



---

# ESSENTIAL

---

FREUDENBERG SEALING TECHNOLOGIES  
DAS MAGAZIN – AUSGABE #1 2018



## UMDENKEN

Vom Mehrwert, Dinge anders zu betrachten, um die Herausforderungen der Zukunft anzugehen.

---

### TERRY TAMMINEN

Der Klimaschützer spricht darüber, warum es sich lohnt, auf nachhaltiges Wirtschaften zu setzen.

---

### ENERGIEMANAGEMENT

Wie intelligente Monitoringsysteme helfen, mehr zu produzieren und weniger Strom zu verbrauchen.

---

### CHINA

Das Reich der Mitte steigt aus der Kohle aus und investiert massiv in erneuerbare Energien.



---

# UMDENKEN

---

„Ein Kopfstand fördert die Durchblutung im Gehirn“, hieß es früher. Ergo müsse diese Haltung gut für den Denkprozess sein. Ganz so einfach ist es leider nicht, dazu sind die Systeme, die unser Gehirn mit Nahrung versorgen, viel zu komplex. Aber einen Effekt hat so ein Kopfstand natürlich: Er zwingt uns zu einem Perspektivenwechsel. Plötzlich sehen die Dinge ganz anders aus.

So ein Kopf- oder Handstand ist übrigens gar nicht so einfach, aber das liegt meistens nicht, wie viele glauben, an fehlender Kraft in den Armen. Unsere Arme tragen nur einen kleinen Teil zum Handstand bei. Stattdessen erfordert die Übung vor allem Körperspannung, Gleichgewicht und Balance. Die Dinge auf den Kopf zu stellen ist etwas, das die volle Aufmerksamkeit und den kompletten Körper beansprucht. Nichts, was man mal eben so nebenbei erledigt.

Umdenken. Der Begriff taucht vor allem im Zusammenhang mit Umweltfragen und Zukunftsproblemen immer wieder auf. „Es geht so nicht mehr weiter, wir müssen umdenken“, lauten die Forderungen. Was aber heißt das eigentlich, umdenken? Sind unsere Gedanken nicht ohnehin frei und wandern und wabern ständig in alle möglichen Richtungen? Ist es nicht das, was den Menschen auszeichnet: Phantasie, Träume, Zukunftsvisionen?



DAS MAGAZIN online unter:  
<http://essential.fst.de>



Tatsächlich neigen wir als Menschen dazu, gar nicht so vielseitig zu denken, wie wir glauben: Vieles von dem, was wir erfinden, basiert auf Erfahrungen und Prägungen. Wir sind in unserem Denken ziemlich fest verwurzelt. Das kann auch ein Vorteil sein, denn oft ist unsere Erfahrung ein guter Wegweiser. Wer aber wirklich umdenken will, hört häufig den Satz: „Das kann ich mir nicht vorstellen.“ Und ist das nicht eigentlich eine sehr verrückte Aussage, da unser Gehirn doch imstande ist, die verrücktesten Dinge zu erträumen?

In der Geschichte der Menschheit gab es immer wieder Momente, in denen ganz und gar daran gezweifelt wurde, dass etwas auch völlig anders geht. „Wie bitte soll ein Schiff gegen den Wind fahren?“, soll Napoleon gefragt haben. Die Liste solcher überholten Prognosen ist endlos, lässt uns heute schmunzeln, aber dazu gibt es eigentlich keinen Grund. Bei den meisten heutigen Zukunftsvisionen sind wir genauso skeptisch wie die Menschen, die das Telefon, den Fernseher oder das Internet als sinnlose Spielereien verworfen haben. „Tunnelblick“ nennt man das auch. Ein in mehrfacher Hinsicht interessantes Bild: Man schaut scheinbar fern, sieht vielleicht sogar das Licht am Ende des Tunnels – aber eigentlich schaut man nur in eine einzige, sehr begrenzte Richtung. Ein anderes Beispiel sind die Bilder, in denen optische Täuschungen verborgen sind. Sicherlich haben Sie schon einmal erlebt, wie schwierig es sein kann, das andere Motiv zu sehen. Aber wer es endlich entdeckt hat, wer gelernt hat umzudenken, bei dem brennt es sich förmlich im Kopf fest. Plötzlich hat man Schwierigkeiten, das ursprüngliche Bild wahrzunehmen. Umdenken bedeutet auch, gedanklich flexibel zu bleiben. Das ist sowieso immer gut.

Auch beim Ei des Kolumbus ging es bekanntlich darum, etwas auf den Kopf zu stellen. Die Legende besagt, dass Kolumbus die Zweifler und Nörgler, die im Nachhinein erklärten, wie einfach seine Expedition gewesen sei, aufforderte, ein Ei senkrecht auf den Tisch zu stellen. Er tat dies schließlich, indem er die untere Seite leicht eindrückte. Die Botschaft: Das Wichtigste an bahnbrechenden Neuerungen und Erfindungen ist zunächst einmal die zündende Idee – und der Glaube daran. Die Umsetzung ist im Vergleich dazu einfach. Heißt: Wer umdenkt, hat vielleicht schon gewonnen. Umdenken ist etwas, zu dem man sich ein wenig zwingen muss. Umdenken ist unbequem. Und: Man muss es immer wieder tun.

Einmal umdenken reicht nicht, denn prompt setzt die Gewöhnung wieder ein. Was schon 1896 der Psychologe George Stratton mit seiner Umkehrbrille bewies, einer Brille, die Auge und Gehirn austrickt und uns die Welt auf dem Kopf präsentiert. Ausgehend von dem Wissen, dass die Bilder auch auf unserer Netzhaut über Kopf stehen und erst von unserem Gehirn umgedreht werden. Zahlreiche weitere Wissenschaftler haben seitdem den Test gemacht und festgestellt: Nach etwa sechs Tagen hat jeder Mensch trotz Umkehrbrille die Bilder in seinem Kopf wieder richtig herumgedreht. Wir haben die erstaunliche Eigenschaft, uns jederzeit auch auf die kuriosesten Veränderungen einzustellen und es uns darin bequem zu machen. Wer also tatsächlich die Dinge auf den Kopf stellen will, muss mehr tun, als sich nur auf den Kopf zu stellen. Wenn wir die Herausforderungen der Zukunft angehen wollen, müssen wir uns selbst herausfordern. Immer und immer wieder. Unser aktuelles Heft zeigt einige Wege dazu auf. ©

DAS WICHTIGSTE AN  
BAHNBRECHENDEN NEUERUNGEN  
UND ERFINDUNGEN IST ZUNÄCHST  
EINMAL DIE ZÜNDENDE IDEE –  
UND DER GLAUBE DARAN.



# INHALT

3–5 ESSAY

6–7 INHALT

8–13 **AUF EINEN BLICK**  
Vom Potenzial des Umdenkens am Südpol, auf Island und im Fußball.

14–21 **ROHSTOFFMINE MÜLL**  
Ein Gespräch über die Vorteile von Wasserstoff und energieeffizienter Produktion.

**NEUE WEGE**  
22–23 Beispiele bekannter Protagonisten, die sich völlig neu erfanden.

24–27 **ZWEIRADVERKEHR**  
Was lässt sich von „Motorcycle Dependant Cities“ lernen?

28–29 **AUS ALT WIRD ANDERS**  
Durch Upcycling werden in die Jahre gekommene Produkte völlig neu genutzt.

30–31 **ALTER INPUT – NEUER INPUT**  
Der Weg von der klassischen Windmühle zur modernen Windkraftanlage.

32–35 **BACKE BACKE AKKU**  
Drohen die in Akkus verarbeiteten Rohstoffe wirklich knapp zu werden?

36–37 **FACTS & FIGURES**  
Zum Thema Energie.

38–39 **SONNE RUND UM DIE UHR**  
Der Funktionsweise und dem Vorteil solarthermischer Kraftwerke auf der Spur.



SEITE 14–21



SEITE 38–39



SEITE 48–51



SEITE 56–60



SEITE 62–65



SEITE 66–71

40–41 **STROMTRANSPORT**  
Neue Herausforderungen für Dichtungen in Verteiler- und Umspannwerken.

42–43 **MEHR ALS HEISSE LUFT**  
Strom aus Gaskraftwerken hat einen schwierigen Stand.

44–47 **KRAFT DER GEZEITEN**  
Es gibt vielfältige Möglichkeiten, Energie aus dem Meer zu gewinnen.

48–51 **ABSCHIED VON DER KOHLE**  
China setzt vermehrt auf Wind, Sonne und Wasser.

52–55 **MEHR SPEICHERPLATZ**  
Wie lässt sich überschüssiger Strom aus erneuerbaren Energien speichern?

56–60 **GIGANTEN AUF HOHER SEE**  
Offshore-Anlagen sind wirtschaftlicher, zugleich aber auch stark beansprucht.

61 **WISSENSWERT INDUSTRY**

62–65 **ANGEBOT UND NACHFRAGE**  
Ein Werk zeigt: Mehr Produktion bei sinkendem Energieverbrauch ist möglich.

66–71 **DER WEG DES WASSERSTOFFS**  
Der Kreislauf einer klimaneutralen Welt ist im Prinzip ganz einfach.

72–76 **HOCHKOMPLEXES DESIGN**  
Ein Doppelinterview über die Brennstoffzelle und deren potenziellen Durchbruch.

77 **WISSENSWERT AUTOMOTIVE**

78 **IMPRESSUM**



---

# SAUBERMÄNNER

---

Den Südpol erreichen, ohne einen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck zu hinterlassen, das gelang zuletzt den Briten Rob und Barney Swan. Vater und Sohn setzten auf eine Spezialausrüstung. So nutzten sie Solarzellen auf ihren Schlitten, um Wärme sowie Energie für die Nahrungszubereitung, das Wäschetrocknen und das Schmelzen von Schnee zu erzeugen. Daneben verwendeten sie für ihre South Pole Energy Challenge (SPEC) einen aus Restmüll entwickelten Biokraftstoff. Nach 57 Tagen erreichten die von zwei Begleitern unterstützten Briten den Südpol. Sie bewiesen, dass es selbst im ewigen Eis möglich ist, mit erneuerbaren Energiequellen zu bestehen. Den CO<sub>2</sub>-Ausstoß, den der Materialtransport in die Antarktis verursachte, machen sie wett, indem sie etwa Aufforstungsprojekte fördern.



---

# NATURKRAFTWERK

---

Während sich viele Länder bemühen, ihre CO<sub>2</sub>-Bilanz zu verbessern, herrschen in Island nahezu paradiesische Verhältnisse.

Die Insel im Nordatlantik profitiert von Geothermie und Hydroenergie im Überfluss. Drei Viertel seiner grünen Energie bezieht das Land aus Erdwärme, ein Viertel aus Wasserkraft.

Mit diesen beiden Energiequellen konnte Island 2015 fast 85 Prozent seines Bruttoinlandsenergieverbrauchs decken.

Werte, von denen die EU-Staaten, die USA und China nur träumen können. Derweil nehmen die Isländer überkritischen

Wasserdampf ins Visier, der kilometertief im Gestein über Magmafeldern zu finden ist. Dieser könnte mit seiner speziellen Konsistenz, seiner Hitze und seinem enormen Druck zehnmal ertragreicher sein als die normale Geothermie.



# ERFOLGSFAKTOR

Im Juni beginnt die Fußball-Weltmeisterschaft in Russland. Titelverteidiger ist Deutschland, das 2014 mit dem Halbfinal-Erfolg gegen Gastgeber Brasilien aufhorchen ließ. Doch nicht alle Auftritte auf dem Weg zum Titel gerieten glanzvoll. Dass sie dennoch erfolgreich verliefen, war nicht zuletzt einem Sinneswandel zu verdanken. Bundestrainer Joachim Löw wollte jahrelang Tore spielerisch herauskombinieren. In der WM-Vorbereitung ließ er sich überzeugen, auch auf Standards zu setzen. Mit Erfolg: Das Torfestival gegen Brasilien eröffnete Thomas Müller nach einem Eckball. Gegen Portugal fiel das vorentscheidende 2:0 nach einer Ecke, ebenso der 2:2-Endstand gegen Ghana. Der hier abgebildete Siegtreffer im Viertelfinale gegen Frankreich resultierte aus einem Freistoß.

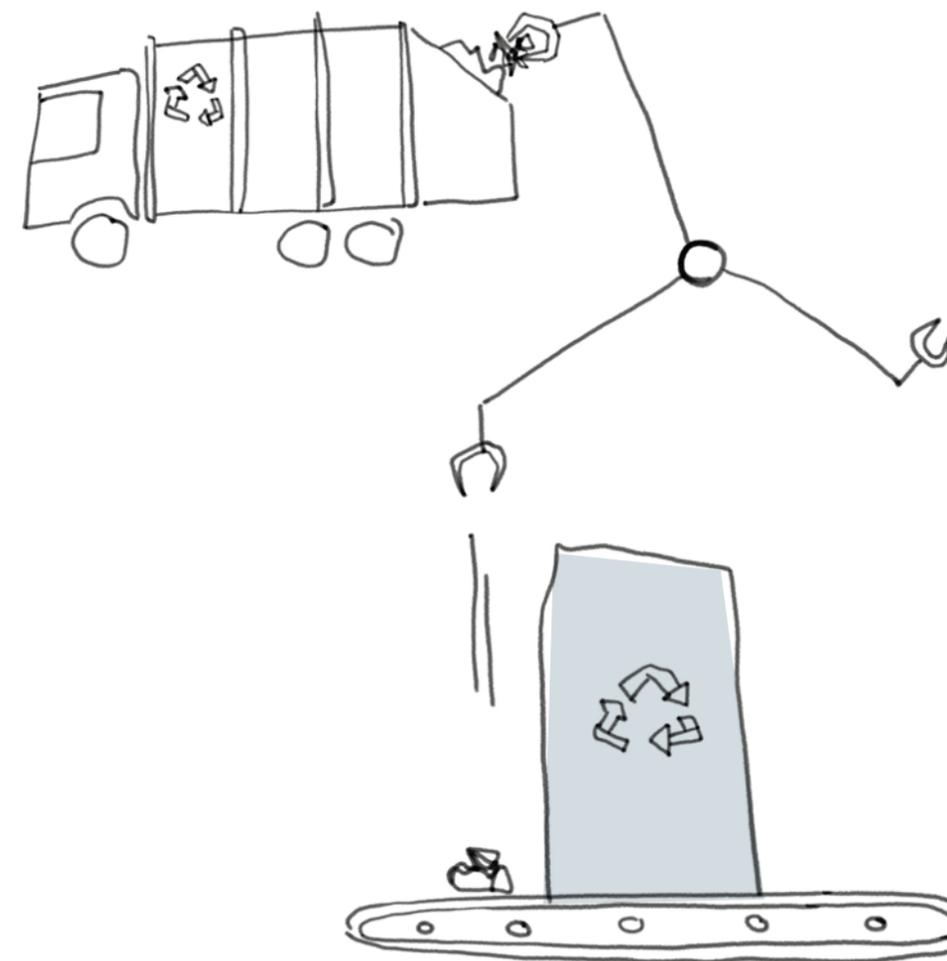


---

## „MÜLL IST EINE ROHSTOFFMINE“

---

Ein besonderes Schlüsselerlebnis vor über 40 Jahren brachte Terry Tamminen dazu, sich dem Umwelt- und Klimaschutz zu verschreiben. Der US-Amerikaner war die treibende Kraft hinter Arnold Schwarzeneggers Umweltagenda und ist CEO der Leonardo-DiCaprio-Stiftung. Im Interview spricht er über den Wasserstoffantrieb, Chinas Rolle im Umweltschutz und warum sich eine energieeffiziente Produktion lohnt.





**HERR TAMMINEN, DER GUARDIAN SETZTE SIE IN SEINER LISTE „TOP 50 PEOPLE WHO CAN SAVE THE PLANET“ AUF PLATZ 1. WIE FÜHLT MAN SICH ALS WELTRETTER?**

Es war ein schönes Gefühl, auf der Liste zu stehen. Aber genau genommen benötigt die Erde keine Rettung. Es geht ja vielmehr um das Leben auf der Erde. 99 Prozent der Tiere und Pflanzen waren bereits vor der industriellen Revolution auf natürliche Art und Weise ausgestorben. Seither hat sich durch den Menschen das Aussterben allerdings extrem beschleunigt, und zwar um das Tausendfache. Wenn wir unser Verhalten nicht ändern, dann wird es nicht mehr lange dauern, bis wir an der Reihe sind.

**WAS MÜSSEN WIR ÄNDERN?**

Wir müssen langfristig denken und planen. Sobald es um den Umweltschutz geht, spricht das zumeist nur unser Kurzzeitgedächtnis an.

**SIE SIND BEKANNT DAFÜR, NACHHALTIG ZU PLANEN. GAB ES EIN AHA-ERLEBNIS, DAS SIE DAZU BEWOG, SICH DEM UMWELT- UND KLIMASCHUTZ ZU VERSCHREIBEN?**

Es gab zwei Schlüsselmomente. Ich bin 1952 geboren und als ich zwölf Jahre alt war, begann ich vor Los Angeles mit dem Sporttauchen. Der Ozean mit seinen Tieren und Pflanzen hat mich fasziniert und begeistert. Danach zogen wir nach Australien, und als ich zehn Jahre später zurückkehrte, hatte die Umweltverschmutzung die Flora und Fauna meines Tauchreviers zerstört. Das hat mich schockiert und mir die Augen geöffnet, wie schnell sich Umweltverschmutzung auswirkt. Der zweite war, als ich auf Arnold Schwarzenegger traf. Ich lernte ihn als aufrichtigen Umweltschützer kennen. Als er dann mit Kalifornien die siebtgrößte Volkswirtschaft der Welt regierte, ergriff er die Gelegenheit, etwas für den Umwelt- und Klimaschutz zu tun.

**ER BERIEF SIE WÄHREND SEINER ZEIT ALS GOUVERNEUR ZUM BERATER IN UMWELTFRAGEN. WAS WAREN DIE STELLHEBEL, AN DENEN SIE ANSETZTEN?**

Wir hatten aufgrund unserer Gesetzgebung die Chance, wie ein eigenständiger Staat zu agieren. Wir haben zahlreiche Gesetze erlassen, allen voran den Global Warming Solutions Act. Damit konnten wir ein umfangreiches Programm aufsetzen, das es uns erlaubt hat, die Reduzierung der Treibhausgase entschlossen anzugehen. Mit der Million Solar Roofs-Initiative haben wir die Installation von Solarzellen gefördert. Zudem haben wir ein Netz von Wasserstofftankstellen geschaffen, um die Elektromobilität zu fördern. Kalifornien wurde zu einem Vorreiter in Sachen Umweltschutz.

**WIE HAT SICH DER UMWELTSCHUTZ SEITHER IN KALIFORNIEN ENTWICKELT? GIBT ES EINEN NACHHALTIGEN PROZESS?**

Definitiv. Die Gesetze und Initiativen bestehen bis heute, und der amtierende Gouverneur Jerry Brown treibt das Thema Energieeffizienz weiter voran. Er hat einige unserer Aspekte beschleunigt und sogar noch erweitert. Er erläutert seine Politik auch im Ausland und wirbt dort dafür, ebenfalls diesen Weg einzuschlagen und nicht nachzulassen. Das ist sehr gut.

**INZWISCHEN SIND SIE CEO DER LEONARDO DICAPRIO FOUNDATION, DIE SICH UNTER ANDEREM STARK FÜR UMWELTBELANGE EINSETZT. WAS ZEICHNET DICAPRIO UND ARNOLD SCHWARZENEGGER AUS?**

Leonardo ist ein glühender Verfechter des Klima- und Umweltschutzes. Er setzt sich stark mit dem Thema auseinander und bereist die ganze Welt, um vor Ort unmittelbare Eindrücke zu sammeln. Er und Arnold wissen, wovon sie reden. Arnold hat seine Position als Gouverneur genutzt, um Umweltthemen voranzubringen. Er hat damit viele erst dafür sensibilisiert und tut dies wie Leonardo bis heute.



**LEONARDO DICAPRIO FOUNDATION**

Die Stiftung wurde 1998 von Schauspieler Leonardo DiCaprio ins Leben gerufen. Sie unterstützt durch Kooperationen innovative Projekte auf der ganzen Welt, etwa zum Schutz gefährdeter Wildtiere und zur Wiederherstellung des Gleichgewichts bedrohter Ökosysteme. Zudem fördert sie die besten Lösungen zur Bewältigung der Klimakrise und strebt dabei einen vollständigen Übergang zu erneuerbaren Energien an.

**SIE STÄRKEN MIT DER R20-INITIATIVE REGIONALE PROJEKTE ZUM UMWELTSCHUTZ. IST ES VIELVERSPRECHENDER, DIE LÖSUNG EINES GLOBALEN PROBLEMS IM KLEINEN ANZUGEHEN, ALS AUF NATIONALE ODER INTERNATIONALE AGENDEN ZU SETZEN?**

Beide Ansätze sind wichtig. Unsere Politik in Kalifornien basierte auf dem Kyoto-Protokoll von 1997 mit seinen klimaschutzrechtlichen Zielsetzungen. Wenn es diese internationale Agenda nicht gegeben hätte, hätten wir unsere Politik niemals so entschlossen durchführen können. Nur so konnten wir zu einem Treiber werden, und das sind wir bis heute, trotz der Politik der aktuellen US-Administration. Doch auch deren Handeln hat positive Effekte. Denn so wurden viele Amerikaner auf das Pariser Abkommen aufmerksam. Viele haben gemerkt, dass beim Umweltschutz noch viel zu tun ist und haben sich mobilisieren lassen. Auch Unternehmen merken, dass sie vom Umweltschutz profitieren können.

**INWIEFERN?**

Sie erkennen, dass sie dank energieeffizienter Produktion Kosten sparen können. Zudem lohnt es sich für Firmen aufgrund des Emissionshandels weg von Kohle und Öl hin zu nachhaltigen Energien zu wechseln. Ich bin deshalb überzeugt, dass das Messen der CO<sub>2</sub>-Emissionen positive Möglichkeiten eröffnet. Vom Emissionshandel profitieren umweltbewusste Unternehmen. Und die, die noch nicht so weit sind, tragen durch den Handel ihren Teil zum Umweltschutz bei und lassen sich dazu bewegen, in ihn zu investieren.

**BENÖTIGT DER MENSCH DIE ERKENNTNIS, DASS SICH MIT UMWELTSCHUTZ GELD SPAREN ODER VERDIENEN LÄSST, UM DARAN MITZUWIRKEN?**

Es ist nicht der einzige Beweggrund, aber es ist einer, der jeden anspricht. In den USA könnten wir allerdings noch viel weiter sein, inklusive all der positiven Nebeneffekte. Würden wir etwa die 26 Millionen Straßenlaternen, die noch auf alter Technologie basieren, durch energiesparende LED-Lampen ersetzen, dann würden sich diese Investitionen schon innerhalb von fünf Jahren amortisiert haben. Zudem wäre es eine Art Konjunkturprogramm, denn es brächte Arbeitsplätze.

**WELCHE INNOVATIONEN HABEN FÜR SIE DAS POTENZIAL, DEN KLIMASCHUTZ ENTSCHEIDEND NACH VORNE ZU BRINGEN?**

Zuallererst die Wasserstofftechnologie (Hydrogen Fuel Cells). Wenn Wasserstoff durch Elektrolyse aus Wind- oder Sonnenenergie gewonnen wird, dann ist er eine völlig emissionsfreie Ressource. Daneben lässt er sich gut speichern und steht bei Bedarf wieder als Energielieferant zur Verfügung. Viele Automobilhersteller bieten Brennstoffzellenmodelle an und denken weiter in diese Richtung. Daneben halte ich Smart Grid für eine tolle Errungenschaft. Sie können sich am anderen Ende der Welt aufhalten und dennoch über Ihr Smartphone die Wärme in Ihrem Haus regulieren. So lässt sich der Energieverbrauch in den eigenen vier Wänden bequem kontrollieren, und man spart Geld.



**SIE FAHREN SELBST EIN MIT WASSERSTOFF BETRIEBENES AUTO. WAS IST FÜR SIE DER VORTEIL EINER BRENNSTOFFZELLE GEGENÜBER EINEM BATTERIEBETRIEBENEN AUTO?**

Ich bin ein großer Fan des Wasserstoffantriebs. Er mag keinen guten Ruf haben, weil viele denken, der Wasserstoff werde in der Brennstoffzelle verbrannt, aber das ist natürlich falsch, denn er wird in Elektrizität umgewandelt. Der Vorteil von Wasserstoffautos ist, dass sie den heutigen Gewohnheiten der Verbraucher sehr nahekommen. Du betankst dein Auto wie beim Verbrennungsmotor, und fünf bis zehn Minuten später bist du schon wieder unterwegs. Das macht ihn attraktiv.

**EIN MASSIVES PROBLEM VOR ALLEM DER WESTLICHEN GESELLSCHAFTEN SIND DIE ENORMEN MÜLLMENGEN. IHRE VISION LAUTET, AUS MÜLLDEPONIEEN ROHSTOFFMINEN ZU MACHEN. WIE SOLL DAS FUNKTIONIEREN?**

Dieses Thema begeistert mich wirklich sehr. Ich bin überzeugt, dass wir in fünf bis zehn Jahren Rohstoffe aus unseren Mülldeponien fördern werden. Es ist völlig unverständlich, wie manche Länder bis heute mit Müll umgehen. In ihm liegen so viele Chancen vor der eigenen Haustüre. Es ist wirklich verrückt, dass wir Gegenstände nur kurz nutzen, sie dann wegschmeißen, nur um die darin enthaltenen Rohstoffe wieder mühsam von anderswoher zu besorgen. Rohstoffe aus Mülldeponien wiederzugewinnen bietet enormes Einsparpotenzial und schafft Arbeitsplätze vor Ort. Das müssen die Länder, Regionen und Kommunen verstehen. Müll sollte nicht als Belastung empfunden werden, sondern als Rohstoffmine.

**CHINA SETZT INZWISCHEN STARKE AKZENTE IN RICHTUNG UMWELT- UND KLIMASCHUTZ. IST CHINA FÜR SIE EIN NEUER HOFFNUNGSTRÄGER?**

So neu ist China als Hoffnungsträger gar nicht. Vielleicht erkennen wir aber erst jetzt eine schon länger andauernde Entwicklung. China hat inzwischen die USA bei der Windenergie überflügelt. China ist schon lange der größte Hersteller von Solarzellen, wovon die USA in den letzten Jahren als Abnehmer günstiger Angebote profitiert haben. Zudem ist China bei seinen neuen Kohlekraftwerken wesentlich sauberer und damit fortschrittlicher als die USA. Beim Emissionshandel setzen die Chinesen auf das gleiche System wie Kalifornien. China geht also schon seit längerem mit gutem Beispiel voran.

**CHINA PROPAGIERT DIE ELEKTROMOBILITÄT. IST E-MOBILITÄT EINE DER ZENTRALEN ANTWORTEN, UM CO<sub>2</sub>-EMISSIONEN NENNENSWERT UND EFFIZIENT ZU REDUZIEREN?**

Absolut. Ölprodukte sind nicht nur Umweltverschmutzer, für Öl werden auch immer tiefere und riskantere Bohrungen vorgenommen. Zudem muss das Öl enorme Strecken zurücklegen, bis es zu den Zielmärkten gelangt. Demgegenüber ist Elektromobilität eine fantastische Alternative. Benzin verpufft nur und ist dann weg. Dahingegen punktet der Elektromotor beständig durch Innovationen und verbesserte Recyclingmethoden. Selbst die für ihn benötigten seltenen Erden werden mittlerweile deutlich weniger verbaut als noch vor ein paar Jahren.



### ERLEICHTERT DIE ZUNEHMENDE DIGITALISIERUNG UND AUTOMATISIERUNG VON INDUSTRIE UND GESELLSCHAFT IHR KLIMASCHUTZANLIEGEN?

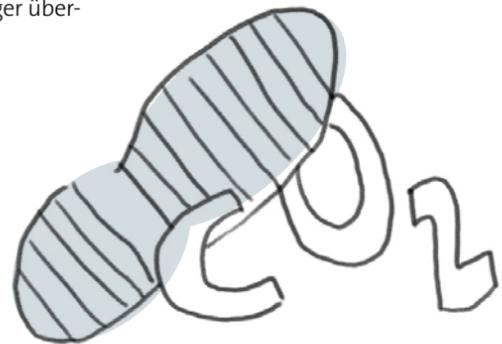
Ja. Ich glaube, dass in beiden eine Lösung des Problems liegen kann. Sie machen Dinge effizienter. Paketdienste in den USA nutzen sie, um ihre Fahrer bestmöglich zu navigieren. So sparen die Unternehmen Zeit, der Kunde erhält seine Ware schneller, und das Ganze senkt den Spritverbrauch. Walmart hat sich so gut vernetzt, dass sie es bestmöglich vermeiden, leere Lkws auf die Straße zu schicken. Und Kalifornien hat seine Mülleimer mit Sensoren ausgestattet, die der Müllabfuhr signalisieren, welche zu leeren sind. Die Effizienz ist nicht von der Hand zu weisen.

### WENN WIR EINEN BLICK INS JAHR 2050 WAGEN: WIE WERDEN SICH KLIMASCHUTZ, BEVÖLKERUNGSWACHSTUM UND WIRTSCHAFTSWACHSTUM ZUEINANDER VERHALTEN?

Wenn wir so weitermachen wie bisher, dann werden wir im Jahr 2050 nicht in der Lage sein, zehn Milliarden Menschen zu ernähren. Durch den Klimawandel werden Krankheiten und Wetterkapriolen immer gravierender. In den USA können wir den Opfern von Unwettern gut helfen, in Ländern wie Bangladesch nicht. Bei solchen Aussichten muss jedem klar sein, dass die Menschheit nichts zu verschwenden hat. Es ist unglaublich, wie viele Nahrungsmittel wir produzieren und dann wieder wegwerfen. Wir müssen unsere Verbrauchsgewohnheiten ändern und lernen, unseren Müll zu reduzieren. Daneben muss die Landwirtschaft effizienter werden, und wir müssen uns womöglich damit auseinandersetzen, dass Menschen in Dürregebieten nicht mehr länger überleben können.

### ES IST ALSO JETZT AN DER ZEIT, DIE ZEICHEN DER ZEIT ZU ERKENNEN.

Absolut. Für mich ist es wichtig, dass die Menschen den Ernst der Lage erkennen. Wir kennen den Klimawandel schon seit vielen Jahren. Wir haben vielleicht noch drei bis fünf Jahre, um effektiv reagieren zu können. Jedem muss bewusst sein, dass er etwas an seiner Einstellung ändern muss. Das betrifft auch Regierungen und Unternehmen. Sucht nicht nach neuen Rohstoffquellen. Durchforstet eure Mülldeponien. Kümmert euch um euren ökologischen Fußabdruck. Seht zu, dass ihr das CO<sub>2</sub> aus euren Produkten kriegt. Wie das geht, habe ich in meinem Buch *Cracking the Carbon Code* beschrieben. Dieses für mich unerlässliche Umdenken wird sich in zweierlei Hinsicht lohnen: finanziell und ökologisch. ©



### TERRY TAMMINEN

Der US-Amerikaner (Jahrgang 1952) wuchs zeitweise in Australien auf, wo seine Familie eine Aufzuchtstation für tropische Fische betrieb. In seinem Berufsleben widmete er sich gemeinnützigen Themen, insbesondere dem Umweltschutz. Arnold Schwarzenegger berief ihn als Gouverneur von Kalifornien zu seinem Umweltberater. 2010 war Tamminen Mitbegründer der R20-Initiative, die hilft, den Klimaschutz auf regionaler und lokaler Ebene zu fördern. Seit 2016 ist er CEO der Leonardo-DiCaprio-Stiftung.



# DIE UMDENKER – NEUE WEGE

Wer es in seinem Beruf zu Ruhm und Ehre gebracht hat, der muss sich in aller Regel nichts mehr beweisen. Und dennoch gibt es Protagonisten, die sich gewissermaßen neu erfinden und auf einem völlig anderen Gebiet reüssieren. Drei Beispiele.



## ARNOLD SCHWARZENEGGER

### Vom Kultstar ...

Der aus Österreich stammende Arnold Schwarzenegger machte in den 1960er und 1970er Jahren zunächst als Bodybuilder von sich reden. Als mehrfacher Mister Universum und Mister Olympia setzte er nach der Auswanderung in die USA Maßstäbe in seiner Sportart. Parallel dazu startete er eine Karriere als Schauspieler, die ihn ab den 1980er Jahren einem internationalen Publikum bekannt machte.

### ... zum Umweltgouverneur

2003 gab Schwarzenegger überraschend seine Kandidatur für das Amt des Gouverneurs von Kalifornien bekannt. Nach seiner erfolgreichen Wahlkampagne regierte er den bevölkerungsreichsten Bundesstaat der USA bis 2011. Besonders nachhaltig verschrieb er sich dabei dem Umweltschutz. In seiner Amtszeit brachte er zahlreiche wegweisende Maßnahmen auf den Weg. Auch danach blieb er dem Umweltschutz treu und tritt bis heute auf internationaler Ebene als starker Fürsprecher auf. ©



## ALFRED NOBEL

### Vom Erfinder ...

Der schwedische Chemiker Alfred Nobel gelangte durch die Erfindung des Dynamits nicht nur zu Ruhm, sondern auch zu enormem Reichtum. Der 1867 patentierte Sprengstoff konnte ungefährlicher transportiert, gelagert und verwendet werden als Nitroglyzerin, auf dem er basierte. Das Dynamit verhalf zahlreichen Bauprojekten zum Durchbruch, etwa dem Gotthardtunnel und dem Kanal von Korinth. Aber auch auf militärischem Gebiet erkannte man rasch die Wirkung des Dynamits.

### ... zum Wohltäter

Wegen des Rückgriffs auf Dynamit in Kriegen und bei Attentaten erfuhr Nobel Ende des 19. Jahrhunderts Kritik in den Medien und von Friedensaktivisten. Dieses Echo dürfte mit dazu beigetragen haben, dass er den größten Teil seines Vermögens in eine Stiftung einbrachte. Deren Zinsen sollten Preisträgern zugutekommen, die „im verflossenen Jahr der Menschheit den größten Nutzen gebracht haben“. In diesem Sinne wird der inzwischen renommierte Nobelpreis seit 1901 vergeben. ©

## JOCHEN ZEITZ

### Vom Erfolgs-CEO ...

1993 vertraute die Sportartikelfirma Puma dem erst 30-jährigen Jochen Zeitz den Posten als Vorstandsvorsitzender an. Die Marke befand sich zu diesem Zeitpunkt in einem kritischen Zustand. Ein Aus des traditionsreichen Labels war nicht auszuschließen. Zeitz krepelte das Puma-Image um, verband Sportlichkeit mit Mode und erwirtschaftete beständig hohe Zuwachsraten. Puma stieg unter seiner Ägide zum drittgrößten Sportartikelhersteller der Welt auf.

### ... zum Nachhaltigkeitsverfechter

Zeitz beendete 2011 seine Tätigkeit als Vorstandsvorsitzender. Zuvor hatte er bei Puma als erstem deutschen Unternehmen eine Ökobilanz erstellen lassen und ein Nachhaltigkeitsprogramm eingeführt. Nach seinem Ausstieg widmete er sich verstärkt diesen Themen. Er ist überzeugt, dass langfristig nur nachhaltiges Wirtschaften profitabel sein könne. Diese Philosophie bringt er weltweit Unternehmen nahe, wozu er mit namhaften Wirtschaftslenkern das B-Team gegründet hat. Daneben hat er in Kenia ein klimaneutrales Öko-Luxusresort geschaffen und in Kapstadt mit dem Zeitz MOCAA das erste Museum für zeitgenössische afrikanische Kunst in Afrika gegründet. ©





Weltweit ersticken Innenstädte im Stau, Autofahrer verzweifeln, Verkehrsplaner suchen Auswege. Lässt sich etwas lernen von jenen Städten, in denen der Verkehr überwiegend auf motorisierten Zweirädern abläuft? Ja, wenn man in die Zukunft denkt – und umdenkt.

Es ist ein Gewusel, ein endloses Gehupe und ein kaum zu entwirrendes Ineinander- und Auseinanderfahren. Wer den Verkehr in der vietnamesischen Hauptstadt Hanoi beobachtet, dem fallen spontan Analogien aus dem Tierreich ein: So ähnlich müssen sich Ameisen bewegen oder Fischschwärme. Die Ströme teilen sich, fahren Kurven, biegen um die Ecke, fahren durcheinander. Es ist eine ganz eigene Form der Schwarmintelligenz und die Dynamik eine völlig andere, als die meisten Städte weltweit sie kennen, in denen Autos sich vergleichsweise schwerfällig im Stop-and-go-Verkehr vorwärtsschieben.

©

## ZWEIRADVERKEHR

„Motorcycle Dependent Cities“ lautet der in der Verkehrswissenschaft übliche Begriff für solche Städte. Es gibt eine Reihe davon, vor allem in Asien: die Großstädte in Vietnam, aber auch die taiwanische Hauptstadt Taipeh, dazu mit Abstrichen Städte wie Bangkok in Thailand oder Surabaya in Indonesien. Aus diversen historischen Gründen hat sich in diesen Städten ein Verkehr entwickelt, der besonders stark auf motorisierte Zweiräder setzt. Auch in Tokio, Singapur oder Hongkong gibt es einen höheren Anteil an Motorrollern als in vergleichbaren Städten Europas oder Amerikas. „Lehrbücher zum urbanen Transport aus westlichen Ländern erwähnen den Motorroller überhaupt nicht“, schreibt der Wissenschaftler Khuat Viet Hüng in seiner Dissertation zum Thema. Sobald auf 1.000 Einwohner mehr als 350 Motorroller kommen und die Zweiräder mehr als die Hälfte der Verkehrsteilnehmer stellen, definiert er eine Stadt als „motorradabhängig“. Einher geht das häufig mit einer im Gegenzug eher schwachen Infrastruktur für öffentliche Verkehrsmittel.

### DREI VIERTEL ALLER WEGE MIT DEM ROLLER

In Ho-Chi-Minh-Stadt, der südvietnamesischen Metropole, kommen auf 1.000 Einwohner sogar rund 700 Motorroller – und nur etwa 30 Autos. Etwa drei Viertel aller täglichen Wege werden mit dem Motorroller zurückgelegt, der Fußweg spielt mit sieben Prozent eine marginale, das Auto mit vier Prozent eine noch geringere Rolle. Wer zur Arbeit fährt, einkaufen oder „kurz mal zu Freunden um die Ecke“, der nutzt dafür den Roller. Auch wenn die Zahl der Autos in den vergangenen Jahren zugenommen hat, sprechen viele Faktoren gegen das Auto: Seitenstraßen sind eher schmal und schlecht zugänglich, Parkplätze sind Mangelware. Aus Angst vor dem Verkehrskollaps erhebt die vietnamesische Regierung zudem sehr hohe Fahrzeugsteuern.

Aber die Massenschwärme an Zweitaktern haben ebenfalls ihre Tücken: Sie sind laut, und ihre Benzinmotoren vergiften die Umgebung genauso wie Fahrzeuge auf vier Rädern. Auch in puncto Sicherheit schneiden die Roller vergleichsweise schlecht ab, in Vietnam kommen jährlich auf 100.000 Einwohner



75 %

aller Fahrten legen die Bewohner von Ho-Chi-Minh-Stadt mit dem Motorroller zurück



102

Stunden verbringen Autofahrer in Los Angeles pro Jahr im Stau. 64 in Bangkok, 44 in Berlin.



8,24 km/h

beträgt die Durchschnittsgeschwindigkeit im Auto zu Stoßzeiten in New York

24 Verkehrstote – in Deutschland sind es nur vier. Zusätzlich führt die Wendigkeit der Motorroller dazu, dass Fahrer sich durch die kleinste Lücke schlängeln und so auf ihre eigene Weise Staus und Verkehrschaos produzieren. Die Alternative aber sähe noch düsterer aus: Würde man die Motorroller durch Autos ersetzen, käme der Verkehr in diesen Städten komplett zum Erliegen. Gerade Nebenstraßen und kleinere Gassen so wie die Hanoi Altstadt sind mit Motorrollern erstaunlich gut zu erreichen, und diese verbesserte Erreichbarkeit fördert auch lokale Wirtschaftsmöglichkeiten. Geschäfte und Gastronomie brauchen Zugang.

### WIE ENTKOMMT DIE MENSCHHEIT DEM MEGA-STAU?

Aus diesem Blickwinkel sind die Motorrollerstädte in mancherlei Hinsicht den Automobilmetropolen sogar überlegen. Und sie könnten eine Antwort sein auf die Frage, die Wissenschaftler weltweit seit einiger Zeit umtreibt: Wie können Städte die Zahl ihrer Autos senken – und wie lässt sich verhindern, dass Städte in Schwellen- und Entwicklungsländern reihenweise in die gleiche Falle laufen, ihren Transport abhängig vom Automobil zu machen, inklusive der Probleme wie Staus und Umweltbelastung? Der durchschnittliche Bewohner in Los Angeles verbringt laut der jüngsten Studie der Verkehrsbeobachter von Inrix mehr als 100 Stunden seiner jährlichen Lebenszeit im Stau. In Städten wie São Paulo, Bogotá und London sehen die Zahlen nicht viel besser aus. Dagegen schneiden von Motorrollern dominierte Städte deutlich besser ab. Selbst während der Rushhour messen die Statistiker in Hanoi noch immer eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 20 Kilometern pro Stunde – manche amerikanischen Städte erreichen nicht einmal die Hälfte.

Weltweit entwickeln sich Städte in der jüngsten Vergangenheit in mehr und mehr motorisierte Städte. Darunter auch solche, die vor nicht allzu langer Zeit noch eine vergleichsweise arme Bevölkerungsstruktur und ein schlechtes Straßenangebot aufwiesen – beides Faktoren, die den Kauf von Autos verhinderten. Wo aber mehr und mehr Fahrzeuge die Straßen befahren, geraten



auch Optionen für den öffentlichen Nahverkehr in Schwierigkeiten. In São Paulo ist die Zahl mit dem Bus zurückgelegten Kilometer pro Kopf seit den 90er Jahren gesunken. Sind kleinere Fahrzeuge wie Motorroller ein möglicher Ausweg?

### VERNETZT UND SCHNELL – DER „SMARTSCOOTER“

Einen interessanten Ansatzpunkt liefert derzeit Taiwan. Die 23 Millionen Einwohner besitzen 14 Millionen Motorroller. Hier begann bereits 2008 der Einstieg von elektrischen Rollern. Anfangs lange Zeit mit nur mäßigem Erfolg, noch 2015 betrug die Zahl der verkauften E-Motorräder gerade einmal etwa 4.000 Stück im Jahr. Das Problem war laut Umfragen dabei weniger der Preisunterschied als die Schwachstellen im Leistungsvergleich: lange Ladezeiten, kurze Reichweiten und ein Problem bei steilen Anstiegen. Eine neue Generation an „Smartscootern“, zum Beispiel des taiwanischen Unternehmens Gogoro, will all das nun ändern. Neben verbesserter Leistung und der überzeugenden Idee, Batterien einfach zu wechseln anstatt aufladen zu müssen, werben diese Motorroller mit den Vorteilen moderner Vernetzungstechnologie – eine Vielzahl der Funktionen lässt sich per App auf dem Smartphone

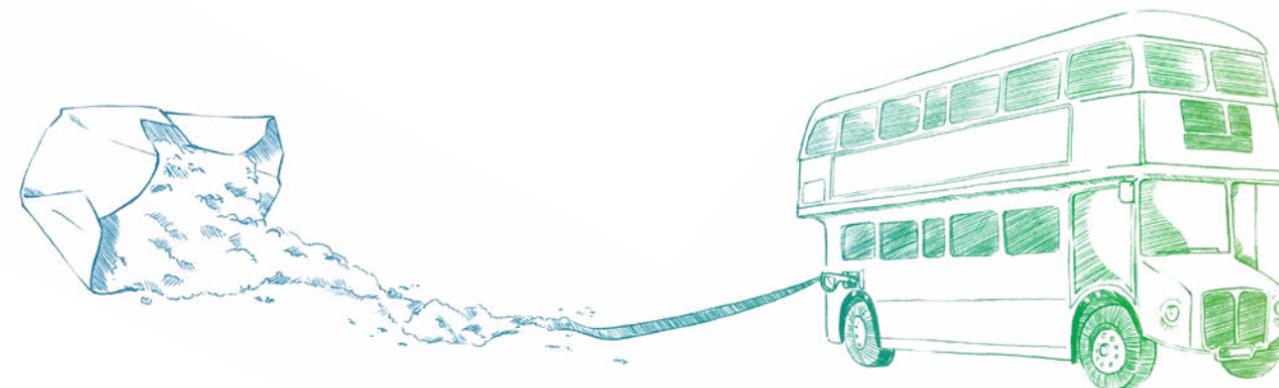
steuern, darunter die Suche nach der nächsten Batteriewechselstation, die Lautstärke der Motorgeräusche und sogar die Geschwindigkeit. Damit ist das Fahrzeug nicht nur umweltfreundlich, sondern auch modern und attraktiv für die jüngere Generation.

Was also wäre die Lösung für saubere Luft und fließenden Verkehr? Die Mischung wird es am Ende ausmachen: Verkehrswissenschaftler Khuat Viet Hüng plädierte bereits in seiner Dissertation 2006 für eine Stärkung des öffentlichen Nahverkehrs in den vietnamesischen Städten. So blieben die Mobilitätsvorteile der Motorroller erhalten, und die Nachteile ließen sich eingrenzen. Hinzu kommen die neuen Möglichkeiten von Big Data, Verkehrsanalyse und verkehrsleitenden Apps, von selbstfahrenden Taxis und Carsharing. Wer nun noch einen wachsenden Anteil an umweltfreundlichen Smartscootern und E-Bikes hinzurechnet, erhält eine erstaunlich nachhaltige Zukunftsvision. In jedem Fall sind Denker gefragt, die Verkehrsplanung der Zukunft entlang neuer Linien zu entwerfen. Die alten Visionen, laut denen mehr Verkehr einfach mehr Platz benötigt, führten zu sechsspürigen Straßen mit Autostaus wie in Amerika oder zu einem unentwirrbaren Knäuel von Zwei- und Vierrädern wie in vielen asiatischen Städten. Umdenken ist gefragt. Und warum nicht auch den Motorroller mitdenken, der in den westlichen Städten so eine seltene Erscheinung ist. ©



## AUS ALT WIRD ANDERS

Recycling gehört inzwischen längst zur Normalität. Zeitungen und Schreibblöcke aus Altpapier kennt jeder. Es gibt aber auch eine Möglichkeit, in die Jahre gekommene Produkte und Wertstoffe einer völlig neuen Verwendung zukommen zu lassen. Dieses Prinzip nennt sich Upcycling und lässt für die Industrie produzierte Gegenstände in einem völlig neuen Licht erscheinen.



Aus **Lkw-Planen** hergestellte Umhängetaschen sind ein bekanntes Beispiel einer solchen Wiederverwertung von gebrauchten Produkten. Statt sie einem Schicksal auf Mülldeponien zu überlassen, werden sie einer vollkommen neuen und modebewussten Bestimmung zugeführt.

Eine Firma aus Portugal hat Produkte aus der Automobilindustrie als Rohstoffe für ihre Schuhe entdeckt. So greift das Modelabel auf Nylon aus **Airbags** zurück. **Plastikflaschen** und Reifen verwertet es in einer gesonderten PET-Linie und verhilft den Produkten so zu einem etwas anderen Comeback. Auch eine Unternehmerin aus Äthiopien produziert in Handarbeit Schuhe, die zu einem Teil aus alten **Lkw-Reifen** bestehen. Die optisch ansprechenden Schuhe werden hauptsächlich ins Ausland exportiert und haben es schon bis nach New York geschafft.

Wenn es darum geht, den Treibstoff für Busse zu produzieren, dann gibt es seit Kurzem eine sehr spezielle Art des Recyclings. Einige der berühmten roten Londoner Busse fahren seit Ende 2017 mit einem Biotreibstoffgemisch, das auf **Kaffeesatz** basiert. Ein britisches Unternehmen sammelt im ganzen Land die in den Kaffeemaschinen von Kaffeehäusern oder Kantinen verbliebenen Reste, um sie mit anderen Fetten und Ölen zu einem neuartigen Biodiesel umzuwandeln.

Sogar Flugzeuge könnten irgendwann einmal mit einem speziellen Biotreibstoff in die Luft gehen. Zumindest hat dies ein internationales Forscherteam 2017 nachgewiesen. Dabei gewann es aus **Sauermolke**, das ein Abfallprodukt der Joghurt- und Quarkproduktion ist, ein rein biologisches Öl, das sich zu Treibstoff für Flugzeuge weiterverarbeiten lässt. Der Prozess kommt ohne teure Chemikalien aus. Der Sauermolke werden lediglich in zwei unterschiedlich stark erwärmten Bioreaktoren Bakterienkulturen hinzugefügt, wodurch sie sich zu einem wertvolleren Stoff recyceln lässt.

Selbst ausrangierte **Windräder** können sich in einer völlig neuen Umgebung wiederfinden. Deren Rotorblätter sind aufgrund ihres hohen Kohlefaseranteils schwierig zu recyceln. Ein niederländisches Unternehmen kam deshalb auf die Idee, sie in Rotterdam anderweitig wiederzuverwenden. Seit 2012 werden sie dort als Parkbänke genutzt und als futuristische Klettergerüste auf einem Spielplatz.

Und auch Freudenberg trägt mit seiner Sparte Freudenberg Performance Materials (FPM) seinen Teil zum Upcycling-Trend bei. Aus gebrauchten **PET-Flaschen** produziert FPM zusammenhängende Faserbällchen, die als Wattierung in die Skibekleidung eines norddeutschen Sportmodeherstellers eingearbeitet werden. Das Label zeichnet sich dadurch aus, dass es hochfunktionelle und nachhaltige sowie schadstofffrei produzierte Wintersportkleidung vertreibt. Sämtliche Beispiele zeigen: Upcycling hilft nicht nur moderne neue Produkte herzustellen, sondern zugleich den Abfall zu reduzieren. Ein Umdenken auf die schöne Art! ©



## ALTER INPUT

Der Mensch hat sich die Windkraft schon seit Jahrhunderten zunutze gemacht. In der Schifffahrt ohnehin, aber auch an Land. Windräder und Windmühlen erleichterten Arbeitsvorgänge enorm. Dank ihnen ließen sich Gebiete entwässern, Holz sägen sowie Öl, Getreide, Farben oder Gips mahlen. Zur bekanntesten Gattung zählt die klassische Holländerwind-



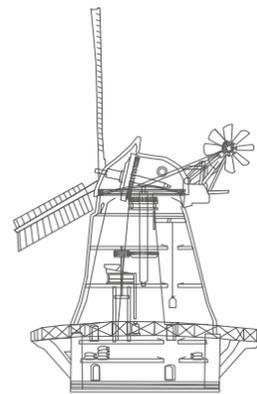
mühle, die ab dem 16. Jahrhundert ihren Siegeszug antrat. Deren Gebäude konnte bis zu 40 Meter hoch sein. Mit einer Flügelspannweite von über 20 Metern war sie in der Lage, bis zu 30 Kilowatt zu erzeugen. Mit der Industrialisierung schwand der Einfluss der Windmühlen, und im 19. Jahrhundert wurden sie mehr und mehr aufgegeben.



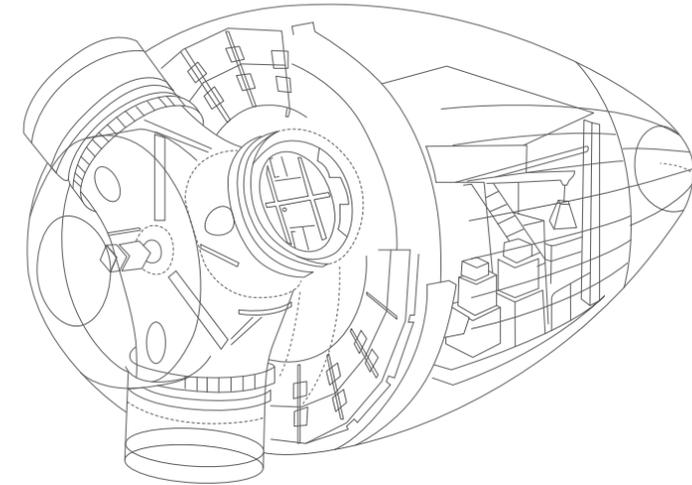
## NEUER OUTPUT

Im Jahr 1888 gab es jedoch einen ersten Fingerzeig, wozu Windmühlen noch gut sein könnten. Dann ließ der amerikanische Unternehmer Charles F. Brush die erste vollautomatische Windmühle errichten, die Strom erzeugte. Sie war knapp 30 Meter hoch und produzierte 12 Kilowatt. Auf der Suche nach alternativen Energieressourcen erlebte die Windenergie ab den 1980er Jahren eine

Renaissance. Der technologische Fortschritt erlaubt den Bau immer größerer Anlagen, die immer mehr Strom erzeugen. Die derzeit leistungsstärkste Anlage kann mit 180 Metern Rotordurchmesser 8 Megawatt produzieren. Bald sollen Windkraftanlagen mit einer Gesamthöhe von über 200 Metern Normalität sein. Für 2021 ist eine Offshore-Anlage angekündigt, die 12 Megawatt liefern soll. ©



**KLASSISCHE  
HOLLÄNDERWINDMÜHLE**  
Höhe: bis zu 40 Meter  
Flügel Durchmesser: bis zu 30 Meter  
Leistung: bis zu 30 Kilowatt  
Drehbeginn: 5–6 m/s



**MODERNE WINDENERGIEANLAGE (ENERCON E-126)**  
Höhe: 135 Meter  
Rotordurchmesser: 127 Meter  
Leistung: 7.580 Kilowatt  
Einschaltgeschwindigkeit: 3 m/s

**WEISSES GOLD**

Der Salar de Uyuni in Bolivien ist der größte Salzsee der Welt. Er beherbergt zugleich enorme Lithiumreserven.



## BACKE BACKE AKKU

Man nehme zehn Kilo Lithium und 16 Kilo Kobalt, rühre gut um und hat dann Reichweite für 500 Kilometer? Ganz so einfach ist die Akkuproduktion nicht – auch weil entscheidende Rohstoffe knapp werden könnten.

Fast wäre die industrielle Revolution ausgefallen. Zwar hatte sich in England bis zum Beginn des 18. Jahrhunderts eine technische Hochkultur entwickelt, die nicht nur im Schiffbau, sondern auch in der Eisenverarbeitung Weltruhm besaß. Doch dann wurde der wichtigste Rohstoff knapp: Holz. Und damit die Holzkohle, für den Betrieb von Eisenhütten bis dato unerlässlich. Mancher Zeitgenosse sprach von einer ernsthaften Bedrohung der Zivilisation. Ähnliche Diskussionen werden zu Beginn des 21. Jahrhunderts über die Elektromobilität geführt: Jetzt, wo der Durchbruch greifbar erscheint, treten vermehrt Kritiker auf und prophezeien eine baldige Knappheit entscheidender Rohstoffe. Denn für Elektromotoren werden Metalle der seltenen Erden benötigt, für Lithium-Ionen-Akkus neben dem Lithium einige rare Materialien, vor allem Kobalt. Eine Vielzahl wissenschaftlicher Studien kommt zu differenzierten Ergebnissen, die – meist stark verkürzt – zu alarmierenden Schlagzeilen führen.

### ZEHN KILO LITHIUM IN EINEM AKKU

Akut von Rohstoffknappheit bedroht scheint vor allem der Energiespeicher an Bord. Denn trotz intensiver Forschungstätigkeit ist offenbar derzeit nur ein einziges Prinzip großserientauglich: der Lithium-Ionen-Akku, dessen technische Grundlagen in den 1980er Jahren gelegt wurden. Lithium, das im Periodensystem an dritter Stelle steht, ist nicht nur das leichteste aller festen Elemente, sondern besitzt in ionisierter Form auch eine sehr hohe elektrische Ladungsdichte – und

damit ideale Voraussetzungen für die Verwendung in einem mobilen Energiespeicher. Lithium stellt das eigentlich aktive Material im Akku dar und wird deshalb auch in relativ hoher Menge benötigt: Je nach Zusammensetzung der Kathode – der „Garage“ für die Lithium-Ionen – finden sich dort 111 bis 139 Gramm pro Kilowattstunde Akkukapazität. Legt man einen Akku mit 75 Kilowattstunden zugrunde, wie er für große, langstreckentaugliche Fahrzeuge verwendet wird, führt dieser mehr als zehn Kilo Lithium mit sich. Selbst die vielversprechendsten Alternativen zur heutigen Bauweise, der Festkörperakku und die Lithium-Schwefel-Batterie, kommen nicht ohne das Metall aus, im Gegenteil: Um die gleiche Energiedichte zu erreichen, müsste vermutlich sogar mehr Lithium pro Kilowattstunde eingesetzt werden.

Eine im letzten Jahr in der Fachzeitschrift „Joule“ veröffentlichte Metastudie, die die Ergebnisse vieler anderer Studien zusammenfasst und bewertet, zeigt aber, dass eine Lithium-Verknappung mittelfristig wohl nicht zu befürchten ist. Forscher des Massachusetts Institute of Technology sowie drei weiterer US-amerikanischer Einrichtungen haben den Rohstoffbedarf anhand verschiedener Marktszenarien berechnet und dabei jenseits des Elektroautos auch Drohnen und stationäre Energiespeicher betrachtet. Ihr Fazit: Es sei angesichts der heute schon wirtschaftlich zu fördernden Reserven von bis zu 40 Millionen Tonnen „unwahrscheinlich“, dass es zu einer mengenmäßigen Verknappung komme. Sie verweisen darauf, dass laufend weitere Ressourcen entdeckt würden und es prinzipiell



**KOBALT**  
Als Nebenprodukt der Kupfer- und Nickelgewinnung spielt Kobalt in der Produktion von Batteriezellen eine wichtige Rolle.

auch möglich sei, Lithium aus dem Meer zu gewinnen. Viel kritischer schätzen die Autoren der Studie die Lage bei Kobalt ein. Wörtlich schreibt das Team um Elsa Olivetti: „Die Versorgung mit Kobalt ist potenziell gefährdet.“ Das Element kommt ebenfalls an der Kathode des Akkus zum Einsatz, es bindet die dort geparkten Lithium-Ionen. Man braucht zwar weniger Kobalt- als Lithium-Atome für eine funktionierende Batterie, aber da „Co“ eine zehnfach höhere Atommasse als „Li“ besitzt, kommen doch erhebliche Mengen zusammen: In einem 75-kWh-Akku aktueller Generation sind es etwa 16 Kilogramm.

Anders als Lithium wird Kobalt bis heute nicht direkt gefördert. Es handelt sich in der Regel um ein Nebenprodukt der Kupfer- oder der Nickelgewinnung. Während der Weg über den Nickelbergbau den Forschern wenig Sorgen macht, sehen sie den Kupferpfad kritisch: Fast das gesamte so gewonnene Kobalt, also derzeit rund 50 Prozent des Weltmarktangebots, stammt aus der Republik Kongo. Doch selbst wenn das zentralafrikanische Land, früher „Zaire“ genannt, politisch stabil bliebe, sind damit nicht alle Risiken gebannt. Denn vor der Verwendung in einer Batterie muss das Material aufbereitet werden – und das passiert heute vorwiegend in China. Diese Lieferkette ist es denn auch, die den Autoherstellern Sorgen bereitet. BMW und Volkswagen haben bereits angekündigt, sich über langfristige Lieferverträge selbst um eine sichere Kobaltversorgung kümmern zu wollen oder gar nicht in die Produktion von Batteriezellen einzusteigen. Neben der langfristigen Belieferung sollen auch ethische Standards, etwa zum Verbot von Kinderarbeit, in die Verträge einfließen.

### WERTVOLLES RECYCLING

Den Rohstoffbedarf deutlich verringern könnte auch ein funktionierendes Recycling von Altbatterien. Zwar ist der Akku eines Elektroautos kein Wegwerfprodukt. Auch nach 200.000 Kilometern soll er noch 75 bis 80 Prozent seiner ursprünglichen Kapazität aufweisen. In stationären Anwendungen könnten die Akkus, in Reihe geschaltet, überschüssigen Solar- oder Windstrom speichern – ein Geschäftsmodell, das sich derzeit noch in der Erprobung befindet. Das stoffliche Recycling ist technisch hingegen bereits ausgereift, wie der belgische Rohstoffkonzern Umicore mit einer Demonstrationsanlage in Antwerpen zeigt. Der Prozess besteht aus drei aufeinanderfolgenden Schritten. Zunächst gilt es, die Batterie zu demontieren, wobei großflächige Bauteile – etwa das aus Stahl oder Aluminium bestehende Gehäuse und die Kupferleitungen – direkt einem stofflichen Recycling zugeführt werden.

### „DIE VERSORGUNG MIT KOBALT IST POTENZIELL GEFÄHRDET.“

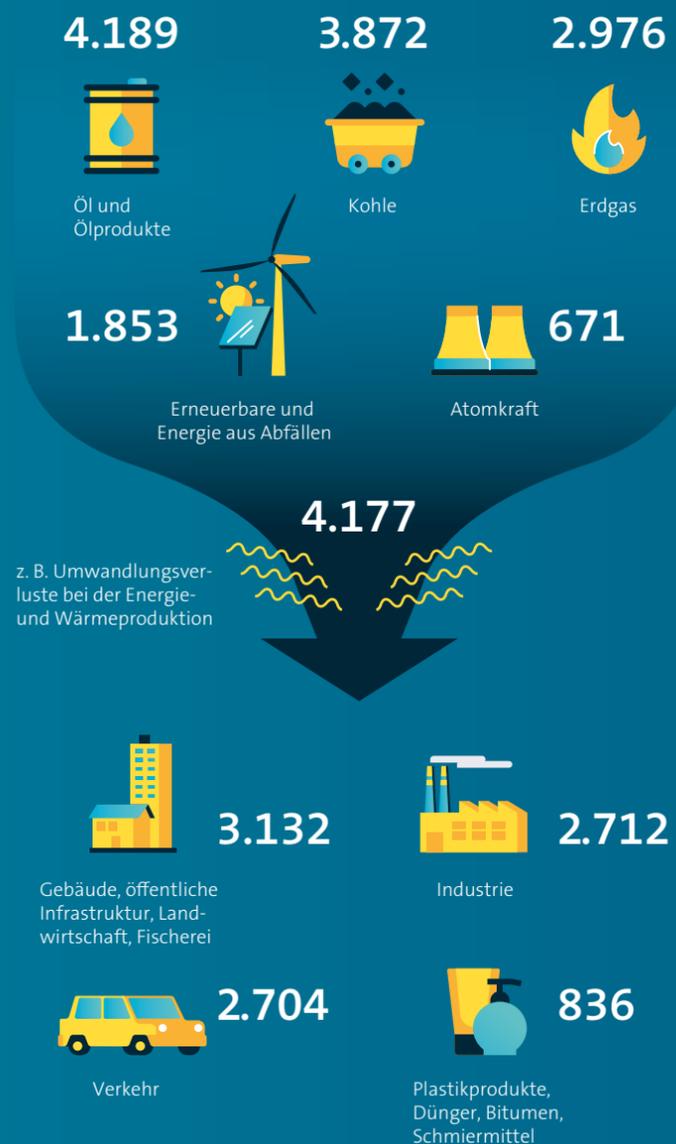
Die in Modulen zusammengefassten Zellen werden hingegen in einem Hochofen bei hohen Temperaturen eingeschmolzen. Die Rückgewinnung der metallischen Wertstoffe Kobalt, Kupfer und Nickel ist dabei relativ einfach zu realisieren, da sich aufgrund unterschiedlicher Schmelzpunkte und Dichten gut zu trennende flüssige Metallphasen bilden. Mehr als 95 Prozent des in einem Akku enthaltenen Kobalts können laut Umicore auf diesem Weg wiedergewonnen werden. Zurück bleibt eine Schlacke, die überwiegend aus Lithium, aber auch aus Rückständen von Aluminium und Eisen besteht. Verarbeitet wird sie in einem weiteren Prozessschritt, der vor allem dazu dient, das Lithium zurückzugewinnen. Auch wenn langfristig hohe Recyclingquoten nicht kurzfristige Lieferengpässe beseitigen können, haben sie einen zweiten positiven Effekt: Sie verringern nach Einschätzung des Umicore-Experten Christian Hagelücken den Energieaufwand für die Produktion der Batterie um 50 Prozent. Relevant ist das vor allem, weil die Akkuproduktion etwa die Hälfte der gesamten CO<sub>2</sub>-Bilanz eines Elektroautos ausmacht, wenn dieses nur mit Grünstrom betrieben wird.

Höhere Recyclingquoten oder sogar völlig kobaltfreie Batterien: Gerade die drohende Knappheit einzelner Rohstoffe bietet Chancen für findige Unternehmer. So wie 1730, als Abraham Darby den Betrieb seines Vaters übernahm und die Eisenerzverarbeitung von Holzkohle auf Koks umstellte, den er in einem Pyrolyse-Verfahren aus Steinkohle gewann. Damit erst gab er der industriellen Revolution den benötigten Schwung, unter anderem weil nun unbedingt Dampfmaschinen benötigt wurden, die das eindringende Grundwasser aus den Kohlebergwerken pumpten. ©

# ZAHLEN UND FAKTEN ZUM THEMA ENERGIE

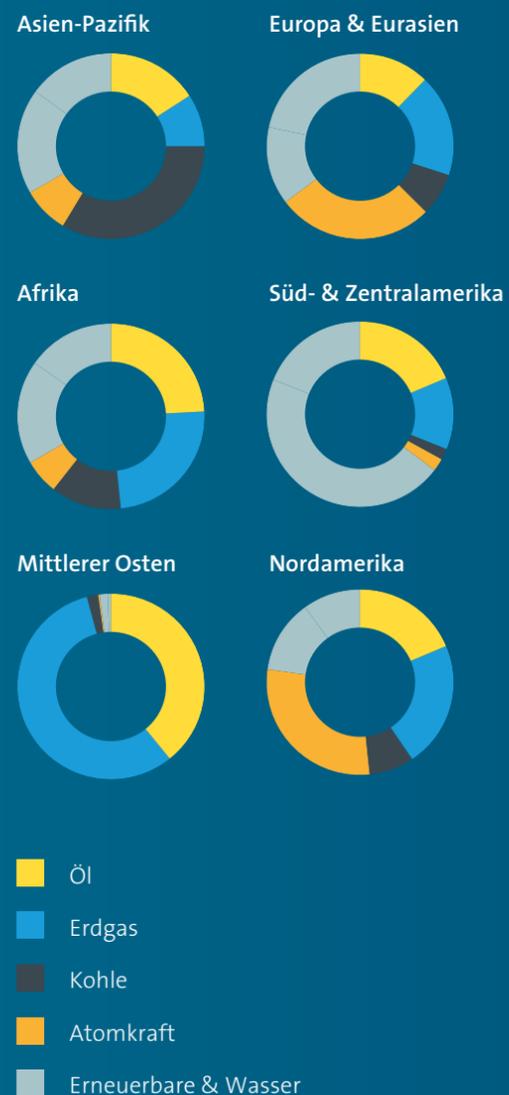
## GESAMTÜBERBLICK: WIE VIEL ENERGIE VERBRAUCHT DIE WELT FÜR WELCHE ZWECKE?

2015, in Millionen Tonnen Öleinheiten



Quelle: Internationale Energieagentur (IEA)

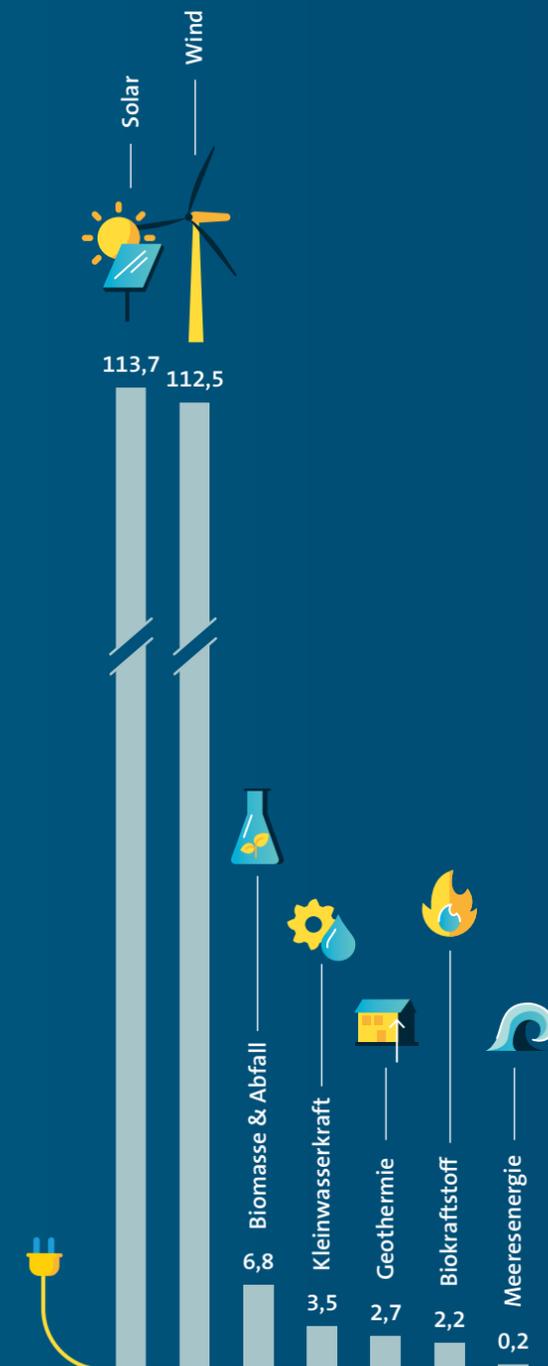
## WELCHE WELTREGION VERBRAUCHT WELCHEN ENERGIETRÄGER?



Quelle: BP Statistical Review of World Energy June 2017

## IN WELCHE TECHNOLOGIEN DER ERNEUERBAREN ENERGIEN WURDE 2016 INVESTIERT?

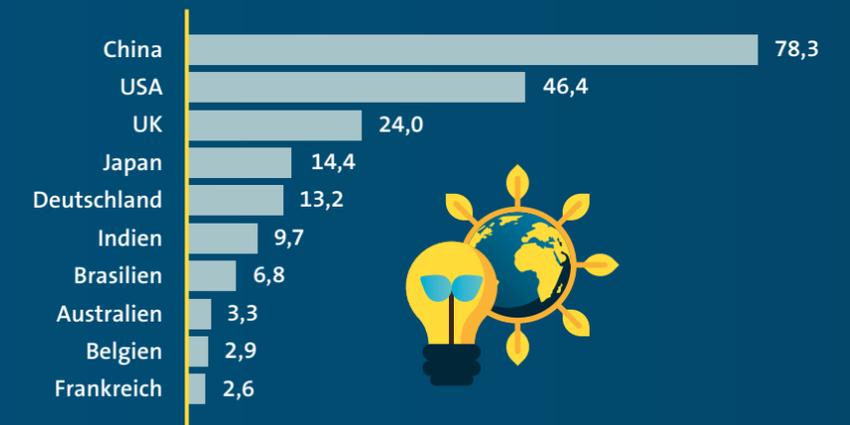
in Milliarden US-Dollar



Quelle: Bloomberg New Energy Finance, über Statista

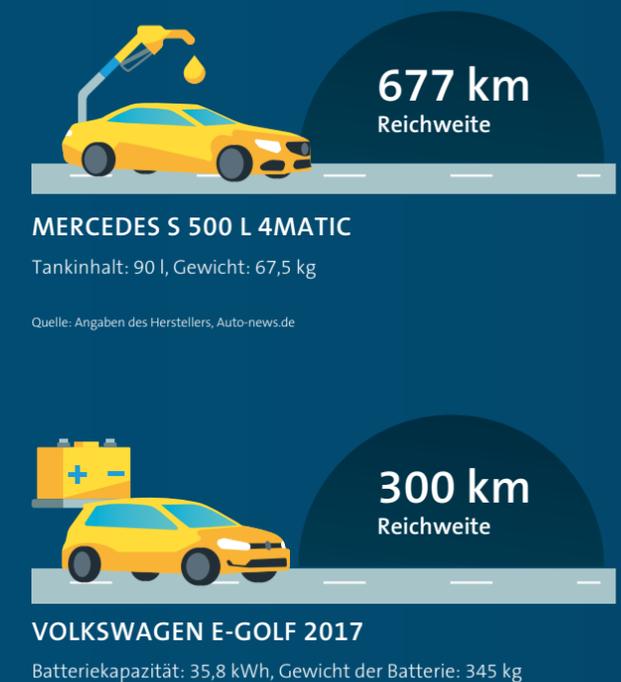
## WELCHE LÄNDER HABEN 2016 AM MEISTEN IN ERNEUERBAREN ENERGIEN INVESTIERT?

in Milliarden US-Dollar



Quelle: BP Statistical Review of World Energy June 2017

## VERGLEICH ZUR UNTERSCHIEDLICHEN ENERGIEDICHTE VON BENZIN UND BATTERIE



Quelle: Angaben des Herstellers



# SONNE RUND UM DIE UHR

Die Solarenergie boomt. Doch für eine kontinuierliche Versorgung ist die Photovoltaik zu stark von Tageszeiten und Wetter abhängig. Kraftwerke in der Wüste liefern hingegen Strom rund um die Uhr.

In Lissabon passiert es im Februar, in Berlin im März und in Oslo im April. Am ersten schönen Frühlingstag schwärmen die Menschen ins Freie und setzen sich in den Straßencafés an eilig herbeigeholte Tische. „Endlich hat die Sonne wieder Kraft“, der Gedanke macht froh – auch wenn er aus physikalischer Sicht nicht zutrifft. Denn die Sonne liefert kontinuierlich die gleiche Menge Energie. Exakt 1,367 Kilowatt pro Quadratmeter beträgt die Solarkonstante, und zwar an jedem Punkt der Erdatmosphäre, im Winter genauso wie im Sommer. Was sich mit den Jahreszeiten ändert, sind die Dauer der Sonneneinstrahlung – also die Länge des Tages – sowie der Weg, den die Sonnenstrahlen durch die Atmosphäre bis zur Erdoberfläche zurücklegen müssen. Ist der besonders weit, weil die Sonne nur knapp über den Horizont steigt, geht ein Teil der eingestrahelten Energie verloren. Auch bei wolkenlosem Himmel absorbieren und reflektieren Moleküle und Schwebeteilchen einen Teil der Photonen. Wenn dann noch dicke Wolken aufziehen, kommt unten nur noch ein Bruchteil an. Weltweit im Tagesdurchschnitt sind es 165 Watt pro Quadratmeter. Doch nach Berechnungen der Vereinten Nationen übersteigt selbst dieser Rest den gesamten Energiebedarf der Menschheit um das 9.000-Fache.

Dass man mithilfe von Halbleitern Strom aus Licht herstellen kann, sagte Albert Einstein bereits 1905 voraus – die theoretische Geburtsstunde der Photovoltaik. Lange blieb es Utopisten vorbehalten, eine wirtschaftliche Nutzung der Solarenergie zu propagieren. Doch rasanter technischer Fortschritt hat in den vergangenen 20 Jahren zu einem Preisverfall der Solarzellen geführt. Die Internationale Energieagentur geht davon aus, dass bis zum Jahr 2022 weltweit Photovoltaikanlagen mit einer Kapazität von rund 740 Gigawatt installiert sind. Doch ein Grundproblem der Photovoltaik bleibt: Geerntet werden kann nur die am Boden ankommende Sonnenenergie – und die schwankt eben mit der Tages- und der Jahreszeit. Schon seit den 1970er Jahren arbeiten vor allem deutsche und US-ameri-

kanische Forscher an einer Alternative zur Photovoltaik, den solarthermischen Kraftwerken. Im Kern beruhen sie auf der gleichen Idee wie die Dusche, die in manchem Kleingarten ohne Stromanschluss installiert wird: Tagsüber sorgt die Sonneneinstrahlung auf einen Behälter dafür, dass sich das darin befindende Wasser erwärmt.

Um mit diesem Prinzip in einem Kraftwerk Strom erzeugen zu können, muss der Aufbau etwas modifiziert werden. Statt des Duschkopfs kommt eine Dampfturbine zum Einsatz, die einen Generator in Schwingung hält. Und statt Wasser direkt zu erhitzen, kommt ein Öl mit hoher Wärmekapazität zum Einsatz, das die Energie anschließend über einen Wärmetauscher weitergibt. Um das Öl sehr stark zu erhitzen, muss das einfallende Sonnenlicht konzentriert werden, was auf zwei Wegen möglich ist: Entweder wird es durch lange Parabolspiegel geleitet, oder man stellt auf einer großen Fläche viele Spiegel auf, die das Sonnenlicht auffangen und auf einen einzigen, vom Öl durchflossenen Punkt reflektieren. Dieser Punkt muss hoch über der Erde liegen, in einem eigens dafür gebauten Turm. Beide Anlagentypen sind bereits erprobt, wobei die Parabolspiegeltechnik den höheren Reifegrad erreicht hat. Um den maximalen Brennglaseffekt zu erreichen, sind die Spiegel stets verstellbar. Die dafür notwendige Hydraulik liefert beispielsweise das spanische Maschinenbauunternehmen Hine Renovables, das weltweit bereits 38 solarthermische Kraftwerke ausgerüstet hat. Seit 2017 gehört das Unternehmen zum Kundenkreis von Freudenberg Sealing Technologies.

Verglichen mit der Photovoltaik handelt es sich bei solarthermischen Kraftwerken noch um einen kleinen Markt. Dem Netzwerk „Ren 21“ zufolge waren Ende 2016 weltweit nur 4,8 Gigawatt installiert. „Dennoch bietet diese Technologie große Chancen“, sagt Andoni Zozaya, der den Vertrieb von Freudenberg Sealing Technologies im Solarland Spanien verantwortet. „Wegen ihrer Grundlastfähigkeit unterstützen immer mehr Länder den Aufbau solarthermischer Kraftwerke.“ So entsteht in Marokko derzeit das Kraftwerk Noor mit einer Leistung von 580 Megawatt. Der erste Anlagenteil – über den in der kommenden Ausgabe von ESSENTIAL berichtet werden wird – ist seit 2016 in Betrieb. Der Ort wurde mit Bedacht gewählt: In Ouarzazate, rund 200 Kilometer südöstlich von Marrakesch, scheint die Sonne mit wenigen Ausnahmen 365 Tage im Jahr. ©

## STROM AUS DER WÜSTE

In Ouarzazate, 200 Kilometer von Marrakesch entfernt, scheint die Sonne fast 365 Tage im Jahr.



# STROM KLIMAFREUNDLICH TRANSPORTIEREN

In den Schaltanlagen von Verteiler- und Umspannwerken kommt heute ein Gas als Isolator zum Einsatz, das 22.800 Mal klimaschädlicher ist als CO<sub>2</sub>. Jetzt erproben die Entwickler Alternativen – mit Gasen, die besonders hohe Anforderungen an die Dichtungen stellen.

Auf den ersten Blick ist der Plan für eine klimaneutrale Zukunft ganz einfach. Da sich erneuerbarer Strom aus Wind, Sonne und Wasser nicht immer dort erzeugen lässt, wo die Verbraucher sind, wird er über leistungsstarke Netze transportiert und dient dabei auch als Energiequelle für den Verkehrs- und den Wärmesektor. Doch damit dies verlustarm funktioniert, muss der Strom unter möglichst hoher Spannung durch das Netz fließen und deswegen in Umspannanlagen mehrmals transformiert werden. Um das Netz dabei zu steuern, werden Stromkreise in Schaltanlagen zu- und abgeschaltet.

## SCHUTZGAS VERHINDERT LICHTBOGEN

Mit dem Netzausbau entstehen solche Anlagen zunehmend in urbanen Räumen, in denen nur wenig Platz zur Verfügung steht. Um die in den Verteiler- und Umspannwerken enthaltenen Schaltanlagen möglichst kompakt auszuführen, sind die Schalter für Hoch- und Mittelspannung gasdicht gekapselt. Wenn ein Schalter geöffnet wird und die Metallkontakte sich voneinander entfernen, dann sorgt ein spezielles Gas im Inneren

des Schalters dafür, dass sich die Ladung rasch voneinander trennt und kein Überschlag in Form eines Lichtbogens entsteht. Und wenn dies doch einmal der Fall sein sollte, dann löscht das Gas den Lichtbogen, sodass die Schaltung sicher funktioniert.

Ein Schutzgas, das diese Anforderungen besonders gut erfüllt, ist Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>). Es wird unter hohem Druck in die Schalter gefüllt und hat dann als Isolierwerkstoff eine sehr hohe, sogenannte „Durchschlagfestigkeit“ – das komprimierte Gas kann die elektrische

Ladung auch unter Hochspannung sicher voneinander trennen. Außerdem löscht es einen möglicherweise entstehenden Lichtbogen sofort. Ein SF<sub>6</sub>-Molekül besteht aus einem Schwefelatom und sechs Fluoratomen und ist relativ groß. Auch das ist von Vorteil, denn das Molekül wandert deswegen nur sehr ungern durch Gummi hindurch – also auch durch die O-Ringe und Spezialdichtungen, die beispielsweise den Durchgang der Stromleitungen durch das Gehäuse eines Schalters abdichten. Freudenberg Sealing Technologies hat Dichtungen entwickelt, mit denen das Schutzgas über viele Jahre im Schalter verbleibt. Erst wenn der Gasdruck im Schalter unter eine bestimmte Schwelle sinkt, muss im Zuge einer Wartung neues SF<sub>6</sub> nachgefüllt werden.

Das Schutzgas hat aber auch einen großen Nachteil. Denn es ist um den Faktor 22.800 klimaschädlicher als CO<sub>2</sub>. Fachleute bezeichnen das klimaschädliche Potenzial auch als Global Warming Potential (GWP). Und auch wenn das Gas nur langsam durch den Dichtungswerkstoff wandert: Früher oder später gelangt es doch in die Atmosphäre. In einer Verordnung zur Verringerung von fluorierten Treibhausgasen hat die EU deshalb 2014 die verfügbaren Mengen an Gasen wie

SF<sub>6</sub> schrittweise beschränkt und damit die Suche nach Alternativen motiviert. Inzwischen sind etwa eine Handvoll möglicher Stoffe identifiziert, die alle auf CO<sub>2</sub> basieren und teilweise mit weiteren Komponenten angereichert werden. Sie sind weitaus klimafreundlicher, haben aber auch einen großen Nachteil: Sie wandern viel leichter durch den Dichtungswerkstoff. „Das ist wie bei einem Luftballon“, erklärt Dr. Robert Rotzoll, Materialentwickler bei Freudenberg Sealing Technologies, den Vorgang der Permeation. „Am Anfang ist er prall gefüllt, doch über die Zeit entweicht die Luft oder das Helium durch die Gummioberfläche.“

## NEUE HERAUSFORDERUNGEN FÜR DICHTUNGEN

Damit war die Aufgabe für die Materialentwickler von Freudenberg Sealing Technologies definiert. „Die Kunst liegt darin, einen Werkstoff so zu gestalten, dass er den Spagat zwischen allen Anforderungen schafft“, erläutert Rotzoll. In diesem Fall bestand dieser Spagat vor allem in einer möglichst geringen Permeation bei einem gleichzeitig möglichst weiten Temperaturfenster von minus 50 bis über 100 Grad Celsius. Denn

die Schaltanlagen sollen sich auch für kalte Weltregionen wie zum Beispiel Skandinavien oder Sibirien eignen. Gleichzeitig muss der Dichtungswerkstoff eine hohe Lebensdauer haben und zu diesem Zweck gegenüber aggressiven Medien wie zum Beispiel Sauerstoff und Ozon beständig sein, die von außen auf die Dichtung einwirken.

In mehrjähriger Entwicklungsarbeit fanden Rotzoll und seine Kollegen nun zwei Werkstoffe, die die höheren Anforderungen an die Permeation erfüllen, ohne Einbußen bei der Temperaturbeständigkeit hinnehmen zu müssen. Während der eine Werkstoff auf EPDM-Basis entwickelt wurde, verwendet die zweite Lösung einen Synthesekautschuk auf Chlorbutyl-Basis (CIIR) – ein Material, das sich durch eine geringe Durchlässigkeit gegenüber Gasen und Flüssigkeiten auszeichnet und das deswegen unter anderem in der Reifenindustrie zum Einsatz kommt. „Die neuen O-Ringe für klimafreundliche Alternativgase sind fertig entwickelt, und die Dichtungen auf Chlorbutyl-Basis haben wir bereits in Prototypen-Schalter eingebaut“, berichtet Rotzoll. „Jetzt geht es darum, sie gemeinsam mit unseren Kunden zu testen.“ Gelingen die Tests, dann lässt sich klimafreundlich erzeugter Strom künftig noch klimafreundlicher transportieren. ©

STROM AUS ERNEUERBAREN ENERGIEN  
muss unter möglichst hoher Spannung durch ein „leitungsstarkes“ Netz  
fließen und dabei in Umspannanlagen transformiert werden.





## MEHR ALS HEISSE LUFT

Strom aus Gaskraftwerken gilt als klimafreundliche Alternative zur Kohlekraft und als Partner der erneuerbaren Energien. Trotzdem spielt sie noch immer eine untergeordnete Rolle im Energiemix. Warum eigentlich?



Am 11. Mai 2011 war es geschafft: Der TÜV attestierte dem neu erbauten Block 4 des Gaskraftwerks Irsching an der Donau den Weltrekord. Mehr als 60 Prozent der eingesetzten Primärenergie verwandelt die gewaltige Gasturbine in Kombination mit nachgeschalteten Dampfturbinen in Strom. Spitzentechnologie, reif für den Export in die Welt. Nur wenige Jahre später kämpft der Betreiber, die aus dem EON-Konzern hervorgegangene Uniper AG darum, das gesamte Kraftwerk stillzulegen. Die technisch einwandfrei funktionierenden Turbinen stehen, es laufen Millionenverluste auf. Die Regulierungsbehörden untersagen es aber, das Kraftwerk endgültig vom Netz zu nehmen. Als Teil der sogenannten „Kaltreserve“ soll es betriebsbereit bleiben, um die Netzstabilität zu sichern, wenn Anfang des kommenden Jahrzehnts die letzten Kernkraftwerke im Süden des Landes ausgemustert werden. Weiter am Netz sind hingegen Braunkohlekraftwerke, sie erzeugen mehr als 22 Prozent des deutschen Stroms – und mit jeder Kilowattstunde rund doppelt so viel Kohlendioxid wie ein Gaskraftwerk.

Schon als Irsching ausgebaut wurde, priesen die Vordenker der Energiewende das Gas aus der Erde als die optimale Ergänzung für eine Stromerzeugung, die überwiegend auf launenhaftem Sonnen- und Windstrom basiert. 2007 legten Peter Henicke und Manfred Fischedick, die Leiter des renommierten Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt und Energie, einen einfachen Masterplan vor: Deutschland solle künftig den Energieverbrauch um 15 Prozent drosseln, 50 Prozent der Energie aus Erneuerbaren und 35 Prozent mithilfe von Erdgas erzeugen. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen würden sich dadurch um 85 Prozent verringern lassen. Tatsächlich setzte die Energiewirtschaft, vor allem die Stadtwerke, auf den Neubau von Gaskraftwerken. Düsseldorf übertrumpfte im Jahr 2016 mit dem Block „Fortuna“ sogar den bayerischen Weltrekord. Auch aus wirtschaftlicher Sicht schien es sinnvoll, auf Gaskraftwerke zu setzen. Da ein Großteil der Energie, mit der die Stromgeneratoren angetrieben werden, direkt aus dem Verbrennungsgas und nicht aus träge reagierenden Dampfprozessen stammt, können Gasturbinen flexibler auf eine schwankende Nachfrage reagieren, als dies bei der Kohleverbrennung der Fall ist.

Wer verstehen will, warum trotzdem fast dreimal so viel Strom aus Kohle wie aus Erdgas erzeugt wird, muss sich damit beschäftigen, wer in Deutschland darüber entscheidet, wann und wo Strom überhaupt produziert wird – und wer dabei Vorfahrt hat. Und das sind vor allem die Übertragungsnetzbetreiber, vier

SPITZENTECHNOLOGIE  
Gewaltige Turbinen sorgen dafür,  
Primärenergie in Strom zu verwandeln.

an ihrer Zahl. Sie tragen die Verantwortung für ein stabiles Stromnetz im jeweiligen Versorgungsgebiet. Keine leichte Aufgabe, denn dafür müssen Stromangebot und -nachfrage im Netz immer auf dem gleichen Niveau bleiben. Schon geringfügige Abweichungen führen dazu, dass sich die Frequenz des Wechselstroms – sie beträgt beispielsweise in Deutschland 50 Hertz – verändert. Gerät sie nachhaltig aus dem Takt, bricht innerhalb von Sekunden das komplette Netz zusammen. Früher, als nur wenige Kraftwerke Strom in das Netz einspeisten, war es einfacher, die optimale Frequenz zu halten. Doch im Jahr 2017 stammte bereits jede dritte Kilowattstunde aus regenerativen Quellen. Der Nachteil aus Sicht der Übertragungsnetzbetreiber: Der Grünstrom hat immer Vorrang im Netz, doch wie viel Strom tatsächlich erzeugt wird, hängt überwiegend vom Wetter ab. Ausgefeilte Prognosemodelle sollen die Kalkulation erleichtern, doch letztlich hilft nur permanentes Nachsteuern.

### „MERIT ORDER“ BENACHTEILIGT MODERNE GASKRAFTWERKE

Der Strom, der zwar verbraucht, nicht aber durch die Erneuerbaren bereitgestellt werden kann, wird nach einem gesetzlich festgelegten Verfahren zugekauft, der sogenannten „Merit Order“. Es besagt vereinfacht, dass der Strom von den Anbietern zu beziehen ist, die am billigsten sind. Bieten mehrere Erzeuger ihre Kapazität an, dann erhalten, beginnend mit dem niedrigsten Angebot, stufenweise alle Anbieter den Zuschlag, bis die Nachfrage komplett gedeckt ist. Für den Stromkunden durchaus von Vorteil, benachteiligt das Verfahren die modernen Gaskraftwerke, denn die Erzeugungskosten sind, auf die Kilowattstunde gerechnet, deutlich höher als die Stromgewinnung aus abgeschriebenen Kohlekraftwerken.

Energiepolitiker waren lange der Meinung, diesen Nachteil durch den Handel mit CO<sub>2</sub>-Emissionsrechten auffangen zu können. Da die Betreiber von fossilen Kraftwerken für jede ausgestoßene Tonne CO<sub>2</sub> ein zugeteiltes Zertifikat nutzen oder über die Börse ein Zertifikat zukaufen müssen, so die Idee, werden die Kosten des Klimawandels „internalisiert“. Doch die Europäische Union, zuständig für die Zertifikatezuteilung, hatte sich verkalkuliert: Der große Erfolg der Erneuerbaren führte zu einem Preisverfall der Zertifikate, zwischenzeitlich fielen sie auf weniger als fünf Euro für das Recht, eine Tonne CO<sub>2</sub> zu emittieren. Mittlerweile hat die EU den Handel reformiert und die Zertifikate verknappt. Nicht ausreichend, sagen einige Kritiker. Aber zumindest ist der Börsenkurs seit Anfang März wieder zweistellig. Im Jahr 2018 könnte Experten zufolge die Stromgewinnung aus Erdgas erstmals die aus der Steinkohle übersteigen. ©



---

# WASSERKRAFT

---

Wasserkraft ist heute mehr als nur die Stromerzeugung in Stauseen. Während futuristische Wellenkraftwerke noch im Prototypen-Stadium sind, kommerzialisieren sich Gezeitenkraftwerke allmählich. Dabei nutzen Strömungsturbinen am Meeresboden die Bewegungsenergie von Ebbe und Flut und fangen sie wie ein Windrad auf.

WASSERKRAFT  
Sie erinnern ein wenig an Seeschlangen. Diese bis zu 150 Meter langen Konstruktionen nutzen die Wellenbewegung von Meeren, um Energie zu gewinnen.

Fast immer ist es die Sonne, die uns erneuerbare Energie liefert. In Photovoltaikanlagen wandeln Siliziumzellen das Sonnenlicht direkt in Strom um, die Solarthermie nutzt Sonnenenergie zur Warmwasserbereitung, und auch der Wind wird von der Erdrotation und der ungleichen Aufheizung von Landmassen und Meeren durch die Sonne verursacht. In den letzten Jahren ist allerdings eine erneuerbare Energieform entstanden, die auch den Mond als Energiequelle nutzt. Denn die Gravitationskräfte des Erdtrabanten sind neben denen der Sonne die Hauptursache für Ebbe und Flut. Gezeitenkraftwerke nutzen die Bewegungsenergie des Meerwassers und fangen sie mit ihren Rotoren wie eine Windkraftanlage unter Wasser auf, um die Rotationsbewegung dann in elektrischen Strom umzuwandeln. Dabei sind die Gezeiten sehr gut planbar, nach Ebbe und Flut kann man die Uhr stellen. Dadurch ist auch die Stromproduktion sicher vorhersagbar – anders als bei fast allen anderen erneuerbaren Energien, die meist vom Wetter abhängig sind.

## ERNEUERBARER STROM NACH PLAN

„Der größte Vorteil von Gezeitenkraftwerken ist, dass wir jederzeit genau wissen, wie viel Strom sie produzieren“, bestätigt Hans van Breugel, Chef des niederländischen Turbinenherstellers Tocado. Außerdem stellen sie eine Grundlast bei der Stromerzeugung bereit, was für eine auf erneuerbare Quellen ausgerichtete Energieversorgung sehr wertvoll sein kann. Tocado betreibt bereits seit 2008 in Afsluitdijk nördlich von Amsterdam eine Versuchsanlage für Gezeitenturbinen im Dauertest. Sie liegt an einem 32 Kilometer langen Damm, der Nordholland und Friesland miteinander verbindet und dabei das IJsselmeer von der Nordsee trennt. Ein idealer

Ort für die Erprobung, die zunächst nur in einer Richtung bei Ebbe erfolgt. „Jeden Tag werden zweimal die Schleusen geöffnet, damit das Wasser aus dem IJsselmeer abfließen kann“, berichtet van Breugel. Dann strömt das Wasser mit einer Geschwindigkeit von drei bis vier Metern pro Sekunde durch die Turbinen, die Tocado hier direkt an der Schleuse installiert hat. Gezeitenkraftwerke kommen mit diesen auf den ersten Blick sehr langsamen Geschwindigkeiten bereits bestens aus, weil die Dichte des Wassers etwa 800-mal höher als die der Luft ist.

Dennoch strömen die Gezeiten nicht überall in der erforderlichen Geschwindigkeit. Die Entwickler der Kraftwerke müssen daher die Topografie des Meeresbodens genau untersuchen, um mögliche Standorte zu finden. Außerdem müssen regionale Bestimmungen zum Naturschutz beachtet werden. Der französische Turbinenhersteller Sabella installierte 2015 in einer Meerenge zwischen zwei bretonischen Inseln in 55 Metern Tiefe die erste Meeresströmungsturbine Frankreichs. Das kurzfristig umsetzbare Potenzial wird in Europa auf eine mögliche Stromproduktion von rund 48 Terawattstunden pro Jahr geschätzt, was etwa fünfzehn typischen Blöcken eines Kohlekraftwerks entspricht. Bis 2050 erwartet der Verband „Ocean Energy Europe“ eine installierte Kapazität von 100 Gigawatt, die nach Berechnungen des Verbandes bis zu zehn Prozent des europäischen Strombedarfs decken könnte. Großes Potenzial für Gezeitenkraftwerke liegt auch außerhalb Europas, etwa vor Kanadas Atlantikküste, zwischen Indischem Ozean und Pazifik rund um die Inseln Indonesiens und der Philippinen und vor China.

Das größte Gezeitenkraftwerk der Welt entsteht derzeit mit dem „MeyGen“-Projekt zwischen Atlantik und Nordsee im

Norden Schottlands. In der Meerenge „Pentland Firth“ zwischen Orkney-Inseln und schottischem Festland installierte der schottische Projektentwickler und Betreiber Atlantis Resources in einem ersten Schritt 2017 vier Gezeitenturbinen mit einer Leistung von jeweils 1,5 Megawatt auf dem Meeresboden. Die etwa elf Meter langen Gondeln stehen auf speziellen Rohrfundamenten in 30 Metern Tiefe und sind über eine Nabe mit drei Rotorblättern verbunden, die einen Durchmesser von 18 Metern erreichen und mit einer Geschwindigkeit von 14 Umdrehungen pro Minute rotieren. Da die Gezeitenströmung naturgemäß wechselt, sind zum einen die einzelnen Rotorblätter in ihrem Winkel verstellbar, zum anderen kann die Gondel nach der Strömung ausgerichtet werden. Mit einem speziellen Dichtsystem, an dessen Entwicklung Freudenberg Sealing Technologies beteiligt war, sind die einzelnen Maschinenelemente gegen das aggressive Salzwasser abgedichtet – bei einem Wasserdruck, der auf Nabenhöhe etwa drei bar beträgt. Die Pilotanlagen liefern seit ihrer Installation eine Fülle an technischen Daten. Auf deren Grundlage will Atlantis Resources vier weitere Turbinen mit deutlich gesteigerter Leistung entwickeln; eine dritte Installation mit 49 Turbinen ist für 2019 geplant. Bis 2022 sollen 269 Turbinen mit einer Gesamtkapazität von rund 400 Megawatt vor der schottischen Küste Strom für rund 175.000 Haushalte liefern.

## ZUVERLÄSSIGE BAUTEILE SIND UNERLÄSSLICH

„Das Wichtigste beim Betrieb von Gezeitenkraftwerken ist die Zuverlässigkeit, was eine möglichst einfache und ausgereifte technische Lösung voraussetzt“, betont Fraser Johnson, der für Atlantis Resources den Betrieb und die Wartung des MeyGen-Projekts steuert.

Das beginnt schon beim Aufstellen der Turbinen. „Die attraktivsten Standorte für Gezeitenenergie sind jene mit starkem Tidenhub“, erläutert Johnson. „Da sind die Zeitfenster für die Installation bei Niedrigwasser entsprechend kurz.“ Kürzlich gelang es Atlantis Resources, eine Turbine des Typs AR1500 innerhalb von nur 35 Minuten sicher auf dem Meeresgrund zu platzieren. Nach der Installation überwacht Johnson mit seinem Team den technischen Zustand der Turbinen mit täglichen Kontrollen, um bei auftretenden Problemen frühzeitig warnen zu können. „Einige der besonders kritischen Systeme für den Betrieb haben wir außerdem redundant ausgelegt“, berichtet der Betriebsleiter. Der nächste Schritt soll die Vermarktung des Stroms sein – schließlich will Schottland bis 2020 seinen gesam-

ten Strom aus erneuerbaren Energien gewinnen. Allerdings ist Strom aus Gezeitenkraftwerken noch nicht konkurrenzfähig. „Die größte Herausforderung liegt darin, für den produzierten Strom einen sicheren Weg in den Markt zu finden“, sagt Johnson.

## WELLENKRAFTWERKE IN ERPROBUNG

Noch deutlich weiter entfernt von der Kommerzialisierung sind Wellenkraftwerke. Die bislang erprobten Prototypen nutzen nicht die Strömung von Ebbe und Flut, sondern das kontinuierliche Auf und Ab der Wellen zur Produktion elektrischer Energie. Wellenkraftwerke, die nach dem Prinzip der schwingenden Wassersäule

funktionieren, verwenden pneumatische Kammern mit Röhren, in denen die Wellen die Luft abwechselnd komprimieren oder ansaugen. Der dabei entstehende Luftstrom treibt eine Turbine an, die über einen Generator Strom erzeugt. Eine andere Möglichkeit sind schwimmende Elemente in Schlangenform mit Hydraulikzylindern in den Gelenken. Durch die Wellenbewegung wird die Hydraulikflüssigkeit in einen Ausgleichszylinder gedrückt und treibt dabei eine Turbine an. Die 150 Meter lange Konstruktion „Pelamis“ (griechisch für Seeschlange) der gleichnamigen schottischen Firma erreichte vor einigen Jahren eine Nennleistung von 750 Kilowatt. Anders als bei den Gezeitenkraftwerken blieb der Durchbruch dieser Technik aber bislang aus. Es ist wohl doch nicht immer so einfach, dem Ozean seine Energie zu entlocken. ©

## GEZEITENERGIE

Im MeyGen-Projekt erzeugen Gezeitenturbinen in 30 Metern Meerestiefe je 1,5 Megawatt Leistung.



## SOLARPOWER

In Datong, 300 Kilometer westlich von Peking, entstand ein Solarkraftwerk, das in der Form von Pandabären angeordnet wurde.



## ABSCHIED VON DER KOHLE

Das Reich der Mitte setzt an zur Energiewende – angesichts der Größe des Landes eine Herkulesaufgabe. Doch der politische Wille ist da. Der Abschied von der Kohle ist der erste Schritt, als Ersatz dienen auch fossile Quellen wie Erdgas. Gleichzeitig baut China die Wind-, Solar- und Wasserkraft mit milliardenschweren Programmen aus und fördert massiv die Elektromobilität.



Dicke Luft hängt schwer über der Stadt. In neongelben Westen stehen Polizisten an der Autobahn und stoppen einen Kleinlaster nach dem anderen. Peking hat die zweithöchste Alarmstufe Orange ausgerufen, und so wird sortiert, wer in die Stadt darf. Lieferwagen von Online-Kaufhäusern, Umzugswagen und offene Kleinlaster stehen etwas verloren auf dem Standstreifen herum. Bau- und Malerarbeiten sind jetzt tabu. Es ist der erste Smogalarm dieses Winters. Doch es ist bereits Anfang März.

Generell ist die Luft über der chinesischen Hauptstadt durchaus besser geworden. Denn China hat vor einigen Jahren eine

**2017**

generierte kein Land  
mehr Solarstrom  
als CHINA

CHINA  
erzeugte 2017

**1,7**

MILLIARDEN kWh  
Elektrizität aus  
erneuerbaren  
Energien

umfassende Energiewende angestoßen. Die Luftverschmutzung in Peking und vielen anderen Metropolen ist einer der wichtigsten Gründe dafür. Außerdem leidet China unter den Folgen des Klimawandels. So werden etwa Trockenperioden im regenarmen Norden des Landes immer häufiger. China ist zwar selbst der weltgrößte Emittent von Treibhausgasen, und noch dominiert die Kohle den Energie- und Strommix. Doch mittlerweile ist das Land zugleich weltgrößter Investor in erneuerbare Energien. In vielen Städten protestierten die Bewohner gegen dreckige Luft. Vor allem aber wird dieser Wandel von Regierung und Behörden angetrieben – mit Zielen, Regeln und Förderung.

Die installierte Kapazität der Erneuerbaren lag nach Angaben der Nationalen Energiebehörde (NEA) Ende 2017 bei insgesamt 650 Gigawatt. Im Gesamtjahr 2017 erzeugten die erneuerbaren Energien 1,7 Milliarden Kilowattstunden Elektrizität, so NEA-Vizedirektor Liu Baohua. Den größten Anteil daran hat die Wasserkraft, die aufgrund der Auswirkungen auf die Umwelt entlang der betroffenen Flüsse nicht unumstritten ist. Windkraft- und Solaranlagen holen aber auf. 2017 generierte kein Land mehr Solarstrom als China, wo die Produktion bei 118,2 Terawattstunden lag. Zum Vergleich: Deutschland produzierte im gleichen Jahr 38,4 Terawattstunden mit Photovoltaikanlagen.



### WELTWEIT SPITZE BEIM BAU NEUER ANLAGEN

Im Jahr 2014 verpflichtete sich das Reich der Mitte, die Emissionen klimaschädlicher Gase spätestens ab 2030 zu senken – und ebnete damit den Weg zum globalen Klimaabkommen von Paris. Bis 2020 will die Regierung den Anteil nichtfossiler Quellen am Energiemix auf 15 Prozent erhöhen – in diese Kategorie fällt in China neben den Erneuerbaren auch die Atomkraft, die in absoluten Zahlen nur eine Nebenrolle spielt. 2030 sollen es 20 Prozent sein, Ende 2016 waren es bereits 13,3 Prozent. Der bis 2020 laufende Fünfjahresplan sieht zudem vor, die Energieintensität pro Einheit Wirtschaftsleistung um 15 Prozent zu senken. Die gewaltigen Anstrengungen sind inzwischen auch auf globaler Ebene sichtbar: 2016 entfielen 40 Prozent des weltweiten Zuwachses an erneuerbaren Energien alleine auf China, schrieb die Internationale Energie-Agentur (IEA) in ihrem Bericht „Renewables 2017“.



Anfang 2017 kündigte die NEA an, dass China bis 2020 weitere 2,5 Billionen Yuan (knapp 320 Milliarden Euro) investieren werde: Rund eine Billion Yuan soll in die Solarenergie fließen, 700 Milliarden Yuan in Windparks, 500 Milliarden Yuan in Windkraftwerke vorgesehen. Auch Energiequellen wie Gezeitenkraftwerke und Geothermie will die NEA fördern. So sollen nach den staatlichen Plänen Wind, Sonne und Wasser bereits 2020 rund die Hälfte der Stromerzeugung bestreiten, heute sind es nach Zahlen von Greenpeace East Asia rund 26 Prozent. Die Umweltorganisation arbeitet in China vor allem beratend und in der Forschung. „Die Ziele für 2020 sind schon erreicht, sodass die Regierung sie hochgesetzt hat“, sagt Huang Wei, bei Greenpeace in Peking für Kohle und Energie zuständig. Bei Solaranlagen sei das Ausbauziel von 110 auf 213 Gigawatt und bei Windkraft von 210 auf 264 Gigawatt zu installierender Kapazität erhöht worden.

### UMSTELLUNG AUF MODERNE GASTHERMEN

Die Abkehr von der Kohle ist das Kernstück der Energiewende, selbst wenn übergangsweise andere fossile – aber weniger klimaschädliche – Energiequellen eingesetzt werden. „2013 wurde der Gipfel des jährlichen Kohleverbrauchs erreicht“, berichtet Huang Wei. Bis 2020 soll der Anteil am Energiemix immerhin von mehr als 60 auf unter 58 Prozent sinken. Bisher gelingt es vor allem bei der Wärmeversorgung, die Kohle zurückzudrängen. Nördlich des Jangtse-Stroms werden die in vielen Haushalten bislang üblichen Kohleöfen auf moderne Gasthermen umgestellt. In der chinesischen Hauptstadt, die bis vor Kurzem mit am stärksten vom Smog geplagt war, ist dieser Umbau bereits vollzogen.

Inzwischen zieht die Kampagne weitere Kreise. „In diesem Winter wurden überall die Kohleöfen abgestellt“, erzählt Niu Haiyan, die aus einer kleinen Kreisstadt in der Peking umgebenden Provinz Hebei stammt und in der Hauptstadt arbeitet. „In allen Dörfern gibt es auf einmal Gasleitungen. Das Tempo war unglaublich.“ Mehr als drei Millionen Haushalte nahe Peking wurden diesen Winter umgestellt, bestätigt Greenpeace-Expertin Huang Wei. Dabei kam es vorübergehend zu Problemen in der Gasversorgung, sodass manche Haushalte kurzzeitig ohne Heizung blieben. Inzwischen gibt es einen umfassenden Plan für den Umbau der Heizungssysteme Nordchinas. „Zu den Ansätzen gehören jetzt auch Maßnahmen wie die bessere Isolierung von Gebäuden oder die Förderung individueller Solarheizanlagen“, sagt Huang.

### STROMNETZE RÜCKEN IN DEN BLICKPUNKT

Betrachtet man alleine den Strommix, so liegt der Kohleanteil allerdings noch bei rund 70 Prozent. Aber auch das soll sich ändern. So stoppte die NEA Anfang 2017 die Pläne für den Bau von 85 neuen Kohlekraftwerken. Peking legte bereits alle vier Kohlekraftwerke im Stadtgebiet still. Mit der Energiewende rücken gleichzeitig die Stromnetze in den Blickpunkt. So wird der erneuerbare Strom vor allem in den weiten Hochebenen Westchinas erzeugt, der Bedarf aber liegt in den Metropolen an der Küste. In den Stromnetzen konkurrieren die Erneuerbaren mit dem Kohlestrom. Die Folge: Die Netze verteilen zu wenig Ökostrom, große Teile des generierbaren Stroms bleiben ungenutzt – in der autonomen Region Xinjiang ganz im Westen Chinas sind es laut Huang Wei bis zu 40 Prozent der Windenergie. „Die Regierung will diese Verschwendung innerhalb von drei Jahren auf ein vernünftiges Maß zurückfahren“, kündigt Liu Baohua von der NEA an.

### CHINAS GEPLANTE INVESTITIONEN IN ERNEUERBARE ENERGIEN



Je umweltfreundlicher der Strommix, umso mehr verbessert auch die von China massiv geförderte Elektromobilität die Klimabilanz des Landes. Elektroautos sollen vor allem den Smog in den Städten lindern. Aber es gibt zwei weitere Gründe, warum China auf die Elektromobilität setzt: Das Land benötigt viel mehr Öl, als es selbst zur Verfügung hat, und will die Abhängigkeit von Ölimporten verringern. Außerdem strebt Peking eine globale technologische Führungsrolle chinesischer Firmen bei Elektrofahrzeugen an. 2025 soll nach Plänen der Regierung jedes fünfte in China verkaufte Auto ein Stromer sein. Der Staat zahlt Kaufsubventionen und hat Elektroautos von den Zulassungsbeschränkungen in vielen Großstädten befreit. Ab 2019 müssen zudem alle Automobilhersteller eine Mindestquote ihres Absatzes mit E-Autos realisieren, die 2019 bei zehn Prozent und ab 2020 bei zwölf Prozent liegen wird. Dank dieser Anreize und Regeln ist China bereits heute der weltweit größte Markt für Elektrofahrzeuge. Im Jahr 2017 wurden rund 777.000 rein elektrische Fahrzeuge und Plug-in-Hybridautos verkauft, 53 Prozent mehr als im Vorjahr.



**2017 WURDEN IN CHINA 777.000 elektrische Fahrzeuge und Plug-in-Hybridautos verkauft**



**DIE CHINESISCHE METROPOLE SHENZHEN VERFÜGT MIT 14.000 Fahrzeugen über die weltgrößte Flotte an Elektrobussen**

### BOOM VON „NEW ENERGY VEHICLES“

Zu diesen sogenannten „New Energy Vehicles“ gehören auch 14.000 Elektrobusse. Die hat die chinesische 12,5-Millionen-Metropole Shenzhen, der direkte nördliche Nachbar von Hongkong, in den vergangenen zwei Jahren angeschafft. Bis Ende 2017 stellte die Stadt ihren gesamten Busfuhrpark auf elektrische Fahrzeuge um und verfügt jetzt über die weltgrößte Flotte an Elektrobussen. Der nächste Smogalarm wird so noch länger auf sich warten lassen – und eines Tages hoffentlich ganz ausfallen. ©



---

## MEHR SPEICHERPLATZ

---

Wohin nur mit dem überschüssigen Strom?  
Mit jedem neuen Windkraftwerk und jeder neuen  
Solaranlage wird diese Frage drängender. Kon-  
ventionelle Batterien alleine werden den riesigen  
Bedarf an Stromspeichern nicht decken können.  
Deswegen tüfteln Forscher an Alternativen.



Die erste Bergung schlägt fehl. Zu fest steckt die 20 Tonnen schwere Betonkugel im Schllick, in hundert Metern Tiefe auf dem Grund des Bodensees. Die Kugel mit drei Metern Durchmesser hatten Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik (IEE) vor Überlingen versenkt, um vier Wochen lang ein neues Pumpspeicherkonzept zu erproben. Mit dem Modellversuch wollten sie herausfinden, ob elektrische Energie unter Wasser mithilfe von Hohlkörpern aus Beton gespeichert werden kann. Jetzt scheint es so, als wolle die Kugel ihr Geheimnis nicht preisgeben. Das Schiff hat zu wenig Auftrieb und kann die schwere Last nicht hochziehen. Stattdessen droht die Betonkugel das Schiff unter Wasser zu ziehen. „Wir mussten das Manöver abbrechen“, berichtet Matthias Puchta, der die Abteilung Energiespeicher beim Fraunhofer IEE leitet. Und selbst wenn es nur um die Bergung des Versuchsobjekts ging, sieht er auch in diesem Zwischenfall eine Bestätigung für die Forscher. „Genau deswegen brauchen wir solche Projekte. Auch wenn man die Dinge am Schreibtisch noch so gut durchdacht hat – man muss sie in der Praxis erproben.“

### MODELLVERSUCH IM BODENSEE

Drei Monate später, im März 2017, gelingt die Bergung dann doch – dieses Mal mit einem größeren Schiff. Mit dem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Projekt „Stored Energy in the Sea“ untersuchten die Wissenschaftler zunächst in einem See im Maßstab 1:10 die Machbarkeit von Meerespumpspeichern, die eines Tages große Mengen an Windstrom zwischenspeichern könnten. Das Prinzip: Eine hohle Betonkugel wird in großer Tiefe versenkt. Das Meer kann dadurch als oberes Speicherreservoir genutzt werden, die – zunächst mit Meerwasser gefüllte – Betonkugel als unteres Reservoir. Ist nun überschüssiger Windstrom vorhanden, so wird das Wasser im Inneren mithilfe einer Pumpen-Turbinen-Einheit, die an der Oberseite der Kugel angebracht ist, aus dem Hohlkörper herausgepumpt. Wenn die Kugel dann leer ist, ist energetisch gesehen der Speicher voll. Wird nun umgekehrt Strom benötigt, dann öffnet sich ein Ventil; das Wasser strömt zurück in die Kugel und treibt dabei eine Turbine an, die über einen Generator Strom erzeugt. Dabei steigt die Speicherkapazität mit dem Wasserdruck, weshalb die Kugeln möglichst tief im Wasser liegen sollen. „Mit dem Versuch konnten wir nicht nur die Machbarkeit dieses Prinzips nachweisen, sondern auch klären, ob eine Druckausgleichsleitung erforderlich ist“, berichtet Puchta. Eine solche

Leitung müsste wie ein Schnorchel zur Wasseroberfläche geführt werden, um bei den Pumpvorgängen Luft zuzuführen oder abzulassen. Das würde die praktische Umsetzung im Meer allerdings erheblich erschweren. „Mit den fest definierten Druckverhältnissen konnte die Pumpe aber zurechtkommen“, schildert Puchta. In den nächsten Erprobungen muss deswegen kein Druckausgleich vorgesehen werden.

### KRAFTWERKE AUS 120 KUGELN

Der nächste Schritt ist nun ein Modellversuch im Maßstab 1:3, bei dem die Betonkugel einen Durchmesser von zehn Metern hat. Das Ziel der Forscher sind aber riesige Kugelspeicher mit 30 Metern Durchmesser und einem Gewicht von 20.000 Tonnen, die in Meerestiefen von 600 bis 800 Metern liegen. „Damit können wir pro Kugel eine Speicherkapazität von 20 Megawattstunden und eine Leistung von fünf Megawatt erreichen“, rechnet Puchta vor. Mit einer Betonkugel könnte demnach ein heutiges Offshore-Windrad mit sechs Megawatt Leistung nahezu unter Volllast vier Stunden lang zwischengespeichert werden. Die Forscher planen dabei keine einzelnen Kugelspeicher, sondern ganze Pumpspeicherkraftwerke im Meer, die aus bis zu 120 einzelnen Kugeln bestehen. Als mögliche Standorte haben sie küstennahe und zugleich ausreichend tiefe Gewässer ausgemacht, etwa vor Norwegen, Spanien und an Standorten vor Japan und den USA.

Bis die ersten Speicherkraftwerke dieser Art ans Netz gehen, ist es zwar noch ein weiter Weg. Aber ein Energiekonzept, das vollständig auf erneuerbaren Quellen wie Wind, Sonne und Wasser beruht, kommt wegen der schwankenden Erzeugung ohne Stromspeicher nicht aus. Und der Stromspeicher, den wir heute überwiegend nutzen – der Akku als wiederaufladbare Batterie –, stößt an seine Grenzen: Zwar gibt es Versorgungssysteme aus Windkraftanlagen, Solarkraftwerken und Batteriespeichern in kleinem Maßstab. So hat der Berliner Systementwickler Younicos in Alaska auf Kodiak Island oder auf der Azoreninsel Graciosa solche autarken Stromnetze installiert. Aber Graciosa hat nur 4.000 Einwohner – und der in einem mittelgroßen Gebäude untergebrachte Batteriespeicher eine Speicherkapazität von nur 3,2 Megawattstunden, also nur ein Sechstel einer Betonkugel. Auf einen globalen Bedarf sind Batterien als Speicherlösung für Stromnetze nicht skalierbar – ganz abgesehen davon, dass sie an anderer Stelle eher gebraucht werden, etwa in Autos.

SPEICHER VOLL



SPEICHER LEER



VERKEHRTE WELT

Wenn der Pumpspeicher leer ist, dann ist er energetisch gesehen geladen. Wird er geöffnet, treibt das einströmende Meerwasser eine Turbine an – so wird Strom erzeugt.

Ihre Rolle in der Stromversorgung der Zukunft haben die Akkus dennoch. „Batterien gleichen innerhalb von Millisekunden Frequenzschwankungen aus und helfen, die Spannung zu halten“, erklärt Philip Hiersemenzel, Experte für Energiespeicher bei Younicos. „In Verbindung mit einer intelligenten Software eignen sie sich deswegen hervorragend, um in einem Smart Grid das Netz stabil zu halten.“ Das ist denn auch der Hauptzweck von Batteriespeicherkraftwerken, von denen es beispielsweise in den USA bereits 300 und in Deutschland mehr als 40 gibt. Auch der weltweit größte Batteriespeicher, der mit 129 Megawattstunden Kapazität im australischen Windpark Hornsdale errichtet wurde, dient vor allem der Netzstabilisierung für ein Braunkohlekraftwerk im benachbarten Bundesstaat Victoria.

Um erneuerbaren Strom in großen Mengen zu speichern, werden aber Alternativen benötigt. Eine davon entwickelt das Start-up Lumenion, um das sich Hiersemenzel im Nebenjob kümmert. Die Idee: Überschüssiger Strom wird dazu genutzt, um riesige Stahlelemente auf etwa 600 Grad Celsius zu erhitzen. Ein Duzend dieser Hochtemperatur-Speichermodule bildet einen Speicherblock, zehn Speicherblöcke bilden ein System mit einer Kapazität von einer Gigawattstunde und einer elektrischen Ladeleistung von 100 Megawatt. Um Energie wieder abzugeben, kann mit einer thermischen Endladeleistung von 24 Megawatt ein Blockheizkraftwerk versorgt werden: Die Hitze betreibt eine Dampfturbine, mit der die Wärme wieder in Strom umgewandelt wird; die Abwärme von 80 bis 120 Grad Celsius kann außerdem für Heizung und Warmwasser verwendet werden. „Zur nächsten Heizsaison starten wir ein Pilotprojekt im Berliner Bezirk Reinickendorf“, berichtet Hiersemenzel. „Besonders spannend ist an dem Konzept, dass erneuerbarer Strom in den Speichermodulen sehr schnell und in großer Menge aufgenommen werden kann.“ Außerdem liegen nach seinen Berechnungen die Kosten um den Faktor zehn unter denen einer klassischen Batterie.

### UNTERIRDISCHE SALZKAVERNEN

Es gibt noch viele weitere Ansätze. So will das Oldenburger Energieunternehmen EWE große unterirdische Salzkaavernen nutzen, um dort elektrische Energie in sogenannten Redox-Flow-Batterien zu speichern – und zwar in Elektrolytflüssigkeiten, die aus Salzwasser und darin gelösten, wiederverwendbaren Polymeren bestehen. Auch das ist zwar noch Zukunftsmusik. Aber um die Stromspeicher der Zukunft rechtzeitig zur Verfügung zu haben, müssen sie heute erforscht und erprobt werden. ©



---

# GIGANTEN AUF HOHER SEE

---

In den Ozeanen entstehen immer größere Windkraftanlagen, die inzwischen Rotordurchmesser von 167 Metern erreichen.

Der Wettlauf hat einen handfesten Grund: Größere Anlagen sind wirtschaftlicher und weniger auf Zuschüsse angewiesen.

Die enormen Windlasten stellen aber auch hohe Anforderungen an die Anlagen und deren Komponenten.





Durch die Verlängerung der Rotorblätter auf  
**81,4 METER**  
 ergibt sich eine Steigerung der jährlichen Stromproduktion um rund  
**20%**

Von der Gondel in schwindelerregenden 120 Metern Höhe reicht der Blick weit über das flache Land, wo sich Nadelwälder mit schneebedeckten Feldern abwechseln. Tief geschichtete Wolken ziehen am Horizont in schnellem Tempo entlang und kündigen von der wichtigsten Eigenschaft, die für viele Gäste den kleinen Ort Østerild im Nordwesten Dänemarks auszeichnet: Hier, auf der langgezogenen Halbinsel zwischen Nordsee und Limfjord, weht meist sehr viel Wind – fast wie auf offener See. Vor sechs Jahren errichtete die Fakultät für Windenergie der Technischen Universität Lyngby deswegen an diesem Ort das „Nationale Testcenter für große Windkraftanlagen“. Seitdem erproben Hersteller wie GE Wind Energy, Vestas Wind Systems und Siemens Gamesa hier ihre neuen Offshore-Anlagen. In direkter Nachbarschaft können Ingenieure und Besucher

einen Trend in Augenschein nehmen, der den Markt für Windkraftanlagen derzeit prägt: Die Anlagen werden immer größer, um eine höhere Energieausbeute zu erreichen und so für die Betreiber immer wirtschaftlicher zu werden.

Aktueller Rekordhalter auf dem Testfeld ist eine Anlage von Siemens Gamesa mit einer Nennleistung von acht Megawatt. Sie folgt auf einen ersten Sie-

ben-Megawatt-Prototyp mit einem Rotordurchmesser von 154 Metern. Indem die Konstrukteure die einzelnen Rotorblätter der neuen Anlage auf 81,4 Meter verlängerten, erhöhten sie deren überstrichene Rotorfläche – und damit die jährliche Stromproduktion – um rund 20 Prozent. Die Rotorblätter, die bei dem direkt angetriebenen getriebelosen Anlagentyp an der Nabe angebracht sind, bilden einen Rotor mit einem Gesamtdurchmesser von 167 Metern. „Größere Turbinen und größere Windparks ermöglichen eine höhere Effizienz für den Betreiber“, berichtet Stephan Buller, der als Portfoliomanager für Offshore-Turbinen bei Siemens Gamesa arbeitet. „Denn bezogen auf den Energieeintrag können so an vielen Stellen Komponen-

#### HOCH HINAUS

Die Gondeln moderner Windkraftanlagen befinden sich auf deutlich über 100 Metern.



Offshore-Windstrom-Erzeugung legte bis Ende 2017 kräftig zu und erreichte knapp  
**16.000 MW**  
 Ein Plus von 25 Prozent zum Vorjahr.

ten besser ausgenutzt oder eingespart werden – also zum Beispiel weniger Fundamente, weniger Türme und weniger Infrastruktur wie etwa Anschlusskabel.“ Auch die Kosten für Service und Wartung sind bei größeren Anlagen niedriger, wenn sie auf die erzeugte Kilowattstunde umgerechnet werden. Dabei ist auch von Vorteil, dass in den neuen Anlagen größtenteils Technik verwendet wird, die sich in den Sechs-Megawatt-Anlagen bereits bewährt hat: Komponenten wie Rotoren, Umrichter und Lager werden zwar größer ausgelegt, die grundsätzliche Architektur der Anlage ändert sich aber nicht.

Mehr Wirtschaftlichkeit ist auf dem Markt für Windenergie das Gebot der Stunde. Denn in vielen Ländern wird die öffentliche Förderung von Windstrom zurückgefahren, sodass sich die Anlagen zunehmend aus eigener Kraft finanzieren müssen. So wurden beispielsweise in Deutschland bis Ende 2016 Festzuschüsse gezahlt, die nach Onshore- und Offshore-Anlagen differenziert waren; für Offshore lag die Anfangsvergütung bei 15,4 Cent pro Kilowattstunde. Im Zuge der letzten Novelle des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG 2017) müssen sich inzwischen aber Offshore-Projekte, die ab 2021 in Betrieb gehen, in Ausschreibungen um eine Förderung bewerben. In einer Auktion im April 2017 erhielten Anbieter einen Zuschlag, die lediglich null bis sechs Cent Zuschuss verlangten; die durchschnittliche Ge-

botshöhe betrug nur 0,44 Cent pro Kilowattstunde. Die Betreiber von Offshore-Windparks können ein so niedriges Förderniveau zum einen mit den Skaleneffekten größerer Turbinen und Anlagen ausgleichen. Außerdem setzen sie darauf, dass die Technik mit inzwischen sehr hohen Stückzahlen dem Stadium der Kinderkrankheiten entwachsen ist. So installierte Siemens Gamesa 2017 alleine in Europa rund 450 Offshore-Windenergieanlagen mit einer Gesamtleistung von 2.400 Megawatt. Der deutsch-spanische Hersteller setzt dabei bereits seit rund zehn Jahren auf permanenterrregte Synchrongeneratoren, die anstatt des konventionellen Antriebsstrangs mit Getriebe über einen hinter dem Rotor montierten direkt angetriebenen Generator verfügen. Der mit Dauermagneten ausgestattete Außenring des Generators dreht sich in Rotorgeschwindigkeit um den als Stator wirkenden Innenring. Dadurch kann auf eine klassische Welle und ein Getriebe verzichtet und so beispielsweise der Turm anstatt im Turmfuß direkt im Maschinenhaus untergebracht werden, was Vorabtests des gesamten Systems bereits im Hafen ermöglicht.

#### KOSTEN FÜR BETREIBER SENKEN

Der sinkende Aufwand für Installation und Wartung ist ein wichtiger Grund, warum die Offshore-Windenergie hohe Wachstumsraten erzielt. So legte die installierte Kapazität in Europa, wo derzeit rund 90 Prozent des globalen Offshore-Windstroms erzeugt werden, bis Ende 2017 kräftig zu und erreichte knapp 16.000 Megawatt – gegenüber dem Vorjahr ein Plus von beachtlichen 25 Prozent. Auf hoher See herrschen da-

rüber hinaus besonders günstige Voraussetzungen für eine gute Energieausbeute. „Im Offshore-Bereich ist zum einen ausreichend Platz vorhanden, zum anderen weht der Wind oft viele Stunden lang gleichmäßig aus einer Richtung“, erläutert Buller. „Dabei erreicht er oft die für die Stromproduktion besonders effektive Geschwindigkeit von zehn Metern pro Sekunde und mehr.“ Der Ausbau geht auch in den kommenden Jahren weiter: So hat Vattenfall bei Siemens Gamesa kürzlich 72 Anlagen der Acht-Megawatt-Klasse für das dänische Offshore-Projekt Kriegers Flak bestellt, die ab Februar 2021 installiert werden sollen und dann mit rund 600 Megawatt Gesamtleistung das größte Offshore-Windkraftwerk der Ostsee sein werden. Weitere 41 Anlagen der gleichen Bauart sollen bereits 2020 an der dänischen Westküste in der Nordsee errichtet werden und zusätzliche 350 Megawatt Leistung bringen.

Zusammengenommen macht das 950 Megawatt, womit fast eine Million Haushalte versorgt werden können – eine Acht-Megawatt-Anlage alleine reicht für etwa 8.000 Haushalte. Doch trotz aller Skaleneffekte werden Offshore-Windkraftanlagen zukünftig wohl nicht in den Himmel wachsen. Zwar hat GE Wind Energy im März 2018 eine Turbine angekündigt, die in Verbindung mit einem direkt angetriebenen Generator eine Kapazität von zwölf Megawatt erreichen soll. Doch die Anforderungen an Anlagen und Komponenten wachsen dabei enorm. „Bei der Größe der Windkraftanlagen gibt es ein technisches Optimum, auch wenn wir den genauen Punkt heute noch nicht mit Gewissheit bestimmen können“, meint Buller.

„Denn mit steigender Rotorfläche wächst zwar die Energie, die mit der Turbine erzeugt werden kann. Noch stärker wachsen allerdings die Lasten, die durch den stärkeren Windeintrag auf Komponenten wie das Hauptlager oder die Lagerungen der Rotorblätter einwirken.“ Die Folge: Irgendwann müssen die Ingenieure überproportional viel Material einbringen, um die Lasten noch zu verkraften – die Anlagen würden dadurch zu schwer und zu teuer werden.

Schon die Anlagen der Acht-Megawatt-Klasse, die jetzt installiert werden, stellen hohe Ansprüche an einzelne Bauteile – etwa an die Dichtungen. Die Dichtringe haben die Aufgabe, den Schmierstoff im Hauptlager zu halten und Schmutzpartikel, Salzwasser oder Regen vom Inneren der zu schützenden Maschinenelemente fernzuhalten. „Mit steigenden Durchmessern der Momentenlager stößt das Konstruktionsprinzip bisheriger Wellendichtringe allerdings an die Grenzen der Skalierbarkeit“, schildert Jens Kuhnert, Business Development Manager und Windkraftexperte bei Freudenberg Sealing Technologies. In den direkt angetriebenen Windkraftanlagen, wie sie Siemens Gamesa entwickelt, sind die Dichtungen am Außenring des Hauptlagers angebracht, der sich als Rotor mitsamt Dichtung und Dichtlippe um den Stator – den Innenring – dreht. Dabei stellt die schiere Größe der Dichtringe mit Durchmessern von mehr als 3,5 Metern zum einen eine Herausforderung bei der Herstellung mit riesigen Vulkanisationspressen dar. Zum anderen führen steigende Lagerdurchmesser zwangsläufig dazu, dass die radiale Krümmung flacher verläuft. Da die Feder an der Dichtlippe radial nach innen wirkt, sinkt mit flacher werdender Krümmung jedoch die Anpresskraft, die



#### GUTE BEDINGUNGEN

Auf hoher See weht der Wind häufig viele Stunden konstant aus einer Richtung und ermöglicht eine hohe Stromproduktion.

dafür sorgt, dass die Dichtung ihre Funktion sicher erfüllen kann. „Wir haben deswegen einen neuen Dichtring entwickelt, der anstelle der bisher eingesetzten Wurmfeder eine sogenannte Mäanderfeder enthält“, berichtet Kuhnert. Bei der Dichtung mit der Bezeichnung Seventomatic bildet eine schlanke und längliche Dichtlippe zusammen mit dem Trägerkörper eine V-Form. Ein gebogenes, einvulkanisiertes Profilband verstärkt Dichtlippe und Trägerkörper. Dadurch wirkt die Dichtlippe als Druckfeder: Sie „drückt“ von sich aus auf die Lauffläche und ersetzt damit die bekannte Wurmfeder. Auf diese Weise ist die Linienkraft von der Krümmung nicht mehr abhängig, und die Dichtung kann auch bei höheren Lasten ihre Funktion sehr gut erfüllen. Außerdem lässt sich je nach Bauform der Turbine die Kräfteverteilung der Dichtung beliebig variieren: Deren Federkraft kann nicht nur nach

innen, sondern auch nach außen hin wirken. Das gibt den Entwicklern von Windkraftanlagen und deren Komponenten neue konstruktive Freiheiten.

#### FERNDIAGNOSE VON WINDPARKS

Eine wichtige Anforderung an alle Komponenten einer Windkraftanlage ist darüber hinaus die Langlebigkeit. Denn die Betreiber kalkulieren in ihrer Rechnung mit Anlagenlaufzeiten von 25 Jahren. Aus den Kapitalkosten, den Betriebskosten und der angestrebten Kapitalverzinsung errechnen sie die sogenannten Stromgestehungskosten (Levelized Cost of Electricity, LCOE), die sie dem zu erwartenden Ertrag aus produziertem Strom gegenüberstellen. Weiteres Potenzial, die Betriebskosten im Rahmen zu halten, bietet die Ferndiagnose ganzer Windparks. Dazu werden die einzelnen Windräder an wichtigen Stellen wie etwa dem Lager oder dem Gehäuse mit einer Vielzahl von Sensoren ausgerüstet, die Schwingungen, Temperaturen oder Drehmomente messen und an eine Kontrollstelle an Land melden. So betreibt Siemens Gamesa am dänischen Hauptstandort in Brande ein solches „Remote Diagnostic Center“, an dem die Datenleitungen aller Windenergieanlagen auflaufen. Auffällige Datenmuster werden in Echtzeit an die Betreiber gemeldet, damit diese anstehende Wartungen oder Reparaturen frühzeitig planen können. Es ist eben doch nicht nur die Größe allein, die den Giganten auf hoher See zu mehr Wirtschaftlichkeit verhelfen kann. ©



Dichtungsringe mit einem Durchmesser von mehr als

## 3,5 METERN

stellen eine Herausforderung dar.



Mehr News lesen Sie online auf [www.fst.de/news-room/presse](http://www.fst.de/news-room/presse)



## GEEIGNET FÜR AGRARMASCHINEN

**Auch für die Landwirtschaft bietet Freudenberg Sealing Technologies mit seinen reibungsarmen Dichtungsprodukten passende Lösungen. Sie helfen Kraftstoff einzusparen, Emissionen zu senken und die Lebensdauer der Antriebssysteme zu verlängern.**

Hersteller von mobilen Landwirtschaftsmaschinen müssen sich zunehmend mit anspruchsvollen Umweltbestimmungen, steigenden Kraftstoffpreisen und langen Wartungsintervallen befassen. Mit innovativer Dichtungstechnik lassen sich diesen Anforderungen erfüllen. Nicht zuletzt, da Dichtungen in modernen Automatikgetrieben für fast ein Viertel der gesamten mechanischen Verlustenergie verantwortlich sind. Es geht folglich darum, die Systemreibung in den Getrieben zu reduzieren. Freudenberg Sealing Technologies hat mit Levitas und Levitorq die passenden Produkte zur Hand. Die Getriebedichtung Levitas verfolgt einen grundlegenden neuen Ansatz: Sie schwimmt im Betrieb auf einem hydrodynamischen Ölfilm, den sie selbst erzeugt. Dieser Film verhindert den physischen Kontakt zwischen der Welle und dem Dichtungsring, was die Reibung um bis zu 70 Prozent reduziert. Die Levitorq-Anlaufscheiben funktionieren ebenfalls mit einem hydrodynamischen Ölfilm. Auf ihrer Tragfläche kann ein Lager laufen oder eine Kraft einwirken. Freudenberg Sealing Technologies hat für die Anlaufscheiben thermoplastische beziehungsweise duroplastische Lösungen entwickelt. Sie ersetzen die schweren, drehmomentmindernden Anlaufscheiben aus Metall. Das senkt das Gewicht der Komponenten, verringert die Reibung und verbessert die Planheitskontrolle. ©



## BESTÄNDIG GEGEN AKTIVSAUERSTOFF

**Eine neue Waschmaschinengeneration setzt auf Aktivsauerstoff, um Wäsche zusätzlich zu reinigen. Der Vorteil: Waschen wird damit auch bei niedriger Temperatur möglich und schont dabei Wäsche und Umwelt. Der Nachteil: Konventionelle Dichtungen sind gegen den von einem Generator in der Maschine erzeugten Aktivsauerstoff nicht beständig.**

Er greift konventionelle Dichtungen aus Nitrilkautschuk (NBR) innerhalb weniger Stunden so stark an, dass sich Risse bilden und die Dichtungen ihre Funktion verlieren. Besonders betroffen ist dabei die Hauptdichtung, die die Antriebswelle zum Gehäuse hin abdichtet. Freudenberg Sealing Technologies hat einen Dichtungswerkstoff aus Fluorkautschuk (FKM) entwickelt, der sowohl mit den bislang eingesetzten Schmierstoffen und der Waschlauge als auch mit dem neu eingesetzten Aktivsauerstoff harmoniert. Die neue FKM-Mischung zeichnet sich durch ein optimiertes Verschleißverhalten aus, und zwar über die gesamte Lebensdauer. Damit FKM nicht im Wasserdampf aufquillt, hat Freudenberg dessen Beständigkeit gegenüber dem heißen Wasser-Lauge-Gemisch in der Waschtrommel erhöht. Schließlich erfuhr noch die Geometrie der Dichtlippe eine Anpassung, damit die Dichtungen auch mit dem neuen Werkstoff das gleiche mechanische Verhalten – etwa gegenüber Verpressung und Radialkräften – zeigen wie bislang. Freudenberg Sealing Technologies bereitet nun die Serienfertigung der Hauptdichtungen für Waschmaschinen mit Aktivsauerstoff vor und bietet damit eine robuste Lösung, die keine neuen Anforderungen an den Bauraum stellt. ©



## ANGEBOT UND NACHFRAGE



GÜNTER KAISER  
Betriebstechniker, Freudenberg Sealing Technologies

Im Stromnetz müssen Erzeugung und Verbrauch innerhalb von Sekunden ausgeglichen werden. Deshalb soll mit dem Ausbau von fluktuierendem Sonnen- und Windstrom auch die Nachfrage flexibler werden. Freudenberg Sealing Technologies praktiziert dies im Werk Oberwihl schon heute.

Rasch wechseln die roten Ziffern. Kritisch blickt Günter Kaiser auf die Digitalanzeige. Der Wert schwankt zwischen 1.500 und 1.700 Kilowatt. „Damit sind wir auf der sicheren Seite“, sagt der Betriebstechniker erleichtert. Es sind nur vier Zahlen, mit denen er die Stromversorgung für das Werk Oberwihl von Freudenberg Sealing Technologies steuert. Der Hintergrund: Normalerweise schwankt der Stromverbrauch in einem Produktionswerk stark, je nachdem welche Maschinen gerade in Betrieb sind. Wenn der Verbrauch plötzlich stark ansteigt, muss der Energieversorger kurzfristig zusätzlichen Strom produzieren, denn im Netz müssen Angebot und Nachfrage immer im Gleichgewicht bleiben. Strom jedoch ist deutlich billiger, wenn er langfristig eingekauft werden kann. Vor diesem Hintergrund schloss Freudenberg Sealing Technologies vor Jahren einen Pakt mit dem örtlichen Stromversorger: Das Werk verpflichtete sich, durchschnittlich pro Viertelstunde nicht mehr als 1.850 Kilowatt elektrische Leistung in Anspruch zu nehmen und erhielt im Gegenzug einen Rabatt auf den Strompreis. „In den letzten zwei Jahren haben wir die Grenze nicht ein einziges Mal überschritten“, berichtet Roland Damrath, der in Oberwihl für das Energiemanagement verantwortlich ist. „Und das, obwohl das Werk ausgebaut und die Produktionsmengen deutlich gesteigert wurden.“

GUTE BILANZ:  
30 Prozent mehr O-Ringe, 20 Prozent  
weniger Stromverbrauch

2017 verließen rund 830 Millionen O-Ringdichtungen die im südlichen Schwarzwald gelegene Fabrik. Sie verrichten ihren Dienst in elektrischen Zahnbürsten genauso wie in Luxusuhren, die den Gegenwert eines Kleinwagens erreichen. Im Jahr 2014 waren es noch 636 Millionen O-Ringe, für deren Produktion rund 20 Prozent mehr Strom verbraucht wurde. Das Geheimnis hinter der deutlich gestiegenen Energieproduktivität verbirgt sich hinter dem Schaltschrank, auf dem die vier roten Ziffern leuchten. Denn hier laufen die Informationen über alle Stromverbraucher im Werk zusammen. Energiemonitoring nennen Fachleute ein solches System. 120 intelligente Stromzähler, die in den einzelnen Fertigungsabschnitten montiert sind, liefern im 15-Sekunden-Takt Daten zum aktuellen Verbrauch. Mithilfe eines Computerprogramms kann Günter Kaiser genau analysieren, wann, wo und wie viel Strom verbraucht wird. Wie ein Kardiologe die Kurve eines EKG sorgfältig analysiert, so schaut Kaiser zweimal pro Woche auf die Verläufe des Stromverbrauchs. „Ausreißern – etwa aufgrund von Defekten – kommt man auf diese Weise schnell auf die Spur“, erläutert der Elektromeister.

Eingerichtet wurde das Energiemonitoring Zug um Zug nach einem grundlegenden Umbau des Werks, in dessen Rahmen 1.000 Quadratmeter neue Fertigungsfläche geschaffen wurden.

„Das war fast ein Neubau“, erinnert sich Business Unit-Manager Angelo Acerboni. „Wir haben dabei ohnehin fast die komplette Elektroinstallation erneuert und so die Voraussetzung für ein besseres Energiemanagement geschaffen.“ Bei der Einrichtung des Monitoringsystems bediente man sich der Erfahrungen, die zuvor im Freudenberg-Werk Öhringen gesammelt wurden. Doch Kaiser und seine Kollegen belassen es nicht dabei, den Stromverbrauch zu beobachten und zu senken, sondern sie steuern ihn aktiv. Um die teuren Lastspitzen zu vermeiden, prognostiziert eine Spezialsoftware die durchschnittliche Leistung für das laufende 15-Minuten-Intervall. Droht eine Überschreitung des Grenzwerts, dann werden einzelne Anlagen vollautomatisch in die Pause geschickt – und zwar so, dass die laufende Produktion nicht beeinträchtigt wird. Möglich ist das beispielsweise bei Elektroöfen, die für das Anwärmen später benötigter Werkzeuge verwendet werden. Rund 25 Anlagen haben die Oberwihler identifiziert, über die die Leistungsabnahme gesteuert werden kann. „Demand Side Management“ heißt ein solches Vorgehen bei Energieexperten. Es gilt als Schlüsseltechnologie, um in einem auf schwankendem Angebot von Sonnen- und Windstrom basierenden Energiesystem die Versorgung sicherzustellen. „Ich bin stolz darauf, dass wir heute bereits Erfahrungen damit sammeln“, sagt Kaiser.

### KLEINE SCHRITTE, GROSSE WIRKUNG

Doch das konsequente Energiemanagement in Oberwihl bezieht sich nicht nur auf den Umgang mit Strom. Auch alle mit Kälte und Wärme arbeitenden Prozesse wurden in den vergangenen Jahren durchleuchtet. Manchmal war es ganz einfach, zu deutlichen Einsparungen zu kommen. Etwa als Acerboni feststellte, dass die Kälteaggregate in einer Halle im Sommer immer auf Maximalleistung arbeiteten – und trotzdem die Temperatur aufgrund der Abwärme aus der Produktion nie den eingestellten Wert von 18 Grad erreichte. Seit die Zieltemperatur auf realistische 23 Grad erhöht wurde, spart das Unternehmen 50.000 Euro Stromkosten pro Jahr. Trotzdem ist es in der Produktion deutlich kühler als vor dem Umbau. Denn die an den Spritzgussmaschinen entstehende Abwärme wird mit der Luft abgesaugt und teilweise über Wärmetauscher für andere Prozesse genutzt. Durch intelligentes Wärmemanagement konnte der Heizölverbrauch im Werk saisonabhängig um bis zu zwei Drittel reduziert werden.

Auch der Druckluftversorgung gilt große Aufmerksamkeit. Die Steuerung der energieverschlingenden Kompressoren erfolgt mittlerweile bedarfsgerecht. Anders als früher läuft nur noch ein einziger Kompressor auf Vollast. Ein zweiter Verdichter arbeitet hingegen variabel und sorgt dafür, dass die Erzeugung



### WÄRMEMANAGEMENT

Saisonabhängig konnte der Heizölverbrauch im Werk Oberwihl um bis zu zwei Drittel reduziert werden.

dem tatsächlichen Verbrauch entspricht. Die Steuerung dafür hat Kaiser selbst programmiert und die elektrische Schaltung mithilfe von Auszubildenden aufgebaut. Auf dem Weg zum Verbraucher legt die verdichtete Luft im Werk lange Wege zurück. Die Leitungen werden im Wochenrhythmus kontrolliert. Denn jedes Leck, über das Druckluft entweichen kann, führt zu Mehrarbeit der Kompressoren – und damit höherem Stromverbrauch. „Ein kleines Loch, das niemand bemerkt, kann bis zu 8.000 Euro im Jahr kosten“, erläutert Kaiser.

Doch es sind nicht primär die eingesparten Kosten, die den Elektrofachmann treiben. „Jede Form der Stromproduktion ist mit Umweltbelastungen verbunden, die wir minimieren müssen“, so Kaiser. In seinem privaten Drei-Familien-Haus hat er längst ein mit besonders gutem Wirkungsgrad arbeitendes Mini-Blockheizkraftwerk installiert. Den überschüssigen Strom speist das Kleinkraftwerk bislang in das Stromnetz ein. Künftig will Kaiser damit ein bereits bestelltes Hybridfahrzeug laden – Demand Side Management geht auch zu Hause. ©

„EIN KLEINES LOCH, DAS  
NIEMAND BEMERKT,  
KANN BIS ZU 8.000 EURO  
IM JAHR KOSTEN.“

### ROLAND DAMRATH

Verantwortlich für Energiemanagement  
im Werk Oberwihl





---

## DER WEG DES WASSERSTOFFS

---



Wenn in Korea Brautpaare heiraten, dann schenken ihnen die Verwandten oft Holzenten. Die enge Bindung, die den Wasservögeln nachgesagt wird, soll sich so auf die Frischvermählten übertragen. Solch enge Bindungen gibt es auch im Reich der Elemente, und zwar zwischen Wasserstoff und Sauerstoff. Die beiden bilden zusammen unser Wasser und lassen sich nur mit viel Aufwand und Energie voneinander trennen. Auf sich alleine gestellt ist der Wasserstoff dann ein flüchtiger Geselle. Unter Normalbedingungen tritt er als farb- und geruchloses, gasförmiges Molekül auf, das aus zwei Atomen besteht und unter hohem Druck in gut abgedichteten Gasflaschen oder Tanks gelagert werden muss. Eigentlich will er aber nur eines: zurück zum geliebten Sauerstoff und wieder zu Wasser werden. Zum Dank setzt er dabei Teile der Energie wieder frei, die zu seiner Trennung aufgewendet wurden. So entsteht ein Kreislauf, den sich die Menschen auf dem Weg in eine klimaneutrale Welt zunutze machen können.

### STATION 1 WASSER

Wasser ist eine chemische Verbindung aus den Elementen Wasserstoff und Sauerstoff. Ein Wassermolekül besteht aus je zwei Wasserstoffatomen und einem Sauerstoffatom. In der Natur enthält es meist noch gelöste Anteile von Salzen, Gasen und organischen Verbindungen. Die Oberfläche der Erde ist zu 71 Prozent von Wasser bedeckt, und das Wasservolumen summiert sich auf 1,4 Milliarden Kubikkilometer; 3,5 Prozent davon sind Süßwasser, was immer noch 48 Millionen Kubikkilometern oder einem Würfel mit einer Kantenlänge von 363 Kilometern entspricht. Grundsätzlich ist Wasser also reichlich vorhanden, auf unserem Planeten aber sehr ungleich verteilt.

### STATION 2 KLIMANEUTRALE ERZEUGUNG VON STROM

Der mithilfe von Wind, Sonne oder Wasserkraft erzeugte Strom dient zunächst dazu, Verbraucher und Industrie mit Elektrizität zu versorgen. Bei bestimmten Wetterlagen – etwa bei viel Wind und Sonne – wird jedoch immer häufiger zu viel Strom erzeugt. Denn je mehr ein Land die regenerativen Anlagen für seine Stromproduktion ausbaut, umso öfter übersteigt die Erzeugung die Nachfrage. Da sich der überschüssige Strom als elektromagnetische Welle fast in Lichtgeschwindigkeit durch die Leitungen bewegt, muss er sofort verarbeitet oder gespeichert werden. Eine Möglichkeit: Er wird in eine Elektrolyse-Anlage geleitet, um Wasserstoff zu produzieren.

### STATION 3 ELEKTROLYSE-ANLAGE

In der Elektrolyse-Anlage wird Strom mit Wasser zusammengeführt, um es unter Einsatz von elektrischer Energie in Wasserstoff und Sauerstoff aufzuspalten. Dazu wird meist Süßwasser verwendet, Wissenschaftler forschen aber auch an Katalysatoren für Wasserstoff-Elektrolyse direkt aus Meerwasser. Heutige Anlagen nutzen ein Verfahren, bei dem eine nur für Protonen durchlässige Membran als Separator zwischen Anode und Kathode angebracht ist, quasi eine Brennstoffzelle rückwärts. Wird eine äußere Spannung angelegt, so zersetzt sich das Wasser an der Anode. Es entstehen Sauerstoff, Wasserstoff-Ionen und freie Elektronen. Die Membran lässt nur die Wasserstoff-Ionen zur Kathode durch. Dort treffen diese auf die freien Elektronen, mit denen sie sich zu Wasserstoff verbinden.

### STATION 4 VERTEILUNG DES WASSERSTOFFS

Um den Wasserstoff als Energieträger in Fahrzeugen verwenden zu können, muss er von der Elektrolyse-Anlage zum Verbraucher transportiert werden. Für den Transport auf Schiene und Straße werden spezielle Tankwagen eingesetzt, die den komprimierten Wasserstoff als Druckgas speichern. Es gibt auch Tankwagen für auf  $-253$  Grad Celsius verflüssigten Wasserstoff. In einer weitgehend klimaneutralen Welt müssten diese Züge oder Lkw allerdings mit regenerativem Strom oder daraus gewonnenen Kraftstoffen fahren. Eine Alternative: das Gas mit relativ geringem Energieeinsatz über weite Entfernungen und in großen Mengen durch Pipelines zu transportieren.

### STATION 6 FAHRZEUG MIT BRENNSTOFFZELLE

Zwar erinnert der Tankvorgang an den Verbrennungsmotor, der Wasserstoff treibt allerdings echte Elektrofahrzeuge an. Denn er wird zunächst in einer Brennstoffzelle wieder in Strom umgewandelt und dann genutzt, um einen ganz normalen Elektromotor mit Energie zu versorgen. Weil Wasserstoff von allen Brennstoffen bezogen auf die Masse die höchste Energiedichte hat, kann er auch in Bussen und Lkw für die erforderliche Reichweite sorgen. Ein Nachteil ist, dass Wasserstoff sehr leicht und seine Energiedichte bezogen auf das Volumen sehr niedrig ist. Deswegen muss er stark komprimiert werden, und selbst dann brauchen seine Tanks mehr Platz als konventionelle Kraftstofftanks – aber deutlich weniger als heutige Lithium-Ionen-Batterien.

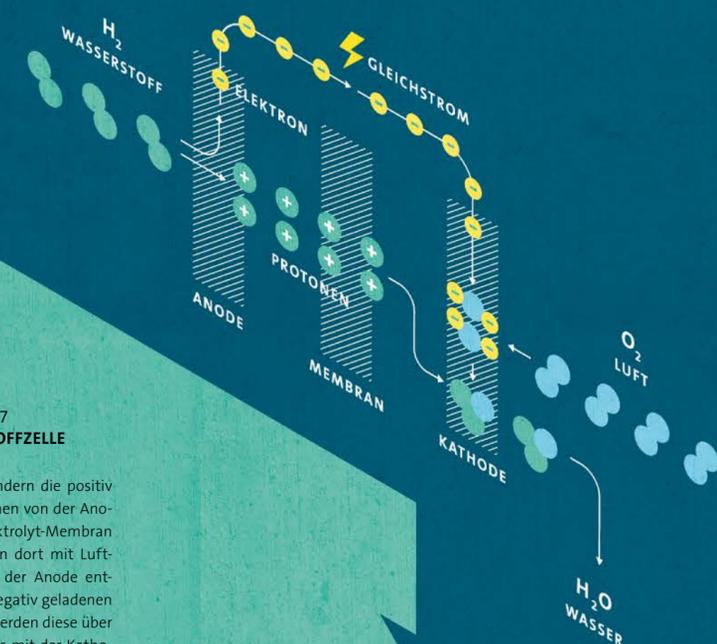
### STATION 5 WASSERSTOFF-TANKSTELLE

Bis auf die Tatsache, dass die Tanksäulen etwas anders zu bedienen sind, ändert sich beim Tanken von Wasserstoff – verglichen mit flüssigem Kraftstoff – für Pkw- und Lkw-Fahrer recht wenig. Weil das Gas mit einem recht hohen Druck von 700 bar vom Vorratsspeicher ins Fahrzeug gebracht werden muss, wird der Tankschlauch mit einer Kupplung am Tankstutzen des Fahrzeugs fest verriegelt und dann automatisch druckdicht angezogen. Über eine Infrarotschnittstelle werden Fahrzeugdaten, die für das Betanken wichtig sind, an die Zapfsäule übertragen. Der eigentliche Tankvorgang dauert für einen Pkw drei bis vier Minuten und ist mit dem bisherigen Tanken vergleichbar, allerdings bei etwas geringerer Reichweite von 400 bis 500 Kilometern.

### STATION 7 IN DER BRENNSTOFFZELLE

In der Brennstoffzelle wandern die positiv geladenen Wasserstoff-Ionen von der Anode durch eine Polymer-Elektrolyt-Membran zur Kathode und reagieren dort mit Luftsauerstoff zu Wasser. An der Anode entsteht ein Überschuss an negativ geladenen Wasserstoff-Elektronen. Werden diese über einen separaten Stromkreis mit der Kathode verbunden, dann wandern sie dorthin: Es fließt elektrischer Strom – allerdings nur etwa die Hälfte des Stroms, der zur Herstellung des Wasserstoffs eingesetzt wurde. Um die Effizienz zu steigern, führt eine Gasdiffusionslage von Freudenberg die Gase dem Reaktionsprozess möglichst homogen zu. Als Abfallprodukt wird lediglich Wasserdampf in die Umwelt abgegeben. Das Wasser gelangt zurück in den Kreislauf.

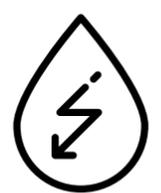
### STATION 8 = STATION 1 WASSER Kreislauf geschlossen.



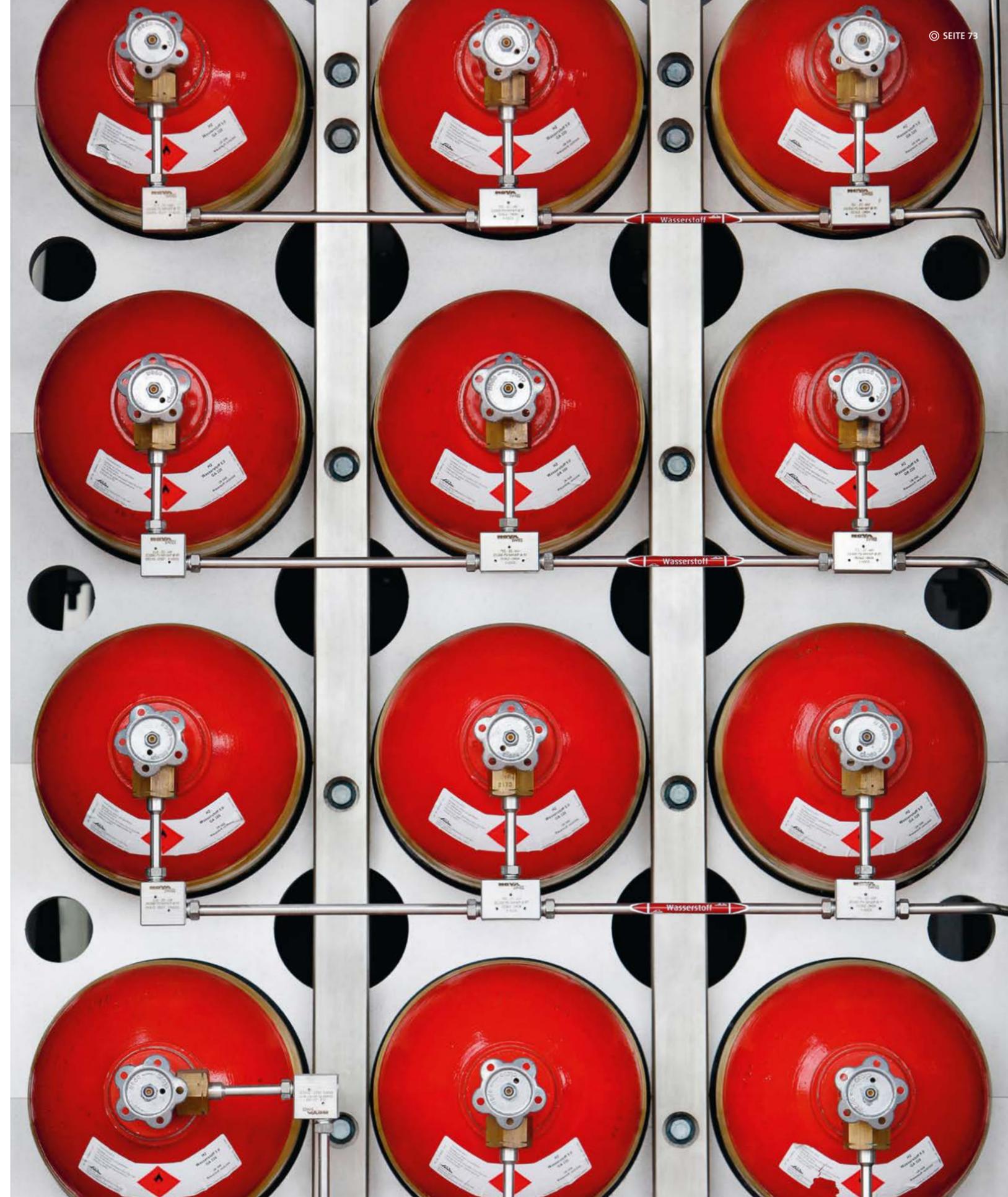


# „HOCHKOMPLEXES DESIGN“

In der Diskussion um Elektromobilität gerät die Brennstoffzelle bisweilen aus dem Fokus. Zu Unrecht, denn dass die Antriebstechnologie eine der Antworten für die Zukunft sein wird, steht außer Frage. Rainer Joest, President Automotive Sales, und Nils Martens, Senior Vice President Battery and Fuel Cell Systems Division, sprechen im Interview darüber, warum die Brennstoffzelle schon so lange von der Industrie angekündigt wurde, was noch zum Durchbruch fehlt und warum die Dichtungen mit die größten Herausforderungen sind.



STARTKLAR: Der für die Brennstoffzelle notwendige Wasserstoff wird in Hochdruckbehältern transportiert.



#### HERR JOEST, HERR MARTENS, WARUM TAUCHT DIE BRENNSTOFFZELLE ALS ANTRIEBSTECHNOLOGIE IN DER ÖFFENTLICHEN DISKUSSION FAST GAR NICHT AUF?

**Rainer Joest:** Weil es zunächst mal eine sehr komplexe und dadurch nach wie vor sehr teure Technologie ist. Für die stationäre Anwendung, wie zum Beispiel als Generator, ist sie relativ einfach zu beherrschen – aber wenn sie als mobiler Antrieb genutzt werden soll, ist das deutlich schwieriger. Da kommen Umwelteinflüsse hinzu, wie Temperaturschwankungen, Feuchtigkeit oder Erschütterungen. Das generiert Kosten, die ein Autofahrer heute nicht bereit wäre zu zahlen. Niemand gibt mehr Geld aus, nur weil es eine interessante Zukunftstechnologie ist.

**Nils Martens:** Eigentlich gibt es die Brennstoffzelle schon sehr, sehr lange. Viele der großen Autohersteller haben in den 90er Jahren mit Wasserstoff experimentiert. Von damals stammte die Aussage, dass die Technologie in ein paar Jahren serienreif sei. Daraus ist nichts geworden, viele Hersteller haben sich ein wenig vergaloppiert und konnten nicht alle technischen Herausforderungen zu ihrer Zufriedenheit lösen. Vor allem die europäischen Autoproduzenten haben dann die Entwicklung nur noch auf Sparflamme betrieben oder direkt auf Eis gelegt.

#### DAS HEISST, ES GIBT REGIONALE UNTERSCHIEDE? WIRD DAS POTENZIAL DER BRENNSTOFFZELLE WELTWEIT UNTERSCHIEDLICH BEWERTET?

**Joest:** Japan setzt stark auf die Brennstoffzelle, so sehr, dass einige Hersteller wiederum die Entwicklung der Batteriefahrzeuge vernachlässigt haben. Im Grunde reden wir heute allerdings bei vielen dieser Themen von weltweiten Kooperationen, Hersteller suchen sich Partner. Toyota arbeitet zum Beispiel bei der Brennstoffzelle mit BMW, während Honda mit General Motors forscht. So eine komplexe Entwicklung macht niemand mehr alleine.

#### WOHER KOMMT DIESE UNTERSCHIEDLICHE BEWERTUNG?

**Martens:** Für Toyota war lange Zeit das entscheidende Argument, dass das Brennstoffzellenauto das vergleichsweise sicherere Fahrzeug ist, und das Handling des Tanks vergleichbarer mit heutigen Benzinern ist. Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Lithium-Ionen-Batterie in Brand gerät, ist größer, als dass etwas mit der Brennstoffzelle passiert. Allerdings gibt es auch im Brennstoffzellenfahrzeug und dessen benötigter Infrastruktur eine potenzielle Gefahrenquelle – nämlich in Form der Hochdruckbehälter. Diese gilt es zu beherrschen, immerhin sprechen wir von Drücken im Bereich von 700 bar. Auch die Tankwagen wären Gefahrguttransporte. Insofern ist die dazugehörige Infrastruktur wohl nichts, was man einfach mal so nebenbei in der Innenstadt installiert. Wohlgemerkt: Das ist alles in den Griff zu bekommen. Es müssen eben nur noch Entwicklungen und Innovationen folgen, und die wiederum brauchen Akzeptanz.

„DIE VORTEILE SIND NACH WIE VOR SEHR ÜBERZEUGEND. DIE BRENNSTOFFZELLE ERZEUGT KEINE ABGASE. SIE LÄSST SICH GENAUSO SCHNELL BETANKEN WIE EIN DIESELAUTO.“

#### RAINER JOEST President Automotive Sales

Nach seinem Maschinenbaustudium an der TU Darmstadt trat er bereits 1978 in die Forschungsabteilung von FST ein. Es folgten Stationen als Entwicklungsingenieur, als Leiter der Einheit Spezialdichtungsprodukte sowie seit 2011 als Leiter der Gasket-Division.

2016 übernahm er Sales und Marketing für das Automobilgeschäft.



**Joest:** Die Vorteile sind nach wie vor sehr überzeugend: Das Brennstoffzellenfahrzeug erzeugt keine Abgase und fährt mit Wasserstoff. Es lässt sich genauso schnell betanken wie ein Dieselauto. Allerdings gibt es in ganz Deutschland heute nur etwa 50 Wasserstofftankstellen.

#### IM FOKUS STEHEN HÄUFIG DIE AUTOS, AUCH WIR HABEN IN UNSEREM GESPRÄCH DIREKT DIESE PERSPEKTIVE EINGENOMMEN – FÜR WELCHE ANDEREN ARTEN VON FAHRZEUGEN WÄRE DIE BRENNSTOFFZELLE INTERESSANT?

**Martens:** Für Lastwagen und Busse, vor allem sämtliche Arten von Überlandtransport. Wer mit einem Schwergewichtsfahrzeug 600 Kilometer am Tag fahren will, der wird auch in Zukunft vermutlich kein rein batteriebetriebenes Fahrzeug nutzen. Dafür wäre eine riesige Batterie nötig, und die Ladezeit würde lange dauern.

**Joest:** Auch für Boote und Schiffe eröffnet die Brennstoffzelle ganz neue Möglichkeiten. Auf Seen gelten strenge Abgasgesetze, Boote mit Brennstoffzellenantrieb hingegen wären hochwillkommen! Oder denken Sie an Fähren oder an Kreuzfahrtschiffe – Letztere verpesten Luft und Wasser, die könnten anstelle von Schweröl mit einer Brennstoffzelle problemlos wieder alle Häfen ansteuern, und sei es als Hybride. Das sind übrigens auch alles Umweltthemen, die künftig noch viel stärker auf uns zukommen werden.

#### SEIT WANN INTERESSIERT SICH FST FÜR DAS THEMA?

**Joest:** Lange, sehr lange schon – seit Ende der 90er Jahre, als die Automobilindustrie das Thema erstmals auf breiter Front für sich entdeckte. Das Entscheidende ist aber: Auch als viele Autohersteller wieder das Interesse verloren, haben wir beschlossen, dass wir weiter dranbleiben. Wir entwickeln also jetzt seit fast 20 Jahren, zum Teil in Zusammenarbeit mit akademischen Partnern, zum Teil auch mit Kunden. Wir haben schon früh begonnen, Dichtungen zu entwickeln. Die Dichtungen zwischen den einzelnen Zellen spielen eine entscheidende Rolle im Betrieb und bei der Lebensdauer der Brennstoffzellen-Stacks.

**Martens:** Das bedeutet auch, wir haben gegenüber den Wettbewerbern zehn bis 15 Jahre Entwicklungsvorsprung. Die Dichtung ist im sogenannten Stack einer Brennstoffzelle ein absolut integraler Bestandteil: Für solch eine Zelle werden ja mehrere Hundert Scheiben aufeinandergestapelt, wenn

„ALS WIR DAMALS MIT SZENARIEN KALKULIERT HABEN, DIE DEN DURCHBRUCH FÜR 2030 VORHERSAGTEN, HABEN UNS VIELE FÜR VERRÜCKT ERKLÄRT. HEUTE RECHNEN DIE MEISTEN EXPERTEN EHER MIT 2025.“



#### NILS MARTENS Senior Vice President Battery and Fuel Cell Systems Division

Seit 2012 bei FST, zunächst bei Strategic Board Projects, später zuständig für Global Industrial Applications und Elektromobilität. Davor arbeitete Martens einige Jahre für die Boston Consulting Group. Seit März 2018 leitet er die neue FST-Businessseinheit für Entwicklung und Vertrieb von Brennstoffzellen.

die Dichtung nicht funktioniert, dann funktioniert das komplette Gebilde nicht, sie muss den Transfer der Gase sicherstellen.

#### WAS UNTERSCHIEDET DIE DICHTUNG EINER BRENNSTOFFZELLE VON ANDEREN ANWENDUNGEN?

**Martens:** Das hochkomplexe Design! Das Material muss besonders dünn sein, sonst wird der ganze Stapel zu groß, trotzdem muss es aber eine entsprechende Temperaturresistenz besitzen und dazu noch Gasbeständigkeit. Da muss jedes einzelne Produkt perfekt sein. So eine Dichtung hat zum Beispiel am Rand drei Lippen, da ist nicht einmal eine mikroskopisch kleine Beschädigung erlaubt.

**Joest:** Wir haben dazu ein speziell zugeschnittenes Material entwickelt, das in dieser Form nur bei der Brennstoffzelle zum Einsatz kommt. Entscheidend sind die Medienbeständigkeit, die Permeation und die Möglichkeit, den Werkstoff sehr dünn aufzutragen. Da können wir natürlich auch unsere Werkstoffkompetenz ausspielen. Wie bei so vielen unserer Entwicklungen ist die Materialmischung entscheidend. Jetzt gilt es für uns aber auch, den nächsten Schritt zu machen, man könnte sagen: von der Musterfertigung zur industriellen Großserie.

#### WO GEHT DIE ENTWICKLUNG HIN, ERLEBEN WIR DEN DURCHBRUCH DER BRENNSTOFFZELLE SCHON IN DEN NÄCHSTEN JAHREN?

**Martens:** Das ist nicht so leicht zu beantworten, weil der Markt derzeit stark von Subventionen abhängt. Wenn die chinesische Regierung zum Beispiel weiterhin so stark die Flotten der Brennstoffzellenbusse fördert, dann entsteht dadurch auch viel schneller ein Markt. In Europa liegt derzeit der Fokus noch sehr stark auf dem batteriegetriebenen Elektroantrieb. Wir als FST wollen nicht nur auf eine Antriebstechnologie setzen, wir haben alle im Blick, und sie haben alle auch ihre Berechtigung. In jedem Fall werden auch in Zukunft die allermeisten Brennstoffzellenfahrzeuge Hybride sein, die bewusst auch die Vorteile einer Batterie nutzen.

**Joest:** Wir werden uns in den kommenden Jahren deswegen auch gezielt um viele Nischenanwendungen kümmern: Lastwagen, Busse, Schiffe, Schienenfahrzeuge. Das hat den Vorteil, dass

wir uns sowohl weiter mit der Technologie auseinandersetzen und lernen als auch gleichzeitig konkret entwickeln können.

#### UM DANN BEREIT ZU SEIN, WENN AUCH DIE AUTOHERSTELLER SO WEIT SIND?

**Joest:** Ja. Wir können die Dichtung auf unterschiedliche Bauteile der Brennstoffzelle applizieren, je nach Kundenwunsch, und haben uns damit einen eindeutigen Wettbewerbsvorteil geschaffen. Auch andere Elemente der Brennstoffzelle können wir mit unseren Partnern darstellen, wie zum Beispiel Thermomanagement und Elektronikmanagement. Unser Ziel ist es durchaus, das gesamte Brennstoffzellenmodul zu liefern, also alle Elemente, die zu einem Stack dazugehören.

#### EINE PROGNOSE FÜR DEN DURCHBRUCH WAGEN SIE ALSO DERZEIT EHER NICHT?

**Martens:** Als wir damals mit Szenarien kalkuliert haben, die das für 2030 vorhersagten, haben uns viele für verrückt erklärt. Heute rechnen die meisten Experten eher mit 2025.

**Joest:** Ab 2020 werden wir wohl klarer sehen, da wollen die ersten Hersteller größere Stückzahlen herausbringen, damit wird dann parallel auch die Infrastruktur steigen und im Gegenzug auch die Bereitschaft der Autokäufer. Aber noch gibt es ja kaum Tankstellen.

**Martens:** Ja, Innovationen folgen bekanntlich gerne einer S-Kurve. Der Wendepunkt wird kommen.

**Joest:** Erinnern Sie sich an die Einführung des Flachbildschirms! Die ersten dieser Fernseher haben noch 5.000 Euro gekostet, dann ging der Preis auf den eines Röhrenfernsehers runter, und innerhalb weniger Monate konnten Sie Röhrenfernseher nicht mal mehr verschenken.

**Martens:** Wenn erst einmal eine kritische Grenze erreicht ist und von der Innovation mehr zu sehen ist als von der überholten Technologie, kauft niemand mehr das Alte – schon allein aus Angst, es nicht mehr loszuwerden.

**Joest:** Das wird ganz schlagartig gehen. ©

## BRENNSTOFFZELLE

In einer Brennstoffzelle wird in einer chemischen Reaktion aus Wasserstoff und Sauerstoff für den elektrischen Antrieb des Fahrzeugs Strom erzeugt. Der Vorteil: Sie kann betankt werden – innerhalb weniger Minuten. Ein Brennstoffzellenauto benötigt etwa ein Kilogramm Wasserstoff für 100 Kilometer Reichweite. Ausgestoßen als Abgas wird „heiße Luft“ in Form von Wasserdampf.



Mehr News lesen Sie online auf [www.fst.de/news-room/presse](http://www.fst.de/news-room/presse)

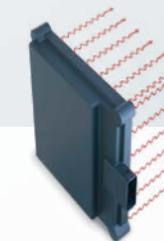


## VIELSEITIGER WERKSTOFF

**Mit seiner Neuentwicklung FluoroXprene trägt Freudenberg Sealing Technologies zu einer ressourcenschonenden und nachhaltigen Wirtschaft bei. Der Werkstoff weist zudem hervorragende Eigenschaften für neue, zukunftsweisende Dichtungslösungen auf.**

FluoroXprene wurde ursprünglich entwickelt, um die Permeation von Kraftstoffdämpfen durch die Wandung der Zuleitungen auf einen Bruchteil der üblichen Menge zu reduzieren. Ganz gleich, ob es sich dabei um Standardkraftstoffe oder um aggressive, alternative Kraftstoffe auf Pflanzenbasis wie E10 oder E85 handelt. FluoroXprene optimiert daneben durch seine elektrische Leitfähigkeit die Sicherheit in Kraftstoffsystemen, da statische Entladungen unterbleiben.

Mit FluoroXprene ist es Freudenberg Sealing Technologies erstmals gelungen, ein prozessfähiges Compound zweier hochfluorierter Werkstoffe zu entwickeln. Dabei wird die hohe chemische Resistenz von Fluorkautschuk (FKM) mit der leichten Verarbeitbarkeit von thermoplastischen Elastomeren (TPE) verbunden. Durch veränderte Anteile der beiden Komponenten beziehungsweise der Bestandteile lassen sich die Produkteigenschaften an eine Vielzahl komplexer Anforderungsprofile anpassen. Dank eines innovativen Fertigungsverfahrens von Freudenberg Sealing Technologies lassen sich bei der Verarbeitung des neuen Werkstoffs Material und Energie einsparen und folglich Abfall reduzieren. FluoroXprene ist somit ein gutes Beispiel, wie Unternehmen ressourcenschonend produzieren sowie gleichzeitig Nachhaltigkeit und Effizienz auf Kundenseite erhöhen können. ©



## „GEZÜCHTETE“ THERMOPLASTE

**Radarsensoren für Assistenzsysteme und hochautomatisiertes Fahren sind durch robuste Gehäuse und Dichtungen vor Umwelteinflüssen abzuschirmen. Hierfür werden Trägergehäuse aus Aluminium verwendet, die Freudenberg Sealing Technologies mit Dichtungen aus Flüssigsilikon (LSR) abdichtet. Nun forscht das Unternehmen erfolgreich an Trägergehäusen aus Kunststoffen.**

Die durch das automatisierte Fahren erhöhten Anforderungen an Radarsensoren bringen eine steigende Leistungsdichte und damit eine stärkere Wärmeentwicklung mit sich. Für den Einsatz von Kunststoffen bedeutet das, sie mit der erforderlichen thermischen Leitfähigkeit auszustatten. Daneben sind die Elektronikbauteile gegen elektromagnetische Interferenzen abzuschirmen. Für eine Kunststoffmischung mit solchen Eigenschaften eignen sich bestimmte Basispolymere, die mit Füllstoffen und Additiven beeinflusst werden. Freudenberg Sealing Technologies ist es gelungen, Thermoplaste mit einer zehn- bis hundertfach besseren Wärmeleitfähigkeit zu entwickeln, Thermomanagement und elektromagnetische Verträglichkeit inklusive.

Eine spezielle Rezeptur der Thermoplaste verbessert die Haftung zwischen Gehäuse und Silikondichtung. Zudem sind die Bauteile bis zu 50 Prozent leichter, und das Spritzgussverfahren ermöglicht eine einfachere Herstellung. Bei der Entwicklung zukünftiger Sensor-konzepte kann Freudenberg Sealing Technologies die Materialeigenschaften des Kunststoffs exakt auf den jeweiligen Anwendungsfall hineinstellen und das Design auslegen. Denn: Die Eigenschaften von Thermoplasten lassen sich gezielt „züchten“. ©



## FEEDBACK UND KONTAKT

### AKTUELL UND UMFASSEND INFORMIERT

Sie wollen mehr über Freudenberg Sealing Technologies, unsere Produkte, Lösungen und Services erfahren? Dann schauen Sie auf [www.fst.de](http://www.fst.de) vorbei und entdecken Sie unser umfangreiches Portfolio. Auf unserer Internetseite können Sie sich sämtliche Ausgaben unseres Kundenmagazins als PDF herunterladen oder das Magazin kostenlos abonnieren.

Wenn Sie der Zusendung von „Essential“ gemäß dem Widerspruchsrecht des Bundesdatenschutzgesetzes § 28 IV Satz 1 BDSG widersprechen möchten, senden Sie einfach eine E-Mail unter Angabe Ihrer Adresse an: [essential@fst.com](mailto:essential@fst.com)

### WIR FREUEN UNS AUF DEN DIALOG MIT IHNEN!

**FREUDENBERG SEALING  
TECHNOLOGIES GMBH & CO. KG**

**ISOLDE GRABENAUER**  
+49 6201 80-7467  
[isolde.grabenauer@fst.com](mailto:isolde.grabenauer@fst.com)

**ULRIKE REICH**  
+49 6201 80-5713  
[ulrike.reich@fst.com](mailto:ulrike.reich@fst.com)

### IMPRESSUM

#### HERAUSGEBER

FREUDENBERG SEALING TECHNOLOGIES  
GMBH & CO. KG  
Corporate Communications  
Höhnerweg 2–4, D-69469 Weinheim

#### VERANTWORTLICH FÜR DEN INHALT

Ulrike Reich (V. i. S. d. P.)

#### CHEFREDAKTION

Isolde Grabenauer

#### REDAKTION

Profilwerkstatt GmbH,  
Redaktionsbüro delta eta

#### GESTALTUNG & KONZEPTION

Profilwerkstatt GmbH

#### DRUCK

ABT Print und Medien GmbH  
Bruchsaler Straße 5  
D-69469 Weinheim

#### COPYRIGHT

Freudenberg Sealing Technologies  
GmbH & Co. KG, 2018

Alle Rechte vorbehalten. Vervielfältigung dieser Unterlage sowie Verwertung ihres Inhalts unzulässig, soweit nicht ausdrücklich zugestanden. Technische Änderungen vorbehalten. Die Informationen in diesem Dokument enthalten allgemeine Beschreibungen der technischen Möglichkeiten, welche im Einzelfall nicht immer vorliegen müssen.

### BILDNACHWEIS/COPYRIGHT

S. 3	Ian Kristoffer Lava / gettyimages.com	S. 38	ferrantraite / istockphoto.com
S. 8–9	Mit freundlicher Genehmigung von Barney Swan	S. 40	dowell / gettyimages
S. 10–11	Andrew Mayovskyy / shutterstock.com	S. 41	OliverChilds / istockphoto.com
S. 12–13	Al Projekt, picture alliance / Action Images	S. 42	Kinwun / istockphoto.com
S. 15–20	Ina Slomka / Nadine Hippe	S. 44–45	pelamis wave power, picture alliance / dpa
S. 22–23	Illustration / Daniel Wiesen, BLACKDAY, Baranov E, gudunny, Epitavi / shutterstock.com	S. 47	alex-mit / istockphoto.com
S. 24–27	David Frogier de Ponlevoy	S. 48	picture Alliance / MAXPPP
S. 28–29	Nadine Hippe	S. 52–55	Illustration / Jelka Lerche
S. 30	Panther Media GmbH / Alamy Stock Foto	S. 56–57	Siemens Gamesa
S. 31	ENERCON GmbH	S. 58	Rotor Control GmbH
S. 32–33	hadynyah / istockphoto.com	S. 60	monap / istockphoto.com
S. 34	Björn Wylezich / Alamy Stock Foto	S. 62–65	Photostudio M
S. 36–37	Illustration / Maren Schmitt	S. 66–71	Illustration / Jelka Lerche
		S. 73	Jochen Tack / Alamy Stock Foto



Produziert auf FSC®-zertifiziertem  
Papier aus vorbildlicher Forstwirtschaft



Klimaneutral produziert

SETTING CAPABILITY BENCHMARKS.

# RESISTENT GEGEN VERSCHLEISS



## WIDERSTANDSFÄHIGE DICHTUNGEN FÜR RAUE BEDINGUNGEN.



FREUDENBERG  
SEALING TECHNOLOGIES

 **FREUDENBERG**  
INNOVATING TOGETHER

FREUDENBERG  
SEALING TECHNOLOGIES

