebäuden findet sich der Hauptsitz der Hyundai Hydrogen Mobility AG. Dabei handelt es sich um eine Partnerschaft zwischen der Hyundai Motor Company und dem Schweizer Unternehmen H₂ Energy – dessen Sitz praktischerweise in unmittelbarer Nachbarschaft an der gleichen Strasse liegt. Was hier vorangetrieben wird, könnte den Logistiksektor in erheblichem Mass verändern. Ziel ist es laut Geschäftsführer Mark Freymüller nämlich, die europäische Nutzfahrzeugbranche in Richtung einer nachhaltigen Umweltfreundlichkeit zu verändern und zu diesem Zweck emissionsfreie Nutzfahrzeuge anzubieten.

«Für Hyundai ergab sich eine tolle Kombination», erläutert Freymüller. «Da war der Wunsch des Unternehmens, mit den Lastwagen auf den europäischen Markt zu expandieren, gepaart mit einer zukunftssträchtigen Technologie, die andere Fahrzeughersteller zum Teil vernachlässigen.» Freymüller spricht von der Brennstoffzelle, in der mithilfe von Wasserstoff elektrischer Strom entsteht, um das Fahrzeug anzutreiben.

Ziel ist es, die europäische Nutzfahrzeugbranche in Richtung einer nachhaltigen Umweltfreundlichkeit zu verändern.



Brennstoffzellen-LKW

Die Vorteile liegen für Mark Freymüller auf der Hand: «Man muss insbesondere bei Brennstoffzellenlastwagen immer vier Faktoren im Auge behalten: Kosten, Reichweite, Nutzlast und Tankzeit.» Gerade bei der Reichweite konstatiert der Hyundai-Hydrogen-Mobility-Geschäftsführer bei den Brenn-

stoffzellen-Fahrzeugen erhebliche Vorteile gegenüber Batterielastwagen: «Höhere Reichweite erkaufte man sich bei reinen Batteriefahrzeugen mit einer entsprechenden Reduktion der Nutzlast, bei den Wasserstofflastwagen steht deutlich mehr Nutzlast zur Verfügung.» Bei einzelnen Anwendungen seien Batteriefahrzeuge zwar sinnvoll, räumt Freymüller ein. Dies gelte aber explizit nicht für den Schwerverkehr.

Dass Hyundai nun die Brennstoffzellenoffensive in der Schweiz starte, sei auch ein unternehmerischer Entscheid: «Die Schweiz bietet optimale Voraussetzungen. Hyundai hegt mit den Brennstoffzellen-Lkw Expansionspläne. Das Joint Venture ist für uns der europäische Hub dafür», erläutert Freymüller. Dass dies gelingen wird, davon ist er fest überzeugt: «Unser Unternehmen verfügt über grosse Erfahrungen in der Brennstoffzellentechnik. Das gilt einerseits im Pkw-, andererseits im Nutzfahrzeugbereich, insbesondere bei Bussen – und jetzt auch bei den Lastwagen.»

Die Hyundai-Trucks für den Schweizer Markt werden unter der Bezeichnung «Xcient Fuel Cell» in der 4x2-Variante und mit einem Zuggesamtgewicht von 34 Tonnen ausgeliefert. Die Lastwagen verfügen über einen Trockenkoffer oder einen Kühlkoffer und beziehen den für den Antrieb benötigten Strom von zwei 95 kW-Brennstoffzellen, die Wasserstoff und Sauerstoff aus der Umgebungsluft in elektrische Energie umwandeln. Der Brennstoffzellenbetrieb ist emissionsfrei – es wird lediglich reiner Wasserdampf ausgestossen. Ergänzt wird das System von einer 73,2-kW-Batterie. Laut Mark Freymüller ermöglichen die 34,5 Kilogramm Wasserstoff an Bord eine Reichweite – je nach Einsatz – von rund 400 Kilometern. Die Betankungszeit sei dabei vergleichbar mit jener bei herkömmlichen Lastwagen.

Das Geschäftsmodell der Unternehmung funktioniert nach einem einfachen, aber zielführenden Ansatz: Die Trucks werden nicht verkauft, sondern nach dem Modell «pay per use» angeboten: Der Kunde «mietet» die Fahrzeugflotte und bezahlt pro gefahrenen Kilometer. Hyundai küm-

Das Prinzip «pay per use» erleichtert der Kundschaft den Einstieg in die Wasserstofftechnologie.

mert sich um alles Wesentliche. Dies betrifft nicht nur Services und Abschreibung, sondern auch die garantierte Versorgung mit CO₂-neutralem Wasserstoff (Wasserstoff, der mithilfe von erneuerbarem Strom bspw. aus Wasserkraft oder Sonnenenergie produziert wurde). Die Kilometerpauschale



Hyundai Motor Company und H₂ Energy unterschreiben ihren Joint-Venture-Vertrag.

beinhaltet also den vollständigen Betrieb des Lastwagens inklusive der Wasserstoffbetankung. Auch anfallende Reparaturen oder ein gegebenenfalls notwendiger Ersatz der Brennstoffzelle werden im Rahmen eines mehrjährigen Vertrages über die Kilometerpauschale abgedeckt.

Dieses Geschäftsmodell löst für die Kundschaft wesentliche Probleme: «Erstens kennt man Hyundai hierzulande noch nicht so gut als Hersteller von Trucks, was den einen oder anderen Kunden davon abhalten könnte, unsere Fahrzeuge in seine Flotte zu integrieren», sagt Freymüller. Das Prinzip «pay per use» erleichtert der Kundschaft den Einstieg in die Wasserstofftechnologie. «Und zweitens ist die Infrastruktur noch nicht so gut ausgebaut, wie man es von der herkömmlichen Dieseltechnik her gewohnt ist – doch auch darüber muss sich der Kunde keine Gedanken machen. All diese Probleme nehmen wir dem Kunden durch das «pay per use»-Modell ab.» Ziel sei es, dass der Kilometerpreis mit fossilem Diesel konkurrenzfähig sei, was derzeit der Fall sei.

«Doch selbst wenn die Preise geringfügig höher wären, würde sich der Umstieg auf die Brennstoffzellen-Lastwagen für die Kunden dennoch lohnen», ist Freymüller überzeugt. «Sie können damit ihre eigene Logistikwertschöpfungskette CO₂-neutral gestalten und sich von der Konkurrenz positiv abheben.» Und da die Technologie ja tatsächlich emissionsfrei sei, handelt es sich um mehr als nur um ein «grünes Etikett».

So unscheinbar die Firmenadresse der Hyundai Hydrogen Mobility AG im Glattpark in Opfikon wirkt – für die Transportbranche werden hier spannende Lösungen für die Zukunft geschaffen. Sie könnten dereinst den Logistikmarkt in ganz Europa verändern.



«Wenn die Branche übernimmt, braucht es weniger Politik»

Ein Gespräch mit Christian Bach von der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa)



**«Generell gilt:
In der Langstreckenmobilität
ist es schwieriger als im
Nahverkehr. Der Grund liegt auf
der Hand. Fossiler Diesel bietet
in solchen Anwendungen
enorme Vorteile.»**

Christian Bach
Abteilungsleiter Fahrzeugantriebssysteme, Empa

Herr Bach, wo liegt das Schwergewicht Ihrer Forschung zurzeit?

Christian Bach: Für die Empa ist das Thema erneuerbare Energie im Allgemeinen und bei den Gebäuden und in der Mobilität im Besonderen ein entscheidendes Thema. Mit Demonstratoren geht es unter anderem darum, die Laborforschung für Stakeholder und die Öffentlichkeit sichtbarer zu machen und in echte Anwendungen umzusetzen.

Wie gehen Sie dies im Bereich Mobilität an?

Im sogenannten «move», dem Future Mobility Demonstrator, zeigen wir in Zusammenarbeit mit Partnern aus Forschung, Wirtschaft und öffentlicher Hand, wie der Strassenverkehr der Zukunft ohne fossile Energie funktionieren könnte. Dass Avenergy Suisse dabei mit an Bord ist, zeigt, dass es auch der Branche wichtig ist, nahe an solche Technologien heranzukommen.

Was ist Ihr Ziel?

Unser Hauptziel besteht darin, die CO₂-Emissionen im Strassenverkehr zu «eliminieren», ohne die erneuerbare Energie einfach dem Energiesystem zu entziehen. Dies könnte nämlich auch zu Verschiebungen der CO₂-Emissionen führen. Zudem sollte die Mobilität für das Energiesystem einen Systemnutzen erzeugen. Wir untersuchen, wo dies einfacher und wo schwieriger zu erreichen ist.

Zu welchem Schluss sind Sie gekommen?

Generell gilt: In der Langstreckenmobilität ist es schwieriger als im Nahverkehr. Der Grund liegt auf der Hand. Fossiler Diesel bietet in solchen Anwendungen enorme Vorteile. Es handelt sich um einen Energieträger, der sich betrieblich für alle möglichen Anwendungen von Autos, über Lieferwagen, alle Arten von Lastwagen, aber auch Baumaschinen, Traktoren, Mähdrescher, Schiffen bis hin zu Flugzeugen eignet. Er ist günstig, lagerfähig und dadurch rund um die

Uhr verfügbar. Zudem kann man Diesel einfach über weite Strecken transportieren. Da Langstrecken Anwendungen in der Mobilität hinsichtlich CO₂-Emissionen überdurchschnittlich relevant sind, haben wir unsere Forschung für solche Antriebe intensiviert.

Welche sind die vielversprechendsten Alternativen?

Für Pendlerinnen und Pendler, auf kurzen Strecken oder bei typischen Zweitfahrzeugen sind batterieelektrische Fahrzeuge die richtige Alternative. Kurzstreckenfahrten machen bis zu 70 Prozent der Fahrten aus. Diese sind für den grössten Teil der Schadstoffemissionen verantwortlich, weil die Motoren und Katalysatoren dabei oftmals nicht richtig auf Betriebstemperatur kommen. Die restlichen 30 Prozent der Fahrten betreffen längere und lange Distanzen. Diese machen aber rund 70 Prozent der gefahrenen Kilometer und damit auch ungefähr 70 Prozent bei den CO₂-Emissionen aus. In diesem Bereich sehen wir die Wasserstoffantriebe sowie die synthetischen Treibstoffe, die mithilfe von erneuerbarer Elektrizität produziert werden.

Was ist aus Ihrer Sicht am ziel- führendsten: Wasserstoff, syntheti- sche Treibstoffe oder die heute vor allem von der Politik forcierte Batterietechnik?

Jedes Konzept hat Vor- und Nachteile. Kein Konzept kann alle Anwendungen

Christian Bach

Abteilungsleiter Fahrzeugantriebssysteme bei Empa

Christian Bach arbeitet seit 30 Jahren bei der Empa in Dübendorf, Kanton Zürich. Dort ist er seit bald 20 Jahren als Abteilungsleiter Fahrzeugantriebssysteme tätig, vorher war er Gruppenleiter Leichte Motorwagen. Empa steht für Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt und ist Teil des ETH-Bereichs.

Für Pendlerinnen und Pendler, kurze Strecken oder für typische Zweitfahrzeuge sind batterieelektrische Fahrzeuge die richtige Alternative.

abdecken – auch wenn dies manchmal behauptet wird. Die Kunst besteht darin, für jede Anwendung das jeweils Passende zu finden. Wie gesagt: Reine Elektrofahrzeuge haben ihre Vorteile auf kurzen und mittleren Strecken. Für lange Distanzen benötigen sie grosse Batterien mit entsprechendem Footprint und viele Schnellladesäulen, die den Ausstieg aus der fossilen und nuklearen Stromproduktion verlangsamen. Für diese Anwendungen sind Wasserstoffantriebe und mit synthetischen Treibstoffen betriebene Fahrzeuge besser.

Welches sind die Vor- und Nachteile von H₂ verglichen mit synthetischen Treibstoffen?

Der Wasserstoffpfad verfügt über einen höheren Wirkungsgrad, aber auch über höhere Infrastrukturkosten. Synthetische Treibstoffe müssen in Grossanlagen produziert werden, um wirtschaftlich zu werden, sind im Gegenzug dafür aber einfacher zu transportieren. Es geht nicht um das Entweder-oder, sondern um das Was

Netz einspeisen kann. Diese sogenannte Ausfallarbeit – also Strom, der gar nicht produziert wird – wird trotzdem vergütet. Diese Vergütungen haben sich 2018 auf über 600 Millionen Euro belaufen. Tendenz steigend. Die Krux: Ohne solche Vergütungen lässt sich – wegen des steigenden Anteils an Stromüberschüssen – kein rascher Umstieg auf erneuerbare Energie realisieren. China geht einen anderen Weg.

Wie geht man in China vor?

In China wird die Ausfallarbeit nicht entschädigt. Der Effekt ist, dass dort beispielsweise die Volllaststunden der Photovoltaik zurückgehen, was den Ertrag solcher Anlagen reduziert. Wir glauben, dass es einen anderen Ansatz braucht – nämlich die Nutzarmachung von überschüssiger Elektrizität, indem damit Wasserstoff oder

Wie realistisch ist die Umsetzung Ihrer Ideen im jetzigen Umfeld?

Wenn wir die CO₂-Emissionen der Langstrecken Anwendungen, aber auch der Elektro- und Wasserstoffmobilität im Winterhalbjahr senken wollen, kommen wir an der Anwendung all dieser Technologien nicht vorbei.

Technische Lösungen scheint es zu geben, rechnen sie sich auch?

Ja, allerdings nicht auf Energieträger- sondern auf Anwendungsebene. Unsere Rechnungen zeigen, dass es Lösungen für die CO₂-neutrale Strassenmobilität gibt, die kaum teurer sind als die heutigen, auf fossilen Energieträgern basierten Ansätze. Dazu braucht es aber die richtigen Konzepte im richtigen Anwendungsbereich sowie Wasserstoff und synthetische Energieträger aus Grossanlagen. Die Herausforderung besteht in der Finanzierung der teuren Aufbauphase.

Welche Vorschläge haben Sie bezüglich der Finanzierung dieser Übergangsphase?

Es braucht eine CO₂-Abgabe z.B. Aus unserer Sicht sollte diese dazu dienen, die Transformationskosten zu finanzieren. Dazu braucht es nicht unbedingt staatliche Ansätze. Konkret: Anstelle einer gesetzlichen CO₂-Abgabe könnte eine brancheninterne Umlage eingesetzt werden, um die fossilen Treibstoffe bis 2050 vollständig durch erneuerbare zu ersetzen.

Was schwebt Ihnen konkret vor?

Ob die Verteuerung fossiler Energieträger zu einer CO₂-Reduktion führt, wird kontrovers diskutiert. Sie kann im Extremfall auch zu mehr Emissionen führen, weil die Leute das Gefühl haben, mit der CO₂-Abgabe die negativen Auswirkungen ja zu bezahlen.

Wir sehen demgegenüber einen Absenkpfad für fossile Energieträger als zentrale Massnahme, verbunden mit einer Umlageabgabe auf diesen fossilen Energieträgern, um den Anteil an erneuerbarer Energie im Öl- und Gasbereich bis 2050 auf 100 Prozent zu erhöhen. Dies würde zwar auch zu einer gewissen Verteuerung der Treibstoffe führen, aber – und dies wäre der Hauptnutzen – zu einer zwangsläufigen CO₂-Reduktion.

Die Branche selbst soll die fossilen Treibstoffe verteuern und mit den zusätzlichen Geldern synthetische Treibstoffe und Wasserstoff fördern?

Genau. Wenn die Branche das nicht macht, dann kommt der Gesetzgeber und tut es. Werden die CO₂-Ziele dadurch nicht erreicht, wird die Schraube einfach noch mehr angezogen. Dies könnte dann die Menschen zunehmend frustrieren und die Akzeptanz für solche Massnahmen reduzieren. Wenn sich hingegen die Branche selbst verpflichtet, den skizzierten Transformationsweg zu gehen, wer wollte dann etwas dagegen sagen? Ich denke, die Politik würde ein brancheninternes Vorgehen unterstützen, weil gute Bottom-up-Ansätze schon sehr interessant sind.

Welchen Zeithorizont sehen Sie?

Wenn wir bis 2050 CO₂-neutral werden wollen, bleiben uns noch 30 Jahre. In der ersten Dekade bis dahin müsste



Die Empa betreibt seit 2015 eine Wasserstofftankstelle in Dübendorf.

der Wechsel aufgebaut und der Zugang zu industriellen Grossanlagen im Bereich von mehreren 100 Megawatt sichergestellt werden. Dazu müsste die Branche zusammenspannen. Im zweiten Jahrzehnt müssten die produzierten Mengen massiv ausgebaut werden, und im dritten Jahrzehnt könnten sich dann unterschiedliche Konzepte im wettbewerblichen Stil entwickeln. Mir ist bewusst, dass viele in der Branche einen solchen Wechsel heute noch nicht konkret vor sich sehen. Schlussendlich gibt es für die CO₂-Zielerreichung aber kaum Optionen.

Wie sinnvoll ist es, wenn Europa oder gar die Schweiz in dieser Transformation einen Alleingang macht, während der Rest der Welt faktisch nach wie vor auf fossile Energieträger setzt?

Sie haben recht: Selbst wenn in der Schweiz kein einziges Gramm CO₂ mehr ausgestossen würde, würde dies am Klimawandel noch nichts ändern – dazu ist der Schweizer Beitrag zu klein. Aber: Wenn die Schweiz dank ihrer Finanzkraft und dem technologischen Know-how den Umstieg vormacht, könnten viele andere Länder mit geringeren wirtschaftlichen Möglich-

keiten folgen. Dies, weil die Kosten nach der Aufbauphase stark sinken. Wenn beispielsweise Afrika mit enormem Sonnenpotenzial dank dem beschriebenen Ansatz den stark steigenden Energiehunger erneuerbar und nicht fossil stillen könnte, hätte dies sehr positive Folgen für den Klimawandel.

Warum sollte die Schweiz sich darauf einlassen?

Die Schweiz verfügt über viel Potenzial zur Entwicklung entsprechender Technologien. Im Rahmen des Empa-Projekts «move-MEGA» befassen wir uns genau mit solchen Fragen. Ähnliche Projekte laufen an den ETH, am PSI und an anderen Hochschulen. Ich bin überzeugt: Die Schweiz würde von einem solchen Umstieg in Form einer CO₂-Reduktion profitieren, aber auch wirtschaftlich, weil solche Technologien in Zukunft weltweit im grossen Stil nachgefragt werden.

Im Langstreckenbereich sehen wir Wasserstoffantriebe sowie E-Fuels, welche mithilfe von erneuerbarer Elektrizität produziert werden.

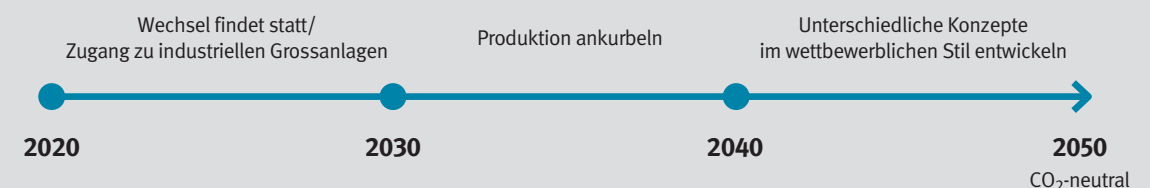
und Wo! Ich bin überzeugt: Wir werden an beiden Technologien nicht vorbeikommen, wenn wir das Energiesystem auf erneuerbare Energieträger umstellen wollen.

Warum nicht?

Weil wir im Sommerhalbjahr ein Problem mit überschüssigem Strom aus den erneuerbaren Quellen haben werden. In Deutschland beispielsweise lässt man bereits heute Windräder stillstehen, weil man den Strom nicht ins

synthetische Treibstoffe produziert werden. Lokal, wo der Transport nicht so wichtig ist, könnte man primär Wasserstoff produzieren. Weil wir in der Schweiz im Winterhalbjahr einen Mangel an erneuerbarer Elektrizität haben, brauchen wir aber auch von weit her transportierbare erneuerbare Energie. Dies können auf absehbare Zeit nur synthetische Energieträger sein, die beispielsweise im Sonnengürtel oder in Offshorewindfarmen erzeugt werden.

Drei Dekaden bis zur CO₂-Neutralität



18 Wasserstoff-tankstellen unterscheiden sich wesentlich von herkömmlichen Tankstellen

Beim Bau und Betrieb einer Wasserstofftankstelle sind verschiedene Herausforderungen zu meistern, sagt Roger Hausammann, Leiter Technik bei der Coop Mineraloel AG. Zu beachten sind neben den technischen Aspekten auch die Platzverhältnisse.

Herr Hausammann, welche Elemente umfasst eine H₂-Tankstelle?

Roger Hausammann: Von heutigen Tankstellen unterscheidet sich eine H₂-Tankstelle in wesentlichen Punkten. So kann der Wasserstoff nicht wie flüssiger Treibstoff mittels «einfacher» Pumpen aus dem Tank zur Tanksäule gefördert werden. Bei H₂ handelt es sich um ein verdichtetes Gas. Dieses kann nur mithilfe von Druckunterschieden befördert werden.

Was bedeutet das in der Praxis?

Das bedeutet, dass neben einem Speichertank und einer Tanksäule

auch eine Verdichtereinheit sowie ein Hochdruckspeicher benötigt werden. Dort wird der Wasserstoff auf die entsprechenden Druckstufen komprimiert und gespeichert.

Wie wird der Wasserstoff an der Tankstelle gespeichert?

Es gibt mehrere Möglichkeiten. Man kann einerseits einen ortsfesten, freistehenden oder auch erdverlegten Speicher realisieren oder andererseits direkt das Anlieferungsgefäss verwenden. Am Produktionsstandort wird der Wasserstoff in den Wechselbehältern mit 350 bar Druck gespeichert. So können rund 365 Kilogramm Wasserstoff

pro Fahrt angeliefert werden. Vor Ort wird dann der leere Wechselcontainer ersetzt. Es ist damit zu rechnen, dass sich in der Schweiz der Einsatz von Wechselbehältern durchsetzen wird, denn sie bringen für den Betrieb einer Wasserstofftankstelle mehrere Vorteile.

Welche Vorteile sehen Sie?

Der Vorteil ist, dass kein Druckverlust infolge Überströmens in einen ortsfesten Speicher – und somit kein Energieverlust – entsteht. Zudem kann die Anlieferungszeit, die sich auf den Wechsel der Container beschränkt, massiv reduziert werden. Ortsfeste Speicher können mit einem Maximal-

druck von rund 50 bar betrieben werden, damit eine möglichst grosse Menge an Wasserstoff vom Anlieferungsgefäss in den Speicher transferiert werden kann.

Wo sehen Sie die grössten Herausforderungen beim Bau und beim Betrieb von Wasserstofftankstellen?

Eine grosse Herausforderung ist die Tatsache, dass bis zum heutigen Zeitpunkt nur die Betankung von Personenwagen mittels eines Protokolls – des sogenannten SAE J2601 – definiert ist. So wird die Betankung aktiv durch eine Kommunikationseinheit geregelt. Ein Protokoll für die Betankung von Lastwagen ist erst in Ausarbeitung.

Wie sieht es mit dem Platzbedarf aus?

Der Einsatz von Wechselbehältern erfordert tatsächlich mehr Platz. Um

Um Tankungen von H₂ laufend zu garantieren, braucht es in direkter Nähe eine weitere H₂-Tankstelle.

einen reibungslosen Austausch zu gewährleisten, sind zwei Standplätze für die Wechselbehälter notwendig, wobei jeweils einer nicht belegt ist. Zudem ist zu beachten, dass die Zugänglichkeit zu den Wechselbehältern jederzeit gewährleistet sein muss. Der Platzbedarf für die Verdichtereinheit und die dazugehörige Kältemaschine unterscheidet sich je nach Systemlieferant. Die gesamte H₂-Tankstellen-Technik benötigt ca. 120 bis 150 Quadratmeter Grundfläche. Darin nicht eingerechnet sind die notwendige Manövrierrfläche im Bereich der Wechselbehälter sowie der Platzbedarf für die H₂-Tanksäule und den Betankungsbereich.

Wie gut ist die Verfügbarkeit garantiert?

Die Verfügbarkeit einer H₂-Tankstelle ist voll abhängig vom Betriebszustand der einzelnen Elemente – vor allem der Verdichtereinheit – und für Personen-

wagen zusätzlich von der Kältemaschine. Fällt ein Element aus, kann keine Tankung vorgenommen werden. Im Gegensatz dazu ist bei herkömmlichen Tankstellen meist eine höhere Verfügbarkeit gewährleistet, da der Ausfall einer einzelnen Tanksäule meist durch die weiteren vorhandenen Tanksäulen kompensiert werden kann.

Wie kann dieser Herausforderung begegnet werden?

Um Tankungen von H₂ laufend zu garantieren, ist darauf zu achten, dass in direkter Nähe eine weitere H₂-Tankstelle besteht. Gerade der Einsatz von H₂-Fahrzeugen in der Logistik und zu gewerblichen Zwecken erfordert eine maximale Verfügbarkeit. Hierzu sprechen sich die Mitglieder des Fördervereins H₂ Mobilität Schweiz laufend ab, um die Tankstellen möglichst optimal zu platzieren. Gerade in der ersten Phase der Ausbreitung des H₂-Tankstellen-Netzes ist eine Absprache unter den Betreibern von H₂-Tankstellen unumgänglich, um der H₂-Mobilität eine möglichst gute Basis zu bieten.

Gibt es am Markt überhaupt ausreichend H₂-Tankstellen-Systeme?

Aktuell wird dieser Markt von drei relevanten Lieferanten abgedeckt, welche die steigende Nachfrage nach H₂-Tankstellen-Systemen nur beschränkt gewährleisten können. Die Entwicklung ist jedoch auf gutem Wege. So werden die Produktionslinien in naher Zukunft ausgebaut, was die Verfügbarkeit massiv steigern wird. Es ist auch davon auszugehen, dass sich durch eine zusätzliche Steigerung der Nachfrage weitere Systemanbieter der H₂-Technik annehmen werden und sich der Markt dadurch positiv entwickelt.



«Von heutigen Tankstellen unterscheidet sich eine H₂-Tankstelle in wesentlichen Punkten.»

Roger Hausammann
Leiter Technik Coop Mineraloel AG

So funktioniert eine Wasserstoff-tankstelle

Verdichtereinheit

Verdichtetes Gas wie H_2 kann nur mithilfe von Druckunterschieden befördert werden. So wird neben einem *Speichertank* und einer *Tanksäule* auch eine *Verdichtereinheit* benötigt, wo H_2 verdichtet bzw. komprimiert wird.

Für den wirtschaftlichen und leistungsfähigen Betrieb der Verdichtereinheit ist ein möglichst hoher Eingangsdruck massgebend. Einfach gesagt: je höher der Eingangsdruck, desto höher die Leistung des Verdichters. So fällt bei aktuell erhältlichen H_2 -Tankstellen-Systemen die Leistung des Verdichters auf ca. 20–25 % der maximalen Leistung.

Beispiel: Leistung Verdichter ca. 82 kg/h bei 350 bar Eingangsdruck gegenüber ca. 22 kg/h bei 25 bar Eingangsdruck, durchschnittliche Leistung ca. 52 kg/h. Bei einem ortsfesten Speicher ist mit einem maximalen Eingangsdruck von ca. 50 bar zu rechnen, was eine Reduktion der durchschnittlichen Leistung auf ca. ein Viertel der oben genannten Verdichterleistung bedeutet. Von der durchschnittlichen Verdichterleistung ist die maximale Anzahl zu betankender Fahrzeuge abhängig.

Hochdruckspeicher

Die Speicherung des verdichteten Wasserstoffs erfolgt in zwei Druckstufen in lokalen *Hochdruckspeichern*: 500 bar für die Betankung der Lastwagen und 950 bar für die Betankung von Personewagen.

Säule/Betankung

Die Betankung der Fahrzeuge basiert auf dem Prinzip des Überströmverfahrens. Durch den Druckunterschied zwischen den *Hochdruckspeichern* und dem *Fahrzeugtank* erfolgt die Betankung ohne zusätzliche Energieaufwendungen. Vor der Freigabe einer Betankung erfolgt eine Prüfung der Dichtigkeit der Verbindung der Zapfpistole zum Fahrzeugtank. Nach der Betankung muss der vorhandene Druck im System über ein *Abblaskamin* entlastet werden. Ohne diese Entlastung kann die Verbindung zwischen Tanksäule und Fahrzeug nicht getrennt werden.

Für Personewagen und Lastwagen werden unterschiedliche, den Druckstufen entsprechende Zapfsysteme verwendet. Die durchschnittlichen Betankungsmengen betragen für Personewagen ca. 4 kg H_2 bei maximalem Fülldruck von 700 bar und für Lastwagen ca. 25 kg H_2 bei maximalem Fülldruck von 350 bar.

Kapazität

Unter Berücksichtigung der Betankungsdauer, der lokal gespeicherten H_2 -Menge und der Verdichterleistung können bei den aktuell in der Schweiz geplanten H_2 -Tankstellen maximal etwa vier Lkw's und acht Pkw's in der Spitzenstunde betankt werden. Im Dauerbetrieb und bei laufendem Tausch der leeren Wechselbehälter ist die maximale Anzahl der Betankungen abhängig vom Fahrzeugmix und von der durchschnittlichen Verdichtungsleistung. Eine Steigerung der Leistung ist durch den Einsatz zusätzlicher Verdichter möglich.

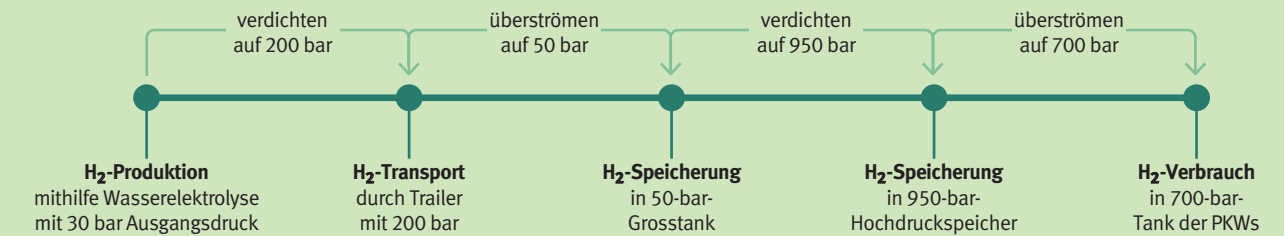
An H_2 -Tankstellen können etwa vier Lkw's und acht Pkw's in der Spitzenstunde betankt werden.

Herausforderung Temperatur

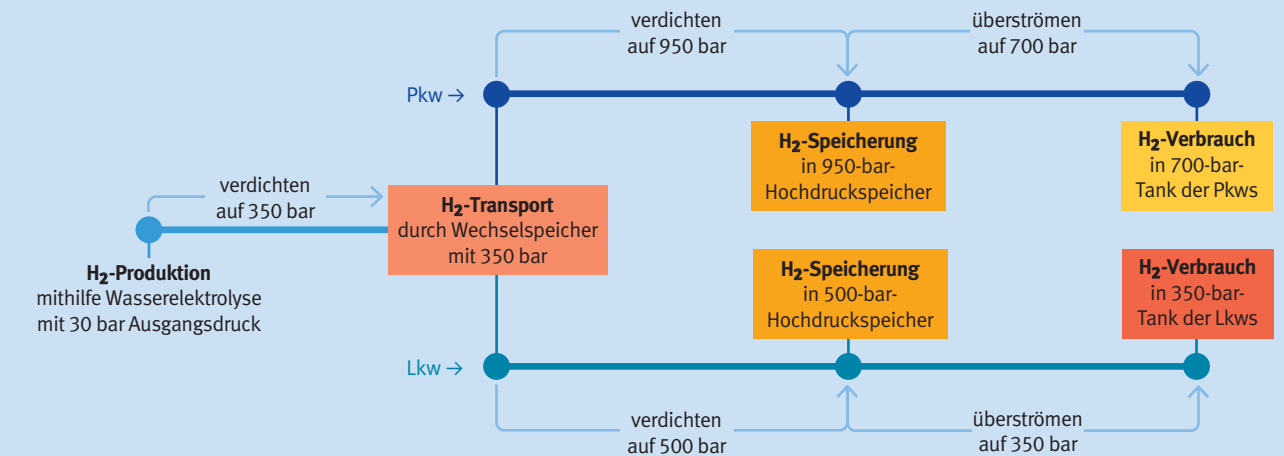
Die Betankungen von Person- und Lastwagen erfolgen im Grundsatz nach dem gleichen Prinzip. Jedoch lassen die Druckunterschiede nicht gleiche Verfahren zu, denn am Ort der Verdichtung von Gasen entsteht Wärme. Diese ist unter anderem durch die technischen Gegebenheiten (z. B. maximal Materialtemperaturen am Fahrzeugtank, maximal zulässiger Druck im Fahrzeugtank usw.) bestimmt. So kann eine Betankung von Personewagen nur mit gekühltem Wasserstoff stattfinden, bei Lastwagen kann hingegen auf eine Kühlung verzichtet werden. Die Erwärmung ist abhängig von mehreren Faktoren, wobei die H_2 -Gastemperatur und die Verdichtungs-geschwindigkeit die Hauptfaktoren darstellen. So definiert die maximal zulässige Erwärmung direkt die Geschwindigkeit des Betankungsvorgangs. Messungen bei einer Testtankung eines Lastwagens haben ergeben, dass sich der Fahrzeugtank um mehr als 40 °C erwärmt hat.

Die Umgebungstemperatur stellt einen weiteren begrenzenden Faktor dar, da sich der Fahrzeugtank erwärmen kann, wenn sich die Aussentemperatur verändert, und der maximal zulässige Druck im Fahrzeugtank zu keinem Zeitpunkt überschritten werden darf. So muss beispielsweise bei Lkw-Betankungen unterhalb von 10 °C Umgebungstemperatur die maximale Füllmenge reduziert werden.

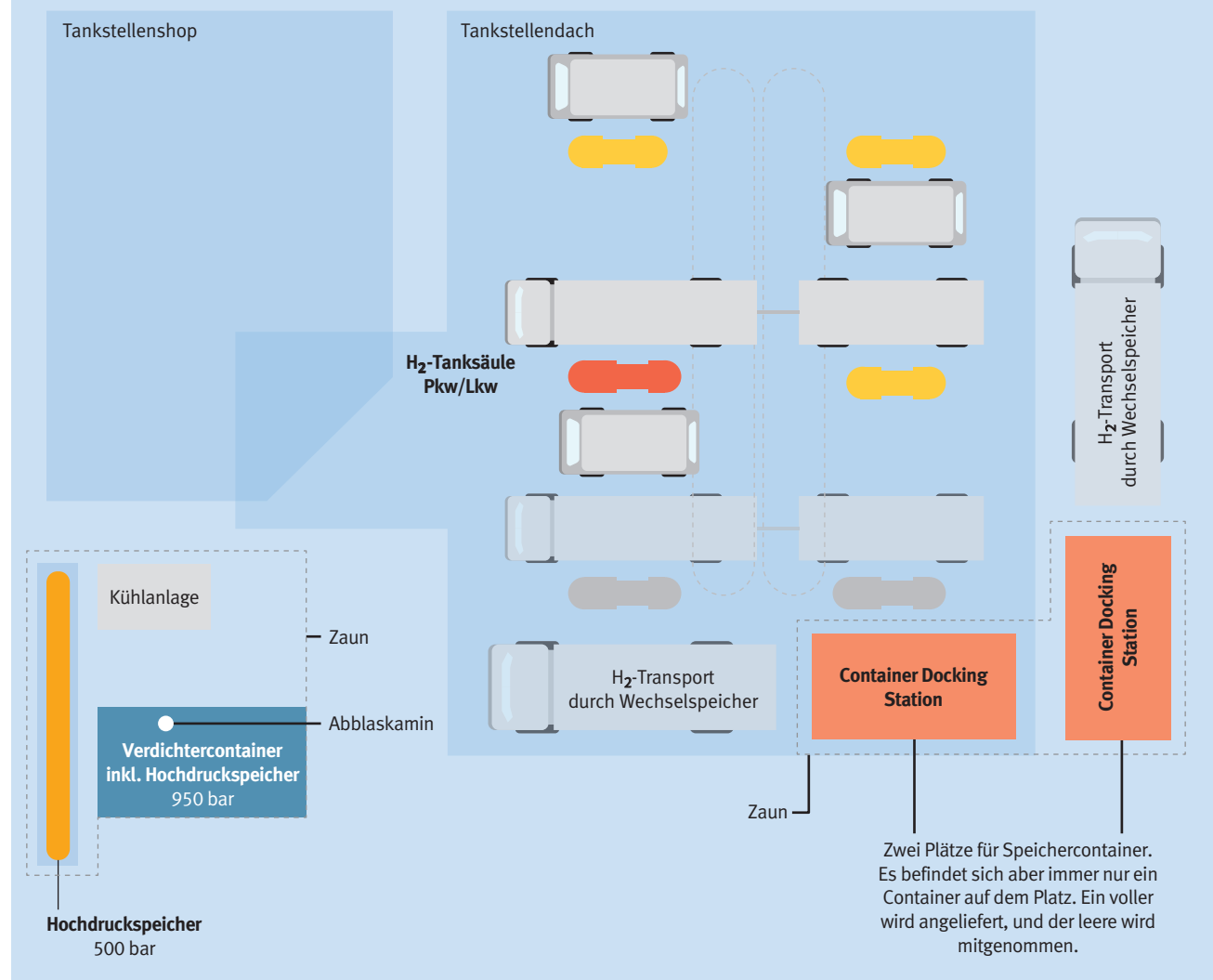
H_2 -Tankstelle mit stationärem Tank (am Beispiel Pkw)



H_2 -Tankstelle mit Wechselspeichern



Möglicher Grundriss einer H_2 -Tankstelle mit Wechselspeichern



Wasserkraftwerk der Alpiq



In Gösgen beginnt die industrielle Produktion von grünem Wasserstoff

Schon seit Jahrtausenden nutzen die Menschen die Wasserkraft. Seit rund 150 Jahren wird mit ihr Strom produziert – und in Gösgen seit diesem Jahr auch in grossem Stil CO₂-freier Wasserstoff für die aufkommenden Brennstoffzellenfahrzeuge.

Im Schatten des imposanten Kühlturms des Kernkraftwerks Gösgen stellt das Wasserkraftwerk von Alpiq seit Februar 2020 nicht nur Elektrizität her, sondern mittels Elektrolyse auch den immer gefragteren CO₂-freien Wasserstoff.

«Einer der Generatoren des Wasserkraftwerks ist direkt mit unserem Elektrolyseur verbunden», sagt Thomas Fürst, Geschäftsführer der Alpiq Hydro Aare AG, zu der das Wasserkraftwerk gehört, und zugleich von Hydros spider, welche die Wasserstoff-Produktionsanlage betreibt. An Hydros spider beteiligt sind zu je 45 Prozent Alpiq und H₂ Energy sowie zu 10 Prozent die Linde-Gruppe. Hier wird aus Wasserkraft Strom, der Strom zu Wasserstoff und später dann der Wasserstoff im Brennstoffzellen-Fahrzeug wieder zu Strom und Wasser, so lässt sich der energetische Kreislauf stark vereinfacht in einem Satz laut Thomas Fürst zusammenfassen.

Die Wasserstoff-Produktionsanlage besteht im Wesentlichen aus einem Transformator und drei Containern: Erst wird der hochspannige Wechselstrom aus dem Generator von 10 000 Volt auf 400 Volt heruntertransformiert. In einem ersten Container wird danach der Wechselstrom zu Gleichstrom gerichtet. Anschliessend folgt die Elektrolyseanlage, wo das Wasser mithilfe des Stroms getrennt wird. In verschiedenen sogenannten Stacks werden die Wasserstoffmoleküle von den Sauerstoffmolekülen separiert und aufgefangen. Während der Sauerstoff via Abzug an die Umwelt abgegeben wird, gelangt der Wasserstoff in den dritten Container, in dem sich die Verdichtungsanlage befindet. Von hier aus wird das Gas mittels einer nur zentimeterdünnen Rohrleitung in die 350-bar-Druckbehälter transportiert. Die Behälter werden danach auf der Strasse zur Tankstelle gefahren und stehen dort für die Betankung von Personenwagen (700 bar Druck) und Lastwagen (350 bar) bereit.

Sogar wenn die Aare nur wenig Wasser führe, reiche der Pegelstand aus, um den für die Wasserstoffproduktion notwendigen Strom herzustellen, sagt der Hydros spider-Geschäftsführer: «Das Wasserkraftwerk ist auf 50 Megawatt Leistung ausgelegt, für die H₂-Produktion benötigen wir gerade Mal zwei Megawatt.» Selbst bei niedrigem Pegelstand bleibe damit genügend Reserve, sowohl für den Elektrolyseur als auch für die Stromproduktion.

«Grüner Wasserstoff ist einer der Schlüssel für die sinnvolle und effektive Transformation von fossilen Treibstoffen auf emissionsfreie Elektromobilität», ist Thomas Fürst überzeugt. Mit dem grünen Wasserstoff fördere Hydros spider die «Dekarbonisierung des Schwerverkehrs». In diesem Bereich sieht der Hydros spider-Geschäftsführer auch das grösste Potenzial für die Anwendung im Alltag: «Mit 30 Kilogramm Wasserstoff fährt ein Brennstoffzellen-Elektro-Lkw rund 400 Kilometer weit. Solche Distanzen erreicht man mit der Batterietechnik nur mithilfe von vergleichsweise schweren Akkus.» Dieses Zusatzgewicht gehe aber an der Nutzlast verloren. «Die Energiedichte von Wasserstoff ist einfach erheblich grösser», erläutert

Thomas Fürst. Darum sieht er die Zukunft der Brennstoffzelle vor allem im Lastwagenverkehr und bei Personenwagen auf grösseren Distanzen. Auf kurzen Distanzen sei das batterieelektrisch betriebene Auto durchaus eine valable Alternative. «In der Luftfahrt dürften künftig wohl Synfuels, also synthetische Treibstoffe, interessanter sein», ist Fürst überzeugt.

Das erste Projekt von Hydros spider, die 2-MW-Elektrolyseanlage beim Alpiq Wasserkraftwerk Gösgen, kann bis zu 300 Tonnen Wasserstoff pro Jahr produzieren und stellt somit die Versorgung von 40 bis 50 Lastwagen oder 1700 Personenwagen sicher. Für Geschäftsführer Fürst ist klar, dass dies erst der Anfang ist: «Unser Ziel ist es, die Technologie nach und nach zu skalieren.» Der Anspruch des Unternehmens sei, die Nachfrage nach grünem Wasserstoff in der Schweiz im grossen Stil abdecken zu können – ob durch Eigenproduktion oder Beschaffung bei Dritten ist dabei offen. Wichtig sei, dass Wasserstoff als Treibstoff für die Endkundschaft auch preislich attraktiv sei, was zumindest im Schwerverkehr bereits zum jetzigen Zeitpunkt der Fall sei. «Umgerechnet auf die gefahrene Distanz kommt Wasserstoff schon heute den Endkunden gleich teuer zu stehen wie die herkömmliche Diesels-technologie», sagt Fürst.

Grüner Wasserstoff wird eine wichtige Rolle spielen.

Dass sich Wasserstoff durchsetzen wird, davon ist der Hydros spider-Geschäftsführer überzeugt. Dies nicht zuletzt deshalb, weil zahlreiche Tankstellenbetreiber und damit Mitglieder von Avenenergy Suisse, aber auch wichtige Player in der Autoindustrie, das Potenzial der Technologie erkannt haben. Dank dem Zusammenspiel des Hyundai-Trucks, der Tankstellen und der Logistiker im Förderverein H₂ Mobilität Schweiz und des Produzenten Hydros spider besteht heute das sogenannte «Huhn-Ei-Problem» nicht mehr. Im Bereich der Mobilität werde grüner Wasserstoff künftig eine wichtige Rolle spielen, so Fürst. Und auch in der Industrie werde das Produkt künftig mehr und mehr gefragt, ist er überzeugt: «Wer in der Produktion H₂ einsetzt, wird künftig vermehrt darauf bedacht sein, dass es sich um grünen Wasserstoff handelt.»

Wer weiss, vielleicht wird man dereinst im Jahr 2170 bei einem Spaziergang entlang der Aare in Gösgen auf die heutige Zeit zurückblicken und beim Anblick des Flusskraftwerks nachdenklich feststellen: Schon seit Jahrtausenden nutzen die Menschen die Wasserkraft, und seit rund 150 Jahren wird hier mit dem daraus hergestellten Strom auch der für die Wirtschaft und den Verkehr so wichtige grüne Wasserstoff produziert.

Langsam, aber sicher taucht Wasserstoff in ganz Europa auf

Es ist noch nicht die grosse Revolution, aber Europa setzt vermehrt auf Wasserstoff. Im vergangenen Jahr wuchs das europäische Netz der öffentlich zugänglichen Wasserstofftankstellen um 36 auf insgesamt 177. Deutschland bekam mit 22 neuen Wasserstofftankstellen den Löwenanteil. In anderen Teilen der Welt wurden 47 zusätzliche neue H₂-Tankstellen eröffnet: 38 in Asien, 8 in Nordamerika und eine in der arabischen Region.

Ende 2019 betrug die Gesamtzahl der öffentlich zugänglichen Wasserstofftankstellen weltweit 432, davon 320 zur Betankung einzelner Wasserstofffahrzeuge. In den vergangenen fünf Jahren hat sich die Zahl der Tankstellen vervierfacht. Und 226 weitere sind an ausgewiesenen Standorten geplant.

Deutschland vor Frankreich

Die Zahlen stammen von H₂Stations.org, einem Service des deutschen Beratungsunternehmens für nachhaltige Energie und Mobilität, der Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH. Von den 177 Wasserstofftankstellen in Europa verfügt Deutschland über deren 87. An zweiter Stelle steht Frankreich mit 26 betriebsbereiten und 34 geplanten neuen Stationen. Doch während im übrigen Europa der Schwerpunkt auf einzelnen Wasserstofffahrzeugen liegt, sind in Frankreich die meisten Stationen für Busse vorgesehen.

Im Rest der Welt ist Asien mit 178 Stationen auf dem Wasserstoffpfad führend. Japan beansprucht den Löwenanteil mit 114, gefolgt von Südkorea mit 33. Es ist nicht überraschend, dass dies die Heimatländer der Wasserstoffautohersteller Toyota, Honda und Hyundai sind. In China werden die – soweit bekannt – 27 Wasserstofftankstellen vor allem für Busse und Lastwagen genutzt.

Die Verfügbarkeit von Wasserstoffautos – meist japanischer Herkunft – ist auch der Hauptgrund dafür, dass es im Land von Donald Trump nur 74 Wasserstofftankstellen gibt. Davon befindet sich der Grossteil in Kalifornien (48). In Kalifornien sind heute 8225 Brennstoffzellenautos in Betrieb, geleast oder im Besitz der Nutzerinnen und Nutzer.

Semi-Trucks mit Wasserstoff sind noch kaum in Sicht. Allerdings will der in Arizona ansässige Elektrolastwagenhersteller Nikola in diesem Jahr seinen mit dem deutschen Automobilzulieferer Bosch entwickelten Nikola One auf den Markt bringen. Der Brennstoffzellen-Lastwagen soll über eine Reichweite von 1200 bis 2000 Kilometer verfügen.

Genaue Zahlen für die Anzahl der Wasserstofffahrzeuge in Europa sind schwer zu finden, da Wasserstoffautos, -transporter oder -lastwagen nicht weit verbreitet sind und in den Zulassungszahlen des europäischen Automobilherstellerverbandes ACEA kaum auftauchen.

Deutschland, das bei wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen in Europa die Führung übernimmt, hatte laut IHS Markit Mitte 2009 etwa 520 FCEV (Fuel Cell Electric Vehicles). Ende 2018 wurde davon ausgegangen, dass etwa 1600 Brennstoffzellenautos in Europa unterwegs sein würden.

600 Wasserstofftaxi für Paris

Eine bemerkenswerte Initiative ist das HysetCo-Projekt in Frankreich, das unter dem Markennamen Hype eine Flotte von 600 wasserstoffbetriebenen Taxis in Paris aufbaut. Hype erweitert seine Flotte von 100 Hyundai-Wasserstofftaxi bis Ende dieses Jahres um 500 Toyota Mirai FCEV. HysetCo ist ein

Ziel ist ein vollständiger «Null Emissionen»-Taxi-sektor bis 2024 für die Olympischen Spiele.



Brennstoffzellentaxi in Frankreich.

Joint Venture des Taxiunternehmens STEP (Hype), von Toyota Frankreich, dem französischen Wasserstoffspezialisten Air Liquide und dem französischen Energieversorger IDEX. Ziel ist ein vollständiger «Null Emissionen»-Taxisektor bis 2024 für die Olympischen Spiele.

Ein weiterer Schritt auf dem Weg zum Wasserstoff war die Ankündigung des französischen Autoherstellers Renault im Oktober, seine Elektrofahrzeuge – Kangoo Z.E. und Master Z.E. – mit einem Wasserstoff-Brennstoffzellen-Range-Extender auszurüsten.

Der weltweit grösste deutsche Autozulieferer Bosch unterzeichnete eine Vereinbarung mit dem schwedischen Unternehmen PowerCell, einer Abspaltung von Volvo, um die Produktion und die gemeinsame Entwicklung von Brennstoffzellen für Personenwagen und Lastwagen zu beschleunigen. Durch die Kombination von zwei oder mehr sogenannten «Stacks» wollen beide Unternehmen die gesamte Bandbreite von PW bis zu schweren Lastwagen abdecken. Ein neuer Stack wurde im September vorgestellt. Der US-Hersteller Nikola ist der Erste, der ihn für seinen H₂-Lastwagen bestellt, zusammen mit einem «nicht genannten» Autohersteller.

In Frankreich haben die Automobilzulieferer Michelin und Faurecia im März vergangenen Jahres ein Joint Venture gegründet, in dem sie ihre gesamten Wasserstoffaktivitäten zusammenlegen. Michelin war ein Pionier – insbesondere durch eine Investition in Symbio. Dieses in Grenoble ansässige Start-up-Unternehmen stellt eine Brennstoffzelle her, um Standard-Elektrofahrzeuge – wie die Transporter von Renault – anzupassen und ihre Reichweite um etwa 180 Kilometer zu erhöhen.

Wasserstoffbusse und -züge

Im öffentlichen Nahverkehr hält der Wasserstoff im Bussektor Einzug. Verschiedene Städte und Busunternehmen in ganz Europa experimentieren mit Brennstoffzellenbussen. Der belgische Bushersteller Van Hool, die niederländische VDL und die polnische Solaris (im Besitz der spanischen CAF) sind wichtige europäische Akteure in dieser Technologie.

Auch im mittelschweren Transportsektor scheinen sich die Dinge zu bewegen. Ein Beispiel ist E-Trucks Europe, ein belgisch-niederländisches Unternehmen, das sich auf die Umrüstung neuer oder gebrauchter Lastwagen in Brennstoffzellen-Fahrzeuge spezialisiert hat. Einige wasserstoffbetriebene Müllwagen fahren beispielsweise bereits erfolgreich in beiden Ländern.



Mit Wasserstoff betriebener Zug in Deutschland.

Der französische Bahnbauer Alstom hingegen ist der Pionier für Wasserstoffzüge. Im September 2018 startete der erste kommerzielle Wasserstoffzug der Welt seine tägliche Runde im deutschen Niedersachsen auf der 100 Kilometer langen Strecke von Cuxhaven nach Buxtehude. Wasserstoffzüge werden voraussichtlich in Zukunft auf allen nicht elektrifizierten Bahnstrecken die Diesellzüge ersetzen.

Der französische Bahnbauer Alstom hingegen ist der Pionier für Wasserstoffzüge.

Der Wasserstoffpersonenzug Alstom Coradia iLint hat die gleichen Leistungen wie sein Dieselpendant, mit einer Höchstgeschwindigkeit von 140 km/h und vergleichbarer Beschleunigungs- und Bremsleistung. Er verfügt über eine Reichweite von 800 Kilometern, ohne nachtanken zu müssen. Im Gegensatz zum Diesellzug gibt er nur Dampf und Wasser ab. Langsam, aber sicher taucht Wasserstoff in ganz Europa auf.

Wasserstoff direkt aus der Luft



Tom Bosserez

Prof. Johan Martens

Eine «intelligente Kombination
von Absorptionsmitteln,
Katalysatoren und Membranen»

Ein belgisches Forscherteam der Universität Löwen hat ein Solarpanel entwickelt, das Wasserstoff und Sauerstoff direkt aus der Luft filtert und dabei Sonnenenergie nutzt. Das 1,6 Quadratmeter grosse Panel produziert bei typisch belgischem Wetter bis zu 250 Liter Wasserstoff pro Tag. Mit einem Wirkungsgrad von 15 Prozent bei der Umwandlung von Sonnenenergie entspricht dies beinahe der Effizienz von Solarpaneelen (18 bis 20 %).

Ein Solarpanel, das
Wasserstoff und Sauerstoff
direkt aus der Luft
filtert und dabei
Sonnenenergie nutzt

Der Prototyp des Wasserstoffpanels wurde vom Zentrum für Oberflächenchemie und Katalyse der Universität hergestellt. Laut Professor Johan Martens, der das Team leitet, könnten zwanzig solcher Panels genügend Wasserstoff produzieren, um einen Haushalt ein ganzes Jahr lang mit Energie für Heizung und Elektrizität zu versorgen. Weitere zwanzig davon würden es ihnen ermöglichen, zusätzlich ein autarkes Wasserstoffauto zu fahren.

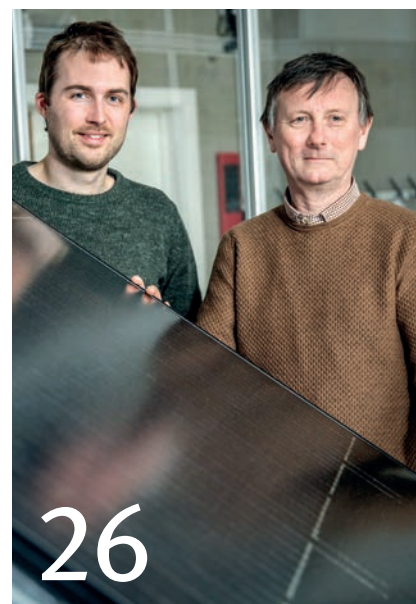
Welche Technologie konkret hinter dem Wasserstoffpanel steckt, will Professor Martens nicht verraten, da mehrere Patente angemeldet sind. Mehr als die Information, dass es sich um eine «intelligente Kombination von Absorptionsmitteln, Katalysatoren und Membranen» handelt, will er nicht preisgeben.

Die Idee stammt aus dem Jahr 2009, als die Forscher nach einer Möglichkeit suchten, mit lokal verfügbaren Ressourcen weltweit Energie zu produzieren. Die Nutzung des Sonnenlichts und der Feuchtigkeit in der Luft erschien vor diesem Hintergrund wie der Heilige Gral, denn selbst in der Wüstenluft gibt es genügend Feuchtigkeit dafür.

Die Kosten für die Wasserstofftafel sollten sich bei der Massenproduktion in vernünftigen Grenzen halten, da keine kostbaren Materialien verwendet werden. Das Potenzial ist laut den Promotoren enorm. Die Produktion von Wasserstoff könnte lokal verbreitet werden, ohne dass grosse Anlagen und Pipelines oder ein Strassentransport erforderlich wären. Man könnte sich eine Wasserstofftankstelle vorstellen, die ihr eigenes «Produkt» direkt aus der Luft mithilfe von Sonnenlicht herstellt. Ob die Zukunft tatsächlich in dieser Technologie liegt, wird sich aber erst noch weisen müssen.

Hyundai Nexo an H₂-Tanksäule in Deutschland.

Man könnte sich eine
Wasserstofftankstelle
vorstellen, die ihr eigenes
«Produkt» direkt aus
der Luft mithilfe von
Sonnenlicht herstellt.



2 Editorial

Wenn die Zeit reif ist ...

4 Vom Wasser zum Wasser

Der Kreislauf des Wasserstoffs und weitere Infografiken zum Thema Treibstoff

8 «Wasserstoff: Ergänzung zu fossilen Treibstoffen und Alternative zur Batterie»

Interview mit Fabian Bilger, dem stellvertretenden Geschäftsführer von Avenergy Suisse

11 Eine Investition in mehr Diversifikation

Bau der weltweit leistungsfähigsten Wasserstofftankstelle durch die AVIA-Tankstelle Osterwalder St. Gallen AG

12 «Mehr als nur ein grünes Etikett»

Die Weichen für eine nachhaltige Flotte von schweren Brennstoffzellen-Lastwagen in der Schweiz werden gestellt

14 «Wenn die Branche übernimmt, braucht es weniger Politik»

Interview mit Christian Bach von der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa)

18 Wasserstoff-tankstellen unterscheiden sich wesentlich von herkömmlichen Tankstellen

Interview mit Roger Hausammann, Leiter Technik bei der Coop Mineraloel AG

20 So funktioniert eine Wasserstoff-tankstelle

Herausforderungen beim Bau und beim Betrieb von Wasserstoff-tankstellen

22 In Gösgen beginnt die industrielle Produktion von grünem Wasserstoff

Seit diesem Jahr wird in Gösgen durch Wasserkraft CO₂-freier Wasserstoff hergestellt

24 Langsam, aber sicher taucht Wasserstoff in ganz Europa auf

In den vergangenen fünf Jahren hat sich die Zahl der Wasserstoff-Tankstellen vervierfacht

26 Wasserstoff direkt aus der Luft

Ein Solarpanel, das Wasserstoff sowie Sauerstoff direkt aus der Luft filtert und so Wasserstoff herstellt

Impressum

Auflage D 42000 / F 12500 | **Redaktion** Avenergy Suisse | **Autoren** Roland Bilang, Roger Hausammann, Daniel Schindler, Joris van Roy | **Gestaltung** wapico ag | **Kontakt** Avenergy Suisse, Spitalgasse 5, 8001 Zürich | T 044 218 50 10, F 044 218 50 11 | info@avenergy.ch, www.avenergy.ch, twitter @avenergysuisse | Gedruckt auf FSC-zertifiziertes Papier