



# Die Sonne im Tank

Die Empa baut auf dem Campus in Dübendorf den Future Mobility Demonstrator. Verschiedene Technologien sollen zeigen, wie überschüssiger Strom ökonomisch am sinnvollsten in Treibstoff umgewandelt werden kann. Denn dadurch lassen sich beträchtliche Mengen fossiler Brennstoffe einsparen.

TEXT: Christian Bach & Rainer Klose / BILD, ILLUSTRATIONEN: Empa

## So viel ist eine Terawattstunde

Der gesamte Energieverbrauch der Schweiz lag im Jahr 2010 bei 253 Terawattstunden (TWh). Davon entfielen 60 TWh auf den Stromverbrauch. Zum Vergleich: Das Kernkraftwerk Leibstadt erzeugt in einem Jahr 10 TWh Strom.

Mit einer TWh erneuerbarem Überschussstrom, umgewandelt in Methan, können 60 Millionen Liter Benzin ersetzt oder 70 000 Gasfahrzeuge betrieben werden.

Die Schweiz verfügt über eine enorme Menge brachliegender Energiereserven. So bleibt etwa die Hälfte der hiesigen Biomasse ungenutzt, wie eine Studie der Empa aus dem Jahr 2010 ergab. In erster Linie sind dies Gülle, Mist, Holz- und Bioabfälle. In Biogasanlagen umgewandelt, ergäbe dies im Jahr rund 6 Terawattstunden (TWh; s. Kasten) Bio-Methan. Dazu kommen durch den geplanten Ausbau von Solar- und Windstrom bis ins Jahr 2050 im Sommerhalbjahr weitere 5 bis 9 TWh an zeitweise überschüssiger Elektrizität. Fotovoltaikanlagen produzieren maximale Strommengen jedoch vor allem zur Mittagszeit und bei guter Witterung. Und diese Stromspitzen können nicht immer sinnvoll genutzt werden.

Mit dem Grossprojekt «Future Mobility» will die Empa aufzeigen, wie sich diese einheimische Energie nutzen lässt, um damit importierte fossile Energieträger zu ersetzen. Dazu wird auf dem Empa-Campus in Dübendorf ein Demonstrator aufgebaut, der es der Empa und ihren Industriepartnern ermöglicht, die erforderlichen Konzepte zu entwickeln und im Zusammenspiel mit realen Nutzern auf ihre Praxistauglichkeit zu erproben.

### Eine Million Fahrzeuge ohne fossilen Brennstoff

Future Mobility – um was genau geht es dabei? Die künftige Mobilität wird sich immer mehr auf erneuerbare Energie stützen müssen; deshalb stehen Antriebskonzepte im Vordergrund, die solche Energie nutzen können: Gas-, Elektro- und Brennstoffzellenfahrzeuge – alles Antriebe, an denen die Empa mit Partnern im ETH-Bereich und der Industrie bereits seit Jahren forscht. Die These, die hinter dem Grossprojekt steckt und die auf Hochrechnungen basiert: Würde die ungenutzte «inländische» Energie konsequent erschlossen, könnten damit weit über eine Million Gas-, Elektro- und Brennstoffzellenfahrzeuge praktisch CO<sub>2</sub>-neutral umherfahren; dies würde den Schweizer Ausstoss an Kohlendioxid um mehr als vier Millionen Tonnen reduzieren. Dies entspricht der Schweizer Reduktionsverpflichtung im Kyoto-Protokoll.

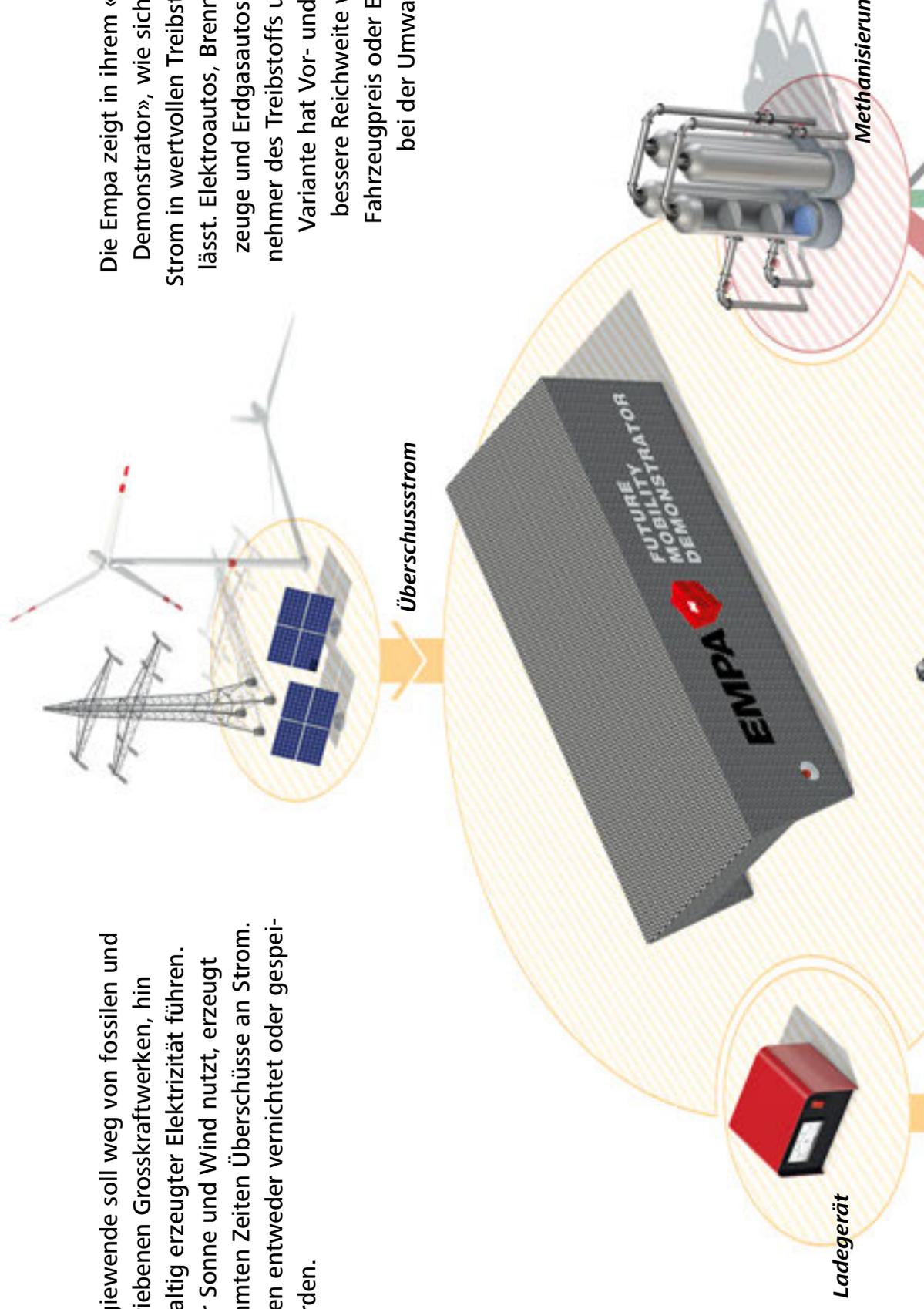
Die Herausforderung besteht dabei nicht in erster Linie darin, diese Energie aufzubereiten und bereitzustellen, sondern in der Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems. Future Mobility soll aufzeigen, wie derartige Anlagen dimensioniert, betrieben und mit welchen Anwendungen sie kombiniert werden müssen, um ökologisch und ökonomisch erfolgreich zu sein. Denn wenn sich die Idee dereinst in der realen Welt durchsetzen soll, müssen beide Anforderungen erfüllt sein. //

So sieht das Gebäude aus, in dem der Future Mobility Demonstrator untergebracht sein wird. Das Forschungsprojekt an der Empa Dübendorf läuft im Herbst 2014 an.

# Treibstoff aus Überschuss-Strom

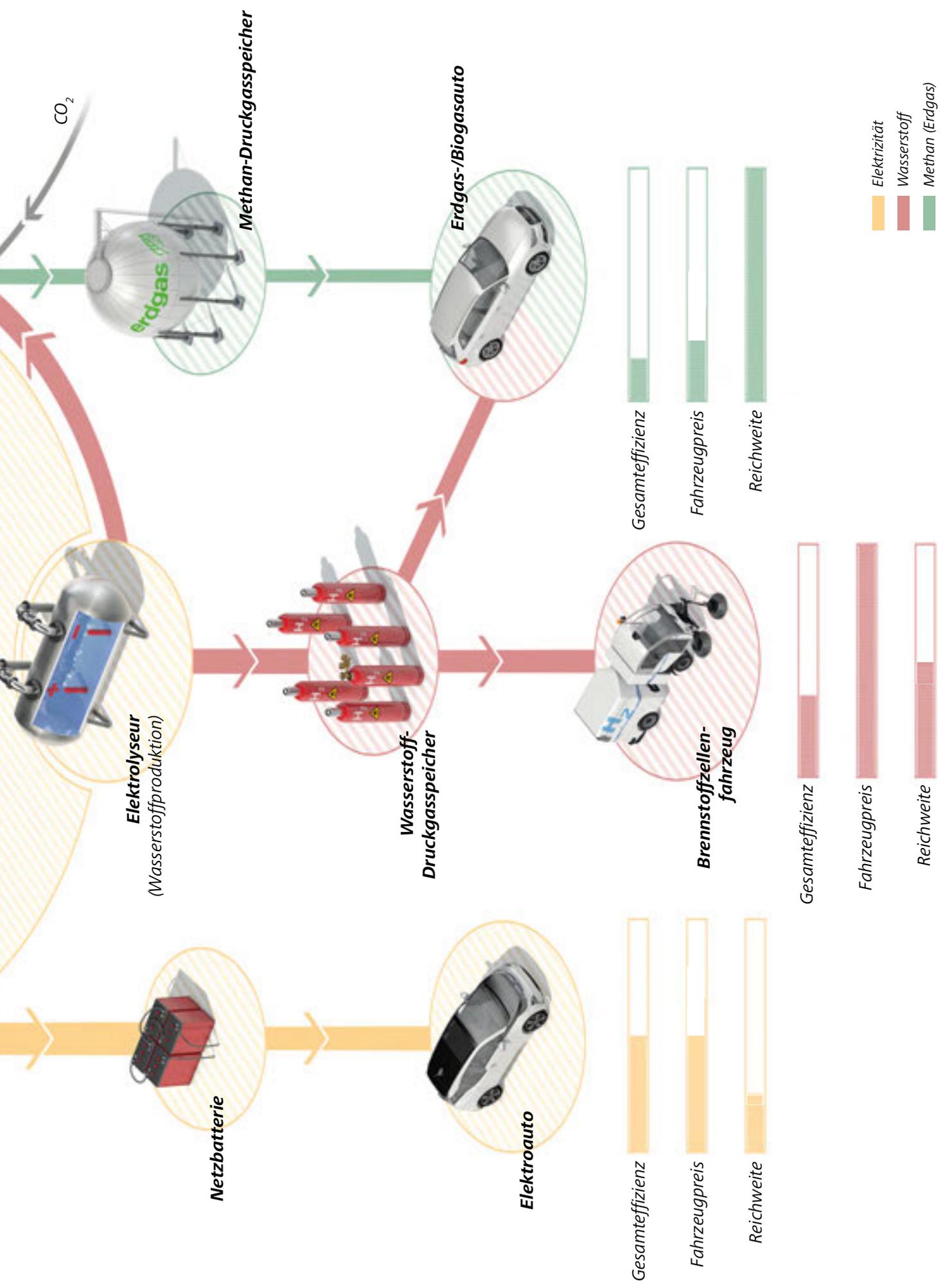
Die Energiewende soll weg von fossilen und atomgetriebenen Grosskraftwerken, hin zu nachhaltig erzeugter Elektrizität führen. Doch wer Sonne und Wind nutzt, erzeugt zu bestimmten Zeiten Überschüsse an Strom. Die müssen entweder vernichtet oder gespeichert werden.

Die Empa zeigt in ihrem «Future Mobility Demonstrator», wie sich überschüssiger Strom in wertvollen Treibstoff verwandeln lässt. Elektroautos, Brennstoffzellenfahrzeuge und Erdgasautos werden als Abnehmer des Treibstoffs untersucht. Jede Variante hat Vor- und Nachteile: Eine bessere Reichweite wird mit hohem Fahrzeugpreis oder Energieverlusten bei der Umwandlung bezahlt.



Ladegerät

Methanisierungsanlage



CO<sub>2</sub>

**Elektrolyseur**  
(Wasserstoffproduktion)

**Netzbatterie**

**Methan-Druckgasspeicher**

**Wasserstoff-Druckgasspeicher**

**Erdgas-/Biogasauto**

**Elektroauto**

**Brennstoffzellen-fahrzeug**

Gesamteffizienz

Fahrzeugpreis

Reichweite

Gesamteffizienz

Fahrzeugpreis

Reichweite

Gesamteffizienz

Fahrzeugpreis

Reichweite

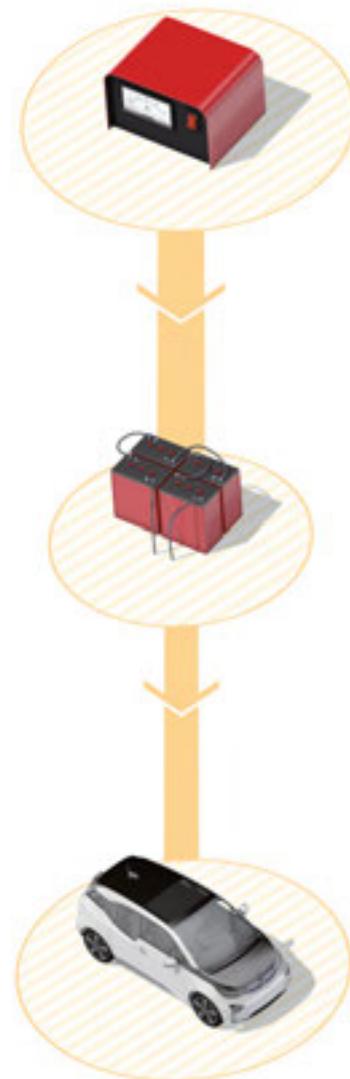
Elektrizität

Wasserstoff

Methan (Erdgas)

## Mittagssonne für die Rush-Hour: Elektroautos

Theoretisch wäre es am einfachsten, mit überschüssigem Strom Elektrofahrzeuge zu betanken. Gerade im Sommerhalbjahr werden bereits in naher Zukunft grosse Mengen an temporär überschüssiger Elektrizität anfallen – leider vor allem zur Mittagszeit, wenn in der Schweiz weit weniger Elektrizität verbraucht wird, als Fotovoltaik, Windkraft oder Fließwasserkraftwerke liefern. Also muss die Elektrizität gespeichert werden – oder sie verpufft ungenutzt. Grundsätzlich eignen sich Elektrofahrzeuge (bzw. deren Batterien) für die direkte Speicherung überschüssiger Elektrizität; allerdings müssten dann möglichst viele just zur Mittagszeit mit möglichst leerer Batterie an einer Ladestation angedockt sein – und möglichst wenige sollten umherfahren. Dies sicherzustellen ist kaum möglich. Im Rahmen von «Future Mobility» übernimmt eine fest installierte Netzbatterie den Job, den typischerweise tagsüber anfallenden Überschussstrom zwischenspeichern. Des Nachts lassen sich damit dann die leeren Fahrzeugbatterien aufladen. Batteriespeicher haben einen Wirkungsgrad von über 75% und können zudem helfen, das Stromnetz zu stabilisieren, also Differenzen zwischen Angebot und Nachfrage sekundenschnell zu glätten. Das derzeit grösste Problem sind die Kosten für die Netzbatterien. Die Empa erforscht und entwickelt daher zusammen mit der ETH Zürich und dem Paul Scherrer Institut (PSI) neue, günstigere Batterien mit höherer Speicherdichte und geringeren Verlusten.



Szenarien des Bundesamtes für Energie (BFE) gehen für das Jahr 2050 bei Personen- und Lieferwagen in der Schweiz von einem Anteil an Elektro- und Plug-in-Hybridfahrzeugen von 28 bis 46% aus, bei schweren Nutzfahrzeugen von 28% und bei Motorrädern von 70%. Diese Elektrofahrzeuge würden insgesamt 11 TWh Strom verbrauchen – der Löwenanteil davon, nämlich zwischen 6 und 10 TWh, müsste durch fossile Kraftwerke oder Energieimporte gedeckt werden. Gegenüber Benzin- und Dieselfahrzeugen wäre die Energieeinsparung gering. Im Rahmen von «Future Mobility» wollen Empa-Forscher untersuchen, ob und wie sich der Anteil an erneuerbarer Energie für die künftige Schweizer Elektroflotte durch den Einsatz von Netzbatterien erhöhen lässt.

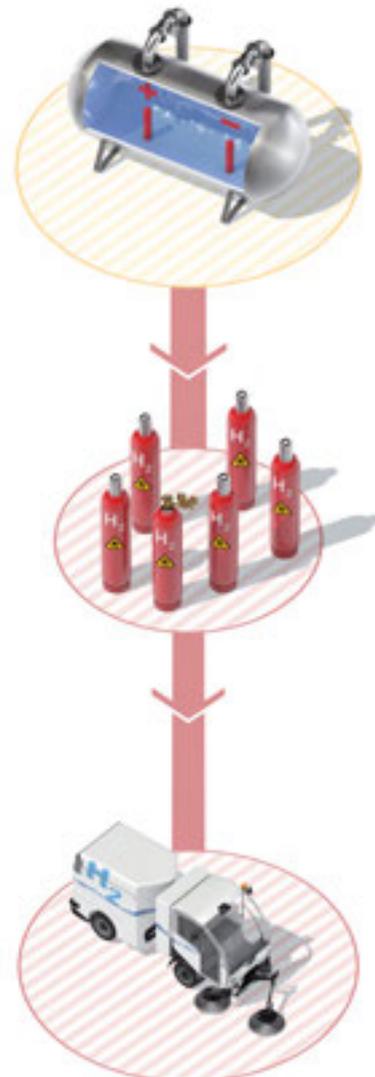
# Stromspitzen abfangen und speichern: Wasserstoff-Fahrzeuge

Eine Energiewende ohne Wasserstoff als Stromspeicher ist praktisch unvorstellbar. Damit werden Wasserstoff-Fahrzeuge interessant. Diese Fahrzeuge haben einen elektrischen Antrieb, einen Wasserstoff-Druckspeicher und eine Brennstoffzelle, die aus Wasserstoff Strom produziert und damit während der Fahrt die Batterie nachlädt. Das ermöglicht vergleichsweise hohe Reichweiten bei kurzen Betankungszeiten. Doch die komplexe Technik treibt den Fahrzeugpreis in die Höhe. Dafür stossen wasserstoffbetriebene Fahrzeuge keine Abgase und kein CO<sub>2</sub>, sondern lediglich Wasserdampf aus. Die Empa entwickelt Antriebskonzepte für Hybridfahrzeuge mit integrierten Brennstoffzellen-Systemen. Sie forscht ausserdem an neuen Technologien für die Wasserstoffspeicherung, um in Zukunft die Druckspeicherung abzulösen und die Reichweite von Wasserstoff-Fahrzeugen zu erhöhen.

Die neue Schweizer Energiestrategie geht davon aus, dass der Strom, der heute noch aus Atomkraftwerken stammt, bis 2050 zur Hälfte eingespart und zur anderen Hälfte aus neuen erneuerbaren Quellen abgedeckt werden kann. Etwa zehn TWh sollen dabei aus Fotovoltaikanlagen stammen. Das entspricht einer installierten Leistung von rund 10 Gigawatt (GW). Die Schweiz benötigt allerdings maximal 6 bis 8 GW. Das heisst: An schönen Sommertagen liefert allein die Fotovoltaik zwischen 2 und 4 GW mehr elektrische Leistung, als die Schweiz insgesamt benötigt. Eine Lösung, die im Rahmen von «Future Mobility» untersucht wird, sind dezentrale chemische Stromspeicher: Überschüssiger erneuerbarer Strom, wird durch die Elektrolyse von Wasser in Wasserstoff (H<sub>2</sub>) umgewandelt. Wie viele solcher Anlagen nötig sind, zeigt eine kleine Überschlagsrechnung: Geht man von einer Elektrolyseanlage mit einer Leistung von 1 MW aus, genügen schweizweit zwischen 2000 und 4000 solcher Anlagen, um die Überschussleistung aus der Fotovoltaik vollständig aufzunehmen. Denkbar sind derartige Wasserstoffanlagen etwa bei Tankstellen, in Busdepots oder Kommunalbetrieben.

Wasserstoff ist aus heutiger Sicht der günstigste Stromspeicher – mit ähnlich hohen Wirkungsgraden wie Batterien. Wasserstoff-Fahrzeuge eignen sich wegen ihres hohen Preises indes nicht für alle Nutzergruppen. Sie sind vor allem dort sinnvoll, wo Fahrzeuge viel fahren und wenig stehen und wo zugleich eine möglichst grosse CO<sub>2</sub>-Reduktion erwünscht ist, etwa

bei Stadtbussen und grösseren Personenwagen, die als Shuttle-Fahrzeuge oder Taxis dienen, sowie bei regional betriebenen Lieferwagen und Kommunalfahrzeugen. Im Rahmen der Forschung am Future Mobility Demonstrator wird ein gemeinsam mit dem PSI und Bucher Schörfling entwickeltes, wasserstoffbetriebenes Kehrfahrzeug zwei Jahre lang in Dübendorf zur Strassenreinigung eingesetzt.



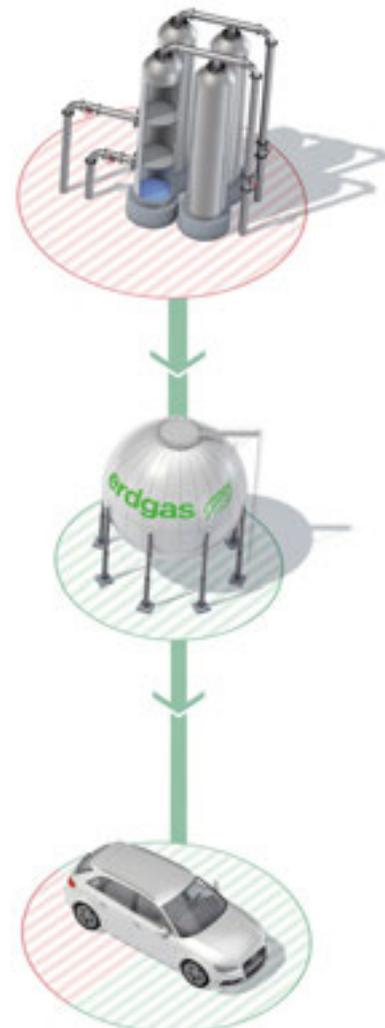
# Sommer-Energie für den Winter: Erdgasautos

Eine hübsche Vorstellung wäre es, könnten wir überschüssigen Sommerstrom für den Winter aufsparen. Einen Weg zeigt das Konzept «Power-to-Gas»: Die überschüssige Elektrizität wird zuerst mittels Elektrolyse in Wasserstoff und anschliessend in einem weiteren chemischen Prozess mit  $\text{CO}_2$  in synthetisches Methan ( $\text{CH}_4$ ) umgewandelt. Dieses im Sommer erzeugte synthetische Methan liesse sich dann – zusammen mit Biogas – im Erdgasnetz über Monate speichern und im Winterhalbjahr in Gaskombikraftwerken oder Wärmekraftkopplungsanlagen (WKK) wieder in Strom umwandeln. Einen Wermutstropfen hat die «Power-to-Gas»-Idee allerdings: Da jeder Prozessschritt energetisch etwas «kostet», liegt der Gesamtwirkungsgrad dieser Art Speicherung bei ganzen 25 bis 35 Prozent; der zurückverwandelte Strom wäre also sehr teuer und gegenüber fossilen Energieträgern nicht konkurrenzfähig.

Deshalb müssen Alternativen her: Die Produktion von synthetischem Methan als Treibstoff für Gasfahrzeuge wäre durchaus wirtschaftlich. Denn einerseits entfallen die Verluste bei der Rückverstromung, andererseits sind Treibstoffe generell teurer als Strom. Selbstverständlich erkaufte man sich auch hier die Umwandlung von Solarstrom in Methan mit höheren Energieverlusten, und die Wirkungsgrade von «Power-to-Gas»-Anlagen sind mit 50 Prozent deutlich tiefer als diejenigen von Batteriespeichern und Wasserstoffanlagen. Dafür sind bereits heute in allen Industrieländern Gasnetze vorhanden, die gerade im Sommer – wenn Stromüberschüsse auftreten – bei weitem nicht ausgelastet sind und die Überschussenergie leicht aufnehmen und verteilen könnten.

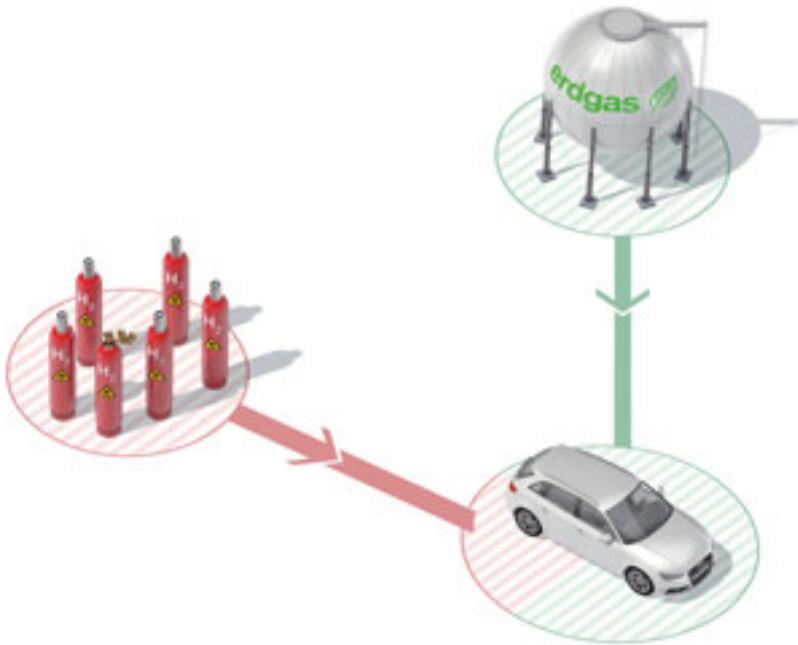
Ein weiterer (vermutlich überraschender) Vorteil der Gasmobilität: Obwohl dabei weiterhin ein Verbrennungsmotor das Fahrzeug antreibt, weisen Gasfahrzeuge, die mit Biogas oder synthetischem Methan betrieben werden, die niedrigsten  $\text{CO}_2$ -Emissionen aller Fahrzeugkonzepte auf. Der Grund: Fahrzeuge, die ausschliesslich mit erneuerbaren Energieträgern betrieben

werden, verursachen die weitaus grösste  $\text{CO}_2$ -Belastung bei ihrer Herstellung (und nicht durch ihren Betrieb). Hier sind Gasfahrzeuge gegenüber alternativen Fahrzeugkonzepten im Vorteil, denn Karosserie und Motor lassen sich ökonomisch und relativ Ressourceneffizient fertigen. Die Empa arbeitet mit der ETH Zürich und der Automobilindustrie intensiv an neuen Brennverfahren für Gasmotoren. Die hohe Klopfestigkeit von Methan von bis zu 130 Oktan ermöglicht in Zukunft völlig neue Motorkonzepte mit deutlich höheren Wirkungsgraden als heute.



## Das richtige Auto für Vielfahrer

Elektroautos und Brennstoffzellenfahrzeuge eignen sich nur teilweise als Ersatz für heutige Autos. So sind für die Gruppe der Vielfahrer – rund 20% aller Autobesitzer, die allerdings für die Hälfte des Kilometeraufkommens verantwortlich sind – Elektroautos wegen ihrer geringen Reichweite unbrauchbar. Brennstoffzellenfahrzeuge sind kaum besser, weil ein Netz von Wasserstofftankstellen fehlt. Gasfahrzeuge sind als Einzige den Diesel- und Benzinautos ebenbürtig: Sie lassen sich minuten-schnell betanken und bieten eine Reichweite von bis zu 700 km pro Tankfüllung. Das Tankstellen-netz in der Schweiz und all ihren Nachbarländern ist flächendeckend.



## Eine wirklich «zündende» Idee: Wasserstoff im Erdgasauto

Wasserstoff kann nicht nur in teuren Brennstoffzellenfahrzeugen eingesetzt werden, sondern auch in günstigen Erdgasautos. Aufgrund der hohen Klopffestigkeit sind synthetisches Methan, aufbereitetes Biogas oder Erdgas nahezu perfekte Treibstoffe für Verbrennungsmotoren. Moderne turbo- oder kompressor aufgeladene Gasmotoren nutzen diese Vorteile zunehmend aus; Erdgasmotoren sind heute deutlich leistungsstärker als noch vor zehn Jahren. So erfreulich die hohe Klopffestigkeit für die Verbrennung ist, so herausfordernd ist sie dagegen für die Zündung des Treibstoffs und die «Flammkernbildung» vor der eigentlichen Verbrennung. Daher wird weltweit intensiv an optimierten Zündverfahren für Gasmotoren und an einem besseren Verständnis der Vorgänge während der Entflammungsphase geforscht – so auch an der Empa in Zusammenarbeit mit der ETH Zürich und der Automobilindustrie.

Eine wesentlich bessere Zündung kann man bei Gasmotoren etwa erzielen, wenn dem Bio- oder Erdgas

Wasserstoff beigemischt ist. Denn: Wasserstoff lässt sich sehr leicht entzünden. In Versuchsreihen mit einer Wasserstoffbeimischung von bis zu 25 Volumenprozent konnten Empa-Forscher den Wirkungsgrad des Motors deutlich steigern und gleichzeitig die Abgasemissionen senken – dies bereits, ohne den Motor technisch zu verändern.

Der «Future Mobility Demonstrator» verfügt über eine Tankstelle für Erdgas/Biogas mitsamt einer Anlage zur Beimischung von Wasserstoff. Damit werden drei gasbetriebene Lieferwagen der Schweizerischen Post mit einem Wasserstoff-Methan-Gemisch betankt und im Alltagsbetrieb untersucht. Da Wasserstoff im Motor zu Wasserdampf verbrennt und zugleich den Wirkungsgrad steigert, lassen sich schon mit einer relativ geringen Wasserstoffbeimischung beträchtliche Mengen CO<sub>2</sub> einsparen. Gasfahrzeuge sind daher die günstigste Möglichkeit, Wasserstoff aus Überschussstrom sinnvoll zu nutzen.