

7 BEZAHLBARE UND SAUBERE ENERGIE



Power-Sandwich Brennstoffzelle



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

Energie mit Zukunft

Die weltweiten Erdöl- und Erdgasvorräte sind endlich. Die Energiepreise steigen und steigen, und wir sind abhängig von den Importen.

Beim Verbrennen kohlenstoffhaltiger Energieträger entsteht Kohlendioxid, das in der Atmosphäre wie ein Treibhausdach wirkt. Klimaveränderungen mit gravierenden Folgen für unser Leben auf der Erde sind bereits heute spürbar.

Wir müssen handeln. Wir müssen Energie in Zukunft viel sparsamer und effizienter nutzen und den Anteil regenerativer Energie deutlich steigern, um unsere Umwelt zu schonen. Eine Technologie, in die große Hoffnung gesetzt wird, ist die Brennstoffzelle.

Was hat es mit dieser Technik eigentlich auf sich? Ist das die Lösung unserer Probleme? Wo liegen Möglichkeiten und Chancen der Anwendung im Alltag? Gibt es Risiken? Die folgenden Seiten informieren und geben Antworten auf wichtige Zukunftsfragen.

Franz Untersteller MdL

Minister für Umwelt, Klima
und Energiewirtschaft
des Landes Baden-Württemberg

Inhalt

- 2 Rohstoffe werden knapp
- 3 Alte Technik neu entdeckt
- 4/5 Funktion der Brennstoffzelle
- 6/7 Einsatz der Brennstoffzelle
- 8/9 Antriebsstoffe
- 10/11 Hemmnisse und Probleme
- 12 Links, Impressum

Langsam wird es eng

Der Energiehunger der Menschheit kennt keine Grenzen. Die Folge: Wichtige Rohstoffe wie Erdöl und Erdgas werden allmählich knapp. Der Erdölpreis klettert bereits in ungeahnte Höhen, schmerzhaft spürbar an der Zapfsäule und bei der alljährlichen Heizungsabrechnung. Aber nicht nur Otto Normalverbraucher, der fahren und nicht frieren will, ist auf das Schwarze Gold angewiesen – unsere ganze Wirtschaft hängt an Öl und Gas.

Wie lange reichen die Energievorräte der Erde noch ...
... wenn die Produktion auf dem heutigen Niveau bleibt?

Erdöl	ca. 53 Jahre
Erdgas	ca. 55 Jahre
Kohle	ca. 113 Jahre

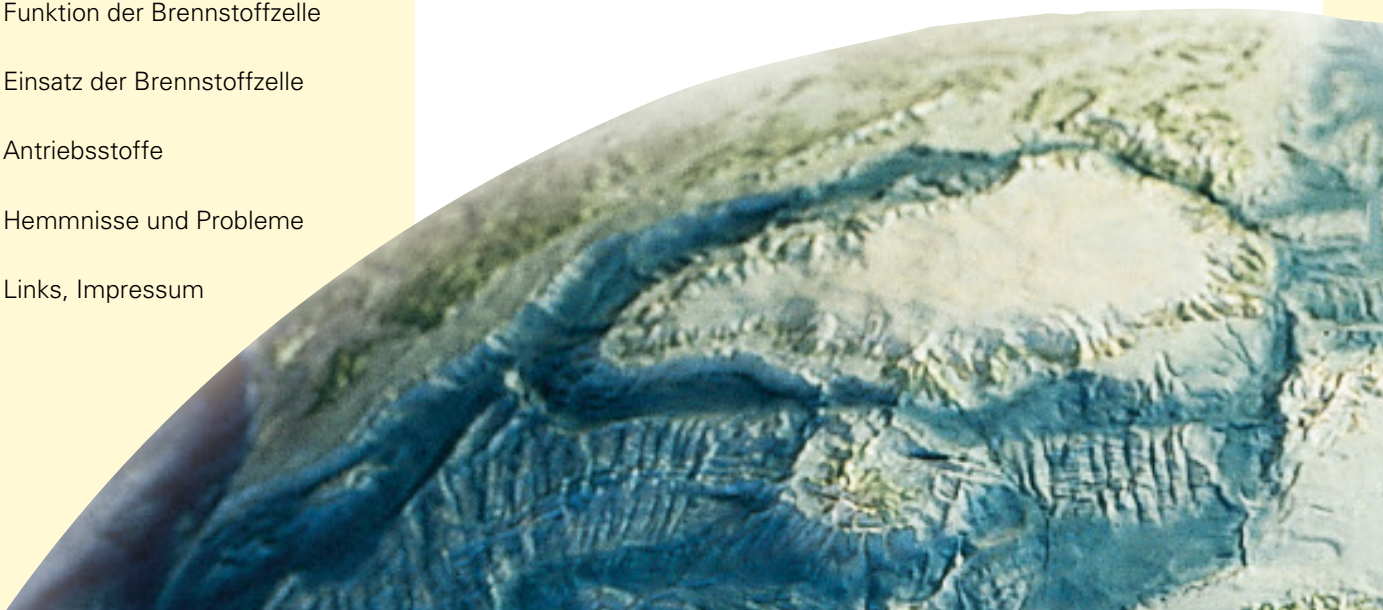
Quelle: 63. BP Statistical Review of World Energy 2014

Wenn die fossilen Energieträger Erdöl, Erdgas und Kohle aufgebraucht sind, müsste man auf weniger ergiebige Vorkommen wie Ölsande und Ölschiefer oder Gashydrate zugreifen, deren Abbau wesentlich teurer und hoch umweltbelastend ist.

Das Gleichgewicht ist in Gefahr

Der Einsatz fossiler Brennstoffe belastet unsere Erdatmosphäre. So stieg der Kohlendioxid-Gehalt der Atmosphäre seit der industriellen Revolution im 18. Jahrhundert um fast 40 Prozent. Weltweit war ein Anstieg der CO₂-Emissionen durch menschliche Aktivitäten von 1990 bis 2013 um 50 Prozent zu verzeichnen, wobei sich die Zunahme in den letzten zehn Jahren beschleunigt hat. Der Löwenanteil kommt aus den Industriestaaten, aber auch aus China und Indien. Die Konsequenz: Der natürliche Treibhauseffekt wird immer mehr verstärkt mit verheerenden Folgen für Natur und Umwelt.

Quelle: Fünfter Sachstandsbericht des IPCC 2014 / Verband der Chemischen Industrie e.V.



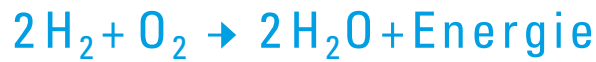


Vor über 170 Jahren...

... genauer 1838, fragte sich Christian Friedrich Schönbein, Professor für Physik und Chemie an der Universität Basel: „Könnte es nicht möglich sein, die chemische Energie des Knallgases in galvanischen Elementen direkt in Elektrizität zu verwandeln, wie dies für unterschiedliche Metalle in so einfacher Weise möglich ist?“

Schönbein hatte einen einfachen Versuch durchgeführt: Er tauchte zwei Platindrähte in eine Flüssigkeit und konnte zwischen diesen eine elektrische Spannung messen, wenn sie von Wasserstoff und Sauerstoff umspült wurden. Er folgerte, dass die Ursache für den elektrischen Strom die Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser sein musste.

Kurze Zeit danach baut der Brite William Grove, von Haus aus eigentlich Jurist, den ersten Stromgenerator, der dieses Prinzip nutzte. Später wurde ein solcher Apparat „Brennstoffzelle“ genannt.



Neue, effiziente Energietechnologien werden gebraucht, also Technologien, die einen besseren Wirkungsgrad aufweisen, weniger oder keine fossilen Rohstoffe benötigen und weniger bzw. keine Schadstoffe abgeben.

Einer der Hoffnungsträger auf dem Markt ist die Brennstoffzelle. Das Prinzip kennt man eigentlich schon seit 1838. Grundlage ist die aus dem Chemieunterricht bekannte Knallgasreaktion. Werden Wasserstoff (H_2) und Sauerstoff (O_2) im richtigen Mischungsverhältnis zusammengebracht, reagieren die beiden Elemente unter heftiger Energiefreisetzung (dem Knall) zu Wasser (H_2O). In einer Brennstoffzelle wird diese Energie direkt in elektrischen Strom umgewandelt und dadurch nutzbar gemacht.

Gute Gründe für das Prinzip Brennstoffzelle

Die Arbeitsweise der Brennstoffzelle überzeugt aus zwei Gründen:

- Der gute Wirkungsgrad schont Ressourcen und verringert den Ausstoß von Treibhausgasen. Ein Brennstoffzellen-PKW verbraucht nur knapp halb so viel Energie pro 100 Kilometer wie ein konventioneller Wagen mit Ottomotor.
- Brennstoffzellen sind elektrochemische Energiewandler, die leise und ohne offene Flamme sowie hohe Verbrennungstemperaturen auskommen. Daher werden die bei herkömmlichen Motoren entstehenden Stickstoffoxide vermieden. Auch Feinstaub, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Kohlenwasserstoffe und Schwefeldioxid treten in den Abgasen allenfalls in Spuren auf.

Zeitgleich mit der Brennstoffzelle erlebt Wasserstoff, der „natürliche“ Energiespender der Brennstoffzelle, eine Renaissance, nachdem er in den 1980er-Jahren schon einmal ungemein populär war. Es ist die Rede vom „Wunderstoff Wasserstoff“, vom „Stoff, aus dem die Zukunft ist“.

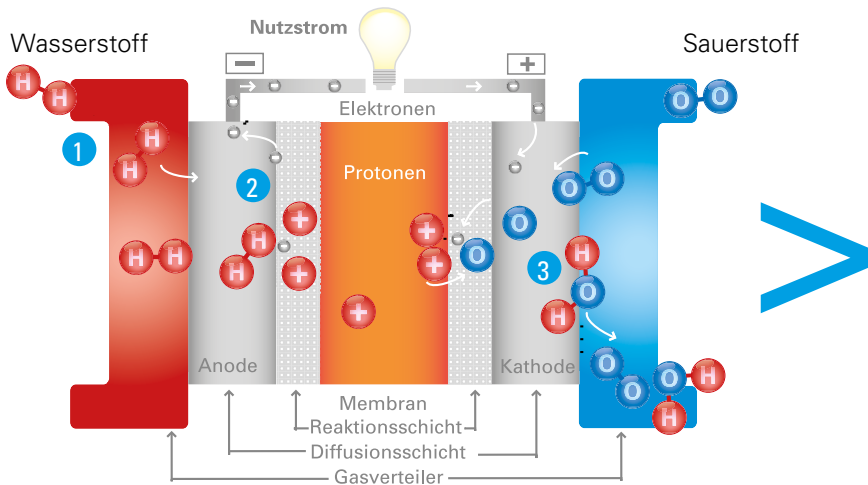


Nicht berühren, sonst knallt's

Eine Brennstoffzelle ist eine galvanische Zelle, die Reaktionsenergie eines zugeführten Brennstoffes (meist Wasserstoff) und eines Oxidationsmittels (Sauerstoff z.B. aus der Luft) in elektrische Energie wandelt. Eine Brennstoffzelle ist kein Energiespeicher wie ein Akku, sondern ein Energiewandler. Die Energie zur Stromproduktion wird mit den Brennstoffen zugeführt. Der Trick an der Brennstoffzelle ist, dass es nicht knallt, wie bei der gewöhnlichen Knallgasreaktion von Wasserstoff und Sauerstoff. Die frei werdende Energie wird vielmehr in geordnete Bahnen gelenkt und genutzt. Dazu dürfen sich Wasserstoff und Sauerstoff nie unmittelbar berühren: Sie werden durch ein Material getrennt, das gleichzeitig die Funktion eines Elektrolyten hat. Das Material dieser Membran kann eine dünne Folie sein, eine Säure oder Lauge, eine Schmelze von Karbonaten oder eine Keramik. Der Elektrolyt verhindert, dass die Energie nicht explosionsartig-unkontrolliert frei wird, sondern in Form elektrischen Stroms genutzt werden kann.

Was geht ab in einer Brennstoffzelle?

Ein bisschen Chemie: Die genauen Vorgänge sollen am Beispiel einer Polymerelektrolyt-Brennstoffzelle (PEFC) erklärt werden, in der eine dünne Polymer-Membran als Elektrolyt eingesetzt wird.



- 1 Wasserstoff und Sauerstoff werden von verschiedenen Seiten an die Membran herangeführt. Nun würden die beiden Gase gern zu Wasser reagieren, aber die Membran, eine hauchdünne Plastikfolie, verhindert das. Sie lässt nur Protonen durch, die ihre Elektronen abgegeben haben.
- 2 Der Wasserstoff muss sich daher an der Anode in seine Bestandteile, zwei Protonen und zwei Elektronen, aufspalten. Dabei sind kleine Katalysatorpartikel behilflich, die das H_2 -Molekül anstoßen, damit es sich spaltet.
- 3 Nun können die Protonen die Membran passieren, nicht aber die Elektronen. Sie fließen als Strom über ein äußeres Kabel zur Kathode. Auf diesem Weg können sie als elektrischer Strom genutzt werden. Auf der anderen Seite der Membran angekommen, reagieren die Wasserstoff-Protonen und -Elektronen an der Kathode mit dem Sauerstoff zu Wasser.

Dieses Wasser, das die Zelle nun verlässt, enthält die bei der Reaktion entstandene Wärme. Sie kann man zum Heizen von Häusern oder zur



Vom Sandwich zum Big Mac

Eine einzelne Zelle besteht aus einem Sandwich von Anode, Elektrolyt und Kathode. Um mehr Leistung herauszuholen, stapelt man einfach viele dieser Sandwiches auf- oder hintereinander. Es entsteht ein gewaltiger elektrochemischer Big Mac, ein sogenannter Stack.



Was ist eigentlich...

... ein Elektrolyt?

Ein Elektrolyt ist ein Stoff, der beim Anlegen einer Spannung durch Ionen-transport elektrischen Strom leitet.

... eine Anode und eine Kathode?

In der Chemie ist die Anode eine Elektrode, an der eine Oxidationsreaktion stattfindet. Bei der Brennstoffzelle werden an der Anode also Elektronen abgegeben; es ist der negative Pol. An der Kathode dagegen finden Reduktionsreaktionen statt.

... ein Proton?

Ein positiv geladenes Wasserstoffion.



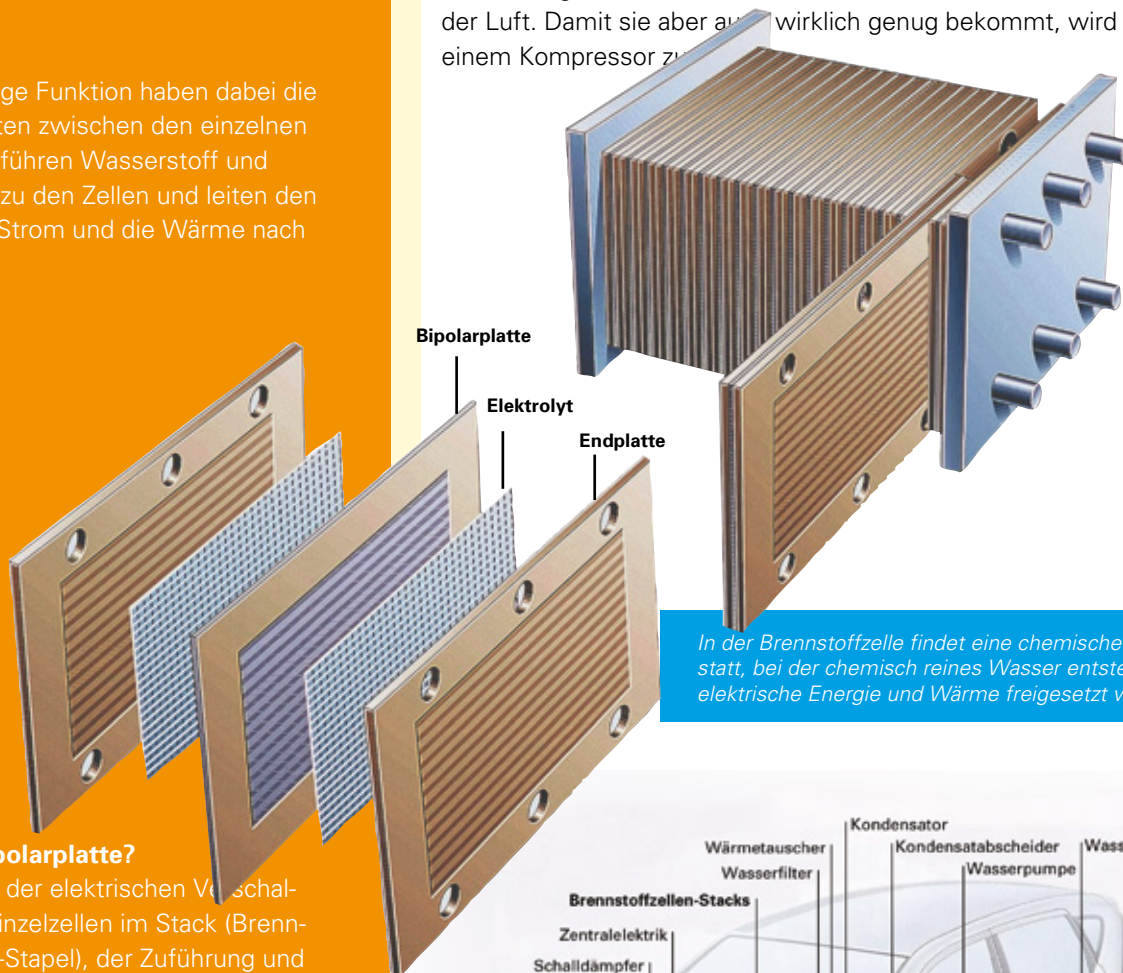
Bereitstellung von Dampf für Industrie und Krankenhäuser nutzen.

Gepresst, gefrostet, geblasen – die Gase

Wasserstoff ist unbegrenzt verfügbar und Luft gibt's überall – aber eben nicht betriebsfertig. Es sind noch einige Kraftanstrengungen notwendig, bis eine Brennstoffzelle ein Mini-Blockheizkraftwerk oder ein Auto zum Laufen bringt. Was zum Beispiel füllt man einem Brennstoffzellen-Auto in den Tank?

Wasserstoff ist bei Raumtemperatur und Normaldruck ein Gas mit sehr geringer Dichte und Energieinhalt pro Liter. Entweder man setzt Wasserstoff ziemlich unter Druck (500–700 bar), dann kann eine große Wasserstoffmenge gasförmig gespeichert werden. Dazu sind aber druckfeste Behälter notwendig. Oder man macht ihn kalt: Bei -253 °C wird Wasserstoff nämlich flüssig. Damit das auch so bleibt, muss man den Tank sehr gut isolieren. Den Sauerstoff holt sich die Brennstoffzelle aus der Luft. Damit sie aber auch wirklich genug bekommt, wird diese mit einem Kompressor zu

Eine wichtige Funktion haben dabei die Bipolarplatten zwischen den einzelnen Zellen. Sie führen Wasserstoff und Sauerstoff zu den Zellen und leiten den erzeugten Strom und die Wärme nach außen.



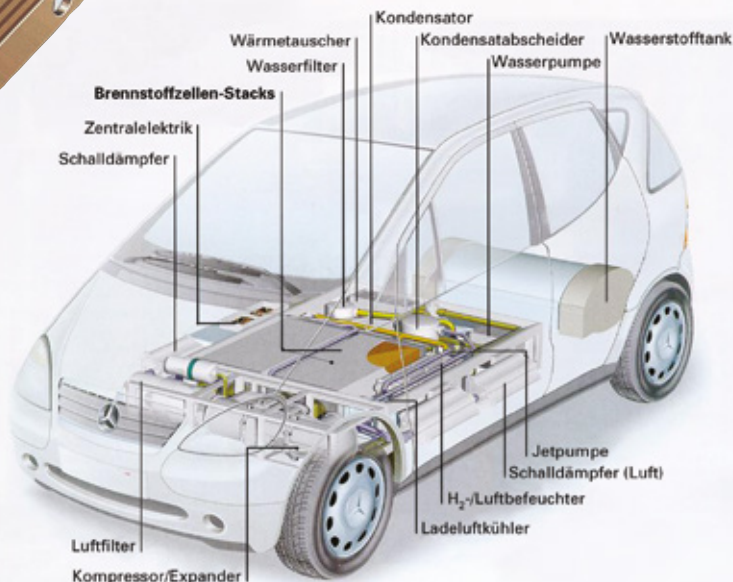
In der Brennstoffzelle findet eine chemische Reaktion statt, bei der chemisch reines Wasser entsteht, elektrische Energie und Wärme freigesetzt werden.

... eine Bipolarplatte?

Sie dienen der elektrischen Verschaltung der Einzelzellen im Stack (Brennstoffzellen-Stapel), der Zuführung und Verteilung von Wasserstoff und Sauerstoff auf den Elektrodenflächen sowie der räumlichen Trennung der Einzelzellen im Stack.

... Primärenergie?

Als Primärenergieträger werden die Energierohstoffe vor weiteren Umwandlungsschritten bezeichnet, beispielsweise Rohkohle, Erdgas, Mineralöl oder Kernbrennstoffe.





Wasserstoffbetriebene Brennstoffzellen für den Antrieb eines Motorseglers



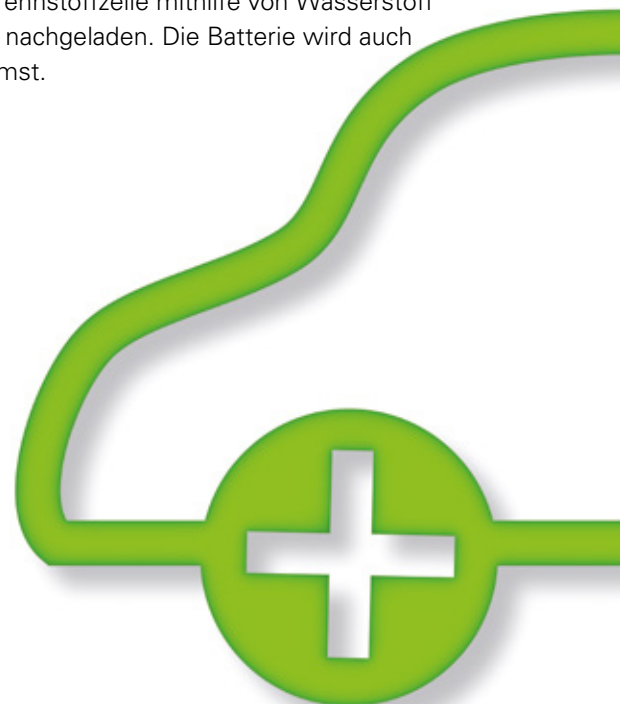
Busse mit Brennstoffzelle sind bereits in Hamburg im Linienverkehr im Einsatz.

Von Milliwatt bis Megawatt: Anwendungen der Brennstoffzelle

In Laptops, Handys und MP3-Playern können sie Batterien oder Akkus ersetzen, in Autos den Antrieb. Auch hoch in den Lüften tun die kleinen Power-Pakete gute Dienste: Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) testet wasserstoffbetriebene Membran-Brennstoffzellen zur Bordstromversorgung (APU) in Flugzeugen. Auch Motorseglers werden schon mit Elektromotoren ausgerüstet, die ihren Strom aus mitgeführtem H_2 beziehen. Generell haben Brennstoffzellen eine deutlich längere Lebensdauer und sind unempfindlich gegen falsches Aufladen oder lange Lagerung wie Batterien oder Akkus. Dabei sind selbst die heutigen Vorläuferzellen (Prototypen) nicht viel größer als die Lithium-Ionen-Akkus. Aber auch in der großen Gewichtsklasse, als Kraftwerke der Zukunft, sollen Brennstoffzellen eingesetzt werden. In Kläranlagen, zur Hausenergieversorgung oder auch als Blockheizkraftwerke werden zunehmend auch Brennstoffzellen als Energiewandler genutzt.

Auch im Verkehr ist die Brennstoffzelle nicht verkehrt

Fast alle großen Autofirmen experimentieren mittlerweile mit dem Brennstoffzellenantrieb. Brennstoffzellen mildern das größte Handicap des Elektroautos: die geringe Reichweite und die langen Ladezeiten. Doch noch interessanter ist der Einsatz in Lieferwagen und Linienbussen. Die recht großen Wasserstofftanks finden bequem auf dem Dach Platz, zudem müssen sie keine langen Strecken zurücklegen. Und falls der Sprit doch mal knapp wird, ist der Weg zum Tanken bzw. zurück ins Depot nicht weit. Umweltfreundlicher ist es allemal: Wer einmal mit dem Fahrrad hinter einem dieselnden Linienbus an der Ampel stand, wird den laut- und geruchslosen Wasserdampf-Auspuff schätzen lernen. Bei einem Brennstoffzellenfahrzeug wird ein Elektromotor, der das Fahrzeug antreibt, aus einer Batterie mit elektrischer Energie versorgt. Diese elektrische Energie wird in der Brennstoffzelle mithilfe von Wasserstoff erzeugt, die Batterie also ständig nachgeladen. Die Batterie wird auch geladen, wenn das Fahrzeug bremst.



Ein E-Bike mit 100 Kilometer Reichweite ...

... und einer Höchstgeschwindigkeit von 25 km/h. Das klingt nach Zukunftsmusik, dabei befinden sich wasserstoffbetriebene E-Bikes bereits auf dem Weg zur Serienreife. Ein E-Bike-Hersteller aus Nordrhein-Westfalen arbeitet seit 2008 an der Entwicklung von wasserstoffbetriebenen Brennstoffzellen-Rädern. Ein Prototyp wurde gemeinsam von der Firma Gernweit, dem Wasserstofflabor der Hochschule RheinMain und dem Ingenieurbüro Ralph Luh entwickelt. Der Hersteller plante für 2015 die Markteinführung eines weiterentwickelten Modells. Im Gegensatz zu traditionellen Akkus bieten Brennstoffzellen einige Vorteile: Sie besitzen eine höhere Lebensdauer, die Selbstentladung entfällt und haben eine Reichweite von über 100 Kilometern.



Schnell betankt und los geht's: E-Bikes mit Wasserstoff-Antrieb.

Der Heizkeller als Energiezentrale

Auch im großen Maßstab soll die tolle Zelle kommen: In den Heizkellern der Zukunft sollen kleine Brennstoffzellen-Kraftwerke den Heizkessel ersetzen. Die Zelle erzeugt den Strom, der den Kühlschrank brummen und den Fernseher flimmern lässt, und die anfallende Reaktionswärme heizt die Räume und das Wasser. Das Projekt CALLUX testet Brennstoffzellen-Heizanlagen, die dem Eigenheim so richtig einheizen. Man kann mit Brennstoffzellen aber auch Industriebetriebe oder größere Häuserblocks mit Strom und Wärme versorgen. Zur Kühlung von Gebäuden können Brennstoffzellen ebenfalls eingesetzt werden. Dabei wird die Abwärme einer Hochtemperatur-Brennstoffzelle von einer Absorptionskälteanlage zur Erzeugung von Kälteenergie für die Klimatisierung genutzt. Im Ergebnis erhält man eine hocheffiziente Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung, die ganzjährig eine optimal bedarfsorientierte Energiezufuhr ermöglicht.



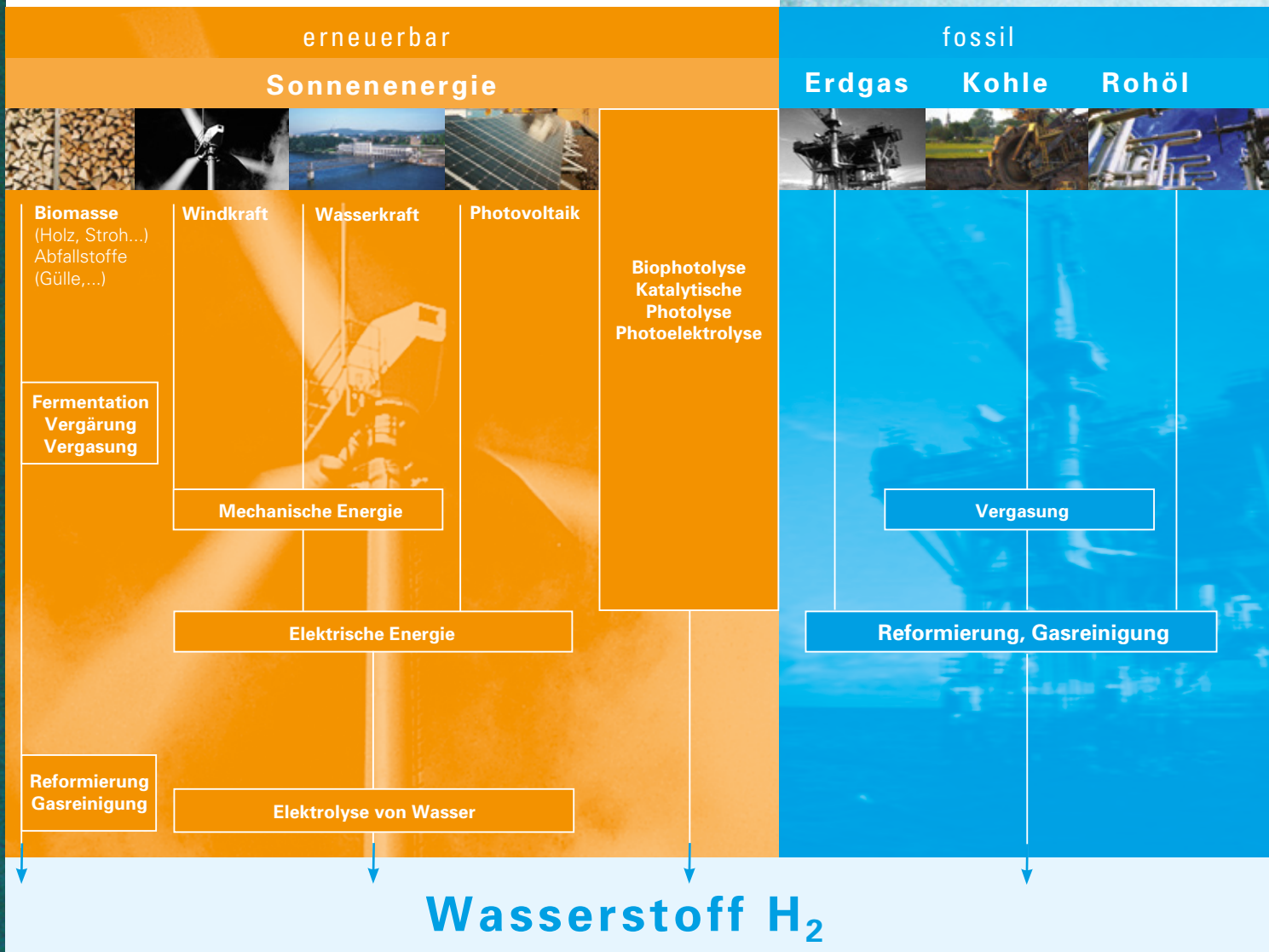
Dezentrale Kleinkraftwerke auf Brennstoffzellenbasis erzeugen kontinuierlich Strom und Wärme.



Woher kommt der Wasserstoff eigentlich?

Wasserstoff ist überall – er ist das häufigste Element unseres Universums. Allerdings ist er sehr bindungsfreudig und deshalb auf unserer Erde nie alleine anzutreffen: Im Wasser hängt er am Sauerstoff; in Kohlehydraten und Fetten klammert er sich ebenso an den Kohlenstoff wie bei Erdöl und Erdgas. Um den Wasserstoff in Reinform zu erhalten, muss die chemische Bindung gelöst werden – und dazu wird Energie benötigt. Diese Energie wird im Wasserstoff gespeichert und bei der Reaktion in der Brennstoffzelle wieder freigesetzt.

Eine Tonne Wasserstoff enthält viermal so viel Energie wie eine Tonne Steinkohle und fast dreimal so viel wie Benzin oder Diesel. Allerdings ist Wasserstoff unter Normalbedingungen ein Gas und sein Volumen daher ungleich größer. Ein Liter Benzin enthält immerhin fast fünfmal so viel Energie wie ein Liter flüssigen Wasserstoffs bei -253°C und mehr als 18-mal so viel wie Druck-Wasserstoff bei 200 bar. Das erschwert die Handhabung und Lagerung von Wasserstoff.



Noch wird dem Wasserstoff Dampf gemacht...

Wie wird Wasserstoff gewonnen? Noch wird er vor allem aus fossilen Energieträgern, beispielsweise Erdgas, hergestellt. In einem sogenannten Reformier werden die Kohlenwasserstoffe mit Dampf gemischt und der Wasserstoff abgespalten. Dummerweise kostet das ziemlich viel Energie und verbraucht Erdgas. Zudem wird zwangsläufig unerwünschtes Kohlendioxid freigesetzt.

Trotz des besseren Wirkungsgrades einer Brennstoffzelle sind die Hauptprobleme damit noch nicht ganz gelöst: Die Verbrennung ist „sauber“, aber bei der Herstellung des Brennstoffs werden fossile Ressourcen verbraucht und Kohlendioxid produziert.

... in Zukunft sind die Erneuerbaren dran

Langfristig müssen also auch die Primärenergieträger „sauber“ sein. Die Hoffnungen richten sich dabei voll auf die erneuerbaren Energien. Käme die Energie, die man zur Wasserstoffgewinnung braucht, von Fotovoltaik-Solaranlagen und Windturbinen, wäre das Ziel erreicht: kein Einsatz fossiler Energien, keine schädlichen Emissionen. Mit dem so erzeugten Strom ließe sich der Wasserstoff mittels Elektrolyse aus gewöhnlichem Wasser gewinnen.

So könnten rein theoretisch Autos in Deutschland mit Energie aus der Wüste versorgt werden, die dort in großen Solarkraftwerken erzeugt werden könnte. Dazu müsste der Strom allerdings unter Verlusten mit Hochspannungsleitungen in unsere Breiten transportiert werden. Der Reiz daran ist, dass alle sonnenverwöhnten Länder und nicht nur die Ölstaaten zu begehrten Energielieferanten würden. Das Projekt desertec verfolgt genau diesen Ansatz.

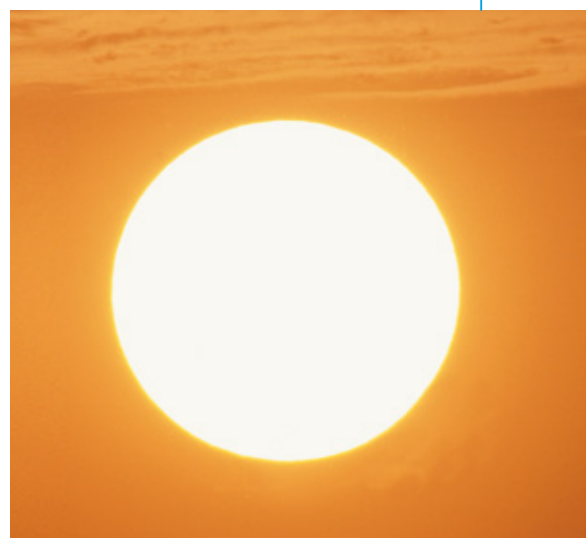
Aber auch mit dem Reformierungsverfahren lässt sich Wasserstoff umweltfreundlich gewinnen – aus Biomasse (Holz, Gülle, Klärschlamm o.ä.). Selbst Bakterien und Algen müssen für Versuche herhalten: Bei einigen biologischen Umwandlungsprozessen entsteht Wasserstoff. In den Forschungslabors wird eifrig experimentiert, wie man diesen abtrennen und nutzen kann.

Explosive Mischung an Bord?

Die Angst, die manche vor wasserstoffbetriebenen Autos haben, hält der Deutsche Wasserstoff-Verband (DWW) für unbegründet. Seiner Meinung nach sind Wasserstoff-Druckbehälter stabiler als Benzintanks und bleiben auch bei einem Unfall in der Regel intakt. Damit ein Leck im Behälter gleich bemerkt wird, bringen Tankhersteller Wasserstoffsensoren im Fahrzeug an, die Alarm auslösen, falls Gas entweicht. Tests hätten dabei gezeigt, dass sich ausströmender Wasserstoff nicht ohne Brandquelle entzündet. Selbst wenn Wasserstoff aus dem Tank entweicht, verflüchtigt er sich wegen der geringen Dichte schnell nach oben. Sogar die Zündung einer freien Gaswolke führe in der Regel nicht zu einer Detonation, sondern zu einer Verpuffung mit sehr viel geringeren Schäden.

Erneuerbare Energien...

...wie Sonne, Wind und Wasser sind eigentlich im Überfluss vorhanden – man muss sie nur anzapfen. Wo welche Energie am besten genutzt wird, ist von der Region abhängig – Solaranlagen in der Wüste, Windräder an windreichen Küsten. In Deutschland sind geothermische Anlagen, Offshore-Windparks an Nord- und Ostsee, nachwachsende Rohstoffe wie Holz und Photovoltaikanlagen aussichtsreiche Kandidaten.



Der lange Weg zur (Serien-)Reife

Warum dauert die kommerzielle Nutzung der Brennstoffzelle so lange, wenn das Prinzip doch schon seit 170 Jahren bekannt ist?

Andere waren schneller

Andere Entwicklungen waren schneller und schienen vielversprechender. Die Dampfmaschine hatte die Nase im Kraftwerksmarkt vorne, der Ottomotor gewann den Wettbewerb um den Autoantrieb. Auch heute entwickeln sich die konkurrierenden Technologien – beispielsweise Gasturbinen, Verbrennungsmotoren oder Akku-Elektroantriebe – rasant weiter und werden effizienter, sauberer und kostengünstiger.

Noch zu teuer

Die Brennstoffzellentechnik ist im Vergleich zum bewährten Verbrennungsmotor oder zu Gasturbinen noch ein Vielfaches teurer. Also wird jede Komponente einer Kostenkur unterzogen, mit neuen Materialien und Ideen experimentiert und geforscht. Viel Chemie und Tüftelei sorgen dafür, dass Brennstoffzellen Schritt für Schritt günstiger werden. Den Rest müssen hohe Stückzahlen bringen.

Fehlende Infrastruktur

Für den Einsatz im Verkehr muss eine komplett neue Infrastruktur aufgebaut werden: ein Netz von Tankstellen, eine entsprechende Logistik und Produktionszentren. Das kostet viel Geld. Ein typischer Teufelskreis: Wer investiert in hohe Summen, wenn es nur wenige Wasserstoff-Mobile gibt? Und wer kauft sich ein Brennstoffzellen-Auto, wenn er die Tankstellen mühsam auf der Landkarte suchen muss?

Konkurrenz um erneuerbare Energien

Ein weiteres Problem ist die Konkurrenz um die wertvollen erneuerbaren Energieträger: Sie können ja nicht nur zur Produktion von Wasserstoff eingesetzt werden. Holz beispielsweise wird in Kesseln oder Heizkraftwerken genutzt und macht dort den Einsatz von Rohöl überflüssig. Elektrizität aus Windrädern oder Solarzellen kann direkt in unser Stromnetz eingespeist werden, ohne den Umweg über die Wasserstoff-Erzeugung.

Wasserstoff wird zukünftig vor allem eine wichtige Rolle als Energiespeicher bekommen. Er dient als Puffer für den zeitlich fluktuierenden Wind- oder Sonnenstrom – also für Zeiten der Windflaute oder nächtlichen Dunkelheit.

Wann rollt die Brennstoffzelle

Als Benzin eingeführt wurde

„Eine neue Energiequelle mit dem Namen Benzin ist von einem Bostoner Ingenieur erzeugt worden. Dieser Brennstoff ... explodiert im Zylinder eines Motors.“ Als sich diese Neuigkeit in den USA Ende des 19. Jahrhunderts verbreitete, war das Pferdefuhrwerk das Transportmittel Nr. 1. „Die Gefahren sind doch offensichtlich“, fährt die Studie fort. „Benzin in den Händen von Leuten, die vor allem an Profit interessiert sind, stellen eine Feuer- und Explosionsgefahr erster Klasse dar. Pferdelose, von Benzin angetriebene Kutschen könnten Geschwindigkeiten von 14 oder sogar 20 Meilen pro Stunde erreichen. Die Bedrohung, die von solchen Fahrzeugen ausgeht, die durch unsere Straßen rasen und unsere Atmosphäre vergiften, verlangt nach einer gesetzlichen Antwort. (...) Im übrigen sind die Herstellungskosten des Benzins jenseits der Finanzkraft unserer privaten Industrie. (...) Außerdem werden durch diese Entwicklung unsere Pferde überflüssig. Dadurch wird unsere Landwirtschaft ruiniert.“

Der lange Weg der Brennstoffzelle



Christian Friedrich Schönbein, deutscher Prof. für Physik und Chemie und „Vater“ der Brennstoffzelle



William Grove, Jurist aus Großbritannien, baut die erste Brennstoffzelle



Austin – erstes BZ-Auto



Apollo 11 mit BZ zum Mond



BZ in U-Booten

1838

1839

1950

1968

1982

vom Band?

Anfang dieses Jahrtausends hieß es, 2004 werden Wasserstoff-Fahrzeuge serienmäßig von den Bändern der Autofabriken rollen. Doch der Rollout ließ lange auf sich warten. Ende 2014 war es dann doch soweit: Toyota brachte als erster Hersteller ein alltagstaugliches Brennstoffzellenfahrzeug auf den Markt. „Mirai“ heißt das Auto der Zukunft und kann eine Strecke von 500 Kilometern zurücklegen. Der Tankstopp soll in nur fünf Minuten erledigt sein. Ganze 20 Jahre haben die Forscher und Entwickler an der alternativen Antriebstechnologie fürs Fahrzeug getüftelt. Andere Automobilhersteller wollen zeitnah folgen: Hier wird ebenfalls mit Hochdruck an serienreifen Brennstoffzellen-Fahrzeugen gearbeitet.

Die Brennstoffzelle wird zwar nicht schon heute oder morgen den Energie- und Verkehrssektor umkrempeln. Aber sie wird einer von vielen Bausteinen einer nachhaltigen Energieversorgung sein.



Batterie- oder Brennstoffzellenfahrzeuge?

Warum Batteriefahrzeuge und Brennstoffzellenfahrzeuge – wäre es nicht effizienter, sich auf eine Technologie zu konzentrieren? Beide Typen von Elektrofahrzeugen haben bislang im Vergleich zum Verbrennungsmotor erst wenige Jahre intensiver Entwicklungsarbeit erfahren. Jedes Konzept besitzt seine spezifischen Vorzüge, aber auch Herausforderungen. Viele Automobilhersteller halten es derzeit deshalb für erforderlich, beide Entwicklungslinien zu verfolgen. Beim Batteriefahrzeug beispielsweise liegt derzeit die höchste Reichweite bei circa 200 Kilometern und die Batterieladezeiten bewegen sich im Stundenbereich. Brennstoffzellenfahrzeuge haben heute schon Reichweiten von 500 Kilometer und die Betankungszeit ist vergleichbar mit heutigen Otto- oder Dieselfahrzeugen. Es kommt also auf den Einsatzzweck an. Möchte der Kunde weiterhin primär ein Fahrzeug besitzen, mit dem er alle Mobilitätsarten abdecken will? Dann ist das vorteilhaft für die Brennstoffzelle, weil eher die Reichweite dominiert. Wenn aber 80 bis 90 Prozent aller Fahrten deutlich unter 100 Kilometer liegen, dann spricht das eher für die Batterietechnik, weil sie in Summe effizienter ist als eine Brennstoffzelle.



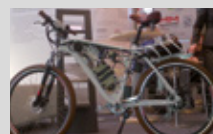
Erste BZ-Busse fahren



BZ-Tests in PKWs



BZ-Tests mit Kleinkraftanlagen



BZ-Fahrrad



BZ Fahrzeug serienreif



BZ-Versuche in Flugzeugen

1991

1994

2000

2001

2002

2015

2020

Agenda 2030: Globale Ziele für nachhaltige Entwicklung



Ziel 1

Armut in allen ihren Formen und überall beenden.



Ziel 2

Den Hunger beenden, Ernährungssicherheit und eine bessere Ernährung erreichen und eine nachhaltige Landwirtschaft fördern.



Ziel 3

Ein gesundes Leben für alle Menschen jeden Alters gewährleisten und ihr Wohlergehen fördern.



Ziel 4

Inklusive, gleichberechtigte und hochwertige Bildung gewährleisten und Möglichkeiten lebenslangen Lernens für alle fördern.



Ziel 5

Geschlechtergleichstellung erreichen und alle Frauen und Mädchen zur Selbstbestimmung befähigen.



Ziel 6

Verfügbarkeit und nachhaltige Bewirtschaftung von Wasser und Sanitärversorgung für alle gewährleisten.



Ziel 7

Zugang zu bezahlbarer, verlässlicher, nachhaltiger und moderner Energie für alle sichern.



Ziel 8

Dauerhaftes, breitenwirksames und nachhaltiges Wirtschaftswachstum, produktive Vollbeschäftigung und menschenwürdige Arbeit für alle fördern.



Ziel 9

Eine widerstandsfähige Infrastruktur aufbauen, breitenwirksame und nachhaltige Industrialisierung fördern und Innovationen unterstützen.



Ziel 10

Ungleichheit in und zwischen Ländern verringern.



Ziel 11

Städte und Siedlungen inklusiv, sicher, widerstandsfähig und nachhaltig gestalten.



Ziel 12

Nachhaltige Konsum- und Produktionsmuster sicherstellen.



Ziel 13

Umgehend Maßnahmen zur Bekämpfung des Klimawandels und seiner Auswirkungen ergreifen.



Ziel 14

Ozeane, Meere und Meeresressourcen im Sinne nachhaltiger Entwicklung erhalten und nachhaltig nutzen.



Ziel 15

Landökosysteme schützen, wiederherstellen und ihre nachhaltige Nutzung fördern, Wälder nachhaltig bewirtschaften, Wüstenbildung bekämpfen, Bodendegradation beenden und umkehren und dem Verlust der biologischen Vielfalt ein Ende setzen.



Ziel 16

Friedliche und inklusive Gesellschaften für eine nachhaltige Entwicklung fördern, allen Menschen Zugang zur Justiz ermöglichen und leistungsfähige, rechenschaftspflichtige und inklusive Institutionen auf allen Ebenen aufbauen.



Ziel 17

Umsetzungsmittel stärken und die Globale Partnerschaft für nachhaltige Entwicklung mit neuem Leben erfüllen.

DIE GLOBALEN ENTWICKLUNGSZIELE DER AGENDA 2030

Am 25. September 2015 wurde auf dem Weltgipfel für nachhaltige Entwicklung der Vereinten Nationen die „Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung“ verabschiedet. Der Titel „Transformation unserer Welt: die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung“ verdeutlicht das Ziel der Agenda, einen durchgreifenden Wandel auf allen Ebenen herbeizuführen. Die Agenda gilt universell, also gleichermaßen für Industrieländer, Schwellen- und Entwicklungsländer und zielt auf eine neue globale Partnerschaft ab. Allen Menschen weltweit soll ein Leben in Würde ermöglicht werden. Die Agenda 2030 soll Frieden fördern und dazu beitragen, dass alle Menschen in Freiheit und einer intakten Umwelt leben können. Zum ersten Mal werden Armutsbekämpfung und Nachhaltigkeit in einer Agenda zusammengeführt.

Das Kernstück der Agenda bilden die 17 Ziele einer nachhaltigen Entwicklung (Sustainable Development Goals – SDG), die am 1. Januar 2016 in Kraft getreten sind. Neu ist, dass die SDG sich an alle Länder richten und damit auch für die entwickelten Industriestaaten Wirkung entfalten. Mit der Agenda 2030 und den SDG sollen soziale, wirtschaftliche und ökologische Ziele und deren Verknüpfungen ausgewogener miteinander verankert werden.

Die SDG beschreiben prioritäre Handlungsfelder und geben eine breite strategische Richtung vor, die erst durch die zusätzlichen Unterziele („Targets“) inhaltlich definiert wird. Durch ihren internationalen, teilweise entwicklungspolitischen Charakter besitzen jedoch nicht alle SDG eine direkte Relevanz für die Nachhaltigkeitsstrategie. Darüber hinaus setzt die Nachhaltigkeitsstrategie Baden-Württembergs weitere wichtige landesspezifische Schwerpunkte, die über die Zielsetzungen der SDG hinausgehen, insbesondere in den Bereichen nachhaltige Finanzpolitik und Einbindung der Zivilgesellschaft.



Adressen und Links

www.hyweb.de, www.dwv-info.de, www.wbzu.de
www.f-cell.de, www.now-gmbh.de, www.germanhy.de
www.klimanet.baden-wuerttemberg.de, www.callux.net
www.e-mobilbw.de, www.bba-bw.de
www.bodenseeprojekt.de, www.desertec.org
www.bne-bw.de

Weitere 12 Themenhefte stehen als Download zur Verfügung:
www.um.baden-wuerttemberg.de/de/presse-service/publikationen/



N Nachhaltig handeln
Baden-Württemberg

Nachhaltiges Handeln bedeutet, nicht auf Kosten von Menschen in anderen Regionen der Erde oder zukünftiger Generationen zu leben. Die Belastbarkeit der natürlichen Ressourcen bildet die absolute Grenze. Wirtschaftliche, soziale sowie Umweltaspekte sind dabei gleichermaßen zu berücksichtigen. Die Nachhaltigkeitsstrategie des Landes konzentriert sich aktuell auf die Themen: Klima und Energie, Umgang mit Ressourcen und Bildung für nachhaltige Entwicklung. Nachhaltiges Handeln soll zum "Markenzeichen" für Baden-Württemberg werden. Mehr Infos: www.nachhaltigkeitsstrategie.de

Gefördert durch die
GlücksSpirale

Impressum

Ministerium für Umwelt, Klima
und Energiewirtschaft
Baden-Württemberg
Kernerplatz 9, 70182 Stuttgart
www.um.baden-wuerttemberg.de

Inhaltliche Beratung:
IFEU-Institut Heidelberg

Redaktion:
Tina Schmidhuber

Realisierung:
ÖkoMedia GmbH, Stuttgart
www.oekomedia.com

Fotos:
www.pixelio.de
MTU Onsite Energy Ottobrunn Daimler AG
DLR

Aktualisierter Nachdruck, Stand: 2015



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT