

# tomorrow

TECHNOLOGIE ERLEBEN MIT SCHAEFFLER



## Saubere Energie

Das Thema Energie neu  
denken und definieren

## Energiekette

Quelle, Speicher und  
Verbraucher im Zusammenspiel

## ***E[n]er|gie, die; - [enɛʁ'gi:]***

In der Physik ist der Ausdruck Energie als die Menge von Arbeit definiert, die ein physikalisches System verrichten kann. Entsprechend dieser Definition kann Energie weder erzeugt noch verbraucht oder zerstört werden.

Arbeit ist Kraft mal Weg. Wenn man an einem Körper Arbeit verrichtet, vergrößert man seinen Energiegehalt. Energie ist also „gespeicherte Arbeit“. Diese „gespeicherte Arbeit“ kann wieder abgegeben werden.

Energie kann in verschiedene Formen umgewandelt werden: Z. B. kann die kinetische Energie von bewegten Luftmolekülen vom Rotor einer Windkraftanlage in Rotationsenergie umgesetzt werden. Diese wiederum wird durch den angeschlossenen Generator in elektrische Energie umgewandelt. Bei jeder Art von Energieumwandlung wird ein Teil der Energie in Wärme (Reibung) umgeformt.

Im Internationalen Einheitssystem (SI-Einheit) wird Energie, Arbeit und Wärmemenge in Joule angegeben.

### **ENERGIETRÄGER**

Nach der Reihenfolge ihres Einsatzes lässt sich die Energie in vier Stufen einteilen:

**Primärenergieträger** kommen in der Natur direkt vor, wie Stein- und Braunkohle, Erdöl oder -gas sowie erneuerbare Energiequellen. Sie sind keiner Umwandlung unterworfen.

In den meisten Fällen muss Primärenergie in Kraftwerken, Raffinerien etc. in **Sekundärenergieträger** umgewandelt werden (z. B. Koks, Briketts, Strom, Fernwärme, Heizöl oder Benzin).

Die Energie am Ort der/des Verbraucherin/Verbrauchers ist **Endenergie**, diese wird, wieder unter „Verlusten“, in **Nutzenergie** umgewandelt (Heiz- und Prozesswärme, Licht sowie mechanische Energie).

### **ENERGIEVERLUSTE**

Wenn umgangssprachlich von Energieverlusten gesprochen wird, ist jener Teil der Energie gemeint, der in der nächsten Energieumwandlungsstufe nicht mehr direkt zur Verfügung steht. In der Physik wird dafür der Begriff „Entropie“ definiert. Damit ist gemeint, dass man umso weniger nutzbare Arbeit durch Energieumwandlung erzielen kann, je mehr Energie in Wärme umgewandelt wird.

Energie kann von einem Körper aufgenommen, gespeichert und wieder abgegeben werden.

Energieaufnahme durch einen Körper geschieht meist, indem an dem Körper eine (äußere) Arbeit verrichtet wird. Der Körper gibt Energie ab, wenn er selbst Arbeit an einem anderen Körper verrichtet.

Energie und Arbeit sind also einander äquivalent und lassen sich ineinander transferieren. Die Energieänderung ist gleich Arbeit.

### **EINHEITEN FÜR ENERGIE UND UMRECHNUNGSFAKTOREN**

**Joule (J)** = physikalische Einheit für Energie, Arbeit und Wärmemenge

Die Arbeit von 1 Joule wird verrichtet, wenn man zum Beispiel einen Körper mit der Gewichtskraft von 1 Newton (d. h. einen Körper mit der Masse 0,102 kg) um 1 Meter hochhebt.

Ein Joule entspricht jener Energie, die benötigt wird, um für die Dauer einer Sekunde die Leistung von einem Watt aufzubringen (1 Wattsekunde).

**Wattstunde (Wh)** = Maßeinheit der Arbeit.

Eine Wattstunde entspricht der Energie, welche eine Maschine mit einer Leistung von einem Watt in einer Stunde aufnimmt oder abgibt.

**Watt (W)** = Einheit für die Leistung, also die Energie pro Zeit.

## LIEBE LESERIN, LIEBER LESER,

wir leben in spannenden Zeiten. Die Geschwindigkeit, mit der sich Technologien weiterentwickeln oder neu entstehen, ist hoch. Die Branchen, in denen sich Schaeffler als global tätiger integrierter Automobil- und Industriezulieferer bewegt, sind derart energiegeladen, dass man das Knistern förmlich spürt.

Das Schwerpunktthema der aktuellen Ausgabe unseres Technologiema­gazines „tomorrow“, in der ich Sie herzlich begrüße, lautet „Energie“. Ohne Frage ein weites, vielschichtiges Feld. Folgt man Albert Einstein, kann man das Thema in zwei Buchstaben und einer hochgestellten Zahl zusammenfassen: Energie ist gleich  $mc^2$ . Das Naturgesetz und der Mann, der es bei der Ausarbeitung seiner Relativitätstheorie entdeckt hat, dürfen natürlich nicht fehlen in einem Magazin, das sich des Themas Energie annimmt. Auf die Frage, wie er seine berühmte Relativitätstheorie er­sonnen habe, antwortete Einstein gern: „Mir ist ein prächtiges Licht aufge­gangen.“ Sozusagen eine zerebrale Energieentladung, eine geniale Eingebung oder ein Geistesblitz. Was wäre die Menschheit ohne sie?

Eine solche geniale Eingebung hatte auch Georg Schaeffler im Jahr 1949. Das Ergebnis: das käfiggeführte INA-Nadellager – ein wichtiger Grundstein des heutigen Schaeffler-Konzerns und ein Meilenstein der Industrialisierung. Der 1996 verstorbene Firmengründer Georg Schaeffler wäre in diesem Jahr 100 Jahre alt geworden. Ein schöner Anlass, um in diesem Magazin auf das Leben des energiegeladenen Unternehmers zurückzublicken. Georg Schaeffler wurde angetrieben von der Lust, Neues zu entdecken, und sah den Wandel stets als Chance.

Beides hat sich tief in der DNA des Unternehmens verwurzelt, das seinen Namen trägt. Beim Lesen dieses Magazines werden Sie immer wieder auf Innovationen von Schaeffler stoßen, die helfen, Energie effizient zu generieren und zu nutzen. Seien es Lager für Windräder und Solaranlagen, Systemlösungen für die Mobilität von morgen und die Industrie 4.0 oder auch neue Oberflächentechnologien. Bei seinen Entwicklungen schaut



Schaeffler gern auch Richtung Natur. Anhand von sechs faszinierenden Beispielen aus der Fauna zeigt „tomorrow“ ab Seite 34 auf, wie effizient Tiere mit vorhandenen Energieressourcen umgehen und was technische Entwickler daraus lernen können.

Stichwort „Natur“. Sie ist eine unerschöpfliche Energiequelle. Bestes Beispiel: Island. Die brodelnde Vulkaninsel im Nordatlantik deckt ihren Strom- und Wärmebedarf komplett CO<sub>2</sub>-neutral mit Wasserkraft und Geothermie. Mehr dazu ab Seite 14. Anderswo setzt man auf die Kraft der Sonne, die dank des technischen Fortschritts immer besser angezapft wird. So konnten Forscher bereits Solarenergie nutzen, um aus Kohlendioxid und Wasser hochenergetische Treibstoffe herzustellen. Die dabei gewonnenen Mengen sind noch klein, aber auch das kann sich schnell ändern. Oder sind Kalte Fusion und Antimaterie die Energiequellen der Zukunft? Dieser Frage nimmt sich „tomorrow“ ab Seite 70 an.

Wie anfangs geschrieben: Das Thema „Energie“ ist ein weites Feld, und ich hoffe, Sie sind jetzt neugierig genug, zu ein paar spannenden und informativen Streifzügen aufzubrechen.

**Klaus Rosenfeld**  
Vorsitzender des Vorstandes

## global

Blick in die Welt

8

### GUT ZU WISSEN

Daten, Fakten, Kurioses – ein **360-Grad-Rundumblick** über das weite Feld des Themas „Energie“

14

### BRODELNDES EILAND

Auf der **Vulkaninsel Island** zeigt sich, wie viel Energie in der Erde steckt und wie man sie nutzen kann

20

### GENIE UND POPSTAR

Albert Einstein verfasste die Energie-Formel  $E=mc^2$  und rückte die physikalische Grundordnung zurecht

24

### HIMMLISCHE POWER

Ein **paar Sekunden Sonne** – und schon hat die Erde genug Energie für einen Tag. Zumindest theoretisch

30

### STRASSE MUSS SEIN

**Fahrbahnen werden multifunktional** und damit wichtige Bausteine für die Mobilität für morgen

34

### ANIMALISCH EFFIZIENT

Sechs Beispiele, wie klug **Tiere mit Energie haushalten** – und was der Mensch daraus lernen kann



## in bewegung

Innovationen im Laufe der Zeit

42

### FEUER UND DAMPF

Eine lange Zeitreise durch die **Geschichte der Energie** und ihrer Quellen

48

### ANPACKER

Ein Mann voller Ideen und Energie: Vor 100 Jahren wurde Firmengründer **Dr. Georg Schaeffler** geboren

52

### AUTO-MEILENSTEINE

14 Prachtexemplare der vergangenen Jahrzehnte zeigen die **Fortschritte der automobilen Evolution**

58

### FIT FOR FUTURE

Der **Verbrennungsmotor** ist noch lange kein Auslaufmodell. Und er wird noch effizienter werden

60

### ENERGIE PERFEKT NUTZEN

Geschwindigkeit allein ist nicht mehr alles im Motorsport. Bestes Beispiel: die **24 Stunden von Le Mans**





## jetzt-zeit

Leben mit dem Fortschritt

### 70 UNFASSBARE KRÄFTE

Das **Universum ist voller Energiequellen** – aber nicht alle lassen sich anzapfen

### 74 ERST MAL AUFWÄRMEN

20 Minuten statt 6 Stunden – **mit Starkstrom** macht Schaeffler tonnenschwere Bauteile gefügig

### 76 WINDIGE TYPEN

Wer für **Montagearbeiten** eine Offshore-Windanlage erklimmt, sollte sturmerprobt sein

### 82 WEISER WEGWEISER

**Pater Anselm Grün** zeigt stressgeplagten Managern, wie sie neue Energien tanken

## ausblick

Technik für morgen

### 88 ZELLFORSCHUNG

Ob Akku oder Pumpspeicherwerk – findige Köpfe tüfteln an den **Energiespeichern von morgen**

### 94 NEUE TREIBSTOFFE

Fossile Brennstoffe bekommen Konkurrenz aus dem **Chemie- und Bio-Labor**

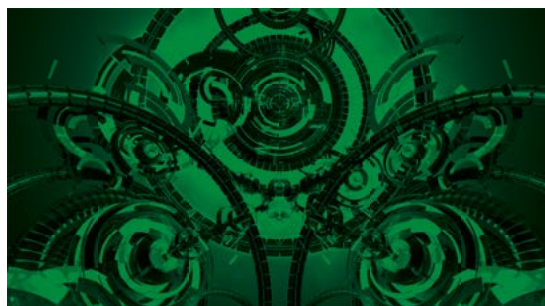
### 98 IM MIKROMETERBEREICH

Die Wunderwelt neuer **Oberflächentechnologien** offenbart sich erst beim Blick durchs Mikroskop

### 102 DA GEHT NOCH WAS

Die **Digitalisierung** hilft der energieintensiven Industrie, Ressourcen effizienter zu nutzen

### 106 IMPRESSUM



# LAST ALS TREIBSTOFF

— Eine 750 Meter lange Perlenschnur aus 68 Waggons, beladen mit 6.800 Tonnen Erz – die Züge des schwedischen Minenbetreibers LKAB sind Giganten des Güterverkehrs. Gezogen von zwölfachsigen Doppellokomotiven vom Typ Bombardier IORE 118, die mit einer Leistung von 2 x 5,4 Megawatt zu den stärksten E-Loks der Welt zählen. So weit, so beeindruckend. Doch der eigentliche Clou: Die schwedischen Eisenerztransporte sind fast ein Perpetuum mobile. Von den Minen in den nordschwedischen Bergen zur Verschiffung in den Häfen von Narvik

(Norwegen) und Luleå (Schweden) rollen die schwer beladenen Züge die meiste Zeit bergab. Die dabei entstehende Bremsenergie wird in Batterien gespeichert. Die Energiebilanz ist beeindruckend: Ein Fünftel des so gewonnenen Stroms reicht, um die Züge zu den Häfen zu bringen. Mit den verbleibenden 80 Prozent ziehen die Loks die nun leeren Waggons retour zu den Minen. In den USA gibt es Überlegungen, einen solchen Eisenbahn-Kreislauf als großen Energiespeicher ähnlich einem Pumpspeicherkwerk einzusetzen. Mehr dazu ab Seite 88.

## DIE LÄNGSTEN GÜTERZÜGE



### Zum Vergleich: der längste Personenzug

**1.733 Meter** NBMS (1991, Belgien), 1 E-Lok, 70 Waggons

Quelle: Wikipedia



# global

Blick in die Welt

**» Einst war die Lokomotive für den Menschen ein Ungeheuer aus Stahl, doch was ist sie heute anderes als ein bescheidener Freund, der jeden Abend um sechs vorbeikommt?**

Antoine de Saint-Exupéry





# 360° ENERGIE

Zahlen, Fakten, Kurioses – ein Rundblick auf die Welt der Energie.

— von Carsten Paulun

## HOHE WINDE GÜNSTIGER ALS TIEFE KOHLE

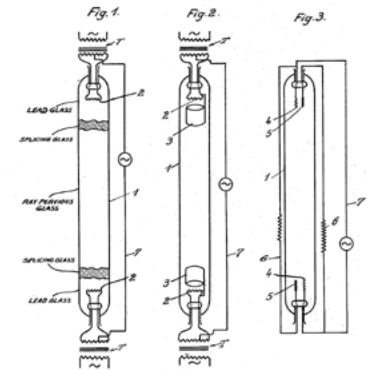
70 Unternehmen und Forschungsinstitute arbeiten weltweit daran, Höhenwinde zur Energiegewinnung zu nutzen. Die deutsche Firma EnerKite in Brandenburg erwartet, dass Strom aus Höhenwind in der Zukunft vier Cent je Kilowattstunde kosten wird und damit billiger wäre als der Strom aus dem bislang günstigsten Energieträger Kohle.

Mehr zum Thema  
Windenergie auf  
Seite 76



**Nur 3 Kupfer-Atome** im Durchmesser misst der Kern der dünnsten Stromleitung im Durchmesser. Als Mantel dient eine hauchdünne Schwefel-Diamant-Schicht. Der Clou: Wie winzige Legosteine positionieren sich die Moleküle selbstständig in passender Figuration aneinander und wachsen zum Kabel heran, das mit bloßem Auge nicht zu erkennen ist. Eingesetzt werden sollen die Mikro-Leiter naturgemäß dort, wo wenig Platz zur Verfügung steht, zum Beispiel bei Handys.

Quelle: Stanford University



## AUFBRUCH ZUR ENERGIESPARLAMPE

Das Jahr 1926 markiert einen wichtigen Meilenstein auf dem Weg zur Energiesparlampe. Die Idee des deutschen Erfinders Edmund Germer, die Glaskolben unter höherem Druck zu füllen und die Innenseiten mit einem fluoreszierenden Stoff zu beschichten, der ultraviolette Strahlung in Licht umwandelt, revolutioniert die Gasentladungslampe. Die erste rudimentäre Form der heutigen Energiesparlampe ist geboren. Das von Germer angemeldete Konzept (Abbildung) der Fluoreszenzlampen wird von General Electric gekauft. Die erste große Produktion der Energiesparlampe für private Haushalte beginnt 1938.

## 75%

der Energie zum Kochen kann man sparen, wenn man einen Deckel benutzt. Wer noch weiter sparen möchte, ist mit einem Schnellkochtopf gut beraten. Der spart noch mal 50 Prozent.



## 56 kWh

Energie stehen einem Formel-E-Piloten pro Rennen zur Verfügung, das entspricht der Energiemenge von 20.000 AA-Batterien oder dem Stromverbrauch eines Zwei-Personen-Haushalts in sechs Tagen. Mehr über Energie im Motorsport auf Seite 60.

## 38 MIO. JAHRE

So lange müssten alle aktuell im Betrieb befindlichen Kernreaktoren mit voller Kraft laufen, um die Energiemenge umzusetzen, die die Sonne sekundlich in ihrem Kern umsetzt. Die Sonne ist somit der uneingeschränkte Star unter den Energielieferanten auf der Erde, obwohl nur ein Bruchteil der Energie der Sonne auf der Erde ankommt. Mehr zum Thema Sonnenkraft und Solarenergie ab Seite 24.



## 30.000 GRAD CELSIUS

So heiß wird es für wenige Mikrosekunden im Inneren eines Blitzes, der während eines Gewitters natürlich entsteht. Bevor es zur Blitzentladung kommt, können zwischen Gewitterwolken und der Erde Spannungen von einigen 100 Millionen Volt auftreten. Im Blitz selbst fließen dann in Sekundenbruchteilen Ströme, die in seltenen Fällen bis zu einigen 100.000 Ampere stark sind – zum Vergleich: Eine Energiespar-Glühbirne benötigt 0,1 Ampere. Dennoch können Blitze unsere Energieprobleme nicht lösen: Bei einer durchschnittlichen Blitzentladung wird nicht mehr Energie freigesetzt, als etwa zehn Liter Heizöl liefern. Der Blitz ist einfach zu schnell vorbei.

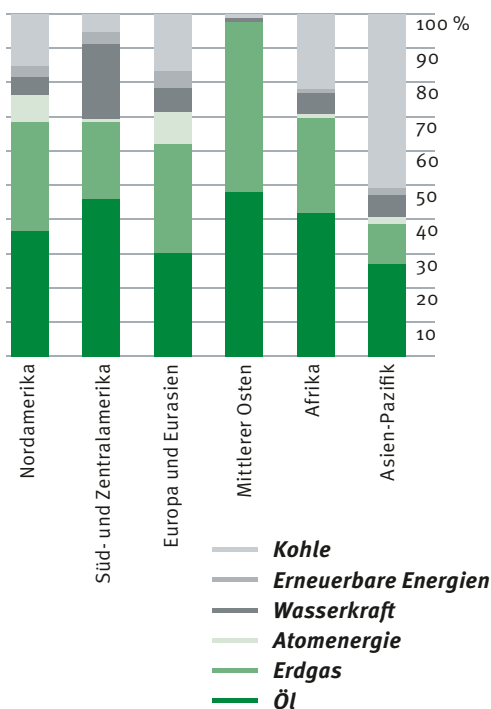
# 450

Atomkraftwerke sind weltweit am Netz.



Quelle: atw – International Journal for Nuclear Power, (31.12.2016)

### DER GLOBALE ENERGIEMIX



## 582 PROZENT ZU VIEL

Viele digitale Stromzähler zeigen zu viel an. Das hat eine Studie der Universität Twente in den Niederlanden ergeben. Demnach wiesen mehr als die Hälfte der untersuchten Stromzähler viel zu hohe Werte aus, teilweise um bis zu 582 Prozent! Den Grund lieferten die Forscher gleich mit: Moderne Stromspargeräte im Haushalt nutzen den Strom nicht mehr wellenartig, sondern abrupt. Das können die Messgeräte aber nicht verarbeiten und liefern so falsche Messwerte.





**8 JAHRE, 7 MONATE UND 6 TAGE SCHREIEN ERZEUGT GENUG SCHALLENERGIE, UM EINE TASSE KAFFEE ZU ERHITZEN.**

## HEIZEN IM VORBEIGEHEN

250.000 Menschen erhitzen in Stockholm mit ihrer Körperwärme ein renoviertes Bürogebäude – und zwar sind es die täglichen Besucher des Hauptbahnhofes, des größten Verkehrsknotenpunktes Skandinaviens. Sie produzieren zusammen etwa 25 Megawatt Wärme. Diese Wärme wird in das auf der anderen Straßenseite gelegene 13-stöckige Bürogebäude geleitet. Somit wird nicht nur CO<sub>2</sub> eingespart, sondern auch rund ein Viertel der Energiekosten. Auch Paris nutzt die Abwärme von Bahnbesuchern. Mit der Abwärme einer Metrostation werden 17 Appartements beheizt.

# 800 Volt

kann ein Zitteraal erzeugen. Der südamerikanische Süßwasserfisch besitzt bis zu 6.000 Elektrozyten, die zusammen etwa zwei Millisekunden lang eine Stromstärke von einem Ampere produzieren. Der Strom wird zur Verteidigung, aber auch zum Angriff auf Beutetiere benutzt. Der Stromschlag kann auch für Menschen gefährlich werden, weil er zu Muskelverkrampfungen und Atemstillstand führen kann.

## DIE 10 GRÖSSTEN KRAFTWERKE DER WELT – NEUN DAVON ARBEITEN MIT WASSERKRAFT

Drei-Schluchten-Talsperre (China, Foto)

**22,5 GW**

Itaipú (Brasilien)

**14 GW**

Xiluodu (China)

**13,9 GW**

Guri (Venezuela)

**10 GW**

Tucuri (Brasilien)

**8,4 GW**

Kashiwazaki-Kariwa (Japan)\*

**8,2 GW**

Grand Coulee (USA)

**6,8 GW**

Xiangjiaba (China)

**6,4 GW**

Longtan (China)

**6,3 GW**

Sayano-Shushenskaya (Russland)

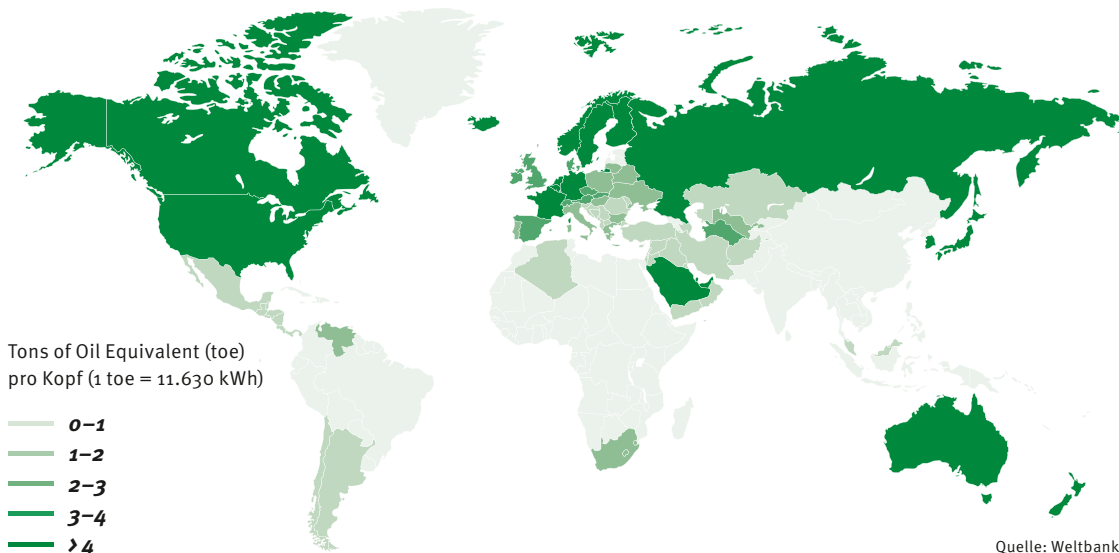
**6,3 GW**

\* Atomkraft (zurzeit außer Betrieb)

Quelle: US Energy Information Administration (2015)

Der Bau der Drei-Schluchten-Talsperre dauerte 15 Jahre und kostete rund 75 Mrd. US-Dollar

## ENERGIEVERBRAUCH WELTWEIT PRO KOPF UND JAHR



Quelle: Weltbank 2013



## 2.000-mal

mehr Licht als Wachskerzen erzeugen Glühwürmchen aus der gleichen Energiemenge. Selbst moderne LED-Lampen benötigen 7,5-mal mehr Energie für jene Lichtmenge, die ein Glühwürmchen erzeugt.



## 660 kcal

haben 100 Gramm Paranüsse und sind damit die Energiebomben unter den Lebensmitteln. Zum Vergleich: 100 Gramm Zucker bringen es „nur“ auf 405 kcal.

**FÜR EINE KILOWATTSTUNDE ENERGIE EMITTIERT  
AUTOGAS (LPG) 128,1 GRAMM CO<sub>2</sub>, ERDGAS  
(CNG) 249,1 GRAMM, BENZIN 261,8 GRAMM UND  
DIESEL 269,4 GRAMM.**

### 564 MILLIONEN TONNEN EINGESPART

China hat seine Steinkohleförderung zwischen 2013 und 2016 jährlich um durchschnittlich 4,9 % gesenkt. Hört sich nicht nach viel an, weil China aber mit einem Weltmarktanteil von rund 50 % bei Förderung und Verbrauch mit großem Abstand das Kohle-Land Nummer eins ist, fällt die unter Tage gebliebene Menge gewaltig aus: Die aufaddierten 564 Millionen Tonnen entsprechen fast der Jahresförderung der drittgrößten Kohle-Nation Indien.

Quelle: National Bureau of Statistics of China



Seinen Facebook-Status vom Smartphone aus zu aktualisieren verbraucht **100-mal weniger Energie** als über den Desktop-PC. Und wenn 100 Millionen Nutzer eine Stunde am Tag auf dem Handy im Internet surfen statt auf dem Heimcomputer, spart das pro Jahr die Treibhausgas-Emissionen, die 430.000 Autos im gleichen Zeitraum ausstoßen.

Quelle: Nokia

## 600 Mio.

Menschen waren am 31. Juli 2012 in Nord- und Ostindien ohne Strom. 20 von 28 indischen Bundesstaaten waren vom größten Stromausfall der Geschichte betroffen. Ursache war eine Überlastung des Stromnetzes.

## WISSEN SPART ENERGIE

100 Mal googeln verbraucht in etwa so viel Strom wie eine 60-Watt-Glühbirne in einer halben Stunde. Googles Datenzentren sind nämlich hungrige Energiefresser. Nach Google-Angaben verbrauchen sie ungefähr 0,013% des weltweiten Energiebedarfs.



## EWIGES LICHT

Die dienstälteste Glühbirne der Welt leuchtet in der Feuerwache von Livermore im US-Bundesstaat Kalifornien – seit 1901, und zwar durchgehend, sieht man einmal von unverschuldeten Zwischenfällen wie Stromausfällen ab. Seit ein paar Jahren wird die „Centennial Bulb“ per Webcam ([centennialbulb.org](http://centennialbulb.org)) beobachtet. Diese mussten im Gegensatz zur Birne schon dreimal ausgetauscht werden.

**Bei Sonneneruptionen** werden durch Teilchenbeschleunigung Energien oberhalb von 10 Megaelektronenvolt erzeugt. Das entspricht einer Beschleunigungsspannung von einer Milliarde Volt. Die Fotomontage zeigt eine solche Sonneneruption im Größenvergleich mit der Erde.



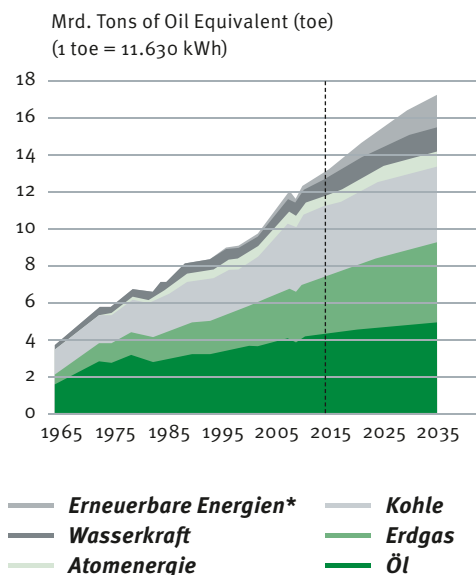
Erde als Maßstab



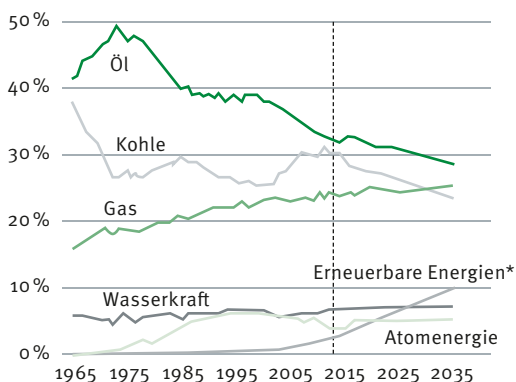
**1.000.000.000.000.000**

1 BILLIARDE US-DOLLAR SOLL DIE WELTWEITE UMSTELLUNG AUF ERNEUERBARE ENERGIEN BIS ZUM JAHR 2030 KOSTEN.

### PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH NACH ENERGIETRÄGER



### ANTEILE PRIMÄRENERGIE



\* Erneuerbare Energien beinhalten Wind, Solarenergie, Geothermie, Biomasse und Biokraftstoffe

Quelle: BP P.L.C. 2017

» **Energie kann nicht erzeugt, sondern nur von der einen Form in die andere umgewandelt werden**

Energieerhaltungssatz nach Julius Robert von Mayer, James Prescott Joule und Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz



**400 Mio. €**

könnten nach Einschätzung der EnergieAgentur.NRW allein in Deutschland jährlich durch energieeffiziente Straßenbeleuchtung eingespart werden. In 50 Prozent der deutschen Kommunen werden Straßenbeleuchtungen betrieben, die auf dem technischen Stand der 1960er-Jahre sind.



#### DER AUTOR

Daten und Fakten sind für unseren Autor **Carsten Paulun** (50) die zweite Heimat. Schon sein Abitur baute er mit Mathe und Physik. Zurzeit sitzt er jede freie Minute an seinem Smartphone und überprüft den stündlichen Ertrag seiner gerade angeschafften Solaranlage. Nach seinen Berechnungen amortisiert sie sich nach 11,27 Jahren. Wenn das Wetter mitspielt ...



# MIT DER KRAFT DER NATUR

Island will die „grüne Batterie“ Europas werden. Der Inselstaat im Nordmeer deckt seinen Wärme- und Strombedarf über Geothermie und Wasserkraft. Überschüssiger Strom wird günstig feilgeboten, zum Beispiel an energieintensive Industriezweige, die so aufs vulkanische Eiland gelockt werden.

— von Carsten Paulun

— Katja Laun ist der Liebe wegen aus der Mitte Deutschlands nach Island gezogen. Sie und ihr Mann Freyr betreiben das Gästehaus Uppsalur, 15 Kilometer südlich von Akureyri, der mit nicht ganz 20.000 Einwohnern größten Stadt außerhalb des Ballungsraums Reykjavík. „Ich wollte weg von Industrialisierung, Konsum und all der Hektik in Deutschland. Auch wenn das Leben hier nicht einfach ist, vor allem teuer. Besonders nach der Finanzkrise 2008“, so die Exil-Deutsche. Die drei größten Banken Islands wurden verstaatlicht, die isländische Krone verlor gegenüber dem Euro fast 70 Prozent an Wert, die Preise explodierten. „Nur eines ist bei uns echt günstig: Energie. Egal ob Strom oder Wärme – beides gibt

es hier fast im Überfluss“, erzählt Katja Laun. Kein Wunder, schließlich leben Katja, Freyr und die anderen rund 340.000 Isländer auf der größten Vulkaninsel der Erde.

---

## **Beheizte Straßen**

---

Man muss nur den Finger in den Boden stecken, schon hat man die Natur angezapft. Das ist durchaus wörtlich zu nehmen. Island liegt auf dem Mittelatlantischen Rücken und damit auf der nordamerikanischen und der eurasischen Kontinentalplatte. Beide Platten driften auseinander – jährlich um etwa zwei Zentimeter.



---

# 99%

*der inneren Erdmasse sind über 1.000 Grad heiß, im Erdkern werden über 6.000 Grad erreicht – alles in allem mehr als genug Energie, um die ganze Welt mit Strom und Wärme zu versorgen. Zumindest theoretisch. Aber auch praktisch wird diese regenerative Energiequelle mehr und mehr angezapft.*

---



Die weltberühmte Blaue Lagune zählt zu den großen Touristenattraktionen Islands – dabei ist sie eigentlich nur ein „Abfallprodukt“ des nahe gelegenen Geothermalkraftwerkes Svartsengi

Folge sind vulkanische Aktivitäten, die die Erde unter Island aufheizen. Rund 130 Vulkane, zahlreiche Geysire und dampfende Wasserquellen sind die sichtbaren Zeugnisse dieser schier unendlichen Energie.

Die Isländer haben sich diese Quellen schnell nutzbar gemacht. Schon in der Zeit der ersten Besiedlung um das Jahr 800 wurden Häuser und Ställe mit dem Wasserdampf aus der Erde beheizt, im Lavaboden Brot gebacken. Heute sind es in Reykjavík, der nördlichsten Hauptstadt der Welt, und Akureyri Straßen und Gehsteige, die mit Erdwärme im Winter eis- und schneefrei gehalten werden.

Das erste Fernwärmenetz wurde bereits 1950 gebaut, heute gibt es über 30 Geothermiekraftwerke, darunter auch ein paar kleine, die privat betrieben werden. 90 Prozent aller isländischen Häuser werden mit der Wärme aus der Erde beheizt, der Rest mit Strom. Gas-, Kohle- und Ölheizungen gibt es auf Island nicht mehr.

Alle Geothermiekraftwerke zusammen haben nach Angaben der International Geothermal Association (IGA) eine Leistung von 2.600 Megawatt und liefern 12,7 TWh im Jahr, so viel wie drei bis vier mittelgroße

Kernkraftwerke. Mit sieben Turbinen kann das größte Geothermiekraftwerk der Welt, Hellisheiði im Süden Islands, pro Stunde 300 Megawatt Strom und 130 Megawatt Fernwärme produzieren – genug, um bis zu 200.000 Haushalte zu versorgen.

---

### ***Die zweite Energiequelle: Wasserkraft***

---

Neben der Geothermie ist die Wasserkraft Islands zweite wichtige Quelle für erneuerbare Energie. 49 Wasserkraftwerke stemmen eine Gesamtleistung von rund 2.000 Megawatt und speisen 12,9 TWh Strom ins Netz. Das entspricht laut der nationalen Energiebehörde Orkustofnun 72,9 Prozent des landesweiten Strombedarfs.











Insgesamt erzeugt Island 100 Prozent seines Strom- und Wärmebedarfs CO<sub>2</sub>-neutral und ist damit Vorbild in Europa und der Welt – nicht nur ökologisch, sondern auch ökonomisch. Denn Island ruft den niedrigsten Strompreis Westeuropas auf. Gerade einmal 13 Cent werden für Privathaushalte pro Kilowattstunde fällig. Für Industriekunden ist Strom – wie fast überall auf der Welt – noch günstiger: keine drei (!) Cent pro Kilowattstunde.



## STROM DURCH GEOTHERMIE – DIE TOP-10-LÄNDER

Land	Installierte Leistung [MW]	Jahresleistung [GWh]	Anzahl der Kraftwerke	Zuwachs seit 2010 (installierte Leistung)
 USA	3.450	16.600	209	11%
 Philippinen	1.870	9.646	56	-2%
 Indonesien	1.340	9.600	22	12%
 Mexiko	1.017	6.071	37	6%
 Neuseeland	1.005	7.000	43	32%
 Italien	916	5.660	33	9%
 Island	665	5.245	25	16%
 Kenia	594	2.848	10	194%
 Japan	519	2.687	20	-3%
 Türkei	397	3.127	4	336%

## WÄRME DURCH GEOTHERMIE – DIE TOP-10-LÄNDER

Land	Installierte Leistung [GWh]	Jahresleistung [GWh]	Zuwachs seit 2010 [installierte Leistung]
 China	17.870	48.434	100%
 USA	17.415	21.047	38%
 Schweden	5.600	14.423	25%
 Türkei	2.886	12.536	38%
 Deutschland	2.848	5.425	14%
 Frankreich	2.346	4.407	74%
 Japan	2.186	7.258	4%
 Island	2.040	7.422	11%
 Schweiz	1.733	3.228	63%
 Finnland	1.560	5.000	81%

Quelle: International Geothermal Association (Stand 2015)



---

## 16,6 %

der weltweiten Stromerzeugung erfolgt über Wasserkraft (in Island 72,2 %). Sie liegt damit deutlich vor anderen „Erneuerbaren“ wie Wind (3,1 %), biogenen Stoffen (1,8 %), Solarenergie (0,9 %) und Geothermie (<0,4 %).

Quelle: World Energy Council (Stand 2014)

---

Schon ein Klassiker: das 1937 in Betrieb genommene Wasserkraftwerk Ljósafoss

Ausbaufähig: Gerade mal zwei Windräder hat der nationale isländische Energieversorger Landsvirkjun im Einsatz

Mit diesem schlagkräftigen Argument soll energieintensive Industrie angelockt werden. Wie die Aluminiumverhüttung, die inzwischen für mehr als 50 Prozent des Gesamtstromverbrauchs verantwortlich ist. Aber auch internationale Rechenzentren siedeln sich auf Island an. Neben günstigem und vor allem CO<sub>2</sub>-neutralem Strom gibt es auf Island gut ausgebildete und technikaffine Mitarbeiter. Und ein weiterer Bonus von Mutter Natur: Bei einer Jahresdurchschnittstemperatur von sieben Grad wird die Kühlung der sensiblen Elektronik gleich frei Haus mitgeliefert. Zudem zählt das isländische Stromnetz zu den stabilsten der Welt.

Mit der Industrie wächst auch Islands Energiehunger, sodass die bestehenden Geothermie- und Wasserkraftanlagen erweitert oder neue gebaut werden müssen – was in der Regel Eingriffe in die empfindliche Natur der Insel bedeutet. So wie das 2006 in Betrieb gegangene Kárahnjúkar-Wasserkraftprojekt. Europas höchste Staumauer (fast 200 Meter) wurde errichtet, ein Hochland überflutet – alles, um Strom für eine Aluminiumhütte zu liefern. Entsprechend groß war der – letztlich erfolglose – Widerstand.

Eine mögliche Lösung: Ausbau der Windenergie. Aktuell drehen sich nicht einmal eine Handvoll Windräder auf Island. Im sehr dünn besiedelten Nordosten weht ein stetiger Wind – ein guter Standort für neue Windparks, die mehrere Terrawatt Strom liefern könnten.

---

## 100 Prozent zulegen

---

Insgesamt soll die Stromproduktion Islands aus Wasser- und Windkraft sowie Geothermie von derzeit 18 auf 36 Terrawattstunden pro Jahr verdoppelt werden. Denn – so der Wunsch der Regierung – Island soll von dem weltweiten Stromhunger profitieren und seinen klimaneutral erzeugten Strom exportieren. Am liebsten nach Europa. Dazu wird seit 2011 das längste Unterwasser-Stromkabel der Welt geplant. Der „IceLink“ soll von Island ins 1.170 Kilometer entfernte Schottland führen. Über diese Stromautobahn sollen dann ab 2024 jährlich mehr als fünf Terrawattstunden Elektrizität nach Europa verkauft werden. Sicherlich kein schlechtes Geschäft bei derzeit um etwa drei Prozent jährlich steigenden Strompreisen.



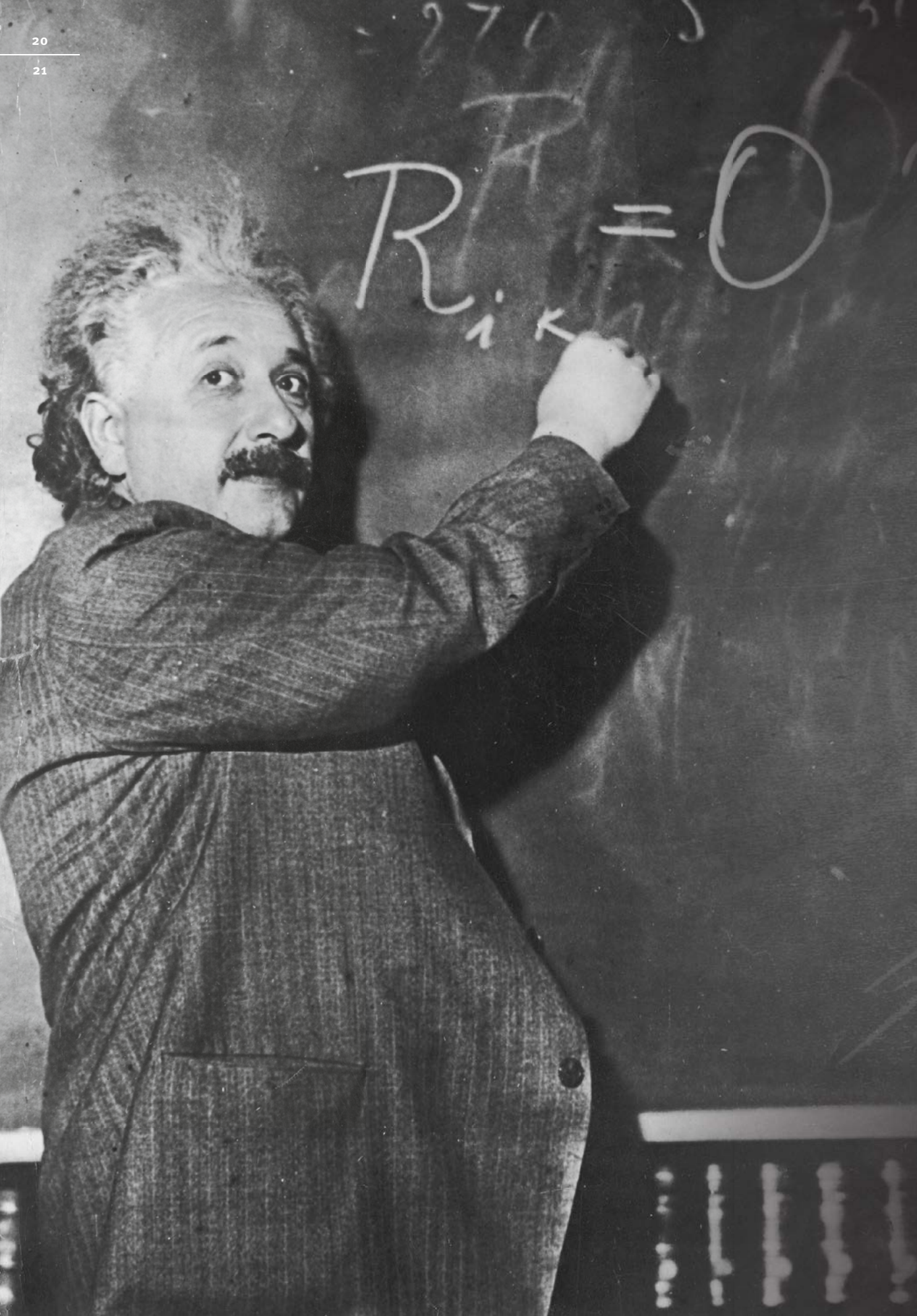
Dass Island seinen Gesamtenergiebedarf „nur“ zu knapp 80 Prozent (EU-Durchschnitt unter 15 Prozent) mit „Erneuerbaren“ deckt, liegt vor allem am Einsatz fossiler Brennstoffe für den Verkehr. Hier greift ein weiteres Projekt der ehrgeizigen Isländer: der Ausbau von Wasserstoff als Energieträger, vor allem im Verkehr. Die Herstellung von Wasserstoff ist zwar besonders energieaufwendig, aber klimafreundliche Energie haben die Isländer ja reichlich. Mit dem gewonnenen Wasserstoff sollen dann Benzin und Diesel im Straßenverkehr, aber auch in der Fischerei abgelöst werden. Doch auch konventionelle E-Mobilität soll forciert werden, zum Beispiel mit dem Ausbau von Ladestationen. Ab 2050 will Island komplett auf fossile Energieträger verzichten – so wie es sich für eine durch und durch grüne Batterie Europas gehört. Aussiedlerin Katja Laun und ihrem Mann Freyr dürfte das gefallen.



## DER AUTOR

*Wasser, Strand, pure Natur – Island hat davon jede Menge. Der langjährige „Bild“-„Bild am Sonntag“-Ressortleiter Technik & Auto **Carsten Paulun** (50), der mittlerweile als freier Autor arbeitet, hat die Insel im Nordatlantik schon dreimal besucht. Fasziniert war er nicht nur von der rauen Schönheit, sondern auch von der ungeheuren Kraft der Natur, die man fast überall auf Island spüren kann.*





$$R_{ik} = 0$$

# DER EINSTEIN DER WEISEN

Energie ist Masse mal Lichtgeschwindigkeit im Quadrat. Diese physikalische Gleichung ist so bahnbrechend und bekannt wie der Mann, der sie vor 112 Jahren erstmals niederschrieb: Albert Einstein.

— von Wolfgang Stegers

— Als Albert Einstein 1905 seine Formel  $E=mc^2$  postuliert, gesellt sie sich welthistorisch zu René Descartes' Erkenntnis „Ich denke, also bin ich“ oder zur Eulerschen Identität, die als schönste aller mathematischen Formeln gilt. Aber nur  $E=mc^2$  schafft es zum Graffito an Gleisanlagen oder Toilettentüren, wird auf Briefmarken gedruckt oder zum Modelabel umfunktioniert. 1999 ernennt die Zeitschrift „Time“ den Wissenschaftler mit Kultstatus zur wichtigsten Person des 20. Jahrhunderts, dem 2005 im Gedenken an sein „annus mirabilis“ vor hundert und an seinen 50. Todestag vor fünfzig Jahren ein eigenes Gedenkjahr gewidmet wird.

Das Jahr 1905 ist Albert Einsteins Wunderjahr. Der 26-Jährige arbeitet seit drei Jahren im Berner Patentamt. Ein Nine-to-five-Job. Nach Feierabend wird Einstein dann selbst zum „Erfinder“. Ein fleißiger obendrein. Nicht weniger als vier wegweisende Arbeiten veröffentlicht er 1905. Allesamt bedeuten sie einschneidende Fortschritte in der Physik.

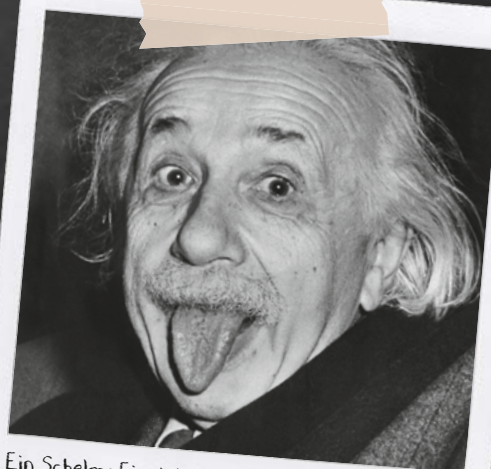
Die erste Arbeit erreicht die Berliner Redaktion der „Annalen der Physik“, eines der ältesten Fachblätter der Welt, am 17. März 1905. Einstein behauptet darin, dass Licht aus Teilchen besteht, den sogenannten Photonen. Damit schafft Einstein eine wichtige Grundlage für die Theorie der Quantenmechanik.

Am 11. Mai legt er nach. Mit seinem zweiten Schreiben in die deutsche Hauptstadt liefert Einstein die erste schlüssige Erklärung für die Brownsche Molekularbewegung und wird somit zum Mitbegründer der statistischen Mechanik.

Am 30. Juni bekommt die Redaktion von „Annalen der Physik“ abermals Post aus Bern. Unter der

Überschrift „Zur Elektrodynamik bewegter Körper“ postuliert Einstein die Spezielle Relativitätstheorie. Diese widerlegt die Existenz eines das ganze Weltall durchdringenden Äthers, revolutioniert die Vorstellung von Raum und Zeit und definiert die Lichtgeschwindigkeit als absolutes Geschwindigkeitsmaximum.

In einem auf den 27. September datierten Nachtrag mit dem Titel „Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?“ wird dann zum ersten Mal die später weltberühmte Formel beschrieben – als Fußnote. Die Arbeit hatte Einstein zuvor als Dissertation an der Uni Zürich eingereicht.



Ein Schelm: Einstein wurde so oft fotografiert, dass er auf die Frage nach seinem Beruf auch schon mal „Fotomodell“ angab



Bam! Ein junger Familienvater, einst Schulunterbrecher, nun „technischer Experte III. Klasse“ im Patentamt Bern und der Fachwelt bis dato völlig unbekannt, hat binnen eines Jahres die Welt verändert. Der Physiker, Philosoph und Friedensforscher Carl Friedrich von Weizsäcker schrieb dazu: „1905, eine Explosion von Genie. Vier Publikationen über verschiedene Themen, deren jede, wie man heute sagt, nobelpreiswürdig ist.“

## Gewaltige Energien

$E=mc^2$  ist – wengleich eigentlich nur eine Randnotiz – eine besondere Erkenntnis. So einfach, so klar und doch so umfassend. Jeder der drei Buchstaben symbolisiert eine bestimmte physikalische Größe. Klein „c“ steht für „celeritas“, die Lichtgeschwindigkeit. Klein „m“ ist die Masse, gemessen in Kilogramm. Wird die Lichtgeschwindigkeit „c“ mit sich selbst und dann mit der Masse „m“ multipliziert, ergibt sich die Energie „E“. Allein schon die enorme Größe der Lichtgeschwindigkeit von 300.000 Kilometern pro Sekunde lässt erahnen, dass die resultierende Energie gewaltig sein muss.

Das Genie privat: mit einer seiner beiden angeheirateten Töchter auf dem Schoß und bei seinem Hobby Segeln



Drei Tausendstelgramm Masse reichen aus, um eine 100-Watt-Glühlampe 100 Jahre lang brennen zu lassen. Nach der Gleichung ist ein Körper oder Gegenstand gleichzeitig auch Licht oder Wärme. Diese Gleichwertigkeit wird Hunderttausenden von Menschen 1945 auf besonders tragische Weise offenbar. Mit dem Abwurf der beiden Atombomben über Hiroshima und Nagasaki werden mit der Teilung von Atomen gigantische Mengen an Energie freigesetzt. Die japanischen Zentren werden zerstört, die Menschen vernichtet.

Angetrieben von der Sorge, Nazi-Deutschland könnte mit einer eigenen Atombombe die Weltherrschaft an sich reißen, gibt der jüdischstämmige und mittlerweile in die USA emigrierte Einstein bereits 1939 durch einen Brief an US-Präsident Franklin Roosevelt einen ersten Anstoß für das amerikanische Nuklearwaffenprojekt. Kein leichter Schritt für den überzeugten Pazifisten. Später nennt er das Schreiben „den einzig schweren Fehler in meinem Leben“.

Von diesem dunklen Kapitel zurück zu etwas Erhellendem, das ebenfalls mit  $E=mc^2$  zu erklären ist: Die wärmenden Strahlen der Sonne entstehen durch Kernreaktionen bei der Verschmelzung von Wasserstoff zu Helium und anderen Elementen. Der Kernreaktor Sonne wandelt vier Millionen Tonnen Materie pro Sekunde in Strahlung um. Solche Energiemengen technisch auf der Erde zu erzeugen, für friedliche Zwecke und ohne schädliche Nebenwirkungen, wird immer noch versucht.

## Wie aus dem Physiker ein Popstar wurde

Warum ausgerechnet Einstein in eine Populartätsumlaufbahn katapultiert wird, die kein anderer Wissenschaftler vor und – vielleicht mit Ausnahme von Stephen Hawking – nach ihm erreicht, ist selbst ihm ein Rätsel geblieben. „Woher kommt es nur, dass mich niemand versteht und jeder mag?“, fragt sich Einstein immer wieder. Nicht selten gibt er den Genervten: „Jeder Piepser wird bei mir zum Trompetensolo.“

Ein Naturschauspiel rückt ihn ins Rampenlicht. Bei einer totalen Sonnenfinsternis am 29. Mai 1919 fotografieren zwei Expeditionen des britischen Astronomen Arthur Stanley Eddington Sternbilder, die eigentlich nicht hätten sichtbar sein dürfen, weil sie hinter der Sonne lagen. Damit ist bewiesen, was Einstein in seiner 1915 vorgelegten Allgemeinen Relativitätstheorie vorhergesagt hat: dass Himmelskörper durch ihre Masse und Energie den sie umgebenden Raum krümmen, wie eine schwere Kugel, die man in ein straff gespanntes Laken legt. Lichtstrahlen, die sich durch einen solch verbogenen Raum bewegen, folgen der Krümmung ebenfalls. Daher lassen sich die verborgenen Sternbilder fotografieren. Die wissenschaftlichen Details dieser himmlischen Sensation



$$E = mc^2$$

**IQ-Treffen:** Einstein (1) unter anderem mit Max Planck (2), Marie Curie (3), Hendrik Antoon Lorentz (4), Erwin Schrödinger (5), Werner Heisenberg (6) und Niels Bohr (7)

versteht ein Großteil der Menschheit damals zwar immer noch nicht (ebenso wie heute), sehr wohl realisiert man aber, dass es einen Menschen unter ihnen gibt, der das Schauspiel und andere wundersame Phänomene vorhergesehen hatte: Albert Einstein. Die ganze Welt spricht plötzlich über ihn und seine Arbeit. Besonders in den USA grassiert die Einstein-Mania. Sehr zu seinem Verdruss: „Gegenwärtig debattiert jeder Kutscher und jeder Kellner, ob die Relativitätstheorie richtig sei. Mit mir hat man seit dem Bekanntwerden der Lichtkrümmung einen Kultus getrieben, dass ich mir vorkomme wie ein Götzenbild.“

### Die zwischenmenschliche Gravitation

So populär Einstein plötzlich auch ist, auf sein Privatleben wirkt sich der Ruhm nach eigener Aussage wenig aus. Dies beschreibt er als „erstaunlich ereignisarm“. Geboren wird der spätere Zurechtrücker des physikalischen Weltbildes 1879 in Ulm. Seine Eltern sind Hermann und Pauline Einstein, Mittelstand, Juden, nicht sehr gläubig, dafür freigeistig, belesen, liberal und vorwärtsdenkend. Ihr Sohn spricht erst im Alter von drei Jahren seine ersten Worte, diese bilden aber gleich ganze Sätze. Auch mit sozialer Interaktion tut er sich schwer. Aber er ist – zeitlebens – von einer kindlichen Neugier getrieben. Von einem „unwiderstehlichen Verlangen, die Geheimnisse der Natur zu verstehen“, wie er es später einmal selbst formulieren wird. Als Elfjähriger freundet sich Albert Einstein mit dem zehn Jahre älteren Medizinstudenten Max Talmud an. Talmud: „Bald war der Flug seines mathematischen Genies so hoch, dass ich ihm nicht mehr folgen konnte.“ Doch der Überflieger sieht seine Flügel von der militärischen Ordnung seines Münchner Gymnasiums gestutzt. Albert schmeißt hin, bewirbt sich am Züricher Polytechnikum für einen Studienplatz, rasselt aber wegen sprachlicher Defizite durch die Aufnahmeprüfung. Der Umweg über eine Kantonsschule in Aarau ebnet schließlich den Weg zum Ingenieurstudium. Das fröhliche Studentenleben seiner Kommilitonen interessiert ihn nicht. Statt Kneipen besucht der Wissenshungrige fachfremde Vorlesungen. Dennoch lernt er eine Frau kennen. Mitstudentin Mileva Maric ist zum Leidwesen von Einsteins Eltern

ein Bücherwurm wie ihr Sohn. Dennoch heiratet er 1903 sein „gescheitertes Luder“. Ein Jahr später wird Sohn Hans Albert geboren, 1910 folgt mit Eduard ein zweiter Junge. Ein 1987 entdeckter Briefwechsel deutet darauf hin, dass 1902 eine voreheliche Tochter zur Welt gekommen sein muss, deren Schicksal aber unaufgeklärt ist. Ebenfalls viel diskutiert wird bis heute darüber, welchen Anteil seine mathematisch begabte Frau an Einsteins bahnbrechenden Arbeiten hat. Ein Nährboden für diese Spekulationen ist die Tatsache, dass in seinen Abhandlungen nicht selten der Plural „wir“ auftaucht.

Trotz der gemeinsamen Begeisterung für die Wissenschaft hält die Ehe nicht. Als Einstein 1921 mit dem Physik-Nobelpreis ausgezeichnet wird, sind die beiden längst geschieden. Ein Grund für das Ehe-Aus war Einsteins Verhältnis mit seiner Cousine Elsa, die er 1919 heiratet. 1933 emigrieren beide in die USA, wo Elsa 1936 in der neuen Heimatstadt Princeton stirbt. Obwohl sich Einstein liebevoll um seine kranke Gemahlin kümmert, sind die Ehejahre davor schwierig. Denn der nerdige Physiker – wer hätte es gedacht – fühlt sich von der Gravitation des weiblichen Geschlechts auf sehr unkeusche Art angezogen. 1952 wird Einstein das Amt des israelischen Präsidenten angeboten. Er lehnt ab: „Es ist zwar schon mancher Rebell ein Bonze geworden, aber das kann ich nicht über mich bringen.“ Drei Jahre später ist Einstein tot. Seine Asche wird zerstreut, ein Grabmal, das womöglich zu einem Wallfahrtsort werden könnte, will der ungewollte Popstar nicht.



### DER AUTOR

*Albert Einstein und kein Ende. Schon als Redakteur beim Wissensmagazin „P.M.“ befasste sich **Wolfgang Stegers** mit dem kauzigen Wissenschaftler und seinen genialen Einfällen. Und das aus gutem Grund: Ausgaben mit Einsteins markantem Konterfei auf dem Titel waren stets Bestseller am Kiosk.*



# POWER OHNE ENDE

Die Sonne ist die effizienteste Energiequelle, die wir nutzen können. Doch es hat lange gedauert, ehe sie in großem Stil zur Strom- und Wärmeproduktion eingesetzt wurde. Und noch immer wird das immense Zukunftspotenzial von Photovoltaik und Solarthermie unterschätzt.

— von Kay Dehke

## 7,4 SEKUNDEN

**Dieses bisschen Sonneneinstrahlung reicht aus, um den Weltenergiebedarf der Menschheit für den gesamten Tag zu stillen.** Und könnten wir die ankommende Sonnenenergie eines kompletten Tages speichern, hätten wir genug Energie für 32 Jahre. Bereits diese Zahlen machen klar: Wir haben kein globales Energieproblem. Wir haben lediglich ein Problem, die im absoluten Überfluss vorhandene Energie in Strom oder Wärme zu verwandeln und klug zu nutzen. Und Solarenergie ist dabei nur eine von mehreren verfügbaren regenerativen Energiequellen.

Aber immerhin: Die Technologien, um regenerative Energiequellen zu nutzen, werden stetig besser – wenn auch anfangs nur sehr langsam. **1839 entdeckte Alexandre Edmond Becquerel, dass sich Sonneneinstrahlung direkt in elektrischen Strom umwandeln lässt.** Doch es dauerte bis 1893, ehe die erste funktionsfähige photovoltaische

Zelle konstruiert wurde, und erst in den 1980er-Jahren begann der globale Siegeszug solarer Energiegewinnung. Heute sind Solarkollektoren aus städtischer und dörflicher Umgebung sowie – aus manchen Landschaften nicht mehr wegzudenken: Die bläulich schimmernden Solarmodule sind längst überall.

Der Löwenanteil solarer Energiegewinnung findet im Bereich der Photovoltaik statt. Auf flachen Modulen montierte Solarzellen wandeln unterschiedliche Sektoren des solaren Strahlenspektrums – vorrangig aus dem sichtbaren und niedrigen infraroten Bereich – direkt in Strom um, der live verbraucht oder ins Netz eingespeist wird. Siliziumbasierte Module sind kostengünstig in großer Zahl herzustellen und im Betrieb nahezu wartungsfrei – aber sie erreichen nur Wirkungsgrade von etwa 20 Prozent. Erstaunlich: Je stärker die Sonne ein Solarmodul erwärmt, desto niedriger wird die Stromausbeute.



# 300 KW

*So viel leistete 1983 Europas größte Solarfarm – die stand nicht etwa im sonnigen Süden, sondern auf der Nordseeinsel Pellworm. Und 229 ist die Größe der Gesamtleistungskapazität der globalen Solarfarmen des Jahres 2016 – allerdings in Gigawatt. Das sind 229 Millionen Kilowatt, also fast das 765.000-Fache dessen, was einst auf dem Nordseeiland gewonnen wurden. Der Pellwormer Park war zwei Fußballfelder groß, die derzeit projektierte größte Anlage in Nordwest-China mit zwei Gigawatt Kapazität wird für sechs Millionen Solarkollektoren 4.600 Hektar Fläche benötigen – mehr als auf ganz Pellworm (3.744 Hektar) Platz wäre. **Siegeszug einer sauberen Stromerzeugungstechnologie.***











*Mit der fortschreitenden Leistungsverbesserung wächst automatisch die Fläche, auf der Photovoltaik wirtschaftlich genutzt werden kann. Moderne Solarmodule mit ihren hohen Wirkungsgraden können*

*auch dort Strom erzeugen, wo es mit früheren Modulen ineffizient gewesen wäre. Und die technische Bandbreite für Solarzellen ist groß. Wissenschaftler arbeiten an Festkörper-Farbstoffsolarzellen, flexiblen Solarzellen-Folien oder transparenten Modulen, die auf Gebäudeoberflächen und Fenstern angebracht werden können. Elon Musks Unternehmen Tesla bringt neben exklusiven Elektromobilen und Stromspeichern bald auch solare Dachziegel auf den Markt. Was nach gewöhnlichen Schindeln aussieht, sind viele kleine Stromerzeuger. **Solare Stromerzeugung ist auf dem besten Weg, sich unsichtbar zu machen** – unverzichtbar ist sie schon längst.*



# DIE 10 GRÖSSTEN SOLARANLAGEN

In kaum einem anderen Technologiebereich gibt es so schnell neue Rekordmeldungen wie bei Solaranlagen. Im Frühjahr 2017 waren folgende zehn Anlagen die leistungsstärksten der Welt. Die Werte beziehen sich auf die maximal mögliche Leistung (Zielgröße: Ausbaupazität nach aktueller, fast abgeschlossener Erweiterung).

1. Longyangxia Dam Solar Park, Qinghai/China  **850 MW**
2. Kamuthi, Tamil Nadu/Indien  **648 MW**
3. Solar Star I und II, Kalifornien/USA  **579 MW**
4. Huanghe Golmud Solar Park, Qinghai/China  (Zielgröße) **560 MW**
5. Desert Sunlight Solar Farm, Kalifornien/USA  **550 MW**
6. Topaz Solar Farm, Kalifornien/USA  **550 MW**
7. Charanka Solar Park, Gujarat/Indien  (Zielgröße) **500 MW**
8. Copper Mountain Solar Facility, Nevada/USA  **458 MW**
9. Ivanpah Solar Power Facility, Kalifornien/USA  **392 MW**
10. Agua Caliente Solar Project, Arizona/USA  **392 MW**

## REKORDANLAGEN IN BAU BZW. PLANUNG

Ningxia Solar Project, China  **2.000 MW**

Ouarzazate, Marokko (teils im Betrieb, teils im Bau)  **580 MW**





## 4,4 PROZENT

*Ein kläglicher Anteil: Gerade einmal 4,4 Prozent der 2016 existierenden 229 Gigawatt Solarkapazität entfielen auf Solarthermie-Anlagen. Aus leicht erklärlichen Gründen: Photovoltaik ist ein Paradebeispiel dafür, wie ökonomische Konditionen die Zukunft ökologischer Technologien beeinflussen. Der rapide Preisverfall für Solarmodule in Kombination mit öffentlicher Förderung bzw. Einspeisevergütungen begünstigte den Boom der Photovoltaik – viele Immobilienbesitzer konnten mit ihrem Umweltbewusstsein plötzlich Geld verdienen. Das Ergebnis: ein massiver Zubau, in vielen Ländern politisch gewollt und staatlich gefördert. Die Schattenseite: Investitionen in die deutlich effizientere Solarthermie blieben aus.*

## 1.200 GRAD

*So hoch ist die Spitzentemperatur in Celsius, die mit der zweiten effizienten Solartechnologie erreicht werden kann: Bei der Solarthermie wird die Wärme des Sonnenlichts durch optische Verstärker auf ein Vielfaches konzentriert. Spektakulär sind die Sonnentürme, in deren Spitze das Licht von vielen Hundert Spiegeln gebündelt wird. Diese beweglichen Spiegel können viele Stunden am Tag Hoch- und Höchsttemperaturen erzeugen. Damit verdampfte Flüssigkeiten treiben dann zur Stromerzeugung Turbinen an oder werden für Beheizung, solare Kühlung oder Trinkwasseraufbereitung eingesetzt.*

*Andere Sonnenkraftwerk-Typen arbeiten mit Parabolrinnenspiegeln oder schüsselförmigen Spiegelsystemen. Solche Großanlagen sind teuer und wartungsintensiv, erreichen aber Wirkungsgrade bis 85 Prozent. Ein besonderer Vorteil der Solarthermie ist ihre Grundlastfähigkeit: Tagsüber erzeugte Wärme wird in Flüssigsalzspeichern vorrätig gehalten und nachts zur Stromerzeugung genutzt. So leistet das 2011 in Betrieb genommene Solarturm-Kraftwerk von Gemasolar in Andalusien nicht nur 19,9 Megawatt, sondern kann die auf bis zu 565 Grad konzentrierte Sonnenhitze bis zu 15 Stunden lang in einem Flüssigsalzspeicher bereithalten.*

## 46 PROZENT

*So hoch ist der Wirkungsgrad der bislang leistungsfähigsten Solarzelle, die Forscher des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE in Freiburg 2014 zusammen mit französischen Partnern entwickelt haben. Die Vierfachsolarzelle kann die Photonen im Wellenlängenbereich zwischen 200 und 1750 nm in elektrische Energie umwandeln. Zudem wird das Sonnenlicht mittels Speziallinsen auf kleinem Raum konzentriert. Bei der Rekordlinse gelang die 508-fache Bündelung des einfallenden Lichts. Mehrschichtlinsen, die unterschiedliche Wellenbereiche des Sonnenlichts nutzen, sind derzeit der Schlüssel zur Effizienzsteigerung in der Photovoltaik. Allerdings: Die weitverbreiteten Siliziumzellen mit Wirkungsgraden von nur rund 20 Prozent sind deutlich kostengünstiger herzustellen als Hightech-Rekordlinsen und daher aktuell rentabler.*

---

## SOLARLAND BRANDENBURG

*Deutschland ist das „größte“ Solarland der Welt (siehe nächste Seite). Und sieben der zehn größten deutschen Solaranlagen stehen in Brandenburg. Sie haben zusammen eine Leistung von 895,4 MW (entspricht einem mittelgroßen Atomkraftwerk). 246 MW davon liefert die deutsche Nummer eins, der Solarkomplex Senftenberg.*

---



# DIE TOP-10-SOLARLÄNDER



1.  
Deutschland  
38.250 Megawatt



2.  
China  
28.330 MW



3.  
Japan  
23.409 MW



4.  
Italien  
18.622 MW



5.  
USA  
18.317 MW



6.  
Frankreich  
5.678 MW



7.  
Spanien  
5.376 MW



8.  
Australien  
4.130 MW



9.  
Belgien  
3.156 MW



10.  
Südkorea  
2.398 MW

Quelle: International Energy Agency

## 1,3 MILLIONEN

**So viele E-Fahrzeuge waren 2016 weltweit angemeldet, und alle könnten mit Solarenergie und Windstrom fahren.** 1,3 Millionen – bei einem globalen Bestand von 1,2 Milliarden Autos wirkt die Zahl so überschaubar wie die Pellwormer Solaranlage in der Rückschau. Aber auch hier sind den Konzepten der Entwickler kaum Grenzen gesetzt: Solar gespeiste Oberleitungssysteme für Busse oder Lkw und Stromtankstellen mit Schnellladeanschlüssen werden bereits praktisch betrieben. Der Aufbruch in Richtung E-Mobilität ist global – in Asien konkurrieren verschiedene Konzepte für elektrisch betriebene Rikschas darum, den Nahverkehr in Metropolen emissionsärmer zu machen. In China fahren gleich mehrere Hersteller von E-Autos ihre Produktion hoch, um den Smog in den Megastädten beherrschbar zu machen. Zukunftsstudien prognostizieren für 2035 die Zahl von bis zu 150 Millionen E-Fahrzeugen, die weltweit unterwegs sein werden.

Ihr Fahrstrom dürfte entweder aus einer Batterie oder einer Brennstoffzelle stammen – und für beides könnte Solarenergie die Ausgangsbasis sein. Mittels altbewährter Elektrolyse kann Solarstrom nämlich Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff aufspalten. Dieses „Power-to-Gas“-

Verfahren wird bereits praktisch umgesetzt – den so erzeugten Wasserstoff wandeln Brennstoffzellen in Fahrstrom für E-Motoren um. Und niederländische Forscher haben eine Solarzelle aus Galliumphosphid entwickelt, die sogar direkt Wasserstoff produzieren kann.

Da regenerativ erzeugter Strom – „Power-to-Gas“ funktioniert auch mit Windstrom – und Wasser in unerschöpflichen Mengen verfügbar sind, könnten Autos mit Brennstoffzellenantrieb auch nach dem Ende des Öls weiterrollen. Und wird der Wasserstoff mit CO<sub>2</sub> methanisiert, entsteht synthetisches Erdgas – damit lassen sich umgerüstete Verbrennungsmotoren klimaneutral antreiben, da nur so viel CO<sub>2</sub> emittiert wird, wie vorher im Herstellungsprozess zugefügt wurde.

Doch die Sonne kann noch mehr – wandelt man ihre Energie entsprechend um, können sogar klassische Verbrennungsmotoren mit Solarenergie betankt werden: Im „Power-to-Liquids“-Verfahren reagieren zuerst CO<sub>2</sub> und Wasser mithilfe von Solarstrom zu einem Synthesegas, aus dem sich dann Benzin, Diesel oder Kerosin produzieren lassen. Das Verfahren ist sehr energieaufwendig, erzeugt aber sehr saubere Treibstoffe. Ein in der Schweiz entwickeltes Verfahren umgeht den Einsatz von Solarstrom, indem es die immense solare Wärme nach dem Prinzip eines Sonnenkraftwerks für ihren Syntheseprozess nutzt. Auch hier entstehen aus CO<sub>2</sub> und Wasser mithilfe eines speziellen Katalysators Kohlenwasserstoffe als Bausteine für umweltneutrale Flüssigtreibstoffe.





## DER AUTOR

In den Siebzigern die Auseinandersetzungen um das AKW Brokdorf miterleben und jetzt der Energiewende gegenüber gleichgültig bleiben? „Geht gar nicht!“, findet der in Itzehoe geborene freie **Journalist Kay Dohnke**. Und ist froh, mit erneuerbaren Energien einen Themenbereich zu bearbeiten, der so nachhaltig wie zukunftsfähig ist.



## IMMER DER SONNE NACH

**In vielen Solarkraftwerken kommen Lager und Technologien von Schaeffler zum Einsatz. Ein Blick auf die spanische Anlage Andasol zeigt, welche Vorteile sie bieten.**

1.248 Gelenkköpfe haben dort die Aufgabe, die mehreren Hundert hydraulisch verstellbaren Parabolrinnen zu stützen, zu positionieren und der Sonne kontinuierlich nachzuführen. Gleitlager sind optimal für die langsamen und präzisen Schwenkbewegungen geeignet. Sie nehmen hohe Kräfte auf und sind sowohl für hohe einseitige, aber auch für wechselnde Belastungen geeignet, zum Beispiel infolge sich ändernder Windrich-

tungen. Damit können die 150 Meter langen Kollektorstränge mit einer Genauigkeit von Zehntelmillimetern dem Ost-West-Tagesverlauf der Sonne nachgeführt werden. Die Gelenkköpfe sind mit manganphosphatierten Radial-Gelenklagern mit Stahl/Stahl-Gleitpaarungen ausgerüstet. Diese besondere Oberflächenbehandlung schützt das Material vor Verschleiß und verringert die Reibung. Der 70 Millimeter breite Innenring der Gelenklager hat eine zylindrische Bohrung mit 110 Millimeter Durchmesser und eine kugelige Außengleitbahn, während der 160 Millimeter große Außenring eine zylindrische Mantelfläche und eine hohlkugelige Innengleitbahn



Das Solar-Kraftwerk Andasol

mit 140 Millimeter Durchmesser hat. Die Schaeffler-Beiträge für Andasol werden komplettiert durch 7.488 umweltfreundliche Gleitstreifen aus dem Sortiment der Metall-Polymer-Verbundgleitlager. Sie sorgen in den Stützen zwischen den einzelnen Segmenten der immerhin 150 Meter langen Kollektorstränge für reibungsarmes Schwenken beim Nachführen.



# SPANNENDE WEGE

Straßen – grauer Asphalt oder Beton. Manchmal sind sie verstopft, manchmal mit Schlaglöchern gesprenkelt. Aber hauptsächlich sind sie einfach da. Kilometerlange Gebrauchsgegenstände. Wenig spannend – bis jetzt. In der Zukunft werden Straßen multifunktional und dienen auch dem Energieaustausch.



— Straßen sind ein wichtiger Mosaikstein auf dem Weg zur Mobilität für morgen. Zum Beispiel für den Lkw-Verkehr. Kein Mensch käme auf die Idee, einen Güter- oder Personenzug mit Batteriestrom auf die Gleise zu schicken. Hier erfolgt die Versorgung logischerweise mit Energie aus der Oberleitung – permanent und mit hohem Wirkungsgrad. Warum also nicht auch Lkw nach diesem Prinzip „betanken“. So könnten sie leise und emissionsfrei selbst lange Autobahnstrecken zurücklegen.

Einen schicken Begriff dafür gibt es bereits: eHighway. Eine reale Strecke ebenso. In Schweden, nördlich von Stockholm, läuft seit Juni 2016 ein Versuch auf einer öffentlichen Autobahn. Auf einem Teilabschnitt können sich Diesel-Hybrid-Laster in eine Oberleitung einklinken und dann vollelektrisch fahren. Betrieben wird das Projekt gemeinsam von Scania und Siemens. 80 bis 90 Prozent der durch Treibstoffe verursachten Emissionen könnten so eingespart werden, rechnet man bei Scania vor.

Selbst Bundeskanzlerin Angela Merkel war bei einem Besuch beim schwedischen Regierungschef Stefan Löfven vom Energy-Highway angetan. Beide vereinbarten bei einem Treffen in Stockholm eine sogenannte Innovationspartnerschaft. Geplant sind in Deutschland zunächst zwei Teststrecken, eine auf der A1 zwischen Reinfeld und Lübeck, die andere zwischen dem Frankfurter Flughafen und Darmstadt. „Ziel ist es, den Güterverkehr auf der Straße insgesamt klimafreundlich zu gestalten“, sagt Jochen Flasbarth, Staatssekretär im Bundesumweltministerium.

Ebenfalls prädestiniert für eine Versorgung mit Strom aus der Oberleitung ist der Öffentliche Nahverkehr. Elektrobusse mit ihren Angel-ähnlichen Stromabnehmern sind noch heute in vielen Städten unterwegs. Und jedes Kind kennt die Straßenbahn. Sie fährt in München und in Melbourne genauso wie in San Francisco oder Stuttgart. Häufig jedoch ließen übereifrige Politiker, wie beispielsweise in Hamburg, in den 70er-Jahren das Schienen- und Oberleitungssystem zugunsten von Dieselbussen entfernen. Mittlerweile denkt man wieder klarer. Es liegen Pläne in den Schubladen der Hansestadt, die den Weg zurück zur umweltfreundlichen Straßenbahn vorsehen.

### **Schnell mal laden**

Als zukunftsfähige Alternative zu den einstigen Oberleitungsbussen hat Siemens den Pantographen entwickelt. So nennt der Konzern sein Schnellladesystem, das an einen Mast oder ein Haltestellendach montiert werden kann. Die Idee hinter dem Pantographen ist, die Batterien beispielsweise an einer Endhaltestelle so weit wieder aufzuladen, dass die Elektrobusse den Weg bis zur nächsten Ladestation bewältigen können. Zum vollautomatischen Laden fährt der Bus unter die Ladestation. Diese senkt den Stromausleger dann präzise auf

**» Die Mobilität wird sich vom klassischen Fahrzeug, wie wir es heute kennen, wegentwickeln. Ebenso wird sich die Straße und ihr direktes Umfeld weiterentwickeln. Oberleitungen für Lkw oder auch induktives Laden während der Fahrzeugnutzung sind zwei interessante Ansätze. Denn überall dort, wo elektrische Energie für Individualverkehr nicht gespeichert, sondern zugeführt wird, hat sich der Elektromotor schon jetzt durchgesetzt. Auch die Car2X-Kommunikation mit Infrastruktur an der Straße ist für Schaeffler ein interessantes Feld, um die Nutzung der Produkte zu eruieren. Aber beispielsweise auch für die Bereiche Condition Monitoring und Predictive Maintenance, in denen wir in den Sektoren Industrie und Bahnverkehr bereits sehr gut aufgestellt sind**

Prof. Peter Gutzmer, Stellvertretender Vorsitzender des Vorstands und Vorstand Technologie der Schaeffler AG



Zwei Möglichkeiten, Lkw und Busse reichweitenunabhängig zu elektrisieren: Stromschiene (oben) oder Oberleitung. Beides wird aktuell in Schweden getestet



# 75.000 €

**Treibstoffkosten** kann ein schwedischer 60-Tonner sparen, wenn er 200.000 km auf einem Elektro-Highway unterwegs ist.

Quelle: Siemens (berechnet mit aktuellen Strom- und Treibstoffkosten)

# 80 cm

**Abstand innerhalb einer Kolonne** reichen bei Tempo 100, wenn die Fahrzeuge in einem 5G-Netz verbunden sind. Die Reaktionszeit schrumpft von den 5,5 Sekunden des Menschen auf 2 Millisekunden bei derart vernetzten autonomen Autos.

Quelle: Huawei

die Kontaktschienen ab. Nach diesem Prinzip sind seit November 2014 in Dresden Linienbusse zu Testzwecken unterwegs.

Batterieelektrische Busse mit zusätzlicher Versorgung aus einer Oberleitung brächten einen weiteren Vorteil: Städtische Kreuzungsbereiche müssten nicht mehr wie einst komplett mit Leitungen ausgerüstet werden. Das aufwendige Kabelgewirr entfällt, der Bus fährt den kurzen Abschnitt über die Kreuzung mit Batteriestrom und verbindet sich danach wieder mit der Oberleitung.

Was von oben geht, sollte auch von unten funktionieren, ähnlich wie auf einer Carrera-Modellrennbahn. Dies zumindest untersucht Volvo. Zusammen mit dem Bahn-Spezialisten Alstom testet der schwedische Lkw-Bauer stromführende Schienen. Sie wurden auf einem zwölf Kilometer langen Abschnitt vom Flughafen Stockholm zum Logistikzentrum Rosersberg in die Fahrbahn integriert. „Die Stromschienen sind dabei in einzelne Abschnitte unterteilt, wobei immer nur der Abschnitt aktiv ist, der gerade Kontakt mit dem Kollektor des Fahrzeugs hat“, sagt Mats Alaküla von Volvo.

## Lade mich, aber berühr mich nicht

Die Straße bietet durchaus weitere Möglichkeiten der Energieversorgung, sogar die berührungslose. Durch Induktionsschleifen in der Fahrbahn lassen sich seit Jahren schon Ampeln schalten, Schlagbäume heben,

Garagentore öffnen oder Blitzenanlagen auslösen. Ebenso könnten Elektroautos über einer Induktionsplatte parken. In Parkbuchten ließen sich Induktionsschleifen unter dem Asphalt verbauen. Nissan, weltgrößter Hersteller von Elektroautos, prophezeit sogar spezielle Ladezonen (der Name erhält in Zeiten der E-Mobilität eine gänzlich andere Bedeutung), in denen autonome Fahrzeuge sich selbst ihre Induktionsparkbuchten suchen, dort laden und den Platz danach wieder freigeben und andernorts parken.

Statisch funktioniert das induktive Laden schon heute. Zum Beispiel in der Formel E: Dort werden die Sicherungsfahrzeuge von BMW mit der induktiven Ladetechnik „Halo“ des Anbieters Qualcomm kontaktlos mit Strom versorgt. Wie sieht es jedoch beim dynamischen Laden aus? Warum nicht Elektroautos während der Fahrt per Induktion permanent mit Strom versorgen? Eine Teststrecke gibt es in Israel, betrieben von dem Start-up-Unternehmen ElectRoad. An solch einer Induktionsleitung forscht auch die kalifornische Stanford University. Im Auto könne man dann deutlich kleinere und leichtere Batterien einbauen, heißt es von dort. Nach Berechnungen der Forscher würden bei der im Asphalt verlegten Leitung lediglich drei Prozent der elektrischen Energie verloren gehen. Positiver Nebeneffekt: Autonome Assistenzsysteme könnten sich am Kabel in der Straßendecke orientieren. Eine solche Technologie könnte auch im Werksverkehr oder in Produktionsstätten im Zuge der zunehmenden Digitalisierung auf dem Weg zur Industrie 4.0 zum Einsatz kommen.

## Strom liegt auf der Straße

Den für die technologische Aufrüstung benötigten Strom könnten die Straßen gleich selbst produzieren, wenn ein Projekt in der französischen Stadt Tourouvre Schule macht. Dort wurde ein 1.000 Meter langer Straßenabschnitt mit Solarzellen gepflastert. Der dort generierte Strom (max. 1.500 kWh/767 kWh im Schnitt) reicht

Das SRS-System von Alstom hat sich bei Straßenbahnen bereits bewährt. Hier reichen 20 Sekunden, um Strom bis zur nächsten Haltestelle zu tanken



Solar-Straßen wie hier im französischen Tourouvre sparen Flächen, sind aber aktuell 13-mal teurer als konventionelle Solaranlagen

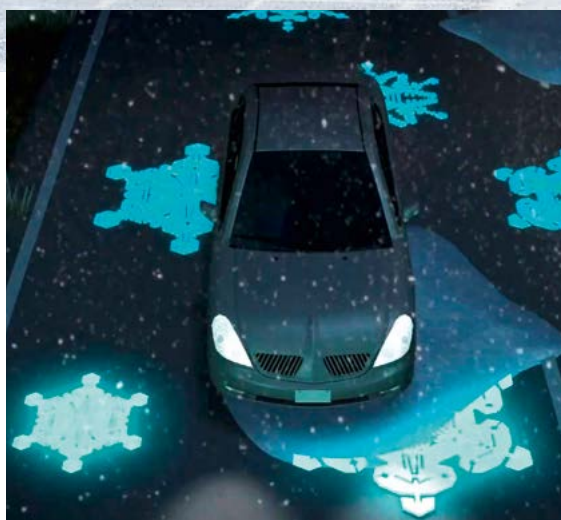
immerhin schon aus, um die Straßenbeleuchtung der 5.000-Einwohner-Ortschaft zu füttern. In den Niederlanden und in Deutschland wird mit ähnlichen Lösungen experimentiert. Ein großer Vorteil: Flächen werden doppelt genutzt. Nachteil: Der Strom von der Straße ist derzeit noch rund 13-mal teurer als aus herkömmlichen Solaranlagen. Auch weil die Zellen flach auf dem Boden angebracht sind und nicht schräg der Sonne entgegengestellt werden wie sonst üblich. Eine interessante Alternative könnten daher Lärmschutzwände mit Solarpaneelen sein.

Straßen werden zukünftig aber nicht nur Energiequelle und -spender sein, sondern mit integrierten oder beistehenden Sensoren auch eine wichtige Informationsquelle für eine moderne Verkehrsführung mittels Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation (Car2X). Das Bundesland Niedersachsen und das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) haben gemeinsam im März 2017 begonnen, auf rund 280 Straßenkilometern Geräte zu installieren, mit denen Car2X-Technologien weiterentwickelt werden können. „Durch Car2X erhalten die Fahrzeuge beispielsweise Informationen über den Zustand der Straße: Herrscht Glatteis? An welchen Stellen besteht Aquaplaning-Gefahr?“, erklärt Prof. Karsten Lemmer, Fachvorstand Energie und Verkehr des DLR. „Der Fahrer kann sein Verhalten dementsprechend anpassen, und künftige Assistenzsysteme können ihn unterstützen.“

Designer Daan Roosegaarde hat eine eigene Vision eines „Smart Highway“ entwickelt – mit recht einfachen Mitteln. So will der Niederländer beispielsweise Thermo-farben auf die Straße sprühen, die bei Frost in Form von großflächigen Eiskristallen aufblitzen und so vor Glatteis warnen. Illuminierende Farben, die Sonnenenergie speichern, könnten unbeleuchtete Straßen aufhellen.

Und wie wäre es, wenn Autos nicht vor Schlaglöchern gewarnt werden müssten, weil es gar keine gibt! An dieser Vision arbeitet zum Beispiel Henk Jonkers an der Delfter University of Technology in den Niederlanden. Jonkers ist Mikrobiologe und hat einen „Biobeton“ entwickelt, der Selbstheilungskräfte hat. Dringt Wasser durch eine „Wunde“ in die Betonstruktur, wachen dort integrierte Bakterien auf, vermehren sich und helfen einen Kalkstein zu bilden, der die „Wunde“ verschließt.

Was immer auch passiert – das Thema Straße wird in den kommenden Jahren lebendiger denn je. —



Vision: Thermo-Lacke könnten vor Glatteis warnen



## DER AUTOR

**Michael Specht** (60) ist seit 30 Jahren Motor-Journalist. Seine besondere Neigung gilt der Elektromobilität. Vor drei Jahren beendete er seine persönliche Ära der Verbrennungsmotoren. In seiner Garage steht ein BMW i3. Die Begeisterung für die lautlose Beschleunigung lässt den freien Autoren bis heute nicht los. Motto: Wer einmal ein E-Auto besessen hat, kehrt nie wieder zurück zu Kolben, Zylinder und Öl.



# NATÜRLICH EFFIZIENT

Im Tierreich haben sich im Laufe der Evolution die unterschiedlichsten Strategien für eine energiesparende Lebensweise entwickelt. „tomorrow“ stellt die Effizienzkönige der Fauna vor.

— von Lars Krone



## MIT SAUGKRAFT

**Sie bestehen zu fast 99 Prozent aus Wasser – dennoch steckt in Quallen weit mehr, als man auf den ersten Blick sieht.** US-amerikanische Forscher fanden heraus, dass die glibberigen Meeresbewohner im Laufe der Evolution einen der effizientesten Antriebe der Tierwelt entwickelt haben. Lange ging man davon aus, dass die Quallen bei der Fortbewegung vor allem auf das Rückstoßprinzip setzen. Doch aktuelle Forschungen der Universität Stanford brachten neue Erkenntnisse. „Unsere Versuche zeigen, dass sich Quallen tatsächlich vorwärtssaugen, anstatt nur zu schieben“, schreibt der Biophysiker John Dabiri. Sie erzeugen durch ihre charakteristischen Bewegungen an bestimmten Stellen ihres Körpers Unterdruckzonen. In diese wird Wasser gesaugt und so Vortrieb generiert. Um 45 Prozent kommen sie dadurch weiter als per reinem Rückstoß. Wie effizient diese Antriebsweise ist, zeigt sich auch daran, dass bei Quallen die Muskelmasse nur rund ein Prozent des Körpergewichtes ausmacht. Bei Fischen ist es rund die Hälfte. Die Forscher zogen bei ihrer Untersuchung noch einen weiteren interessanten Schluss: Die bei der Fortbewegung eingesparte Energie wird in das Wachstum gesteckt. So können die Medusen einen Durchmesser von mehr als zwei Meter erreichen – was ihnen die Jagd deutlich erleichtert.





## SEGELWELTMEISTER

*Er ist der Meister des Langstreckenfluges – der Wanderalbatros. Und dies trotz eines großen Handicaps. Denn per Flügelschlag kann er sich kaum in der Luft halten. Seine Muskelkraft reicht für den bis zu zwölf Kilogramm schweren Körper einfach nicht aus. Die Lösung: der perfektionierte Gleitflug, mit dem der Albatros bis zu 1.000 Kilometer an einem Tag zurücklegt. Und dies mit möglichst wenig Energieaufwand. Schon 1937 nannte ihn der Schweizer Geologe Arnold Heim den „bei Weitem besten Segelflieger der Welt“. Der Albatros baut dabei auf seine Anatomie und seine ausgefeilte Flugtechnik. Mithilfe eines speziellen Mechanismus im Ellenbogen- und Schultergelenk kann er seine Flügel in ausgestreckter Position – die Spannweite kann dabei bis zu 3,70 Meter betragen – arretieren, ohne dass die Muskulatur arbeiten muss.*

**2012 untersuchten Forscher der TU München die Extremflieger.** Sie statteten 20 Wanderalbatrosse mit GPS-Sendern aus und verfolgten deren Flugrouten. Dabei fanden sie heraus, dass die Vögel knapp über der Wasseroberfläche mit aufgespannten Flügeln in den Wind drehen und dann durch den entstehenden Auftrieb nach oben steigen. In einer Höhe von 10 bis 15 Metern – wo ein starker Wind weht – holen sie sich in einer steilen Flugkurve neue Energie und segeln mit dem Wind wieder Richtung Meeresoberfläche. Wie wenig anstrengend diese Flugweise für den Albatros ist, zeigt sich auch daran, dass der Pulsschlag in der Luft nahezu seinem Ruhepuls entspricht. Bei einer weiteren Energiesparmaßnahme profitiert der Weitflieger von seiner Anpassungsfähigkeit: Er hat gelernt, die aufwärts gerichteten Warmluftströmungen großer Schiffe zu nutzen.





## SCHONZEIT

**Vollgas am Tag, halbtot in der Nacht – das Leben der Kolibris schwankt zwischen zwei Extremen.** Die nur zwei bis 20 Gramm leichten Winzlinge sind extrem manövrierfähig – selbst auf der Stelle und rückwärts fliegen ist kein Problem – und erzielen Geschwindigkeiten von mehr als 100 km/h. Das Geheimnis ist ihr Schwirrflug, bei dem sie mit ihren Flügelspitzen eine liegende Acht beschreiben und bis zu 90 Mal in der Sekunde mit den Flügeln schlagen – absoluter Rekord in der Vogelwelt. Bei manchen Kolibriarten schlägt dabei das Herz bis 1.200 Mal pro Minute. Für diese Leistungen brauchen die Vögel extrem viel Energie. Pro Stunde rund 250 Kalorien – so viel wie ein 70 Kilo schwerer Mann. Ein- bis zweitausend Blüten muss ein Kolibri daher am Tag leeren, um seinen Energiebedarf zu decken. Die aufgenommene Menge an Nektar entspricht mehr als der Hälfte des Körpergewichtes. In der zwölfstündigen Ruhepause während der Nacht fahren sie ihre Körperfunktionen um 90 Prozent herunter und verfallen in einen Starrezustand. Dabei senken beispielsweise die auf Kuba lebenden Hummelkolibris ihre Körpertemperatur von 40 Grad auf 18 Grad ab.

## LEBEN IN ZEITLUPE

„**Faultiere führen ein Leben im Energiesparmodus**“, sagt Prof. Dr. Martin S. Fischer, Inhaber des Lehrstuhls für Spezielle Zoologie und Evolutionsbiologie an der Universität Jena. Die ungewöhnlichen Tiere stellen Forscher aufgrund ihrer gemächlichen, sich fast ausschließlich auf Bäumen abspielenden Lebensweise immer noch vor viele Rätsel. Sie schlafen rund 16 Stunden am Tag und bewegen sich nur wenig. Und selbst beim Klettern spielt Effizienz eine wichtige Rolle, wie Fischers Kollege an der Universität Jena, Dr. John Nyakatura, in einer Studie erklärt: „Bei den Faultieren ist es zu einer Verschiebung der Ansatzstellen bestimmter Muskeln gekommen, was es ihnen ermöglicht, das eigene Körpergewicht mit möglichst geringem Energieaufwand zu halten.“

**Dass ein solch geringer Energieverbrauch für sie überlebensnotwendig ist, begründet sich in ihrer Nahrung:** Sie haben sich auf energiearme Blätter spezialisiert. Um möglichst alle Nährstoffe aus den Blättern herauszuholen, haben sie die langsamste Verdauung aller Säugetiere: Es kann bis zu einem Monat dauern, bis eine Mahlzeit vollständig verdaut ist. Damit sie ohne großen Aufwand weitere Nährstoffe zu sich nehmen können, gehen Faultiere eine ungewöhnliche Symbiose ein: In ihrem dichten Fell leben Algen und Motten. Die Algen dienen mit ihrem grünen Schimmer nicht nur der besseren Tarnung, sondern auch als Nahrungsergänzungsmittel. Um die Nährstoffe der Algen aufzunehmen, lecken die Faultiere ihr Fell ab. Teilweise werden sie sogar direkt von der Haut absorbiert. Die Motten versorgen durch ihren Kot die Algen mit Nährstoffen und legen selbst wiederum ihre Eier im Kot der Faultiere ab.



## SCHWUNGVOLL

**Sie sind die Riesen der Baumkronen.** Mit einer Größe von bis zu 1,50 Metern sind Orang-Utans die größten Astbewohner der Welt. Ihre Nahrung ist karg: Hauptsächlich stehen kalorienarme Früchte auf dem Speisezettel. Energiesparen ist daher angesagt. Den größten Teil des Tages verbringen sie mit stundenlangem Dösen. Im Verhältnis zu ihrer Körpergröße verbrauchen die Menschenaffen mit 1.200 bis 2.000 Kalorien pro Tag dadurch weniger Energie als die meisten Säugetiere. Doch die anstrengende Kletterei bei der Nahrungssuche bringt die Primaten immer wieder ans Energielimit. Wie sie damit haushalten, untersuchte der britische Wissenschaftler Lewis Halsey an der Universität Roehampton. Er erforschte, wie die Orang-Utans von Baum zu Baum gelangen. Hier haben die Affen drei Optionen. Erstens: herunterklettern, zum nächsten Baum laufen und dort wieder hinaufklettern. Zweitens: von Baum zu Baum springen. Und drittens und am effizientesten: an einem Ast so lange schaukeln, bis man den Ast eines anderen Baums erreichen kann. „Dabei sahen wir, dass das Klettern mit einem sehr hohen Energieaufwand einhergeht“, so Halsey. „Hin- und herschwingen ist am günstigsten.“ Nur junge Tiere springen, da ihnen die Kraft fehlt, steife Äste zu biegen. Die Fortbewegung der Orang-Utans wird also immer effizienter, je größer und schwerer sie sind. Die Affen passen instinktiv ihre Fortbewegung an, um nicht in ein Energieminus zu gelangen. Halsey: „Eine Sache ist noch anstrengender, als einen Baum hochzuklettern, nämlich sich an einer Liane hochzuziehen, wie Tarzan es im Kino immer gemacht hat.“



## PERFEKTE FORM

**Welch Torheit der Natur: Pinguine sind Vögel, können aber nicht fliegen.** An Land sind sie außerordentlich tollpatschig, doch im Wasser sind sie in ihrem Element. Mit der Perfektion ihrer Schwimmkünste stellen sie sogar die allermeisten Fische in den Schatten – ihr Hauptnahrungsmittel. Unter Wasser erreichen Pinguine Geschwindigkeiten von über 40 km/h, und das mit minimalem Aufwand. Mit der Energie eines Liters Benzin könnte ein Pinguin 1.500 Kilometer weit schwimmen. Das liegt zum einen an ihrer besonders strömungsgünstigen Körperform. „Auffällig ist der wellenförmige Vorderkörper mit dem konkav-konvexen Übergang zwischen Schnabel, Kopf und Rumpf“, erklärt Bionik-Experte Stefan Löffler in seiner Dissertation. Zudem haben „alle Rümpfe eine annähernd kreisrunde Stirnfläche, und die vorzufindenden Längen-Dicke-Verhältnisse (4:1) ihrer Körper liegen im Bereich der Idealmaße volumenoptimierter Laminarspindel.“ Die Körperform der Pinguine wird nahezu ideal, also verlustlos umströmt, es gibt keine größeren Ablösungen und Turbulenzen. Und Pinguine verwenden einen weiteren Trick: Die im Gefieder gespeicherte Luft entweicht beim Tauchen in kleinen Luftblasen. Dieser Mikroblaseneffekt verringert den Widerstand zusätzlich.



### DER AUTOR

Aufgewachsen ist er mit Hunden, Katzen und Hühnern auf dem Land in Westfalen. Mittlerweile wohnt **Lars Krone** (39) in Hamburg – ganz ohne Tiere. Sein Faible für die Natur lebt er heute vor allem mit Urlauben am Meer aus.





# „DIE NATUR IST EIN HERVORRAGENDER IDEENGEBER“

**In der Bionik nehmen Wissenschaftler die Natur als Vorbild für neue Technologien. Im Interview spricht Prof. Dr.-Ing. Tim Hosenfeldt, Leiter Zentrale Innovation, über deren Bedeutung für Schaeffler.**

## — Was fasziniert Sie als Techniker an der Natur?

Es ist sehr spannend zu beobachten, wie sich die Natur optimal an die Gegebenheiten und Anforderungen ihrer Umwelt anpasst. Dabei setzt sie sehr ressourceneffizient die zur Verfügung stehende Energie ein. Bei vielen Aufgaben oder Problemstellungen, mit denen wir heute konfrontiert werden, lohnt sich der Blick in die Natur. Oft hat diese schon etwas entwickelt, was sich evolutionär durchgesetzt hat und was wir adaptieren können.

## Können Sie Beispiele nennen?

Ein sehr interessanter Aspekt ist zum Beispiel die Strukturmechanik und der Leichtbau – sowohl in der Pflanzen- als auch der Tierwelt. So wachsen die Fasern von Bäumen an Stellen mit hoher Belastung in eine spezielle Richtung, um mehr Stabilität zu erzielen. Bei Vögeln ist dagegen Leichtbau angesagt, damit sie energieeffizient fliegen können. Besonders faszinierend sind außerdem die Selbstheilungskräfte der Natur. Diese wollen wir für Werkstoffe natürlich auch gern entwickeln. Aber auch der Bereich der Oberflächengestaltung kann hier genannt werden. Mit dem Lotus-Effekt können diese einfach sauber gehalten werden. Und mit der sogenannten Haifischhaut kann zum Beispiel bei Schiffen die Reibung und damit der Energieverbrauch verringert werden.

## Welche Rolle spielt Bionik bei Schaeffler?

Bei unserer Strategie „Mobilität für morgen“ ist beispielsweise auch der Leichtbau wichtig. Die Natur hat hier bei Pflanzen viele Vorbilder geschaffen, wie ressourceneffizienter Leichtbau funktionieren kann. Dies führte zu neuen Möglichkeiten in der Konstruktion und Fertigung. Der Leichtbau findet bei uns zum Beispiel bei umgeformten Wälzlagern Anwendung. Ein weiteres positives Beispiel ist die Entwicklung eines stufenlosen CVT-Getriebes. Dort haben wir uns bereits vor mehr als 15 Jahren bei der Festigkeitsoptimierung von Kettenlaschen die Gesetzmäßigkeiten der Natur zunutze gemacht.

## Welche Abteilungen beschäftigen sich bei Schaeffler mit Bionik?

Wir tauschen uns im ganzen Unternehmen über die wichtigen Themen der Zukunft aus. Hierzu gehört natürlich auch die Bionik. Wichtige Plattformen sind unser Forum of Inspiration zum Ideenaustausch über zukünftige Projekte und Entwicklungen und der Technologie-Dialog, wo wir den Grundstein für die wichtigsten Entwicklungen der nächsten fünf bis zehn Jahre legen. Dabei tauschen wir uns auch mit externen Partnern aus der Forschung, der Industrie oder auch mit Start-ups aus.

## Wird Bionik in Zukunft eine noch größere Rolle spielen? Stichwort Energieeffizienz.

Auf jeden Fall. So steigt die Nachfrage nach Elektroautos stetig. Wegen der schweren Batterien ist gerade hier Leichtbau ein sehr wichtiger Faktor hinsichtlich der Energieeffizienz. Generell gilt ja: Je leichter Fahrzeuge

werden, desto geringer ist ihr Energieverbrauch. Die Natur ist ein hervorragender Ideengeber für innovativen Leichtbau. Wir wollen der Klimaerwärmung entgegenwirken, indem der CO<sub>2</sub>-Ausstoß verringert und weniger auf fossile Energieträger gesetzt wird. Hier arbeiten wir mit an der Gewinnung erneuerbarer Energien, aber auch an der Möglichkeit, diese wie in der Natur chemisch zu speichern – also in gasförmiger oder flüssiger Form als Methan oder synthetischer Kraftstoff. Künstliche Intelligenz und selbstlernende Systeme werden bei der zunehmend automatisierten Mobilität eine größere Rolle spielen. Diese Systeme lernen anhand von Daten und generieren aus diesem Wissen – und das im Sinne unserer Vision für eine Welt, die sauberer, sicherer und intelligenter sein wird.

## BIONISCHES BEISPIEL



Durch das hybride Kunststoff-Metall-Design wurde das Gewicht eines Radlagers in der Vorentwicklung gegenüber dem konventionellen Design (links) um 440 Gramm reduziert. Der Einsatz bionischer Strukturen bei einer Topologieoptimierung der Kunststoffkomponente verringert die Belastung des Werkstoffs um 20 bis 30 Prozent.

» *Es gibt keinen bequemen Weg, der von der Erde zu den Sternen führt*

Lucius Annaeus Seneca





# in bewegung

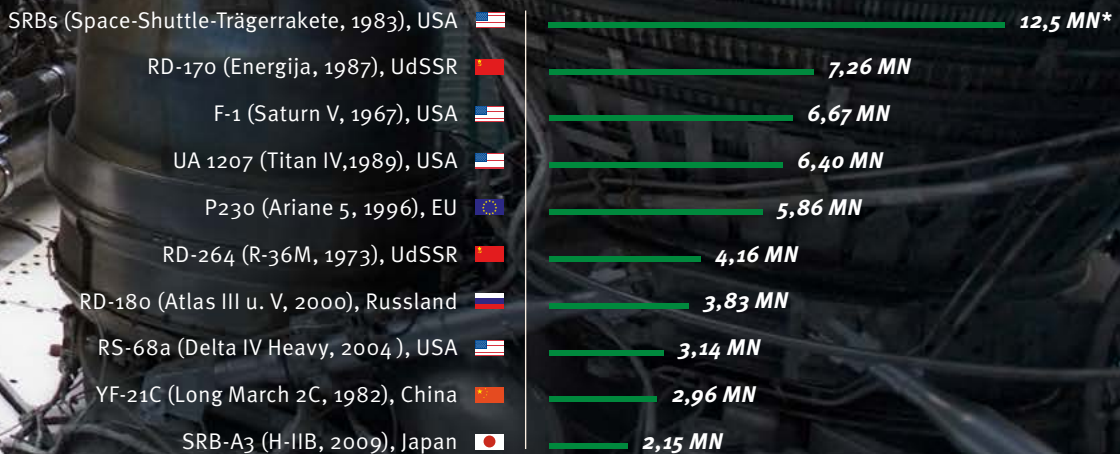
Innovationen im Laufe der Zeit

## HIMMELSGEWALTEN

— Still und starr ruhen die fünf F-1-Raketentriebwerke der „Saturn V“ im Kennedy Space Center in Florida. Jedes 5,6 Meter hoch, 9,1 Tonnen schwer. Obwohl seit über 40 Jahren außer Dienst, zählen sie bis heute zu den stärksten Motoren der Welt. Jeder leistet umgerechnet 32 Millionen PS, wobei bei Raketentriebwerken eher die Schubkraft ausschlaggebend ist. Die liegt in diesem Fall bei 6,67 Meganewton pro Aggregat. Es braucht nicht viel Fantasie, um sich auszumalen, welch gewaltige Energien solch ein F-1-Quintett freigesetzt hat, wenn es für den Start einer Saturn-Rakete gezündet wurde. Die fünf Turbotreibstoffpumpen, von denen schon jede einzelne 54.900 PS stark ist, pressten pro Sekunde 15 Tonnen eines Gemischs aus Kerosin und Flüssigsauerstoff in die

Brennkammern, die sich auf über 3.000 Grad erhitzen. Allein beim Abheben einer 2,8 Millionen Kilo schweren „Saturn V“, die unter anderem die „Apollo 11“-Mission auf den Mond geschossen hat, wurde so viel Energie freigesetzt, dass man damit ganz New York City 75 Minuten lang hätte elektrisieren können. Derzeit entwickelt die NASA unter dem Namen „Space Launch System“ einen in Bezug auf Schubkraft und Transportkapazität rekordbrechenden Nachfolger für die Schwerlastrakete „Saturn V“. Dort sollen RS-25-Triebwerke des eingestellten „Space Shuttle“-Programms verwendet werden. Die dort eingesetzten Turbotreibstoffpumpen sind übrigens mit Lagerungen der Aerospace-Sparte des Schaeffler-Konzerns ausgerüstet.

### DIE STÄRKSTEN RAKETENTRIEBWERKE (IHRE RAKETEN UND JAHR DES ERSTFLUGS)



\* jeweils Schubkraft in Meganewton auf Meereshöhe

Quelle: wikipedia.org



# ENERGIE

## MOTOR DES FORTSCHRITTS

Die Entwicklung der Menschheit ist untrennbar mit der Menge an Energie verbunden, die wir erzeugen und verbrauchen können. Eine kurze Geschichte des menschlichen Energieverbrauchs in fünf Kapiteln.

— von Christian Heinrich



### ZEITREISE ZU DEN QUELLEN DER ENERGIE

#### vor 4,5 Milliarden Jahren

Wissenschaftler gehen davon aus, dass die wichtigste Energiequelle der Erde 4,57 Milliarden Jahre alt ist: **die Sonne**. Weitere 5 Milliarden Jahre soll der Stern noch „brennen“. Im Kern der Sonne werden pro Sekunde 5 Millionen Tonnen Wasserstoff in Helium umgewandelt. Dabei entstehen Kerntemperaturen von unfassbaren 15 Millionen Grad Celsius (Raketentriebkammer: 4.200 °C).

#### vor 1,5 Millionen Jahren

Blitze und Vulkanausbrüche bringen **das Feuer** auf die Erde. Seit wann genau sich Frühmenschen Feuer nutzbar machen, ist unter Wissenschaftlern höchst umstritten. Als ziemlich sicher gilt, dass der Homo erectus in Afrika ca. 1,5 Mio. v. Chr. Feuerstellen betreibt. Und noch bevor es dem Homo sapiens gelingt, Feuer selbst zu entfachen (ca. 32.000 v. Chr.), werden die heißen Flammen zum Härten genutzt (ca. 70.000 v. Chr.).





# 1 SCHRITTE ZUR ZIVILISATION

## DIE NUTZBARMACHUNG DES FEUERS UND DIE ERSTE ENERGIEKRISE: HOLZ WIRD KNAPP

*Vor rund 1,5 Millionen Jahren erkennt der Homo erectus, wie nützlich das Feuer sein kann. Aber erst vor 32.000 Jahren erfindet der Homo sapiens das „Feuerzeug“, indem er durch das Aneinanderschlagen von Steinen Funken fliegen lässt. Dass er Feuer selbst entfachen kann, ermöglicht es dem Menschen, sich auch in kälteren Regionen wie Nordeuropa oder gar Sibirien auszubreiten. Die „Erfindung“ der Landwirtschaft lässt umherstreifende Jäger und Sammler vor 13.000 Jahren dann sesshaft werden, weil die Energiequelle „Nahrung“ nun stets in greifbarer*

*Nähe ist. Der nächste Schritt: die Domestizierung von Nutztieren als Nahrung, aber auch als Antriebskraft. Durch das geniale Prinzip des Rads überwindet der Mensch mithilfe tierischer Zugkraft weite Distanzen und transportiert immer mehr Waren – Austausch und Handel florieren. Gleichzeitig investiert man Energie ins Zuhause. Holz- und Steinhäuser schützen vor Wind und Wetter. Das Feuer tut sein Übriges, um die Kälte zu vertreiben. Und es bringt das Licht, um die Nacht zu erobern. Zudem ermöglicht das Feuer einen Fortschritt der anderen Art:*

*Die Hitze wird für das Schmelzen von Eisen eingesetzt, was dem Menschen mehr Eisenwerkzeuge und -bauteile verschafft, von der Sense über die Speiche im Pferdewagen bis hin zu Maschinen wie Wind- und Wassermühlen. All das steigert zwar die Effizienz menschlichen Tuns beziehungsweise schafft neue Energiequellen. Aber der Hauptbrennstoff Holz wird immer knapper. Auch deshalb, weil Holz ein wichtiges Baumaterial ist – für ein hochseetaugliches Schiff muss man bis zu 3.000 Eichen fällen. Es deutet sich bereits an, dass es so nicht weitergehen kann ...*

### DIE ÄRA DES WALFANGS

*Fast jedes Haus und viele Straßen in den großen Städten Europas wurden vom 17. Jahrhundert an bis ins 20. Jahrhundert hinein mit Lampen beleuchtet, deren Öl von Waltran stammte. Waltran wurde durch das Auskochen von zerstückeltem Walspeck gewonnen, die riesige Nachfrage machte die Jagd auf Wale zu einem profitablen Geschäft, um 1840 waren 900 Fangschiffe auf den Weltmeeren unterwegs, die in fangstarken Jahren bis zu 10.000 Wale erlegten. Infolge der 1855 erstmals geglückten Herstellung von Petroleum, das über ähnliche Eigenschaften wie Waltran verfügt, kam der Fang in den Folgejahren fast zum Erliegen. Erst die Nutzung des Trans für die Herstellung von Margarine und Nitroglyzerin ließ die Nachfrage wieder steigen, und die Jagd auf die Meeressäuger ging wieder los.*

#### vor 12.000 Jahren



Archäologische Funde deuten darauf hin, dass Menschen schon in der mittleren Steinzeit (10.000–8.300 v. Chr.) **Tieröl** in Lampen zum Beleuchten nutzen. Chinesen sollen um Christi Geburt dafür erstmals Erdöl verwendet haben.

#### vor 4.000 Jahren

Die Kraft von **Wasser und Wind** nutzt der Mensch seit rund 4.000 Jahren als Energiequelle. Wobei Windmühlen etwas älter sein sollen als Wassermühlen. Es sind die ersten Maschinen, die sich ohne Unterstützung menschlicher oder tierischer Energie bewegen.





## 2 SCHWARZES GOLD DIE DAMPFMASCHINE UND FOSSILE ENERGIEN

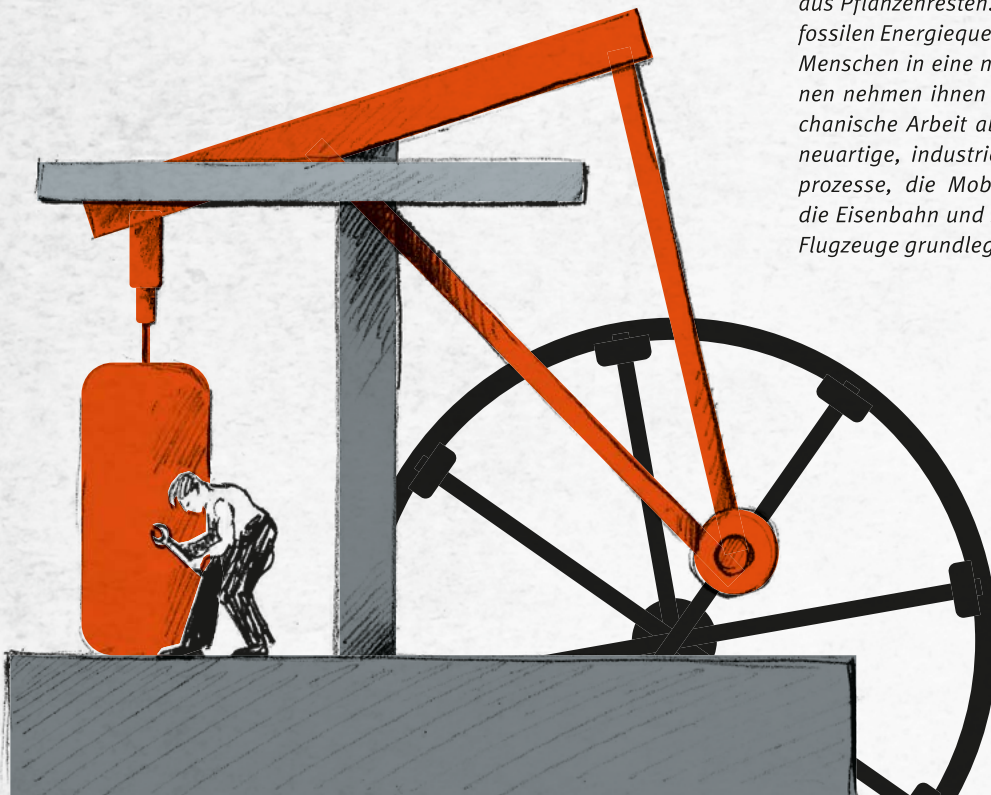
*In vorindustriellen Zeiten ist die dreckige, stinkende Kohle noch eine Notlösung. Ein Ersatz, wenn Holz und Holzkohle knapp sind. Eine Erfindung aber lässt ihren Nutzen – und ihren Verbrauch – vom*

*18. Jahrhundert an explodieren: die Dampfmaschine. Damit lässt sich erstmals Wärme in Bewegungsenergie umwandeln. Was nichts anderes bedeutet, als dass sich damit alles antreiben lässt, was sich bislang nur*

*mit Wind-, Wasser- oder Muskelkraft bewegen ließ. Von der Webmaschine für die Textilherstellung bis zum Fortbewegungsmittel in Form der Dampflokomotive revolutioniert sie den Alltag der Menschen grundlegend. Kohle erweist sich dabei auch deshalb als idealer Rohstoff, weil ihre Energiedichte sehr hoch ist und sie gut transportiert werden kann. Die Kohle gehört – wie Öl und Gas, auf die ab dem 20. Jahrhundert vermehrt zurückgegriffen wird – zu den fossilen Energiequellen, die in geologischer Vorzeit entstanden sind. Im Falle der Kohle vor 250 bis 350 Millionen Jahren in einem langen Prozess aus Pflanzenresten. Die Nutzung der fossilen Energiequellen befördert die Menschen in eine neue Ära: Maschinen nehmen ihnen immer mehr mechanische Arbeit ab und sorgen für neuartige, industrielle Produktionsprozesse, die Mobilität wird durch die Eisenbahn und später Autos und Flugzeuge grundlegend erweitert.*

### 70 MAL MEHR ENERGIE ...

*... als der menschliche Grundumsatz verbraucht jeder Mensch in Industriegesellschaften im Schnitt. Begonnen hat diese Explosion des Energieverbrauchs mit der industriellen Revolution, die durch die Erfindung der Dampfmaschine gekennzeichnet ist. Bis heute wird ein großer Teil der Energie durch fossile Brennstoffe erzeugt.*



#### vor ca. 2.600 Jahren

Der Gelehrte Thales reibt Bernstein aneinander, um **statische Ladung** zu erzeugen. Bernstein heißt auf Griechisch „elektron“. Bis zur Nutzung der Elektrizität sollte es aber noch über 1.000 Jahre dauern. Oder nicht? Mit der „Bagdad-Batterie“ (Tongefäß mit Eisenstab und Kupferzylinder) ließ sich ca. 100 v. Chr. 0,5 Volt Spannung erreichen. Ob das Gefäß tatsächlich als Batterie genutzt wurde, ist umstritten.

#### vor ca. 2.000 Jahren

Der Heronsball (auch Aeolipile genannt) ist eine der ersten schriftlich überlieferten **Wärmeleistungsmaschinen**. Namensgeber ist Heron von Alexandria, die Aeolipile soll aber schon altägyptischen Priestern bekannt gewesen sein. In seiner Schrift „Pneumatika“ beschreibt Heron neben seinem Heronsball auch praktisch verwendbare Wärmeleistungsmaschinen in Form automatischer Tempeltüren.





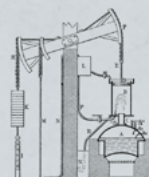
## 3 ELEKTRISIERT UND VERNETZT STROM ALS VIELSEITIGSTE ENERGIE

*Höherer Lebensstandard, höhere Produktivität, mehr Energieverbrauch pro Kopf trotz geringerer körperlicher Arbeit – schön! Die industrielle Revolution ist gerade verdaut, da schielen die Fortschrittshungrigeren schon nach der nächsten Stufe. Ist es nicht enorm umständlich, dass man überall dort, wo Energie gebraucht wird, eine Dampfmaschine mit Kohle befüllen muss? Gut, dass in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts der nächste Quantensprung ansteht: Mit der Umwandlung von Wasserdampf – und übrigens auch Wasserkraft – in Strom und dessen Transport via Kabeln werden viele Probleme gelöst: Der elektrische Strom kann in zentralen Kraftwerken produziert und dann verteilt werden. Er ist – zumindest dort, wo er verbraucht wird – emissionsfrei, und er erfüllt von der Heizung über den mechanischen Antrieb bis hin zu Beleuchtung alle Anforderungen buchstäblich auf Knopfdruck. Darüber hinaus machen neue Erfindungen den Strom bald unentbehrlich, angefangen vom Telefon über das Radio bis hin zur Waschmaschine. Der einzige Haken an der Sache: Mit der Zahl der Anwender und Anwendungen steigt der Energieverbrauch. 1950 gingen nur zehn Prozent der fossilen Brennstoffe in die Stromerzeugung, 50 Jahre später sind es bereits 40 Prozent.*

### 1713

In England wird erstmals durch **Verkokung** von Kohle Koks gewonnen. Bei 1.000 °C unter Luftausschluss werden die flüchtigen Bestandteile der Kohle entfernt, sodass der feste Kohlenstoff und die verbleibende Asche verschmelzen. Der Heizwert von Koks ist mit 23–31 MJ/kg ca. viermal so hoch wie bei Rohkohle (Heizöl ca. 43 MJ/kg). Bis nach dem Zweiten Weltkrieg bleibt Koks die wichtigste Energiequelle der Welt.

### 1769



Der Brite James Watt reicht das Patent für eine **Dampfmaschine** ein. Erfunden hat er sie aber nicht. Denn schon 1712 konstruiert Thomas Newcomen eine erste verwendbare Dampfmaschine. Sie hatte allerdings nur einen Wirkungsgrad von 0,5%, die von Watt immerhin 3%.



# 4 MÄCHTIG GEFÄHRLICH

## DIE URGEWALT DER KERNKRAFTWERKE

**Fossile Brennstoffe und Wasserkraft allein können den Bedarf an Energie und Strom bald kaum noch decken.**

Außerdem kristallisiert sich heraus, dass das jahrzehntelange Verbrennen von Kohle auch in der Atmosphäre unangenehme Spuren hinterlässt. Zumindest in Bezug auf die Luftqualität verspricht eine neue Technologie Sauberkeit: die Kernspaltung, bei der Atomkerne gespalten und die freigesetzte Energie in einem Kraftwerk in

Strom umgewandelt wird. 1954 wird in Russland das erste zivile Kernkraftwerk in Betrieb genommen, 35 Jahre später produzieren 438 Reaktorblöcke weltweit Strom aus Kernenergie. Nicht zuletzt die Katastrophe von Tschernobyl 1986 und der Super-GAU in Fukushima im Jahr 2011 zeigen, dass hier nicht die Zukunft der Energiegewinnung liegt. Auch das Problem des entstehenden Atommülls ist ungelöst (siehe unten).

### GEFÄHRLICHES ERBE

**Bis Ende 2010 sind weltweit etwa 300.000 Tonnen hochradioaktive Abfälle angefallen.** Wegen der langen Halbwertszeit müssen sie mindestens mehrere Hunderttausend Jahre sicher gelagert werden. Ein solches Endlager für hochradioaktive Abfälle gibt es weltweit allerdings noch nicht, kein Ort erfüllt bislang die hohen Anforderungen. Damit steht man vor einem ungelösten Problem, das im wahrsten Sinne immer schwerwiegender wird: Jedes Jahr kommen 12.000 Tonnen hochradioaktiver Abfall hinzu.

#### 1859

Im niedersächsischen Wietze gelingt am 1. Juli die erste erfolgreiche **Erdölbohrung** der Neuzeit. Wenige Wochen später stößt Edwin L. Drake in Pennsylvania (USA) auf eine ergiebige Lagerstätte. „Dieser Sonntagnachmittag an den Ufern des Oil Creek bei Titusville lieferte den Funken, der die Erdölindustrie in die Zukunft katapultierte“, urteilt Öl-Experte William Brice.

#### 1867

Werner von Siemens präsentiert das **dynamoelektrische Prinzip**. Mit den darauf basierenden Generatoren lässt sich Strom einfacher und stärker bereitstellen als bisher üblich mit Batterien. Die so ermöglichte Elektrifizierung trennt den Energieverbraucher erstmals weiträumig von der Primärquelle. Erfindungen wie Transformator, Glühbirne, E-Bahn folgen Schlag auf Schlag.



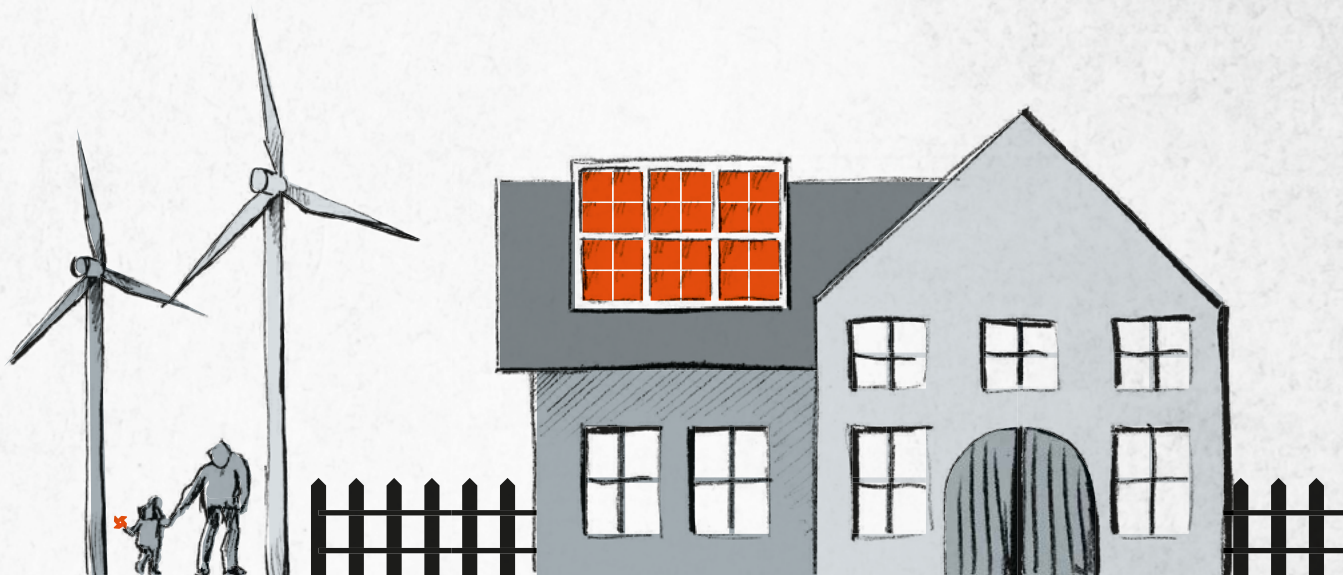
# 5 ZURÜCK ZU WIND UND SONNE

## DER AUFSCHWUNG DER ERNEUERBAREN ENERGIEN

**Niemals haben die Menschen so viel Energie produziert und verbraucht wie heute.** Wie geht es weiter? Langsam kristallisieren sich drei Dinge heraus. Erstens: Der Energieverbrauch wird weiter steigen, allein das Internet verbraucht in jedem Jahr etwa zehn Terawattstunden, das ist ein Drittel mehr als der Grundumsatz der

gesamten Menschheit in einem Jahr. Zweitens: Die zentralen Energieträger der letzten Jahrzehnte und Jahrhunderte, die fossilen Brennstoffe und die Kernenergie, haben keine Zukunft – sie sind entweder zu schmutzig oder zu gefährlich. Drittens: Daher wird die Zukunft der Energie wohl auf die erneuerbaren Energien

hinauslaufen, allen voran Wind- und Solarenergie. Beide stammen von der Sonne, der Wind entsteht durch Temperaturunterschiede in der Luft. Die Menschen wenden sich also dorthin zurück, wo sie angefangen haben. Das ist angesichts der Technologie von heute allerdings kein Rückschritt, sondern ein Fortschritt.



### DER AUTOR

Der freie Journalist **Christian Heinrich** trainiert gerade für einen Marathon. Seit der Recherche denkt er beim Laufen ab und zu daran, welchem Luxus er gerade nachgeht – ein Mensch aus der Frühsteinzeit würde wohl kaum eine solche Anstrengung auf sich nehmen, bietet sie doch keinerlei Aussicht auf neue Nahrung.

### 1951



Am 20. Dezember fließt erstmals mit **Kernenergie** erzeugter Strom durch eine Leitung. Er stammt aus dem US-Forschungsreaktor EBR-I und bringt vier Glühlampen zum Leuchten. Erstes Kernkraftwerk zur großtechnischen Erzeugung elektrischer Energie ist 1954 der Meiler Obninsk bei Moskau.

### 2009

In Oslo (N) geht das erste **Osmosekraftwerk** der Welt in Betrieb. Es nutzt den Unterschied im Salzgehalt zwischen Süßwasser und Meerwasser, um daraus Energie zu gewinnen und Strom zu erzeugen. Weltweit könnten auf diese Weise 625 TWh Energie erzeugt werden (3% des Weltstrombedarfs). Vorreiter Norwegen möchte langfristig 10% seines Strombedarfs per Osmose decken.

# DER TÜCHTIGE

Konzernchef, Familienvater, Triebfeder – in diesem Jahr wäre Dr. Georg Schaeffler 100 Jahre alt geworden. Das Porträt eines energiegeladenen Mannes.

— von Wiebke Brauer

— Es ist Sonntag, der 20. Juni 1948. Am Freitag zuvor wurde über die Rundfunkanstalten verkündet, dass nun die Währungsreform in Kraft tritt. Mit der Deutschen Mark wird sich alles ändern, die Tauschgeschäfte haben ein Ende, die deutsche Wirtschaft soll wieder aufgebaut werden. Aus dem Nichts. Auch Georg Schaeffler muss ganz von vorn beginnen. Er ruft seine Mitarbeiter zusammen, 70 Leute sind es gut und gern. „Männer, ich habe genauso viel wie ihr“, sagt Schaeffler zu ihnen. „Ich bekomme 40 D-Mark. Was tun wir? Ich stehe wieder am Anfang wie ihr. Ich erwarte eure Entscheidung.“ Seine Belegschaft berät sich und verkündet ihrem Chef: „Wir arbeiten weiter. Wenn Sie wieder mal Geld haben, dann bezahlen Sie uns eben. Alles andere wird sich geben.“

Vielleicht ist dies der Tag, an dem ein besonderer Geist die Firma beseelt. Ein Geist, der von Risikobereitschaft geprägt ist – und von großem Vertrauen zu dem Mann, der vor ihnen steht. Das Vertrauen lohnt sich: Einen Tag später, am 21. Juni 1948, wird eine neue Firma gegründet, die Industriewerk Schaeffler oHG. Und die Erfolgsgeschichte beginnt, angetrieben von einem unermüdlichen Glauben an den Wandel und an das Neue.

---

## *Immer neue Aufgaben*

---

Schaefflers Leben ist nicht nur von außerordentlicher Tatkraft geprägt, es spiegelt auch die deutsche Geschichte des 20. Jahrhunderts wider: Georg Schaeffler

wird am 4. Januar 1917 in Lothringen geboren. Seine Familie bewirtschaftet dort einen landwirtschaftlichen Betrieb, nach dem Ersten Weltkrieg siedelt die Familie in das Saarland über. 1938 beginnt Georg Schaeffler mit dem Studium der Betriebswirtschaft in Köln, nach Ausbruch des Zweiten Weltkrieges wird er im Januar 1940 zum Wehrdienst eingezogen. Während eines Lazarett-Aufenthaltes im Jahr 1944 schließt er sein Studium zum Diplom-Kaufmann ab. Sein Vorhaben, daran ein Ingenieur-Studium anzuhängen, scheidet an den Wirren des Krieges.

Schon 1939 erwirbt die Familie ein Unternehmen für Textilien, das während des Krieges auch Nadellager herstellt und dessen Sitz mehrere Male wechselt. Auf der Suche nach einem Grundstück mit Gleisanschluss für ihr Unternehmen kommen die Brüder Wilhelm und Georg Schaeffler 1946 nach Herzogenaurach. Gefertigt werden Holzartikel wie Leitern oder Knöpfe, bald kommen Metallprodukte wie Gelenkkreuzbüchsen und Nadellager hinzu. Aus dieser Zeit stammt auch die Markenabkürzung INA für „Industrie-Nadellager“. Später fragen Mitarbeiter, wofür die Abkürzung stehe. Die Antwort von Georg Schaeffler lautet: „Immer neue Aufgaben“.

---

## *Geistesblitz hinterm Autolenkrad*

---

Dinge zu perfektionieren, das liegt Schaeffler am Herzen. 1949 denkt er bereits seit Längerem über eine Verbesserung des herkömmlichen Nadellagers nach.





Georg Schaeffler starb 1996 – durch den von ihm und seinem Bruder gegründeten Schaeffler-Konzern lebt er aber weiter





Einer für alle: Georg Schaeffler führt Betriebskindergärten, Ferienheime, Versicherungen mit günstigen Tarifen und Betriebssportgruppen für seine Mitarbeiter ein



1982 verleiht Ministerpräsident Franz Josef Strauß den Bayerischen Verdienstorden an Georg Schaeffler

Während einer Autofahrt hat er die entscheidende Idee: Die Nadeln müssen achsparallel einzeln in einem Käfig geführt werden. Schaeffler selbst erzählt später: „Den ersten Nadelkäfig stellten wir an einem Tag her, an dem abends das Betriebsfaschingsfest stattfand. An jenem Nachmittag habe ich den Käfig noch mit dem Hörrohr geprüft.“ Die Konstrukteure der Firmen Mercedes-Benz und Adler-Motorradbau sind begeistert und erklären sich sofort bereit, das neue Produkt in ihren Fahrzeugen einzubauen. Die beiden Großaufträge gehen am gleichen Tag im Februar 1951 ein, Bestellungen von Borgward und Auto-Union folgen.

Und es geht weiter. Bis 1953 sind Georg Schaeffler und sein älterer Bruder Wilhelm (1908–1981) in wöchentlichem Wechsel in Westdeutschland auf Achse. Die Leiter der Entwicklungs- und Konstruktionsabteilungen müssen von den neuen Produkten persönlich überzeugt werden. Schaeffler: „In einem alten Mercedes bin ich durchs ganze Land gefahren – mit zehn Reservereifen im Kofferraum, weil man bei den schlechten Straßen dauernd eine Panne hatte. Ich kannte Deutschland wie meine Westentasche.“

Auf die bahnbrechende Erfindung des INA Nadelkäfigs folgen viele weitere, zum Beispiel im Bereich Motorenelemente. Zwischendrin – nach Gründung der LuK – kommen Entwicklung und Produktion von

Kupplungen und Getriebesystemem hinzu. Im Laufe seiner Schaffenszeit meldet Dr. Georg Schaeffler insgesamt 70 Erfindungen zum Patent an. Seine letzte Patentanmeldung wird im Juli 1996 eingereicht. Der Titel: „Tasenförmiger Ventilstößel“.

„Das Unternehmen war sein Leben, seine Berufung und sein Hobby an 365 Tagen im Jahr“, sagte Maria-Elisabeth Schaeffler-Thumann anlässlich des 100. Geburtstags in ihrer Rede. 33 Jahre waren die beiden verheiratet, „fordernd“ nennt sie das Leben an der Seite des unermüdlichen Mannes.

---

### **Technische Genialität und soziale Ader**

---

Allein in den Jahren 1960 bis 1970 verdoppelt sich die Zahl der Mitarbeiter weltweit von 5.700 auf 10.700, in Herzogenaurach steigt sie um fast 50 Prozent von 2.325 auf



Georg Schaeffler  
motiviert seine  
Mitarbeiter  
unermüdlich, ihren  
„Biocomputer“  
einzuschalten



3.400 Betriebszugehörige. Schaeffler sorgt in den 1950er- und 1960er-Jahren für Wohnraum für seine Arbeiter, für die Altersvorsorge und für einen Werkssupermarkt. Ein Betriebskindergarten wird geschaffen, Ferienheime, Versicherungen mit günstigen Tarifen und Betriebssportgruppen. Nicht jeder hat mehr wie früher die Möglichkeit, einfach im Vorbeigehen mit „Georg“ einen Plausch zu halten, dafür hat der emsige Konzernchef kaum noch Zeit.

## »» **Das Unternehmen war sein Leben, seine Berufung und sein Hobby an 365 Tagen im Jahr**

Maria-Elisabeth Schaeffler-Thumann

Am 2. August 1996 verstirbt Dr. Schaeffler im Alter von 79 Jahren. Seiner Frau und seinem Sohn hinterlässt er ein prosperierendes Unternehmen mit rund 20.000 Mitarbeitern, aktuell sind es rund 87.000. Georg Friedrich Wilhelm Schaeffler sagt anlässlich der Trauerfeier über seinen Vater: „Eines haben wir alle gemeinsam. Die Erinnerung an seine technische Genialität, seine Fähigkeiten, neue Möglichkeiten zu sehen, über den Tellerrand zu schauen, kurz – um seine eigenen Worte zu verwenden – querzudenken. Ich bin mir sicher, dass wir uns an seine Fähigkeit erinnern, Menschen zu motivieren, sie nicht nur zum Mitarbeiten, sondern zum Mitdenken zu bewegen und ihr Gehirn, oder, wie er es nannte, den Biocomputer, einzusetzen.“



1963 heiraten Georg Schaeffler und Maria-Elisabeth, geborene Kurssa. Das Eheglück hält 33 Jahre, bis zu seinem Tod



### **DIE AUTORIN**

Die Hamburger Journalistin **Wiebke Brauer** interessierte sich schon immer für die deutsche Geschichte und begreift nun noch besser, woraus das deutsche Wirtschaftswunder vornehmlich bestand: aus harter Arbeit.

# SPITZEN TRÜMPF

Seit 130 Jahren stecken Ingenieure viel Energie in die Entwicklung des Automobils. Immer schneller, sicherer, komfortabler, effizienter – der Pkw ist der Perfektion Schritt für Schritt nähergekommen. 14 repräsentative Meilensteine auf vier Rädern markieren den Entwicklungsweg von damals bis heute.

— von Roland Löwisch





A1

1886

D



Hubraum .....984 ccm  
 Motor ..... Einzylinder  
 Leistung.....0,75–0,88 PS  
 Literleistung ..... 0,82 PS/Liter  
 Vmax..... 16 km/h  
 0–100 km/h.....nicht möglich  
 Gewicht.....265 kg (ca. 330 kg/PS)  
 Verbrauch .....10 l/100 km

## BENZ PATENT-MOTORWAGEN TYP 1

**WICHTIGSTE INNOVATIONEN** erstes Automobil weltweit; leichter, schnelllaufender Einzylinder-Viertaktmotor; erste Gegengewichte an der Kurbelwelle bei einem Verbrennungsmotor; Antrieb und Fahrgestell von Grund auf neu konstruiert

**DAS AUTO UND SEINE GESCHICHTE** Carl Benz erprobte seine Erfindung „Fahrzeug mit Gasmotorenbetrieb“ so gut und so lange wie möglich im Verborgenen, bis er am 29. Januar 1886 endlich das Patent Nummer 37435 in der Hand hielt – der Beweis für das erste Automobil der Welt und gleichzeitig für ein alltagstaugliches Produkt. Er hatte es 1885 konstruiert und dabei nicht nur einer Kutsche einen Motor einverleibt, sondern auch drum herum alles neu erfunden: ein Auto, wie es heute noch gebaut wird – mit Motor, Zündung, Kühlung, Kraftübertragung, Rädern und Bremsen. Nur mit der Lenkung kam er nicht klar – deswegen ist das Auto dreirädrig. Die Literleistung (Hubraumleistung) als Maß der motorischen Potenz ist mit 0,82 PS pro Liter zeitbedingt noch recht bescheiden.

## PANHARD P2D

**WICHTIGSTE INNOVATIONEN** Einführung Standardbauweise (Motor vorn, Antrieb hinten); erstes Auto in Kleinserie

**DAS AUTO UND SEINE GESCHICHTE** Nach diversen Eigenerwecheln eines ehemaligen Herstellers von Holzbearbeitungsmaschinen entstand die Firma Panhard & Levassor 1886 in Paris. Sie baute 1890 mit dem P2D das erste Automobil Frankreichs als Prototyp. Dabei half ihr die freundschaftliche Beziehung zu Gottlieb Daimler, denn Panhard durfte Daimlers V-Motor ab 1890 in Lizenz fertigen. Tatsächlich wurden die ersten P2D echte Mittelmotorautos, was vier vollwertige Passagierplätze ermöglichte. Die Insassen hockten allerdings Rücken an Rücken („dos-a-dos“). 1891 rückte der Motor – der im Laufe der Zeit bis auf 1.290 ccm wuchs und bis zu 3,3 PS lieferte – nach vorn. Auf diesem „Système Panhard“ basiert noch heute die „Standardbauweise“: Motor, Kühler und Getriebe vorn, Antrieb hinten.

A2

1890

F



Hubraum ..... 921 ccm  
 Motor ..... V2  
 Leistung ..... 2 PS  
 Literleistung ..... 2,19 PS/Liter  
 Vmax.....20 km/h  
 0–100 km/h.....nicht möglich  
 Gewicht..... 420 kg (210 kg/PS)  
 Verbrauch .....k. A.

A3

1901

USA



Hubraum ..... 1.564 ccm  
 Motor ..... Einzylinder  
 Leistung..... 5,1 PS  
 Literleistung ..... 3,27 PS/Liter  
 Vmax.....32 km/h  
 0–100 km/h.....nicht möglich  
 Gewicht..... 500 kg (98 kg/PS)  
 Verbrauch .....k. A.

## OLDS CURVED DASH RUNABOUT

**WICHTIGSTE INNOVATIONEN** erstes in Großserie hergestelltes Auto; längs angeordnete Blattfedern sind gleichzeitig Längsträger und Federung

**DAS AUTO UND SEINE GESCHICHTE** Ransom Eli Olds begann zum Ende des 19. Jahrhunderts seine Ingenieurlaufbahn mit Experimenten an Dampf- und Elektromotoren. Er kam zu dem Schluss, dass dem Verbrenner die Zukunft gehört. So entwickelte er den Curved Dash Runabout, der zu seiner Zeit zum meistverkauften Auto der Welt avancierte. Allein im Jahr 1901 baute Olds Motor Works 425 Stück, Preis je Auto 650 Dollar. Der Name des Autos stammt von der runden, nach oben gebogenen Front, die nichts anderes ist als ein gerollter Holzfußboden. Bis 1907 entstanden insgesamt rund 11.000 Autos. Olds trug also maßgeblich dazu bei, dass Verbrenner-Pkw Dampf- und Elektroautos verdrängten.

A4

1910

A



Hubraum .....	5.714 ccm
Motor .....	R4
Leistung .....	95 PS
Literleistung .....	16,62 PS/Liter
Vmax .....	132 km/h
0–100 km/h .....	ca. 13,5 Sek.
Gewicht .....	1.207 kg (12,1 kg/PS)
Verbrauch .....	ca. 27,5 l/100 km

## AUSTRO-DAIMLER 27/80 „PRINZ HEINRICH WAGEN“

**WICHTIGSTE INNOVATIONEN** erster Sportwagen der Welt; ausgezeichnete spezifische Leistungsausbeute; Doppelzündung; Vierganggetriebe; gute Aerodynamik dank V-förmigem Kühler und Spitzheck

**DAS AUTO UND SEINE GESCHICHTE** Prinz Albert Wilhelm Heinrich zu Preußen, Bruder des deutschen Kaisers, war ein echter Autofan. Er initiierte 1907 einen Wettbewerb zur „Vervollkommnung“ des Tourenwagens und Unterstützung des Tourismus, außerdem sollten Sonderprüfungen auch Renncharakter vermitteln. Reglement-Vorgabe: nur viersitzige Straßenautos mit Vier- oder Sechszylindermotor. Das war genau das Richtige für Ferdinand Porsche. Der war zu jener Zeit bei Austro-Daimler angestellt und konstruierte 1910 einen passenden aerodynamisch ausgelegten Wagen, den er selbst fuhr. Die Fahrt führte vier Tage lang über knapp 2.000 Kilometer von Berlin bis nach Homburg im Saarland. Porsche triumphierte: drei Austro-Daimler auf dem Podium, der Professor persönlich auf Platz 1.

## BUGATTI TYPE 41 „ROYALE“

**WICHTIGSTE INNOVATIONEN** Monoblock-Motor; Dreiventiler; größter Motor im Straßenauto aller Zeiten; größter Pkw der Automobilgeschichte

**DAS AUTO UND SEINE GESCHICHTE** Luxus, Luxus, Luxus – Ettore Bugatti war nie ein bescheidener Typ. Folgerichtig stellte er den wohl größten, schwersten und luxuriösesten Pkw aller Zeiten auf die Räder: den Bugatti Type 41 „Royale“. Länge bis 6,5 Meter, Radstand 4,53 Meter, Motor 14,7 Liter Hubraum (Prototyp), dann 12,7 Liter (Serie). Wie damals üblich, lieferte Bugatti nur das „Rolling Chassis“, überwachte allerdings akribisch, welche Karosserie von den (natürlich) edelsten Blechschneidern darauf geschraubt wurde. Der von einem Flugzeugmotor abgeleitete Achtzylinder kam ohne Zylinderkopf aus, was ihn besonders widerstandsfähig machte. So innovativ der Type 41 war – er war letztlich zu groß, zu teuer. So raffte ihn die Weltwirtschaftskrise 1929 dahin. Nur sechs komplette Exemplare plus ein Chassis entstanden.

B1

1926

F



Hubraum .....	12.763 ccm
Motor .....	R8
Leistung .....	ca. 275 PS
Literleistung .....	21,57 PS/Liter
Vmax .....	ca. 200 km/h
0–100 km/h .....	k. A.
Gewicht .....	3.200 kg (11,6 kg/PS)
Verbrauch .....	55 l/100 km

B2

1935

I



Hubraum .....	2.905 ccm
Motor .....	R8, zwei Kompressoren
Leistung .....	180 PS
Literleistung .....	62,07 PS/Liter
Vmax .....	185 km/h (kurzer Radstand)
0–100 km/h .....	k. A.
Gewicht .....	1.150 kg (6,3 kg/PS)
Verbrauch .....	21,4 l/100 km

## ALFA ROMEO 8C 2900B

**WICHTIGSTE INNOVATIONEN** Renntechnik im Straßenwagen, wie zum Beispiel purer Rennmotor; einzeln aufgehängte Vorderräder

**DAS AUTO UND SEINE GESCHICHTE** Die Alfa Romeo 8C 2900 gelten nicht nur für ihre Zeit als technisch herausragende und optisch faszinierende Automobile – kurz: Sie sind die Krönung des Automobilbaus der Vorkriegszeit. Basis ist pure Renntechnik: Übertragen auf die Neuzeit wäre ein 8C 2900 heute ein Formel-1-Renner mit einer der schönsten Karosserien und Straßenzulassung, deswegen auch die hohe Literleistung. Die Proportionen des Alfa sind perfekt, die Veglia-Runduhren für Drehzahl und Tacho erinnern an Art-déco-Elemente. Nur wenige Exemplare wurden – nach Kundenwunsch und Einsatzzweck mit kurzem (2.800 mm) oder langem Radstand (3.000 mm) – gebaut: je nach Lesart zwischen 30 und 36 Stück.



B3

1948

USA



Hubraum .....	5.473 ccm
Motor .....	6-Zylinder-Boxer
Leistung .....	166 PS
Literleistung .....	30,33 PS/Liter
Vmax .....	191,5 km/h
0–100 km/h .....	ca. 11,0 Sek.
Gewicht .....	1.921 kg (11,4 kg/PS)
Verbrauch .....	12,7 l/100 km

## TUCKER '48 „TORPEDO“

**WICHTIGSTE INNOVATIONEN** Heckmotor; Sicherheitsgurte; Kurvenlicht („Zyklopenauge“); Einzelradaufhängung rundum; Lenkrad-Aufprallschutz; Sicherheits-Windschutzscheibe; Türausschnitte bis ins Dach für leichteren Einstieg; Vierganggetriebe mit automatischer Vorwählung

**DAS AUTO UND SEINE GESCHICHTE** Preston Tucker – ein Ingenieur aus Chicago – war ein echter Visionär. Ihm waren die käuflichen Autos alle zu unsicher, also konstruierte er sein eigenes mit gut 5,5 Metern Länge und nannte es nach dem Baujahr '48 (der Beiname „Torpedo“ wurde nur in der Werbung benutzt). Herausragend beim Heckmotorwagen waren die Technik und die Sicherheitsfeatures. Doch bald drehten ihm seine Geldgeber die Hähne zu – der Legende nach haben dabei arrivierte US-Hersteller etwas nachgeholfen, um nicht selbst bald alle neuen Features anbieten zu müssen. Inklusiv Prototyp sind deswegen nur 51 Stück gebaut worden – zu einem Stückpreis von durchaus konkurrenzfähigen 2.485 Dollar.

## CHRYSLER NEW YORKER FIREPOWER-V8 „HEMI“

**WICHTIGSTE INNOVATIONEN** Motor mit hemisphärisch geformten Brennräumen; Hydraguide-Servolenkung

**DAS AUTO UND SEINE GESCHICHTE** „New Yorker“ war bei Chrysler von 1939 bis 1997 in der Regel der Name des jeweiligen Oberklassemodells der Firma – und ist damit eine der langlebigsten Modellbezeichnungen der US-Autogeschichte. 1948 brachte Chrysler einen völlig neuen „New Yorker“ auf den Markt, der 1951 statt mit dem bisher verwendeten 5,3-Liter-Reihenachtzylinder mit einem hochmodernen 5,4-Liter-V8 ausgerüstet wurde – dem sogenannten „Hemi“ (offiziell: Firepower V8). Der besaß hemisphärisch (wie eine Halbkugel) geformte Brennräume. Größte Vorteile: hoher Wirkungsgrad und hohe Motorleistung bei niedriger Verdichtung. Nachteil: vor allem teurer wegen größerem Bauaufwand.

B4

1951

USA



Hubraum .....	5.425 ccm
Motor .....	V8
Leistung .....	182 PS
Literleistung .....	33,70 PS/Liter
Vmax .....	158 km/h
0–100 km/h .....	16,4 Sek.
Gewicht .....	2.010 kg (11 kg/PS)
Verbrauch .....	22 l/100 km

## ROLLS-ROYCE SILVER SHADOW

**WICHTIGSTE INNOVATIONEN** erster RR mit selbsttragender Karosserie (außen kompakter, innen größer als Vorgänger) und Scheibenbremsen; Einzelradaufhängung rundherum; Hydrauliksystem (zur Sicherheit redundant) für Bremse und hydropneumatische Niveauregulierung

**DAS AUTO UND SEINE GESCHICHTE** Rolls-Royce konnte sich Mitte der 60er-Jahre dem Zeitgeist nicht mehr verschließen und brauchte dringend einen Nachfolger für die barock geschwungenen Formen der althergebrachten Modelle. Parallel zum neuen Silver Shadow wurde der im Wesentlichen baugleiche Bentley T-Series hergestellt. Die Außenmaße schrumpften, aber innen bekamen die Passagiere mehr Platz als vorher. Bei der Hydropneumatik bedienten sich die Briten eines existierenden Systems, das auf Lizenzen von Citroën aufbaute. Den Silver Shadow gab es auch als zweitüriges Coupé und Cabrio (ab 1971 unter dem Namen Corniche). Das Cabriolet blieb bis 1995 im Programm. Insgesamt wurden vom bislang erfolgreichsten „Rolls“ in 30 Jahren 35.000 Stück produziert.

C1

1965

GB



Hubraum ....	6.230 (später 6.750) ccm
Motor .....	V8
Leistung .....	178 PS
Literleistung .....	28,71 PS/Liter
Vmax .....	ca. 190 km/h
0–100 km/h .....	ca. 11,5 Sek.
Gewicht .....	2.062 kg (11,6 kg/PS)
Verbrauch .....	22 l/100 km

C2

1975

D



Hubraum .....	6.834 ccm
Motor .....	V8
Leistung .....	286 PS
Literleistung .....	41,45 PS/Liter
Vmax .....	225 km/h
0–100 km/h .....	8,0 Sek.
Gewicht .....	1.985 kg (6,9 kg/PS)
Verbrauch .....	22 l/100 km

## BMW 750 IL

**WICHTIGSTE INNOVATIONEN** erster deutscher Zwölfzylinder nach dem Weltkrieg; elektronische Dämpferkontrolle; Bordcomputer; elektronisches Gaspedal

**DAS AUTO UND SEINE GESCHICHTE** Mercedes war überhaupt nicht erfreut. Kam doch der einst siechende Übernahmekandidat aus Bayern mit dem ersten deutschen Zwölfzylinder nach dem Weltkrieg auf den Markt: Der BMW 750i von 1986 (Werkcode: E32) war ein echter Hammer. Die so zeitlos moderne wie elegante Form wurde von Claus Luthé verantwortet, den Motor schufen Adolf Fischer und sein Team. Die High-Class-Business-Limousine gab es von Anfang an mit normalem (750i) und mit um 11,4 Zentimeter verlängertem Radstand (750iL). Das Auto überzeugte mit bestem Komfort. Klar, dass Mercedes ganz schnell nachzog, zumal BMW fast 50.000 750i und iL verkaufen konnte – für rund 130.000 Mark pro Stück.

C4

1990

J



Hubraum .....	3.969 ccm
Motor .....	V8
Leistung .....	245 PS
Literleistung .....	61,25 PS/Liter
Vmax .....	250 km/h
0–100 km/h .....	8,5 Sek.
Gewicht .....	1.857 kg (7,6 kg/PS)
Verbrauch .....	11 l/100 km*

## MERCEDES-BENZ 450 SEL 6.9

**WICHTIGSTE INNOVATIONEN** erste hydropneumatische Federung mit Niveauregulierung bei Mercedes; Zentralverriegelung; Scheinwerfer-Waschanlage; hydraulische Ventilspielausgleichselemente von Schaeffler

**DAS AUTO UND SEINE GESCHICHTE** Ob die Mercedes-Verantwortlichen ahnten, dass sie mit dem neuen Begriff „S-Klasse“ ein Synonym für die automobilen Oberklasse setzen würden? Der 1975 eingeführte 450 SEL 6.9 paarte Sportlichkeit (286 PS) mit allen Annehmlichkeiten einer Chauffeurs-Limousine (unter anderem plus 10 cm Radstand). Der große V8 war ein aufgebohrtes und mit Trockensumpfschmierung versehenes Erbstück aus der Staatslimousine Mercedes 600. Alle W116 besaßen Innovationen wie vordere Doppelquerlenker-Radaufhängung, Bremsnick-Abstützung, kollisionsgeschützten Tank, deformierbare Schalter, Pralltopf-Lenkrad, Sicherheits-Fahrgastzelle und gerippte Heckleuchten gegen Verschmutzung. In viereinhalb Jahren wurden 7.380 „Sechsnener“ gebaut (W116 insgesamt 473.035 Stück) und zum Preis eines repräsentablen Einzelhauses verkauft (1975: 70.000 Mark; 1981: 81.300 Mark).

C3

1987

D



Hubraum .....	4.988 ccm
Motor .....	V12
Leistung .....	300 PS
Literleistung .....	60,00 PS/Liter
Vmax .....	250 km/h
	(elektronisch abgeregelt)
0–100 km/h .....	7,4 Sek.
Gewicht .....	1.860 kg (6,2 kg/PS)
Verbrauch .....	13,1 l/100 km*

## LEXUS LS 400

**WICHTIGSTE INNOVATIONEN** Klimaautomatik; Memory-Funktion der Vordersitze; Radio mit Digitalanzeigen; CD-Player; elektrische Gurthöhenverstellung vorn

**DAS AUTO UND SEINE GESCHICHTE** Ende der 80er-Jahre kannte kein Mensch Lexus – eine neue eigenständige Marke von Toyota für die Vermarktung hochklassiger und qualitativ hochwertiger Autos in Exportmärkten, begonnen als „Projekt F1“ mit Achtzylindermotoren aus der amerikanischen Indy-Car- und Champ-Car-Serie. Ab 1990 kamen die Produkte auch nach Europa – das erste Modell war der LS 400. Das Design galt als wenig innovativ, aber schnell erwarben sich die High-Class-Autos den Ruf von solider Zuverlässigkeit, guter Qualität, erfreulicher Langlebigkeit gepaart mit luxuriösen Details. Der Motor lief seidenweich und leise, der Korrosionsschutz war perfekt. Heute gilt Lexus für die solvente Klientel als arrivierte Alternative zu Mercedes, BMW und Audi.



D1

2002

D



Hubraum .....	5.513 ccm
Motor .....	V12-Biturbo
Leistung .....	550 PS
Literleistung .....	100 PS/Liter
Vmax .....	250 km/h (begrenzt)
0-100 km/h .....	5,4 Sek.
Gewicht .....	2.855 kg (5,2 kg/PS)
Verbrauch .....	16 l/100 km*

## MAYBACH 62

**WICHTIGSTE INNOVATIONEN** Drehmomentstärkstes Serientriebwerk der Welt (900 Nm); Vierzonen-Klimatisierung; elektrotransparentes Panoramadach mit Solarmodul; elektrohydraulische Bremse; Luftfederung; Sprachbedienung; automatischer Notruf „Teleaid“; Abstandsregeltempomat; kontaktloses Zugangs- und Schließsystem

**DAS AUTO UND SEINE GESCHICHTE** 2002 holte Mercedes die einstige Edelmarke Maybach aus der Versenkung und baute unter diesem Namen bessere S-Klassen mit Luxus bis zum Überfluss. Die Baureihe 240 gab es als Maybach 57 (5,73 Meter lang) oder als Topmodell 62 (6,17 Meter). Rund fünf Wagen entstanden pro Tag, manche mit bis zu 78 Edelholzteilen. Für lange und höchst komfortable Reisen konnten die Wagen ausgerüstet werden mit Entertainment in allen elektronischen Formen, Humidor, Champagnerkelchen aus Sterlingsilber und so weiter. Aber es lief nicht: Ende 2012 war nach rund 3.000 gebauten Autos Schluss mit Maybach. Heute tragen Luxusvarianten einiger Top-Baureihen die Bezeichnung „Mercedes-Maybach“.

## PORSCHE PANAMERA 4 E-HYBRID

**WICHTIGSTE INNOVATIONEN** volles Drehmoment von Anfang an; Nutzung von elektrischer Energie, um die Höchstgeschwindigkeit zu steigern; neue elektromechanische Trennkupplung für kürzere Reaktionszeiten; Achtgang-Doppelkupplung; neu konzipiertes Anzeige- und Bedienkonzept (Porsche Advanced Cockpit) mit berührungssensitiven Panels und individuell konfigurierbaren Displays

**DAS AUTO UND SEINE GESCHICHTE** Der jüngste Elektrik-Entwurf von Porsche ist die Neuaufgabe der viertürigen Sportlimousine Panamera als Hybrid, die sowohl Porsche-typische Fahrwerte liefert (700 Nm maximales Drehmoment aus dem Stand) als auch rund 50 Kilometer Fahrt mit rein elektrischer Energie bei maximalem Tempo von 140 km/h anbietet. Die Hybridstrategie des Allradautos stammt vom Supersportler 918 Spyder. Besaß der Vorgänger noch eine Batterie mit einem Energiegehalt von 9,4 kWh, ist der neue E-Hybrid mit einem 14,1-kWh-Akku ausgerüstet – ohne dass das Batteriegewicht erhöht wurde.

D2

2017

D



Hubraum .....	2.894 ccm
Motor .....	V6-Biturbo plus E-Motor
Leistung .....	330/462 PS (V6/System)
Literleistung .....	159,31 PS/Liter (System)
Vmax .....	278 km/h
0-100 km/h .....	4,6 Sek.
Gewicht .....	2.170 kg (4,7 kg/PS)
Verbrauch .....	2,5 l/100 km (Hybrid)*

\*Mix laut Herstellerangabe auf Grundlage damaliger Messnormen



### DER FOTOGRAF

„Es ist alles eine Frage der Perspektive ...“ Die Fahrzeuge finden allesamt Platz auf einer Handfläche, sind kunstvolle Miniaturen im Maßstab 1:43. Fotografiert in realer Umgebung kommen sie zu ganz anderer Größe.

Was **Jörg Walz** anfangs als Social-Media-Experiment auf Instagram startete, hat sich mittlerweile zu einem ganz eigenen digitalen Automobilmuseum entwickelt.



### DER AUTOR

Effizientes Arbeiten ist das tägliche Brot für den freien Motorjournalisten **Roland Löwisch** – bedingt durch viel Autofahren, viel Recherche und viele Reisen. Wärmeverluste entstehen dabei höchstens durch fehlende Zeit für Familie und Freunde.

Wen es interessiert: Seine eigenen zwei Autos kommen auf einen Literleistungsschnitt von rund 54 PS/Liter – bei einem gemeinsamen Alter von rund 70 Jahren.



# GEBALLTE LADUNG

Verbrennungsmotoren haben eine Chance auf Zukunft – das Zauberwort heißt Effizienz. Denn noch immer geht zu viel Energie verloren, die im Kraftstoff steckt.

— von Volker Paulun

— Ein Lithium-Ionen-Akku erreicht aktuell eine Energiedichte von bis zu 200 Wh/kg, bei Benzin liegt der Wert 64-mal so hoch: bei 12.800. Eine Zapfsäule schenkt also einen richtigen Energydrink aus. Prost, Auto. Aber: Bei den Antriebsrädern kommt nur etwa ein Fünftel der Power an, die bei der Verbrennung von Treibstoff und Luft freigesetzt wird (siehe „Tank to Wheel“-Grafik). Beim E-Auto wandeln sich hingegen im Idealfall 90 Prozent des Batteriesaftes in Bewegung der Antriebsräder um. Um den Verbrennungsmotor fit für die Mobilität für morgen zu bekommen, lautet das Ziel: Rauf mit dem Wirkungsgrad. „Das gesamte zum heutigen Stand der Serienmotoren verbleibende Effizienzsteigerungspotenzial schätzen wir auf 20 Prozent für Ottomotoren und auf 10 Prozent für Dieselmotoren“, verrät Schaeffler-Technikvorstand Prof. Peter Gutzmer. Und auch darin sind sich die Branchenexperten einig: Die eine Maßnahme, um dort hinzukommen, gibt es nicht. Es sind viele einzelne Ideen und Verbesserungen nötig, um den Treibstoffverbrauch zu senken. Im Verbrennungsmotor selbst, aber auch im Antriebsstrang.

## **So steigert Schaeffler die Effizienz**

Genau diesen Weg geht auch Schaeffler. So hat der Technologiekonzern beispielsweise bereits 2009 die vollvariable Ventilsteuerung „UniAir“ in Serie gebracht. Das System ermöglicht – kombiniert mit „Downsizing“ – eine Reduzierung von Kraftstoffverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen um bis zu 25 Prozent. Deutlich werden die Verbesserungen vor allem im Start-, Teillast- und Beschleunigungsverhalten. In der Warmlaufphase sinken unter anderem die Kohlenwasserstoff-Emissionen (HC) um bis zu 40, die Stickoxid-Emissionen (NO<sub>x</sub>) gar um bis zu 60 Prozent. Darüber hinaus fördert UniAir – über Leistungszuwachs, Drehmomentsteigerung und optimiertes

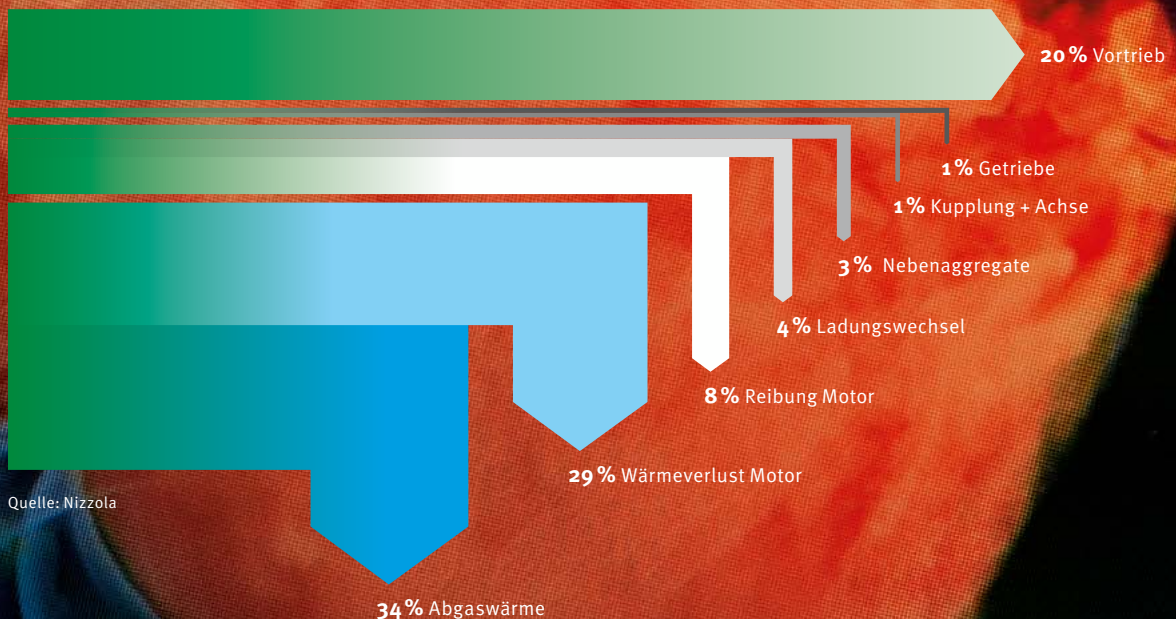
Motor-Ansprechverhalten – den Fahrspaß. Außerdem vergrößert UniAir die Möglichkeiten des situationsbedingten und bedarfsgerechten Motorbetriebs. So lassen sich beispielsweise moderne Verbrennungsverfahren wie „Miller“ und „Atkinson“ realisieren. Eine Zylinderabschaltung ist ebenfalls ohne konstruktiven Mehraufwand möglich. So können auch die bei „Downsizing“-Lösungen immer beliebteren Dreizylindermotoren mit einer rollierenden Zylinderabschaltung betrieben werden („1,5-Zylinder-Betrieb“).

Auch der elektromechanische INA-Nockenwellenversteller von Schaeffler erhöht den Wirkungsgrad gegenüber herkömmlichen Hydraulik-Systemen. Die elektrische Variante ermöglicht hohe Verstellgeschwindigkeiten – und das nahezu unabhängig von Motordrehzahl und -öltemperatur. So ist auch die Verstellbarkeit bei Kaltstarts (bis –30°C) und bei Motorstillstand gewährleistet. Da jede beliebige Steuerzeit einstellbar ist, können verschiedene Start-Stopp-Strategien unterstützt werden. Ein weiterer Beitrag, um Verbrauch und Emission zu reduzieren.

Ein weiteres Optimierungspuzzleteil von Schaeffler ist das Thermomanagementmodul, mit dessen Hilfe Verbrennungsmotoren und Getriebe schneller ihr ideales Temperaturfenster erreichen. Bis zu vier Prozent Verbrauchs- und Emissionsvorteile sind allein mit dem Einsatz eines solchen Thermomanagementmoduls zu erreichen. Darüber hinaus lassen Schaeffler-Ingenieure mithilfe von Schwingungsdämpfern wie Fliehkraftpendeln Verbrennungsmotoren bei niedrigen Drehzahlen und in verbrauchsoptimierten Betriebspunkten arbeiten. Und natürlich wird auch dieser simple Sparansatz bei Schaeffler verfolgt: Was gerade nicht gebraucht wird, wird abgeschaltet. Allradantrieb-Trennkupplung, Zylinderabschaltung, Start-Stopp-Automatik – alles zu finden beim Automobil- und Industrielieferer. Gleiches gilt für verschiedenste Wälzlager, die Reibung in Motor, Getriebe



## TYPISCHE „TANK TO WHEEL“-VERLUSTLEISTUNGEN EINES AUTOS MIT VERBRENNUNGSMOTOR



und Antriebsstrang reduzieren. Und das um bis zu 50 Prozent, wie im Falle des TwinTandem-Radlagers.

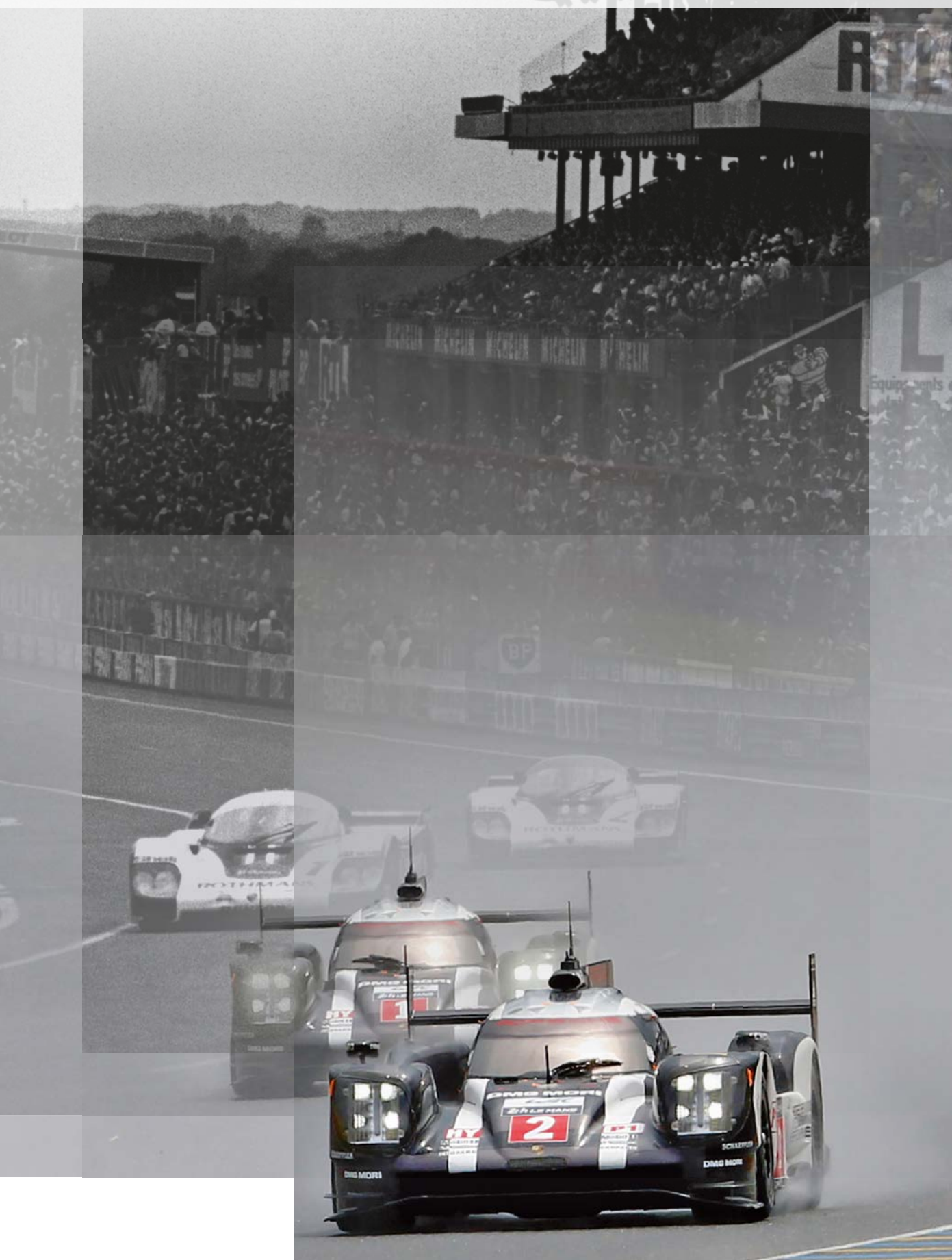
### ***E muss helfen***

Trotz der bereits geleisteten Optimierungsarbeit und noch zu erwartenden Verbesserungen: „Ohne Elektrifizierung/Hybridisierung halten wir es nicht für realisierbar, Mittelklasse-Autos wie einen VW Passat oder höher unter den zukünftigen CO<sub>2</sub>-Grenzwert von 95 g/km zu drücken“, so Prof. Peter Gutzmer. Um diesen einzuhalten, wäre ein Verbrauch von 3,6 Liter Diesel oder 4,1 Liter

Benzin auf 100 Kilometer bei einem Fahrzeuggewicht von 1.372 Kilo einzuhalten. Auch aus diesem Grund hat Schaeffler die Entwicklung der effizienten und dennoch preiswerten 48-V-Technologie mit einem umfangreichen Hybridisierungsbaukasten vorangetrieben.

Vor dem Hintergrund, dass im Jahr 2025 noch immer 1,5 Milliarden Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor unterwegs sein werden, hält Gutzmer eine weitere Alternative für höchst interessant: mit regenerativen Energien gewonnene synthetische Kraftstoffe (mehr dazu ab S. 94). Sozusagen der Zapfsäulen-Energydrink der Zukunft.







# SAVE AROUND THE CLOCK

Highspeed und Hightech: Das 24-Stunden-Rennen von Le Mans verbindet beides in besonderem Maße. Auch weil Energieeffizienz beim französischen Langstreckenklassiker schon lange in den Fokus gerückt wird. Aktuell gibt es kaum eine attraktivere, geschweige denn kreativere Bühne, um die innovative Schlagkraft von High-End-Hybridsportwagen unter Beweis zu stellen, als Le Mans. Eine Zeitreise durch die letzten 60 Jahre unter dem Motto: Rasen und sparen im Grenzbereich.

— von Alexander von Wegner

— Wer gewinnt das Rennen? Der Schnellste natürlich. Bei Langstreckenrennen kommt über das reine Tempo und die Taktik hinaus immer noch die Zuverlässigkeit hinzu. Getreu dem Motto „to finish first, you first have to finish“. Schon immer steht aber auch eine weitere Dimension im Langstrecken-Rennsport im Mittelpunkt: der effiziente Umgang mit der zur Verfügung stehenden Energie. Seit 2012 geht in Le Mans beim Kampf um den Gesamtsieg ohne Hybridantriebe nichts mehr. Die Hightech-Duelle der Jetztzeit haben die jahrzehntelange Effizienz-Tradition des Langstreckenklassikers in Le Mans verblassen lassen.

---

## **Spritdurst fast halbiert**

---

Heute ist der Schnellste in Le Mans zwangsläufig immer auch der Effizienteste, dank eines komplexen Reglements: Wer innerhalb von 24 Stunden am weitesten kommt, hat aus einer begrenzten Kraftstoffmenge das meiste herausgeholt. Das klingt für die Zuschauer

sehr einfach, ist im Detail und beim Nachweis aber hochkompliziert. Denn um einen gleichmäßigen Wettbewerb zu ermöglichen, wird der Verbrauch pro Runde vorgegeben – anders als 30 Jahre zuvor. Schon in der damaligen Gruppe C müssen Rennwagen wie der berühmte Porsche 956 – im Bild links neben seinem aktuellen LMP1-Enkel Porsche 919 Hybrid – ein Limit einhalten: 600 Liter Benzin bei 1.000-Kilometer-Rennen, 2.600 Liter Kraftstoff für die 24h-Distanz in Le Mans. Der Verbrauch gilt für die absolute Distanz. So beginnen die Rennen seinerzeit oft sehr spannend, enden aber, um nicht liegen zu bleiben, in „Schleichfahrten“. Und auch Schummelleien bleiben nicht aus. Mit etwa 50 bis 60 Litern Rennsprit benötigt ein Porsche 956 in den 1980er-Jahren übrigens fast das Doppelte des aktuellen, viel schnelleren 919 Hybrid. Dessen Durst ist auf rund 32 Liter begrenzt.

Vor einem halben Jahrhundert sind „schnell“ und „effizient“ keineswegs deckungsgleich. Der veranstaltende Automobile Club de l'Ouest (ACO) bietet über Gesamt- und Klassenwertungen hinaus lange Zeit auch

## » Dieses 24-Stunden-Rennen ist eine absolute Grenzerfahrung für Mensch und Material

Fritz Enzinger,  
Leiter LMP1 bei Schaeffler-Partner Porsche

immer wieder Effizienzwertungen wie den „Index of Performance“ und den „Index of Thermal Efficiency“ an. So schreibt sich Porsche bereits 1955 mit dem 550 Spyder mit einem Triumph in einer solchen Verbrauchswertung in die Siegerlisten ein – 15 Jahre vor dem ersten Gesamtsieg 1970 mit dem 917, dem die Schwaben im Jahr darauf einen zweiten folgen lassen. Beide Male geht auch die Effizienzwertung an den über 600 PS starken Porsche. Dass man mit derart unterschiedlichen Fahrzeugen in der Sprintspar-Kategorie siegen kann, weist auf die Komplexität der damals dahinterstehenden Berechnungsformel hin.

Ein noch anschaulicheres Beispiel dazu: 1966 werden Bruce McLaren und Chris Amon als Gesamtsieger abgewunken. Der 470 PS starke 7-Liter-V8 ihres Ford GT40 verhilft ihnen über 4.833 Kilometer zu einem Schnitt von 201 km/h. Der Verbrauch: 41,85 Liter pro 100 Kilometer. Auf Platz zehn kommt seinerzeit die zierliche Alpine

A210 (1.300 ccm, 125 PS, 690 kg) des französischen Piloten-Duos Cheinisse/de Lageneste ins Ziel und sichert sich den Sieg im sogenannten Verbrauchs-Leistungs-Klassament. Die Zahlen im direkten Vergleich: Die Alpine wiegt 42 Prozent weniger als der US-Sportwagen, hat 81 Prozent weniger Hubraum, leistet 73 Prozent weniger und verbraucht 64 Prozent weniger Benzin (14,8l/100km bei einem Temposchnitt von 172 km/h). Am Ende fehlen ihr aber beachtlicherweise nur 15 Prozent auf die absolute Distanz der Sieger – summa summarum ein absolut erklärlicher Sprintspar-Triumph.

Eher unerklärlich hingegen, dass sich Ford im Folgejahr bei der Neuauflage des ungleichen Zweikampfs nicht nur den Gesamtsieg sichert: Die erfolgreichen Gurney/Foyt werden auch als Effizienzkönige geehrt. Dabei ist der Mehrverbrauch des Ford gegenüber der kleinen Alpine um weitere 0,75 Liter angewachsen. Ein Malus, der sich aber dank der zusätzlich zurückgelegten 400 Gesamtkilometer „wegrechnen“ lässt.

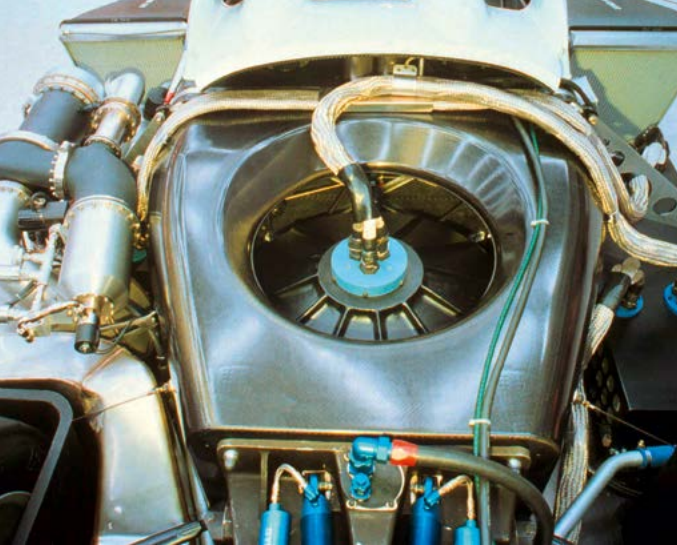
Bruce McLaren/Chris Amon im Ford (oben) und Jacques Cheinisse/Roger de Lageneste in der Alpine (darunter)



### Turbos und Turbinen

Schon immer ist Le Mans offen für neue Technologien. 1963 erscheint der Rover-BRM-Rennwagen mit Turbinenantrieb, gefahren von den Formel-1-Piloten Graham Hill und Richie Ginther. Doch sein Konzept ist alles andere als wegweisend: Um mit gerade einmal 160 PS einen Schnitt von 173 km/h zu erreichen, benötigt die britische Konstruktion 40 Liter Kerosin. Umso bemerkenswerter, dass ausgerechnet einer der größten Automobilhersteller die Turbine drei Jahrzehnte später wiederentdeckt: Chrysler plant mit dem Rennwagen Patriot ein World Sports Car (WSC) mit alternativem Antrieb. Und dieser ist komplex: Da ein mechanischer Achsantrieb wegen der extrem hohen Drehzahlen von 60.000–70.000 U/min zu aufwendig ist, treibt die als Hauptaggregat wirbelnde Axialturbine einen elektrischen Generator an. Der dadurch erzeugte Strom versorgt indirekt über Zwischenspeicher je eine E-Maschine





Der Chrysler Patriot mit Turbine und Generator (links) sowie Schwungrad (in der Mitte)

an Vorder- und Hinterachse – entsprechende Verluste in der Wirkungsgradkette eingeschlossen. Als Energiequelle für die Turbine wählen die Techniker kryogenisch verflüssigtes Methan. Das verbrennt sehr sauber, ist deutlich leichter als Benzin und ermöglicht so längere Boxenstoppintervalle – so die Überlegungen. Um das Methan flüssig zu halten, bedarfs es allerdings einer Lagerung bei minus 161 Grad in einem mit NASA-Raumfahrtschaum isolierten Tank. Für die Zündung muss das tiefgekühlte Methan schließlich wieder auf fast 600 Grad erwärmt werden. Dafür wird unter anderem die Abwärme der Leistungselektronik genutzt. Apropos Elektronik: Mit einem Schwungrad sowie einer kleinen Nickel-Metallhydrid-Batterie reperierte der Chrysler überdies auch noch Strom. Hört sich alles eher nach Science-Fiction als nach Motorsport an, und so verwundert es nicht, dass Chrysler am Ende nur einzelne Prototypen aufbaute, nie aber den für 1995 geplanten Rennwagen.

Als deutlich seriennäher erweisen sich andere Lösungen. So bringt Porsche 1974 den Turbomotor nach Le Mans. Alsbald tritt er seinen Siegeszug bei den Sportwagen an – und danach, ab 1978, auch in der Formel 1. Aus dem modernen Motorenbau ist er im Zeitalter von Downsizing nicht mehr wegzudenken. Aktuell nutzt Schaeffler-Partner Porsche die Abgasenergie im 919 Hybrid in Le Mans sogar doppelt: Neben einem konventionellen

Abgasturbolader profitiert eine parallel geschaltete Turbinen-Generator-Einheit von der Energie im Abgas und verwandelt sie in elektrischen Strom. Zudem reperierte der LMP1-Porsche beim Bremsen kinetische Energie. 2015 und 2016 gewinnt dieses Konzept zweimal in Folge die 24 Stunden von Le Mans. Das doppelte Hybridsystem stellt heute die technologische Spitze einer Entwicklung dar, die Chrysler – wenn auch in ganz anderer Form – vor zwei Jahrzehnten für Sportwagen zu skizzieren begann.

### **Ballast Batterie**

Eine andere amerikanische Marke, die Manufaktur Panoz, bemüht sich 1998 um die Hybrid-Premiere an der Sarthe. Ein Panoz Q9 GTR1 Hybrid kombiniert einen 6-Liter-V8 von Ford als Parallelhybrid mit einer E-Maschine von der heutigen Continental-Tochter Zytec für Reperierte und Traktion. Als Batterie dient ein 300-Volt-Nickel-Metallhydrid-Speicher. Er wiegt das Vierfache heutiger Lithium-Ionen-Akkus. Der rund 1.100 Kilogramm schwere Frontmotor-Sportwagen ist im Pre-Qualifying mehr als zwölf Sekunden pro Runde langsamer als das konventionelle, 890 Kilo leichte Schwestermodell, sodass Panoz auf den Einsatz verzichtet. Beim Petit-Le-Mans-Rennen Ende 1998 erreicht „Sparky“ in seinem einzigen Rennen Platz zwölf von 31 Teams.

Porsche reperierte heute in Le Mans Energie an der Vorderachse und aus dem Abgas und speichert sie in einer Batterie (orangefarbene Baugruppen)



Der erste Hybrid-Sportwagen in Le Mans ist somit 2011 der Oreca 01 Flybrid des Hope-Racing-Teams. Der LMP1-Sportwagen mit seinem eher simplen, mechanisch angetriebenen Flybrid-Drehmassenspeicher im Getriebe sieht das Ziel allerdings nicht. Die Ehre, den ersten Hybrid-Sportwagen zum Sieg zu führen, gebührt Audi. Die Ingolstädter gewinnen mit dem R18 e-tron quattro 2012 auf Anhieb die 24 Stunden von Le Mans, nachdem sie dort 2006 erstmals mit einem Diesel-Sportwagen gewonnen hatten. Auch 2013 und 2014 setzt sich der Diesel-Hybrid-Sportwagen an der Sarthe durch. Innovationsbonus: Der E-Motor an der Vorderachse wertet den Audi-Boliden temporär zum Allradler auf.

---

### **Le Mans liebt alternative Konzepte**

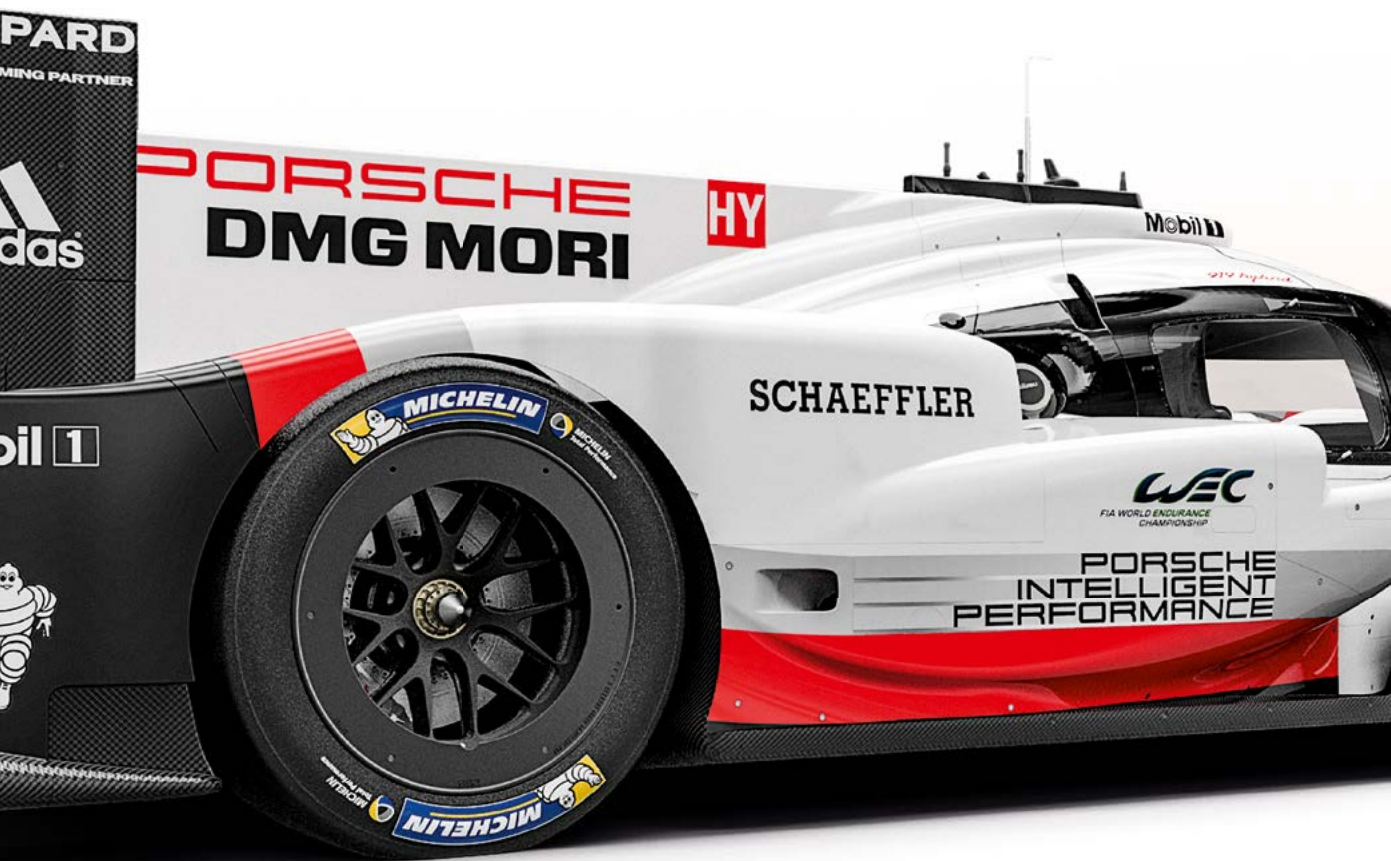
---

Es muss aber nicht immer komplexe Hochtechnologie sein. Wie einfach Physik sein kann, beweist 2012 der federleichte Nissan Delta Wing von Highcroft. Mit seiner geringen Stirnfläche läuft er nach vorn extrem spitz zu, seine beiden Vorderräder stehen nur 60 Zentimeter auseinander. Dass der 1,6-Liter-Nissan-Turbomotor lediglich 300 PS produziert, macht nichts. Mit Rundenzeiten von 3.45 Minuten erbringt das 475 Kilo

leichte Gefährt den Beweis, so schnell wie die deutlich stärkeren LMP2-Sportwagen zu sein – aber rund 40 Prozent weniger Kraftstoff und etwa 50 Prozent weniger Reifen zu verbrauchen. Die Beschleunigungsarbeit entspricht dem Produkt aus Masse, Beschleunigung und Weg. Sinkt die Masse, ist weniger Arbeit erforderlich. Obwohl diese Grundregel der Physik deutlich sichtbar wird, bleibt das Projekt letztlich ein Muster ohne Wert.

Gleiches gilt für den zwei Jahre später an den Delta Wing angelehnten Nissan ZEOD RC. Dem Hybrid-Pfeil gelingt zwar im Warm-up eine vollelektrische Runde mit 300 km/h Spitzentempo, im Rennen ist aber schon nach 20 Minuten Schluss. Beide Rennwagen starten übrigens aus der „Garage 56“ – einem Boxenstellplatz, den der Le-Mans-Veranstalter seit 2012 reserviert hat für die Kategorie „CDNT“ (Car Displaying New Technology – also Rennwagen mit neuer Technologie). Zu der gehört auch der für 2013 geplante GreenGT-H2-Rennwagen mit Wasserstoffantrieb. Zur Rennreife gelangt er aber nie.

Seit 2014 schließlich gilt in Le Mans ein Reglement, das Effizienz über alles stellt und maximale Verbrauchswerte pro Runde für LMP1-Rennwagen festlegt.





## MAXIMAL MÖGLICHE REKUPERATIONSENERGIE DER LE-MANS-SIEGER



## LE MANS 2017

Vor allem in den Bereichen Aerodynamik, Fahrwerk und Verbrennungsmotor kommen am 2017er-Porsche 919 Hybrid Neuerungen zum Einsatz. Teamchef Andreas Seidl erklärt: „Insgesamt lässt sich der Anteil der Neuentwicklungen für die Saison 2017 auf 60 bis 70 Prozent des Gesamtfahrzeugs beziffern. Das Basiskonzept des 919 Hybrid bietet weiterhin Spielraum zur Detailoptimierung und Effizienzsteigerung. Das Monocoque blieb gegenüber 2016 identisch, alle anderen Bauteile wurden auf ihr Optimierungspotenzial überprüft und mehrheitlich verändert.“ Das Monocoque besteht, genau wie in der Formel 1, aus Carbonfaser in Sandwichbauweise.





Dr. Simon Opel ist  
Leiter Sonderprojekte  
Motorsport der  
Schaeffler Group

## „REGER AUSTAUSCH MIT DER ENTWICKLUNG FÜR DIE SERIE“

**Le Mans setzt seit Jahrzehnten auf unterschiedliche Effizienz-Konzepte, die Formel E treibt konsequent den rein elektrischen Antrieb voran. Gibt es zwischen den Rennwagen in beiden Rennsport-Disziplinen technologische Parallelen?**

Die Komponenten sind zwar nicht identisch oder austauschbar, aber aufgrund der Anforderungen auf höchstem Niveau besteht eine technologische Verwandtschaft bei den elektrischen Antriebseinheiten – dem rein elektrischen System in der Formel E und der Hybridtechnologie in Le Mans. Es gibt Ähnlichkeiten bei der Hardware, ebenso bei der Software. Vor allem in der Formel E will man direkt an der Leistungsgrenze fahren. Das kann nur ein sehr gutes Programm ermöglichen. Zu den weiteren Themenfeldern, die beherrscht werden müssen, gehören zum Beispiel Schwingungen, die für elektrische Antriebe typisch sind. Das müssen wir per Software unterbinden – das gilt für Le Mans ebenso wie für die Formel E. Und nicht zuletzt ist das Thema Energiemanagement in beiden Serien wichtig. Simulationen und Kalkulationen für

die Rennstrategie basieren auf den gleichen Methoden, auch wenn sie nicht absolut identisch sind.

**Welche Ähnlichkeiten gibt es zwischen beiden Rennsport-Disziplinen im Bereich von Energie-Strategien? Ergeben sich bei der Formel-E-Software Logiken, die auch für elektrisches Fahren im Straßenverkehr bedeutsam sein können?**

Man muss in beiden Rennserien rekuperieren und Energie sparen. Es gibt also Phasen der Beschleunigung, des Segelns sowie der Energierückgewinnung, in der die konventionelle Bremse mit dem Elektromotor zusammenarbeitet. In beiden Fällen ist es eine Optimierungsaufgabe, die einen guten Austausch ermöglicht: Es geht um den besten Kompromiss aus der größten rekuperierten Energiemenge und der schnellsten Rundenzeit. Das gilt prinzipiell auch für den Straßenverkehr, auch wenn es dort nicht um Rundenzeiten geht. Die Fragestellungen lauten: Wie realisiert man den effizientesten Antrieb mit dem geringstmöglichen Verbrauch? Wann rekuperiert man? Wie arbeitet die Bremse mit dem Generator

zusammen? Ähnlichkeiten sind also durchaus gegeben.

**Sind die Batteriezelltechnologien in der Formel E und in der Serie vergleichbar?**

Man sucht in beiden Fällen das Limit, denn Reichweite ist alles. Allerdings gelten in der Formel E doch sehr spezielle Anforderungen: Wir fahren bei zwölf Veranstaltungen Trainings und Rennen, die Batterie muss erfahrungsgemäß rund 50 Zyklen pro Jahr aushalten. Im Straßenverkehr ist diese Zahl im Alltag auf viele Jahre hin gesehen unvergleichbar viel höher. Also kann man nicht so nah ans Limit gehen. Chemische und physikalische Aspekte dagegen sind absolut vergleichbar.

**Ergeben sich in anderen Bereichen der Batterietechnik Lerneffekte vom Rennsport für die Serie?**

Noch ist die Batterie in der Formel E ein vorgeschriebenes Einheitsteil. Die Teams haben also keinen Einfluss auf Zellen, Packaging, Kühlung oder Gewicht. Auch das Batteriemanagementsystem ist für uns tabu. Das Einzige, was wir beeinflussen dürfen, ist die Energieentnahme, um bei Effizienz und Thermo-Management Bestwerte zu erzielen. Das gilt so auch für Serienanwendungen.

**Gibt es weitere Bereiche, in denen Schaeffler bei seiner Produktentwicklung vom Engagement in der Formel E profitiert?**

Wir arbeiten in den Hauptbereichen des Antriebsstrangs – also bei Elektromotor und Getriebe – mit unseren Entwicklungsabteilungen zusammen. Wir können also spezielle Technologien, Materialien und Fertigungsverfahren testen und damit die Kompetenzen im Haus nutzen. Daraus ergibt sich auch ein Rückfluss: Wie funktionieren Systeme am besten? Welche Lebensdauer ergibt sich, wenn man am Limit arbeitet? Wie gut sind unsere Simulationsmodelle? Unsere Kollegen aus der Serienentwicklung sind sehr daran interessiert, und es gibt einen regen Austausch.





Der Panoz Q9 GTR1 Hybrid von 1998 war ein Hybrid-Pionier im Rennsport



Der Nissan Delta Wing war effizient dank Leichtbau und kleiner Stirnfläche

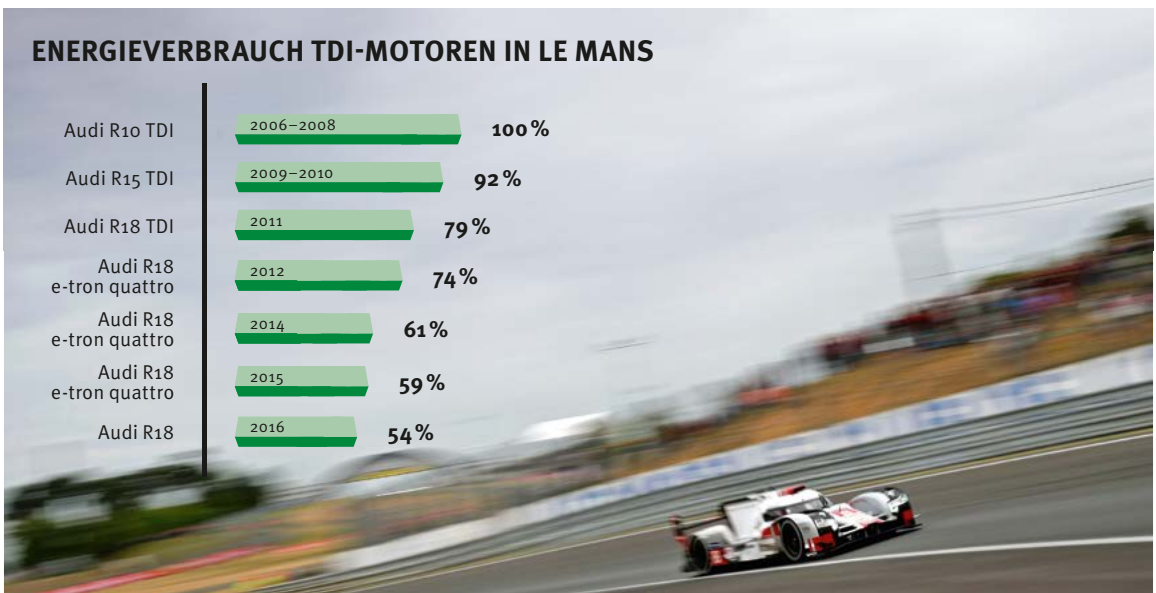
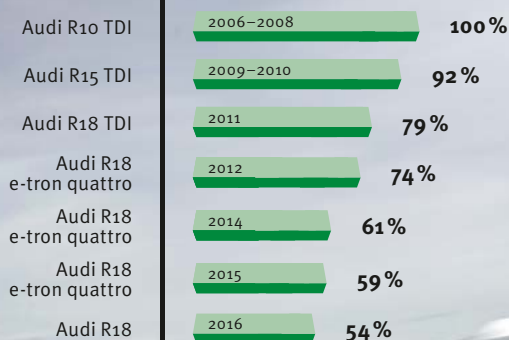
Der Verbrauch wird mit Sensorik und Telemetrie in Echtzeit überwacht, jegliches Vergehen geahndet. Die zulässige Energiemenge ist immer weiter gesunken, zuletzt 2016 um rund sieben Prozent. Werke, die sich in dieser Klasse engagieren, müssen ihre Rennwagen mit mindestens einem, maximal zwei Hybridsystemen ausrüsten. So können sie Energie, die sonst verloren ginge, zurückgewinnen – etwa kinetische Energie beim Bremsen oder Wärmeenergie des Motors. Während also die verfügbare fossile Energie immer stärker begrenzt wird, steigen die Anreize für einen effizienten Umgang damit ebenso wie für die Rückgewinnung. Den positiven Effekt belegt nicht nur Porsche mit der Halbierung des Spritdurstes von seinen Siegerautos aus den 80er-Jahren bis hin zum aktuellen Champion 919. Auch Audi senkte den Verbrauch seiner erfolgreichen

TDI-Motoren innerhalb eines Jahrzehnts um 46 Prozent (siehe Kasten unten).

### Anforderungen wie im Straßenverkehr

Das ist nicht nur das Ergebnis konsequenter Entwicklungen der Antriebsmodule, sondern des gesamten Rennwagens: Um aus jedem Tropfen Kraftstoff das Maximum herauszuholen, müssen alle Systeme und Komponenten optimiert werden. Damit gelten für Rennwagen vergleichbare Anforderungen wie im Straßenverkehr. Bei Personenwagen gelten mit CO<sub>2</sub>-Obergrenzen faktisch ebenso Verbrauchslimits, während an Komfort, Sicherheit, Infotainment und Platzverhältnisse stets steigende Erwartungen gerichtet sind.

### ENERGIEVERBRAUCH TDI-MOTOREN IN LE MANS



## E-RACER

— Motorsport elektrisiert – und kann elektrisch betrieben werden. Bestes Beispiel: die Erfolgsstory der Formel E. Schaeffler ist dort von Beginn an dabei, nach und nach folgten etablierte Autohersteller wie Audi, BMW, DS, Jaguar, Mahindra und Renault. Mercedes steht in den Startblöcken. Es scheint nur eine Frage der Zeit, bis sich auch andere Rennformate unter Strom setzen. Wie ein zukünftiger E-Sportwagen aussehen könnte, zeigt Schaeffler mit einem Concept Car im Maßstab 1:24, das in der Slotcar-Rennserie RCCO antritt. Basis für die E-Sportwagen-Studie ist das „Schaeffler Glass Car“, mit dem virtuell als App oder auf den Automobilmessen weltweit Produkte und Technologien aus dem Hause Schaeffler präsentiert werden. Der Schaeffler Vision RCCO ist eine E-Sportwagen-Interpretation der ursprünglichen Glass-Car-Idee. Neben Schaeffler treten auch ABT, Audi, KTM, Lamborghini und Volkswagen mit eigenen Konzeptfahrzeugen an. Wobei Schaeffler den bekanntesten Teamchef in den eigenen Reihen weiß: den fünfmaligen Le-Mans-Sieger Frank Biela. —





# jetzt-zeit

Leben mit dem Fortschritt

» **Alles Große besteht aus Kleinem.  
Wer von Kleinem nicht Besitz nimmt,  
kann das Große nie erwerben**

Jakob Wilhelm Heinse (1746–1803),  
deutscher Schriftsteller



341 Kilometer, das entspricht der Entfernung Paris–Antwerpen, hat das Schaeffler-Vision-RCCO-Slotcar des fünffachen Le-Mans-Siegers und Ex-DTM-Champions Frank Biela (links) bei einem 24-Stunden-Rennen in Hamburg zurückgelegt. Biela und seine Teamkollegen wurden Dritte.

# WUNSCH UND WIRKLICHKEIT

Unendlich viel Energie, umsonst und sauber – ist so etwas eigentlich wirklich ausgeschlossen? Oder könnte uns mit den richtigen Technologien doch noch der Durchbruch gelingen? Drei Ideen zwischen Science-Fiction und harter Physik.

— von Denis Dilba

PROVINCIA  
DE OURENSE



Der Comic-Held Iron Man hat sie in der Brust, das Raumschiff Enterprise fliegt mit ihr und die Illuminaten wollen sie als Bombe gegen uns verwenden: die nahezu unerschöpfliche Energiequelle. Und wir in der Realität? Können „wählen“ zwischen CO<sub>2</sub>-Emissionen, radioaktivem Abfall und „Verspargelung“ der Landschaft. Kann man da wirklich gar nichts machen oder entwickeln, vielleicht mit viel, viel Geld? An exotischen bis unheimlichen Ideen mangelt es jedenfalls nicht. Neben Antimateriekraftwerken, zu Energieerzeugern umfunktionierten schwarzen Löchern, sollen auch Fusionsreaktionen, die ohne das mehrere Millionen Grad heiße Sonnenfeuer Atomkerne verschmelzen können, die schnelle Energiewende bringen. Mit solchen sauberen, kostenlosen und nahezu unerschöpflichen Energiequellen für alle verhält es sich aber leider wie mit vielen einfachen Antworten auf komplexe Fragen: Sie kommen mindestens mit einem großen Haken daher – oder entpuppen sich bei näherer Betrachtung schlichtweg als Nonsense.

---

### **Die Wissenschaft stand kopf**

---

In letztere Kategorie reiht sich nach Ansicht der allermeisten Experten auch die sogenannte „kalte Fusion“

ein. Der Begriff wird oft in einem Atemzug mit den beiden Wissenschaftlern Stanley Pons und Martin Fleischmann erwähnt. Die beiden Elektrochemiker behaupteten 1989, einen ähnlichen Fusionsprozess, wie er im Inneren der Sonne abläuft, bei Raumtemperatur in einem Becherglas voll Wasser erzeugt zu haben. Bei einer Elektrolyse sollten sich Wasserstoffisotope in einer Kathode aus dem seltenen Metall Palladium zu Helium verschmolzen und dabei ungewöhnlich viel Energie abgegeben haben. Wochenlang stand die wissenschaftliche Welt kopf, Hunderte Experimente wurden durchgeführt, um das Ergebnis zu bestätigen. Schließlich hätte diese Entdeckung die Energieprobleme der Welt auf einen Schlag gelöst. Die Tatsache, dass wir uns heute immer noch vergleichsweise gewöhnlich mit Energie versorgen, nimmt vorweg, wie die Geschichte weitergegangen ist: Niemand konnte das Experiment wiederholen, der Begriff „kalte Fusion“ wurde zum Synonym für unseriöse Forschung. Fleischmann und Pons waren bis auf die Knochen blamiert.

„Hätte das Ergebnis bestätigt werden können, wären die beiden unglaublich reich geworden, und es hätte mit Sicherheit den Nobelpreis gegeben“ sagt Gerald Kirchner, Reaktorexperte und Leiter des Carl Friedrich





von Weizsäcker-Zentrum für Naturwissenschaft und Friedensforschung der Universität Hamburg. Äußerst verlockende Aussichten. Kein Wunder also, dass sich bis heute immer wieder dubiose Gestalten mit einem angeblichen Durchbruch melden. Zuletzt präsentierte der Italiener Andrea Rossi ein Gerät Namens E-Cat, in dem Kerne von

Nickel- und Wasserstoffatomen miteinander verschmelzen sollen. „So sehr ich uns allen so einen Reaktor wünsche – das ist einfach nicht plausibel“, sagt Kirchner. „Für solche Geräte müssten wir die Physik, die wir kennen und die sich in Abertausenden Experimenten bestätigt hat, komplett ignorieren.“ Dass der E-Cat oder etwas Ähnliches

## 1 Gramm

Antimaterie herzustellen würde nach aktuellem Stand der Wissenschaft fünf Milliarden Jahre dauern.

## Ein kleines schwarzes Loch,

gefüllt mit einer Lastwagenladung voll Sand oder Wasser, könnte den Jahresenergieverbrauch der gesamten Welt abdecken.

## 1926

berichteten die Chemiker Fritz Paneth und Kurt Peters erstmals von einer erfolgreichen kalten Fusion – ein „Fehlalarm“, wie sie selbst später zugaben.



Typische Darstellung eines schwarzen Lochs. Echte Fotos gibt es von den mysteriösen „Ungetümen“ keine



Mit dem Teilchenbeschleuniger LHC (oben) wird versucht, kleine schwarze Löcher zu erzeugen. Die Physiker Stanley Pons und Martin Fleischmann (unten) konnten die Theorie der „kalten Fusion“ nicht beweisen



noch nirgendwo funktioniert hat, überrascht Kirchner daher überhaupt nicht.

---

### **Energie aus schwarzen Löchern? Theoretisch!**

---

Genauso exotisch, aber wissenschaftlich plausibel ist die Idee von Horst Stöcker. Der Professor für Theoretische Physik an der Universität Frankfurt hat vor rund zehn Jahren vorgerechnet, dass es mithilfe von winzigen schwarzen Löchern möglich sein müsste, den gesamten Planeten einfach und sauber mit Energie zu versorgen. Ja, richtig gelesen: schwarze Löcher. Die kosmischen Gebilde, die wegen ihrer enormen Masse eine so gewaltige Schwerkraft aufweisen, dass sie alles verschlingen, was ihnen zu nah kommt, sogar Licht. Laut Stöckers Theorie wäre es unter bestimmten Voraussetzungen möglich, Miniversionen der Allesfresser zu erzeugen. Und zwar, indem man mit einem Teilchenbeschleuniger wie dem „Large Hadron Collider“ (LHC) in der Genfer Großforschungsanlage CERN Wasserstoffkerne aufeinanderfeuert. Die entstehenden Minilöcher könnte man dann in Speicherringen kreisen lassen und gezielt mit normaler Materie füttern, etwa Sand oder Wasser. Nach Einsteins Formel  $E = mc^2$  würde dann die Masse in Strahlung umgewandelt werden. Und daraus könnte man wiederum Strom gewinnen. Theoretisch.

Nur: Die Minilöcher haben sich noch nicht gezeigt. „Was allerdings nicht heißt, dass es sie nicht gibt“, sagt Stöcker. Ließe man die Wasserstoffkerne mit noch mehr Energie aufeinanderkrachen, als das im 27 Kilometer langen LHC möglich ist, könnten sie sich noch offenbaren. Dazu bräuchte man allerdings den am CERN als Idee diskutierten rund 100 Kilometer langen „Future Circular Collider“-Beschleuniger (FCC). Kostenpunkt wohl deutlich jenseits der 20 Milliarden Schweizer Franken. „Das sehen wir aber nicht in den nächsten 20 Jahren“, meint Stöcker.

---

### **Fünf Milliarden Jahre für ein Gramm Antimaterie**

---

Und was ist mit Antimaterie? Könnte man nicht wenigstens die zur Energieerzeugung nutzen? Im Film „Illuminati“ zerlegt ein Gramm davon fast den gesamten



Vatikan. „Wenn man tatsächlich ein Gramm zusammenbekommen würde, wäre die Sprengkraft sogar noch deutlich größer als im Film. Sie entspräche etwa dem Doppelten der Atombombe von Hiroshima“, sagt Markus Hüning, Wissenschaftler am Hamburger Forschungszentrum DESY, das auch mehrere Teilchenbeschleuniger betreibt. Angst muss aber niemand bekommen, so Hüning: „Selbst wenn wir alle Beschleuniger weltweit ein Jahr durchlaufen ließen und nichts anderes machen würden, als Antimaterieteilchen zu erzeugen, hätten wir grob geschätzt 200 Pikogramm.“ Hochgerechnet hieße das, für ein Gramm Antimaterie benötige man gute fünf Milliarden Jahre. Allein deshalb könne man sich von einem Antimateriekraftwerk schon verabschieden.

Physiker Kirchner sieht uns aber auch ohne die ultimative Energiequelle auf einem guten Weg. Unter anderem in der Erzeugung von Wasserstoff aus Windstrom und im Bau großer Solarkraftwerke in Wüstenregionen sieht er die Zukunft. „Das größte Potenzial für uns liegt aber darin, die Energie, die wir heute schon haben, effizienter zu nutzen.“



### **DER AUTOR**

Bei seinen Recherchen rund um exotische Energiequellen erlebte Autor **Denis Dilba** (39) ein zwiegespaltenes Bild: einerseits tiefe Skepsis an nicht bewiesenen Ergebnissen, andererseits Hoffnung, dass ein

Durchbruch doch irgendwann einmal gelingt. Dilba, der auf Technik-Themen spezialisiert ist, drückt insbesondere dem Antimaterie-Antrieb die Daumen.

# PASSEND GEMACHT

Mit speziell entwickelten Starkstromgeräten ermöglicht Schaeffler induktives Anwärmen von Präzisionsbauteilen von 10 bis 5.000 Kilogramm für eine perfekte Montage.

— von Thomas Arndt

— Es zählt nur Perfektion. Sonst nichts. Auf den Bruchteil eines Millimeters genau muss jedes Einzelteil einer Maschine gefertigt sein, damit die – einmal final montiert – später in ihrem Einsatzgebiet auch einwandfrei funktioniert. Doch genau diese Perfektion ist es, die die Montage der einzelnen Teile zu einem großen Ganzen so schwierig macht. Was bei einem Uhrwerk mit Fingerfertigkeit und Pinzette vielleicht noch hinzubekommen ist, wird bei einem fünf Tonnen schweren Zahnrad für ein gewaltiges Getriebe zu einem schweren Problem. Schließlich soll das Zahnrad später fest und sicher auf einer Antriebswelle sitzen. Aber wie kommt das Zahnrad auf die Welle, ohne beide Teile zu beschädigen? Es gibt ja keinerlei Spiel zwischen der Welle und der dafür vorgesehenen Öffnung in der Mitte des Zahnrads, weil das nach der Montage bombenfest platziert sein muss.

Für die Lösung dieses Problems macht sich Schaeffler das physikalische Gesetz zunutze, dass sich Gegenstände bei Hitze ausdehnen. „HEATER“ heißen die Spezial-Anwärmgeräte für Bauteile aller Art, gefolgt von einer Zahl von 10 bis 5000. Diese steht schlicht für das maximale Gewicht des mit dem jeweiligen Gerät zu erwärmenden Bauteils.

Der neueste und leistungsstärkste Heißmacher aus dem Hause Schaeffler, der FAG HEATER5000, wurde speziell für den Kunden TAKRAF entwickelt, ein Unternehmen für Tagebaugeräte und Massengut-Umschlagsanlagen mit Sitz in Leipzig. Das Anwärmgerät ist mit einer

Derlei Zahnräder mit einem Gewicht von fast fünf Tonnen und einem Durchmesser von 1,7 Metern kann der FAG HEATER5000 problemlos bearbeiten



neuen Technologie, der sogenannten Delta-T-Steuerung, ausgerüstet. Die ermöglicht ein ebenso sicheres wie gleichmäßiges Anwärmen des gewaltigen Zahnrades auf bis zu 110 Grad Celsius. Magnetische Sensoren überwachen dabei die Temperaturen im Inneren und außerhalb des Werkstücks. Sobald die maximal zulässige Differenz erreicht ist, wird die Heizleistung automatisch





Größenvergleich: Der FAG HEATER5000 (links) gegenüber dem FAG HEATER10

Der FAG HEATER5000 wird über einen Touchscreen gesteuert



angepasst. Das ist wichtig, damit sich das Material beim Anwärmen nicht verzieht und keine Spannungsrisse entstehen.

Weitere Vorteile der FAG HEATER sind die Mobilität der Geräte, die mit einem Gabelstapler einfach an jedem Ort einer Produktionshalle mit entsprechendem Starkstromanschluss einsatzbereit sind. Zudem ermöglicht die innovative Technik Schaeffler-Kunden im Vergleich zu herkömmlichen Anwärmergeräten eine Zeitersparnis von bis zu 95 Prozent. Bei der Montage leichterer Zahnräder hat die TAKRAF GmbH mit dem dabei verwendeten FAG HEATER1200 die Anwärmezeit von vorher sechs Stunden auf 20 Minuten verkürzen können.



## DER AUTOR

*Physik? Das war in der Schule eine echte Schwachstelle von **Thomas Arndt** (Jahrgang 1959). Und einen Heater kannte der Hamburger Journalist nur als Lockenstab aus dem Beauty-Set seiner Frau. Immerhin, dass Arbeit gleich Kraft mal Weg ist und Gegenstände sich bei Hitze ausdehnen, wusste auch er noch. Wie großartig das mit der entsprechenden Technik auch bei gewaltigen Bauteilen funktioniert und wie spannend Physik dann doch sein kann, hätte er als Pennäler niemals geglaubt.*



# VOM WINDE

Offshore-Windparks boomen. Kein Wunder: Stetige und starke Luftbewegungen liefern verlässlich saubere Energie. Doch die Arbeit auf dem Meer ist ein Knochenjob. Eine Reportage.

— von Volker Kühn



# GEDREHT

— Als die Nacht über Norddeich am schwärzesten ist, geht auf der „Largo“ im Osthafen das Licht an. Es ist kurz vor drei, in einer Stunde soll der 27 Meter lange Katamaran mit seinem stählernen Doppelrumpf auslaufen. Sein Ziel: der Offshore-Windpark „Borkum Riffgrund“, 1,5 Kilometer vor der ostfriesischen Küste gelegen. Am Kai wartet eine Gruppe von acht Technikern. Sie stehen eng beisammen, um sich vor dem Wind zu schützen. Wenigstens hat der Regen aufgehört. Die Männer arbeiten für verschiedene Energiefirmen, für Turbinenhersteller oder

für den Betreiber des Windparks. Alle haben müde Augen. Ein Elektriker ist besonders blass. Er freue sich ja auf den Einsatz da draußen, versichert der 39-Jährige. Aber bevor es losgeht, wird ihm regelmäßig flau im Magen. Zu oft hat ihn die Seekrankheit erwischt.

Die Männer machen es sich auf Ledersesseln im Inneren des Schiffs so bequem wie möglich. Der Elektriker schließt die Augen. Ein wenig schlafen jetzt, das wäre gut. Schließlich liegt vor ihm nicht nur eine wilde

Überfahrt, sondern auch eine lange Schicht. Die „Largo“ wird ihn auf die „Edda Fjord“ bringen, ein in Norwegen gebautes Arbeitsschiff, das für die Wartung der 78 Windräder von Borkum Riffgrund 1 in der Nordsee stationiert ist. Teams aus meist drei Männern werden dazu auf die Windräder gebracht, wo sie einen halben Tag im Einsatz sind, bevor die nächste Schicht übernimmt. Gearbeitet wird während der Wartungsperiode im Sommer rund um die Uhr, sieben Tage die Woche, damit die Windräder fit für die Stürme im Herbst und Winter sind.

---

### **Zukunftsperspektive dank Windkraft**

---

Bei starkem Wind erzeugt der Park genügend Energie, um rechnerisch rund 320.000 Haushalte zu versorgen. Zwei Wochen wird der Elektriker dort sein, jeden Tag zwölf Stunden arbeiten und die verbleibende Zeit in seiner schmalen Kojе oder den kargen Aufenthaltsräumen verbringen. Aber er hat es ja so gewollt. Er liebt diesen Job. Wie bei so vielen Männern und Frauen in der Offshore-Windkraft tritt ein Glanz in seine Augen, wenn er von der Arbeit auf See erzählt. Die Trennung von Familie und Freunden, die langen Schichten, das raue Wetter, die beengten Verhältnisse auf den Schiffen und in den Windturbinen, selbst die Seekrankheit – all das spielt keine Rolle mehr, wenn man einmal für dieses Leben Feuer gefangen hat. „Das da draußen ist wie ein Abenteuerspielplatz für Erwachsene“, sagt er. In seiner

---

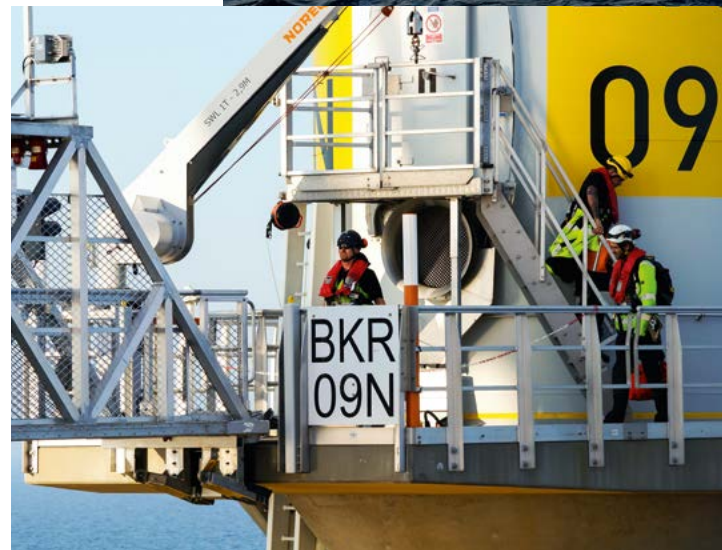
## **20.000 MEGAWATT**

*soll der leistungsstärkste Windpark an Land im Jahr 2020 bereitstellen. Er entsteht derzeit am Rand der Wüste Gobi in China und heißt „Gansu“. Schon Ende 2012 erreichte die Windfarm die Rekordmarke von 6.000 Megawatt, aktuell sind es 7.900. Täglich werden rund 35 Turbinen aufgestellt, mehr als 3.500 sollen es am Ende sein.*

---



Stählerne Katamarane wie die „Largo“ oder die „Njord Thor“ bringen Techniker vom Land zu ihren Arbeitsstätten im Windpark



Harter Job, aber trotzdem glücklich: die Männer, die den Offshore-Windpark „Borkum Riffgrund“ am Laufen halten





## 88,4 Meter

misst das längste **Rotorblatt** der Welt. Es wurde in Dänemark für ein Offshore-Windrad gebaut, das mit einer Leistung von acht Megawatt zu den stärksten überhaupt gehört. Der Rotordurchmesser beträgt 180 Meter. Zum Vergleich: Das sind nur acht Meter weniger, als das ellipsenförmige Kolosseum in Rom an seiner breitesten Stelle misst.

## 178 Meter

schwebt die höchste **Windturbine** der Welt über dem baden-württembergischen Gaildorf. Die Flügelspitzen reichen sogar mehr als 240 Meter in den Himmel. Die Anlage ist so groß, weil der Windradturm auf einem 40 Meter hohen, mit Wasser gefüllten Betonfundament steht. Es ist mit einem tiefer gelegenen Teich verbunden und dient als Pumpspeicherkraftwerk.

## Mit 175

**Windrädern** ist „London Array“ der größte Offshore-Windpark der Welt. Er steht im Mündungsgebiet der Themse und erzeugt eine Leistung von bis zu 630 Megawatt. Das sind Werte wie bei einem kleinen Atomkraftwerk. In den kommenden Jahren sollen in Großbritannien, Deutschland und den Niederlanden Parks mit noch weit größerer Leistung entstehen.

Heimat Ostfriesland liegen die Jobs nicht gerade auf der Straße. Viele Menschen verlassen die Region nach der Schule oder Lehre. Doch die junge Offshore-Windkraft gibt ihr eine neue Perspektive – wie so vielen Küstengegenden rund um Nord- und Ostsee. Von Dänemark über Deutschland und die Niederlande bis nach Großbritannien – überall entstehen stählerne Windriesen im Meer. Spätestens seit der Katastrophe von Fukushima setzt Europa verstärkt auf erneuerbare Energien und damit auch auf Offshore-Wind. Denn auf See ist die Energieausbeute viel größer als an Land.

Die Motoren der „Largo“ heulen auf, die Kaimauer verschwindet in der Nacht. Doch kaum hat der Kataran den Hafen verlassen, werfen ihn die Wellen hin und her. Die gefederten Sessel quietschen bei jeder Bewegung, mit der sie das Rollen und Stampfen, das Kippen und Stürzen der „Largo“ auszugleichen versuchen. Das Schiff ist noch nicht lang unterwegs, als der Kapitän die Motoren drosselt. Von der Brücke dringt undeutlich seine Stimme zu den Männern. Er spricht ins Funkgerät, vielleicht mit der „Edda Fjord“ oder dem Hafen. Die See ist ihm zu wild, so viel wird klar. Er will die nächste



Ein Blick von der Umspannstation auf die Windräder des Offshore-Parks „Borkum Riffgrund“ – und auf die „unendliche“ Weite der Nordsee

Stunde im Schutz der Insel Norderney abwarten, bevor er sich aufs offene Meer wagt. Klar, wenn die Wellen zu hoch sind, können die Männer unmöglich von der „Largo“ auf die „Edda Fjord“ oder die stählerne Umspannstation übersteigen, die den Strom im Windpark sammelt und zum Festland schickt. Die Gefahr wäre zu groß, dass sie dabei abstürzen. Im Schutz der Insel lässt das Rollen des Schiffs nach, an Bord breitet sich Schlaf aus. Die meisten Männer erwachen erst, als das Schwarz hinter den Fenstern einem Grau gewichen ist. Von Minute zu Minute wird es heller und die See – wer hätte das nach dieser Nacht geahnt – ruhiger.

---

### **Stählernes Ungetüm**

---

Die „Largo“ hat inzwischen fast die OSS erreicht: die Offshore Substation, zu Deutsch Umspannstation. OSS ist eine der vielen englischen Abkürzungen, von denen die Sprache der Monteure und Ingenieure auf See nur so wimmelt. Als die OSS hoch über der „Largo“ aufragt, steuert der Kapitän das Schiff mit dem Bug vorsichtig gegen die Leiter, die hinauf in das stählerne Ungetüm führt. 3.500 Tonnen schwer und fünf Stockwerke hoch,

stützt es sich mitsamt seinem Helikopterdeck auf vier massive, im Meeresgrund verankerte Stahlträger. Das Gummi am Bug der „Largo“ trifft auf die Leiter, und der Kapitän gibt Schub, um das Schiff in einer stabilen Position zu halten. Am Heck wirbelt das Meer auf. Nacheinander erklimmen drei Techniker mit Helm, Overall und Rettungsweste die Leiter, gesichert durch ein Seil. Sie werden den Tag auf der Umspannstation mit Wartungsarbeiten verbringen. Abends soll sie ein anderer Kattamaran zurück an Land bringen. Für die „Largo“ aber geht es jetzt zum nächsten Ziel: der „Edda Fjord“. Das sogenannte SOV – Service Operation Vessel – zeichnet sich an der anderen Seite des Windparks im Morgenrauen ab. Fast 100 Meter lang und 22 Meter breit – die Maße der „Edda Fjord“ nehmen sich imposant aus. Doch im Vergleich zu anderen Schiffen, von denen aus Windparks gewartet werden, ist sie eher klein. Sie bietet Platz für 60 Techniker, verfügt über einen großen Kran und einen Turm mit einer schwenkbaren Gangway, von der aus die Monteure direkt auf die Windräder übersteigen können. Als die „Largo“ mit dem Bug an der Bordwand der „Edda Fjord“ andockt, ist die See glatt wie ein Ententeich.

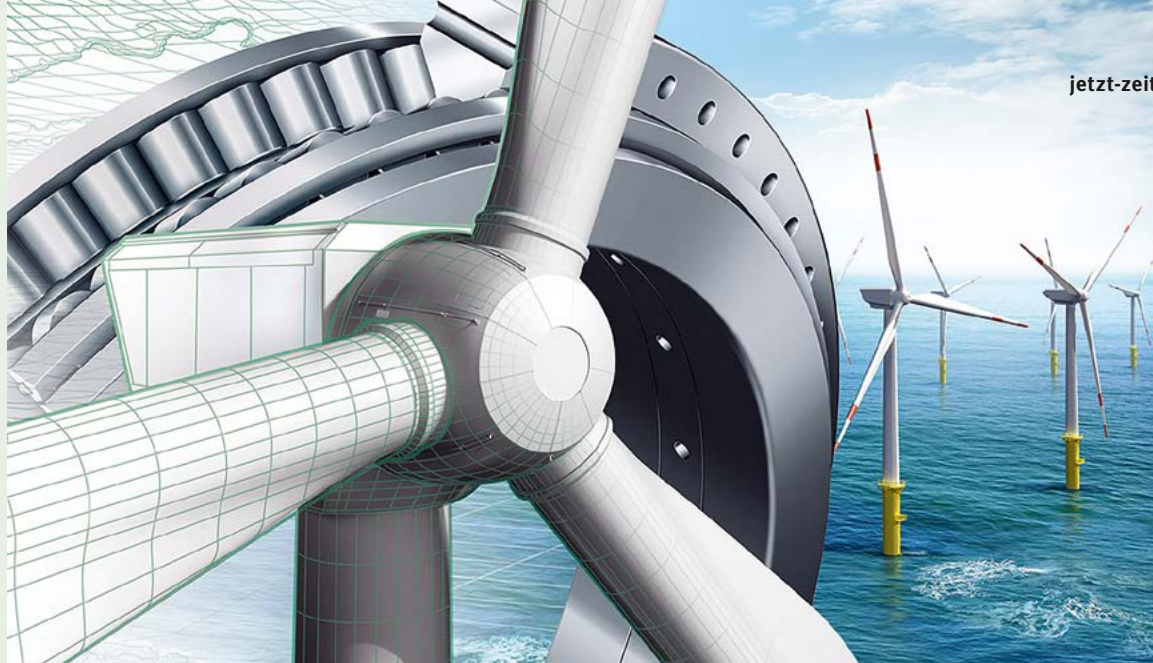
Mit einem Stoßseufzer schnappt sich der leicht seekranke Elektriker seinen Rucksack. Ihm ist noch immer nicht wohl, geschlafen hat er kaum. Aber immerhin musste er sich nicht übergeben. Er würde sich jetzt gern in die Koje legen. Stattdessen beginnt sein Arbeitstag nun so richtig. Dabei hat er das erste Abenteuer des Tages schon hinter sich.



### **DER AUTOR**

*Wer in Offshore-Windparks arbeitet, muss Sicherheitstrainings absolvieren – das galt auch für **Volker Kühn** (41). Am härtesten war die Helikopterübung, sagt der in Oldenburg lebende Journalist: Ein Hubschraubersimulator wird in ein Wasserbecken getaucht und dreht sich um 180 Grad, die Teilnehmer müssen durchs Fenster hinaustauchen. Aber es lohnt sich, findet Kühn: Der Anblick eines Windparks im Meer entschädigt für die Strapazen.*





# WINDKRAFT MADE BY SCHAEFFLER

**Schaeffler zählt zu den weltweit führenden Wälzlagerherstellern und produziert seit mehr als 30 Jahren Lagerungen für Windkraftanlagen.**

Das Technologieunternehmen bietet die passende Lösung für jede Lagerstelle und ein ganzheitliches Konzept, das die Zuverlässigkeit der Wälzlager in Windkraftanlagen weiter steigert: den Schaeffler Wind-Power-Standard (WPOS).

Um die hohen Standards der Branche sicherzustellen, arbeitet Schaeffler über die gesamte Prozesskette bis zur Serienproduktion eng mit Kunden und Lieferanten zusammen. Gemeinsam wird so die optimale Lösung für jede Lagerstelle entwickelt – von der Rotorwelle

über Getriebe und Generator bis zur Gondel- und Blattverstellung.

In der Testphase kommt der Schaeffler Astraios zum Einsatz, einer der modernsten und leistungsfähigsten Großlagerprüfstände der Welt. Mit seiner Hilfe können Lager bis 15 Tonnen und 3,5 Meter Außendurchmesser unter realitätsnahen Bedingungen getestet werden. Reinhold Korn, Leiter Elektro-/Systemtechnik Prüfanlagenbau bei Schaeffler, erklärt den Astraios im Interview.

## **Was war die Ausgangssituation für die Entwicklung des Großlagerprüfstands?**

Im wachsenden Windmarkt fordern die Windkraftanlagenhersteller auch für Lager größer als drei Meter Außendurchmesser die Verifizierung der Berechnungen durch Lagerprüfungen. Diese Lagergröße ist typisch für Rotorlager bei 6-MW-Offshore-Windkraftanlagen.

## **Bitte beschreiben Sie uns die Innovation in ihren Grundzügen.**

Astraios ist der Schaeffler-Prüfstand für Großlager, weltweit einer der größten, modernsten und leistungsstärksten seiner Art. Mit dem Prüfstand können wir mehr Sicherheit und Wirtschaftlichkeit von Windkraftanlagen erreichen.



Reinhold Korn, Leiter Elektro-/Systemtechnik Prüfanlagenbau bei Schaeffler

## **Was sind die wichtigsten technischen Aspekte?**

Der Großlagerprüfstand wiegt 350 Tonnen und ist somit etwa so schwer wie ein vollgetankter Jumbojet. Er ist 16 Meter lang, sechs Meter breit und sechs Meter hoch. Am Prüfstand wird das Gewicht, das auf das Rotorlager wirkt, durch vier Radialzylinder mit jeweils 100 Tonnen generiert. Die Windlast wird durch vier sinusförmig angesteuerte Axialzylinder mit jeweils 150 Tonnen generiert. Der variable Antrieb sorgt für verschiedene Drehzahlen des Rotors.

## **Was bedeutet Innovation für Sie persönlich?**

Innovation bedeutet für mich, sich nicht mit einer Idee zufriedenzugeben. Mit dem Großlagerprüfstand konnte Schaeffler einen innovativen Meilenstein für die Entwicklung der Prüftechnologie setzen.



Der Astraios ist einer der weltweit modernsten, größten und leistungsfähigsten Prüfstände für Großlager

# PATER BERATER

In seiner Jugend verkaufte er Taschenlampen und Glühbirnen, heute erleuchtet er ausgebrannte Manager: Der Benediktinermönch Anselm Grün zählt zu den gefragtesten Ratgeberautoren und Führungskräftetrainern Deutschlands. Die mächtigste Energiequelle, sagt er, sprudelt in uns selbst.

— von Claus Gorgs

— Anselm Grün hat wenig Zeit. Gerade ist er von einer Vortragsreise aus Taiwan zurückgekehrt, am Abend hält er eine Rede an der Management-Kaderschmiede WHU in Vallendar bei Koblenz, an den Tagen darauf folgen Auftritte in Würzburg, München und Innsbruck, zwischendurch noch eine Radiodiskussion beim Hessischen Rundfunk. Aber Stress? „Nein“, sagt Grün, „ich habe nicht das Gefühl, dass ich überfordert oder gestresst bin.“

15 Minuten hat er sich für dieses Gespräch irgendwie freigeschaufelt, seine Stimme am Telefon klingt ruhig, fast pastoral. Was nicht verwundert. Denn Grün ist weder Politiker noch Topmanager – sondern Benediktinermönch. Und ein gefragter Führungskräftetrainer, Seelsorger und Ratgeberautor. Seine Seminare über „Mut zur Entscheidung“, „Achtsames Sprechen“ oder „Zeit für Veränderung“ sind Monate im Voraus ausgebucht. Mit seinen 72 Jahren hat Pater Anselm, wie er am liebsten genannt wird, immer noch einen Terminkalender wie ein Vorstandschef. Mehr als 300 Bücher hat er geschrieben, im Durchschnitt hält er etwa 200 Vorträge im Jahr. Sein Credo: Die größte Energiequelle unseres Lebens schlummert in uns selbst.

---

## **Meister der Entschleunigung**

---

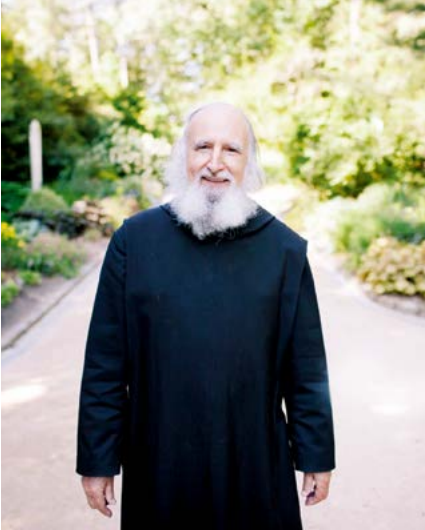
Als einer der Ersten bot er Kurse für gestresste Geschäftsleute und Führungsseminare in einem Kloster an, was nicht überall in der katholischen Kirche auf

Begeisterung stieß. Heute, da die Arbeitsverdichtung immer weiter zunimmt und die Zahl der Burn-outs und anderer seelischer Erkrankungen sprunghaft ansteigt, gilt er als Vorreiter einer neuen Managementkultur und eines bewussteren Umgangs mit psychischen Belastungen – als Achtsamkeitspapst, sozusagen. „Ich fühle mich schon bestätigt durch die vielen Mentaltrainer und Psychologen, die ähnliche Thesen vertreten wie ich“, sagt der Theologe. „Allerdings ist Achtsamkeit inzwischen auch zu einem Modewort geworden. Niemand kann zu jeder Zeit achtsam sein. Und Resilienz bedeutet auch nicht, dass ich immer alles aushalten können muss. Bei einfachen Erfolgsrezepten, die jedem den Weg zum Glück und zum inneren Frieden versprechen, bin ich skeptisch.“

Grün ist überzeugt, dass die Quellen für mehr Lebensenergie, Freude und Leistungsfähigkeit in jedem von uns von Natur aus vorhanden sind. Gottgegeben, so sieht er es. Oft seien sie nur verschüttet von einem falschen Selbstbild, der Erziehung in der Kindheit oder Erwartungen anderer, die wir für unsere eigenen Ziele halten. „Es ist wichtig, diese Quellen zu entdecken“, sagt Pater Anselm. „Jeder kann das lernen.“ In seinem Buch







Der Mann, dem die Manager vertrauen: Anselm Grün

„Quellen innerer Kraft“ unterscheidet Grün zwischen trüben und klaren Quellen, aus denen Menschen schöpfen können. Ehrgeiz, Machtstreben, Konkurrenzdenken, Perfektionismus, aber auch die falsch verstandene Aufopferung für andere hält er für trübe Formen des inneren Antriebs, die nur kurzfristige Befriedigung verschaffen und den Menschen langfristig auslaugen, statt ihn zu stärken. Als langfristiger Energiespender und Grundlage von Zufriedenheit und Gesundheit sind sie ungeeignet.

---

### **Die Lösung steckt in uns**

---

Wer die Kraftquellen in sich selbst entdecken und für sich nutzen wolle, müsse tiefer bohren. Die eigenen Werte und Überzeugungen, das Gefühl für den eigenen Körper und das Maß dessen, was ich ihm zumuten kann, auch andere Menschen, die einem guttun – das sind für den Benediktiner Ansatzpunkte, die Fundamente der eigenen Stärke freizulegen, sich von der „emotionalen Umweltverschmutzung“ zu befreien, die von allen Seiten auf uns einprasselt. „Das ursprüngliche und unverfälschte Bild von uns selbst ist getrübt durch die vielen Bilder, die andere über uns gestülpt haben“, schreibt Grün. Er rät unter anderem, sich an Kindheitserinnerungen zu orientieren, um die eigenen Quellen des Wohlbefindens wiederzufinden. Wer sich an das Gefühl erinnert, wenn plötzlich das Lieblingslied aus Jugendzeiten im Radio läuft oder es plötzlich irgendwo wie nach Omas Weihnachtsplätzchen duftet, ahnt, was er meint.

Dass für ihn der christliche Glaube dabei eine, sogar die entscheidende Rolle spielt, macht er in seinen Büchern zwar sehr deutlich, eine Voraussetzung, um zu den inneren Kraftquellen vorzustoßen, ist Religiosität für ihn

aber nicht. „Ich will niemanden missionieren. Wer zu mir kommt, sollte offen sein für das Geheimnis des Lebens – aber dazu muss man kein Christ sein.“ Viele von Grüns Thesen kommen einem irgendwie bekannt vor. Familientherapeuten und Yogalehrer argumentieren ähnlich, Grün selbst nimmt Anleihen bei antiken Philosophen, zitiert Arbeitspsychologen und – natürlich – die Bibel. Das alles reichert er an mit Beispielen und Erfahrungen aus seinen Seminaren und der eigenen Biografie, was seine Texte einfach zu lesen und nachvollziehbar macht. „Die Frage, die wir uns alle stellen, ist doch: Wie gelingt das Leben? Darauf versuche ich eine Antwort zu geben“, sagt er. Damit ist Grün inhaltlich nicht weit entfernt von Ärzten wie Ralf Hesse. „Geld ist nichts, was einen letztlich glücklich macht“, sagt der Leiter des Bereichs Arbeitsmedizin bei Schaeffler, der sich intensiv mit Präventionsprogrammen gegen Burnout beschäftigt (siehe Interview rechts).

---

### **Einer von ihnen**

---

Dass gerade Geschäftsleute und Manager sich gern von Pater Anselm beraten lassen, liegt auch daran, dass er ihre Denke kennt, ihre Sprache spricht. Als Jugendlicher verkaufte Grün im Elektrogeschäft seiner Eltern Glühbirnen und Taschenlampen, neben Theologie und Philosophie hat er auch Betriebswirtschaft studiert, und als wirtschaftlicher Leiter des Klosters Münsterschwarzach war er 36 Jahre lang Chef von mehr als 20 Betrieben und 300 Mitarbeitern. Grün: „Wirtschaftler sind offener mir gegenüber, weil ich auch aus Erfahrung spreche und nicht nur als Theologe.“

Die Viertelstunde ist um, der nächste Termin wartet, Pater Anselm muss los. Und das soll kein Stress sein? „Ich arbeite, weil ich Lust dazu habe“, sagt Grün, in aller Ruhe. „Sobald ich merke, dass ich reizbar werde, weiß ich: Jetzt muss ich wieder mehr für mich sorgen. Wenn dann eine weitere Anfrage kommt, sage ich einfach Nein.“

---



### **DER AUTOR**

**Claus Gorgs** (45) arbeitet als freiberuflicher Autor und Produzent für Printmedien in Hamburg. Als ehemaliger Ressortleiter der „Financial Times Deutschland“ und stellvertretender Chefredakteur bei der

„Nordwest-Zeitung“ kennt er das Gefühl hoher Stressbelastung und langer Arbeitstage. Ein Seminar bei Pater Anselm wollte er immer einmal besuchen. Bisher fehlte ihm stets die Zeit.



# „BURN-OUT IST WIE EIN EISBERG“

**Schaeffler startet im zweiten Quartal 2017 ein konzernweites Präventionsprogramm gegen psychische Überlastung im Job. Projektleiter Ralf Hosse erklärt, warum es sinnvoll ist, Menschen zu behandeln, die gar nicht krank sind.**



Ralf Hosse, Schaeffler

**In Zusammenarbeit mit der Barmer und der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg bietet Schaeffler gestressten oder ausgebrannten Mitarbeitern zahlreiche Behandlungsmöglichkeiten an, vom Video-Coaching bis zum stationären Klinikaufenthalt. Warum braucht es noch ein weiteres Programm?**

Wir arbeiten seit einiger Zeit an einem ganzheitlichen Gesundheitskonzept. Das neue Präventionsprogramm ist ein weiterer Baustein darin. Alle bisherigen Angebote greifen ja erst, wenn sich ein Mitarbeiter bereits krank oder überfordert fühlt. Mit dem neuen Konzept wollen wir besonders hoch belasteten Berufsgruppen Instrumente an die Hand geben, um zu verhindern, dass es überhaupt so weit kommt. Gerade in höheren Positionen halten sich viele für unkaputtbar. Dem ist aber häufig nicht so.

**Woran liegt es, dass die Zahl der psychischen Erkrankungen bei Managern steigt?**

Die Arbeitsbelastung und die Geschwindigkeit, in der Informationen verarbeitet und Entscheidungen gefällt werden müssen, haben sich überall in der Wirtschaft stark erhöht. Es gibt eine Arbeitsverdichtung, die in einigen Fällen dazu

führt, dass Menschen sich übernehmen. Außerdem reden wir anders als früher offener über psychische Probleme. Der Begriff „Burn-out“ hat viel dazu beigetragen. Das Wort ist nicht negativ besetzt wie „Depression“ – obwohl beides medizinisch betrachtet dasselbe ist.

**Wie kommt es zum Burn-out?**

Es sind meist mehrere Ursachen gleichzeitig – das lässt sich nicht nur an der Zahl der Überstunden festmachen. Meist kommen Stressfaktoren aus dem privaten Bereich hinzu. Besonders häufig betroffen sind Menschen mit einem hohen Anspruch an sich selbst. Sie spüren zwar, dass sie an ihre Grenzen kommen, erlauben es sich aber nicht, eine vermeintliche Schwäche zu zeigen. Ein Burn-out ist wie ein Eisberg: Die Anzeichen sind lange vorher da, nur zu 90 Prozent unter der Oberfläche.

**Warum fühlt sich Schaeffler als Arbeitgeber dafür verantwortlich?**

Es gehört zu unseren Werten, dass wir uns für unsere Mitarbeiter verantwortlich fühlen. Als Arzt sehe ich es auch als eine ethische Verpflichtung, Menschen nicht zu überfordern und darauf zu achten, dass sie sich selbst nicht überfordern. Daneben gibt es natürlich auch die wirtschaftliche Komponente. Ein Projektleiter, der über Wochen und Monate ausfällt, ist ein enormes finanzielles Risiko. Das können wir vermeiden, indem wir vorbeugen.

**Schaeffler ist ein Pionier auf diesem Gebiet. Weil Sie besonders viele Burn-out-Fälle haben?**

Nein, überhaupt nicht. Bei Schaeffler liegt die Zahl der psychischen Erkrankungen sogar unter dem Branchenschnitt. Aber jeder Mensch mit Burn-out ist einer zu viel.

**Bei Schaeffler arbeiten viele Menschen in technischen Berufen. Wie bringen Sie denen eher „weiche“ Themen wie Achtsamkeit und Stressabbau nahe?**

Wir reden nicht von Achtsamkeit oder Resilienz, wir nennen es vorbeugende Wartung. Wir bauen ja auch Sensoren in Lager ein, die Alarm schlagen, sobald es ein Problem gibt. Das ist eine Denkweise, die Ingenieure gut nachvollziehen können. Wir alle müssen lernen, unser eigener Sensor zu sein, der meldet, wenn wir zu lange bei zu hoher Drehzahl laufen. Genau darum geht es.

**Und wie macht man das?**

Indem man auf die Signale seines Körpers achtet und sie nicht übergeht. Und sich dann auf die Suche nach der Ursache der seelischen Belastung macht. Dazu arbeiten wir mit externen Dienstleistern zusammen: Mentaltrainer, Coaches, Ärzte, Sportlehrer. Wichtig ist auch ein entspannendes privates Umfeld. Vor allem auf dem Land ist diese Sozialstruktur meist noch weitgehend intakt. Auch deshalb haben wir in Herzogenaurach weniger Burn-out-Fälle als Unternehmen mit Sitz in Großstädten.

**Sie haben selbst eine hohe Arbeitsbelastung. Was tun Sie, um Burn-out zu vermeiden?**

Ich habe ein sehr stabiles Umfeld, ein Netzwerk von Menschen, die mich auffangen, wenn es mal nicht läuft. Außerdem habe ich nicht den Drang, alles haben oder machen zu müssen. Das entspannt. Zudem habe ich eine Frau, die mich immer unterstützt, auch wenn die Arbeitstage lang werden. Das ist das Wichtigste überhaupt. Wer als junger Mensch das Ziel hat, viel zu arbeiten und Karriere zu machen, dem kann ich nur raten: Augen auf bei der Partnerwahl.

# PERPETUUM MOBILE

## DIE UTOPIE DER ENDLOS-MASCHINE

— Die Idee einer Maschine, die sich ohne Energieverlust endlos fortbewegt, ist fast so alt wie die Erfindung des Rades. Jahrhundertlang haben Erfinder bis hin zum Universalgenie Leonardo da Vinci (1452–1519) am „Perpetuum mobile“ getüftelt. Sie versuchten es mit Unterdruck, Überdruck, Wasser und Luft. Mit Schwerkraft, Vakuum und spektakulären Konstruktionen. Manch einer schummelte einfach. Bis heute bleibt das Perpetuum mobile eine Fata Morgana. Denn ohne frische Energiezufuhr kommt auch die beste Konstruktion wegen Reibungswiderständen oder der Schwerkraft irgendwann zum Stehen. Die meisten Patentämter weisen daher ausdrücklich darauf hin, keine Vorschläge für Perpetua Mobilia anzunehmen. Dennoch werden auch heute noch jedes Jahr zahllose Anträge eingereicht. Allein das Deutsche Patentamt berichtet von etwa hundert jährlich. Auch wenn das Perpetuum mobile eine Utopie bleibt, so ist die Annäherung daran ein hehres Ziel vieler Forscher und Entwickler. Ein wichtiger Beitrag von Schaeffler in dieser Richtung ist der stete Kampf gegen Reibungswiderstände durch immer bessere Lagerlösungen. So reduzierte Schaeffler mit Einführung der „Generation C“ der FAG Rillenkugellager Reibungswiderstände um deutliche 35 Prozent. Und damit ist noch lange nicht das Ende der Entwicklung erreicht.

### MEILEN- STEINE PERPETUUM MOBILE

748

Erste Beschreibung  
eines PM-Rades in  
**Indien**

um 1150

Der indische Mathematiker Bhaskara II. beschreibt ein PM-Rad mit **quecksilbergefüllten Speichen**

um 1230

Der französische Baumeister Villard de Honnecourt zeigt ein PM mit pendelnd an einem **Rad aufgehängten Hämmern**



# ausblick

Technik für morgen

» Können ist das nie entdeckte Perpetuum mobile, weil es sich von selbst vorantreibt

unbekannter Verfasser

um **1500**

Leonardo da Vinci formuliert als Erster, dass ein mechanisches PM **unmöglich** ist

Barockzeit  
(1575 bis 1770)

Das Interesse an PM ist **größer als je zuvor**

**1775**

Die Pariser Akademie der Wissenschaften beschließt, keine **Patentanträge** auf ein Perpetuum Mobile mehr anzunehmen

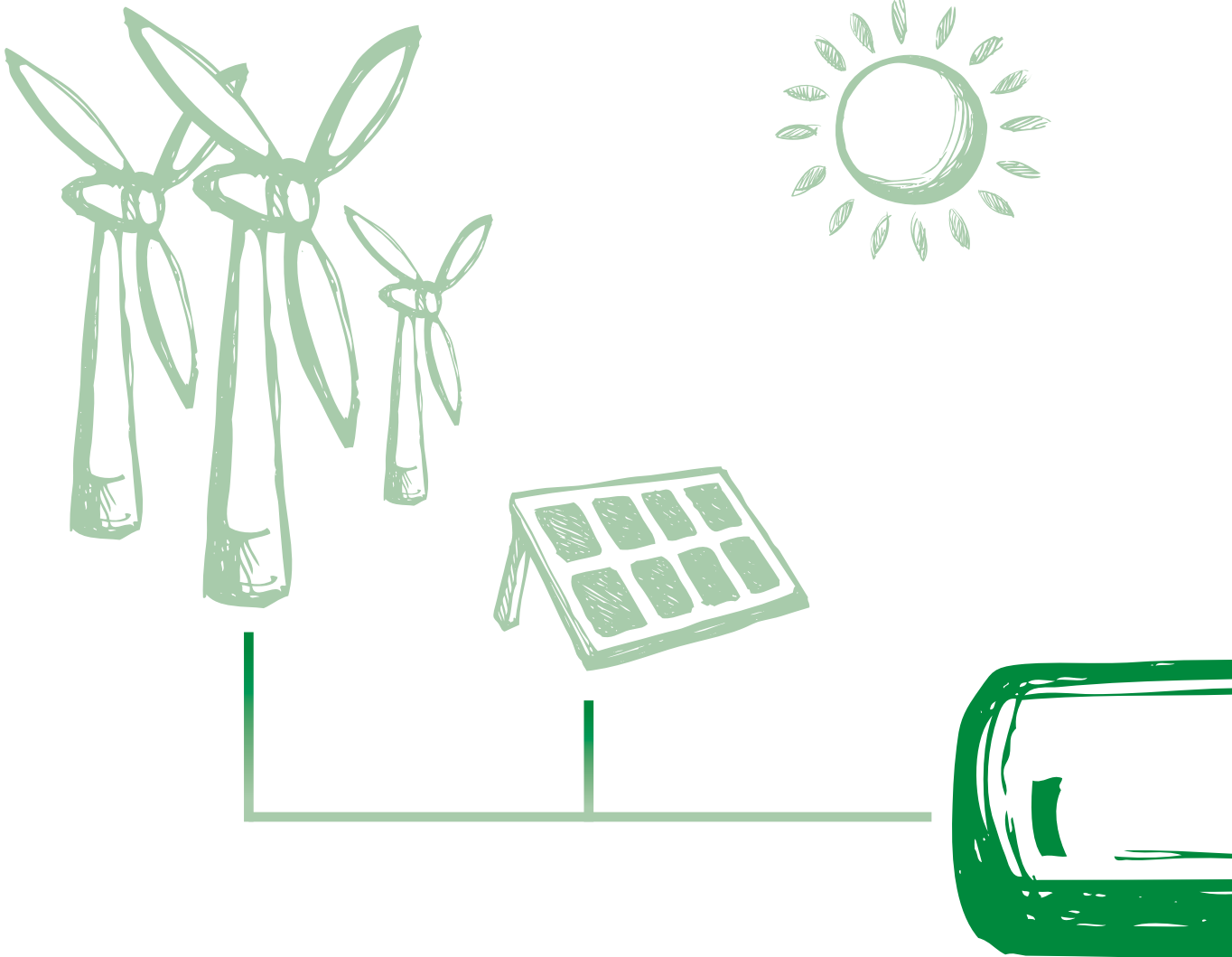
um **1850**

Mehrere namhafte Wissenschaftler formulieren den Energieerhaltungssatz und untermauern damit die **Unmöglichkeit** eines PM

# WOHIN MIT DER **ENERGIE**

Von den Bergen hinab in die Tiefe, unter Wasser, unter Druck oder in die Pipeline: Wie und wo werden wir künftig regenerativ erzeugte Elektrizität speichern? Von Supercaps, Kugelspeichern und Power-to-Gas.

— von Kay Dohnke





— Stromgewinnung aus Sonnenlicht oder Wind, Biomasse oder Erdwärme – das ist längst Alltag und wird immer wirtschaftlicher. Doch die Energiewende braucht noch ein zweites Element: Speicherkapazitäten, um Sonnenstrom auch nachts, Windstrom auch bei Flaute vorrätig halten zu können und Elektrizität auch unterwegs dabeizuhaben.

Der Weg zum Großen musste hier offenbar über das Kleine gehen. Beim Stichwort Batterie denken wir zuerst an Knopfzellen und Handy-Akkus. Tatsächlich hat der Bedarf an immer leistungsfähigeren Stromspeichern für tragbare Unterhaltungs- und Kommunikationstechnik die Entwicklung effizienter Akkus maßgeblich vorangetrieben. Doch längst wird an neuen Batteriekonzepten mit größerem Speichervolumen, geringerem Eigengewicht und kürzeren Ladezeiten gearbeitet. Zwar arbeiten alle chemischen Energiespeicher nach dem Grundprinzip der galvanischen Zelle, Forscher und Erfinder testen aber immer neue Materialien für Anode, Kathode und Elektrolyt. Neben der bewährten Lithium-Ionen-Batterie liegt der Fokus auch auf Lithium-Schwefel- oder Lithium-Luft-Batterien.

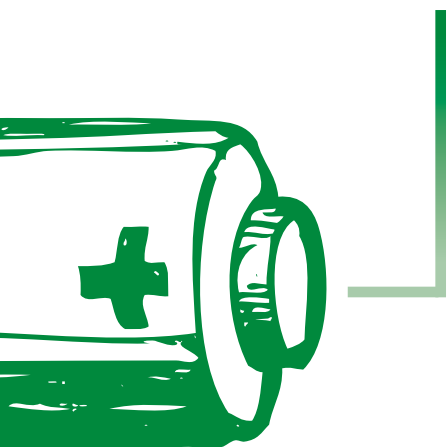
---

### ***Suche nach der Superbatterie***

---

Tests laufen auch mit Großspeichern auf Lithium-Ionen-Basis, etwa in Neuhardenberg. Dort läuft eine modulare Anlage, die fünf Megawattstunden Strom speichern kann. Bei Bedarf ließen sich solche Module in größerer Zahl überall dort zusammenstellen, wo Strom vorrätig gehalten werden muss und Geschwindigkeit keine Rolle spielt. Kommt es aber auf blitzschnelles Laden an, richten sich große Erwartungen auf sogenannte Supercaps – Hochleistungskondensatoren, die sich binnen Sekunden aufladen lassen und herkömmlichen Batterien vielfach überlegen sind. Noch allerdings sind diese Techniken für den Praxiseinsatz zu kompliziert und zu teuer.

Auch wenn alle chemischen Energiespeicher nach dem Grundprinzip der galvanischen Zelle arbeiten, wird es mittelfristig für jeden Bedarf das passende Batteriesystem geben. Batterien vom Redox-Flow-Typ sind für die einfache Anwendung zu kompliziert und zu teuer, bieten aber einen Wirkungsgrad von bis zu 80 Prozent und können auch große Mengen Energie speichern. Auch sie sind aber noch nicht praxisreif.



Die Suche nach der optimalen Batterie-Speichertechnologie ähnelt der Suche nach der eierlegenden Wollmilchsau: Die Batterie soll leicht sein, viel Strom speichern können und sehr viele schnelle Ladezyklen zulassen. Sie soll sicher sein, umweltfreundlich und billig. Nahezu im Monatsrhythmus werden zwar bahnbrechende Neuerungen vermeldet, bis sich das beste System in der Praxis durchsetzt, ist es aber noch ein langer Weg. Vielleicht kommt ein entscheidender Impuls wieder von John Goodenough: Der Mitentwickler des Lithium-Ionen-Akkus kündigt einen neuartigen Feststoff-Akku an, der mit Glas-Elektrolyten und mit Natrium anstelle von Lithium arbeitet. Minutenschnelles Laden, dreifache

Speicherkapazität, höhere Sicherheit und weniger Umweltbelastung wären große Schritte auf dem Weg zur fieberhaft gesuchten Superbatterie ...

---

### **Querdenken ist angesagt**

---

Die Zeit der erneuerbaren Energien ist die Zeit der Erfinder. Und sie geben manchmal überraschende Antworten auf die Frage „Wohin mit dem Strom?“. Neben der chemischen wird auch an neuen Systemen der mechanischen Speicherung gearbeitet. Und hier führen visionäre Ingenieure teils spektakuläre Konzepte vor.

Beispiel Pumpspeicherkraftwerk: Es besteht zu meist aus zwei riesigen Wasserbecken, eines im Tal, das andere auf einem Berg. Liegt Sonnen- oder Windstrom im Überfluss an, befördern elektrische Pumpen Wasser hinauf ins obere Becken. Nachts oder bei Flaute kann man das Wasser dann durch Turbinen wieder ins Talbecken strömen lassen und dabei Energie rückgewinnen. Der Strom wird also – bildlich gesprochen – im oberen Becken zwischengelagert.

Da Pumpspeicherkraftwerke einen immensen Eingriff in die Landschaft mit sich bringen, stehen sie massiv in der Kritik. Einen Ausweg böte das Konzept, stillgelegte Steinkohlebergwerke als Unterflur-Pumpspeicherkraftwerk zu nutzen. Für die Zeche Prosper-Haniel in Bottrop skizziert eine Machbarkeitsstudie ein oberirdisches und ein in 600 Meter Tiefe befindliches Wasserbecken. Soll Energie gespeichert werden, würde aus einem tief liegenden Speicherbecken Wasser hinauf in das Über-Tage-Becken gepumpt und bei Stromknappheit über Turbinen in den Schächten wieder in die Tiefe gelassen.

Ein äußerlich völlig anderes Konzept geht zwar auch von der Energiespeicherung unter Nutzung unterschiedlicher Höhenniveaus aus. Die US-Firma ARES will allerdings schwer beladene Güterzüge einsetzen. Aus ihrer Parkposition schieben die Elektroloks ihre Last bei Stromüberschuss einen Berghang hinauf. Wird Strom benötigt, rollen die Züge wieder zu Tal, und die Lokomotiven rekuperieren wie ein Dynamo den Strom und speisen ihn zurück ins Netz. Probeläufe finden derzeit in Nevada statt.

### **SO KANN MAN ENERGIE VORRÄTIG HALTEN**

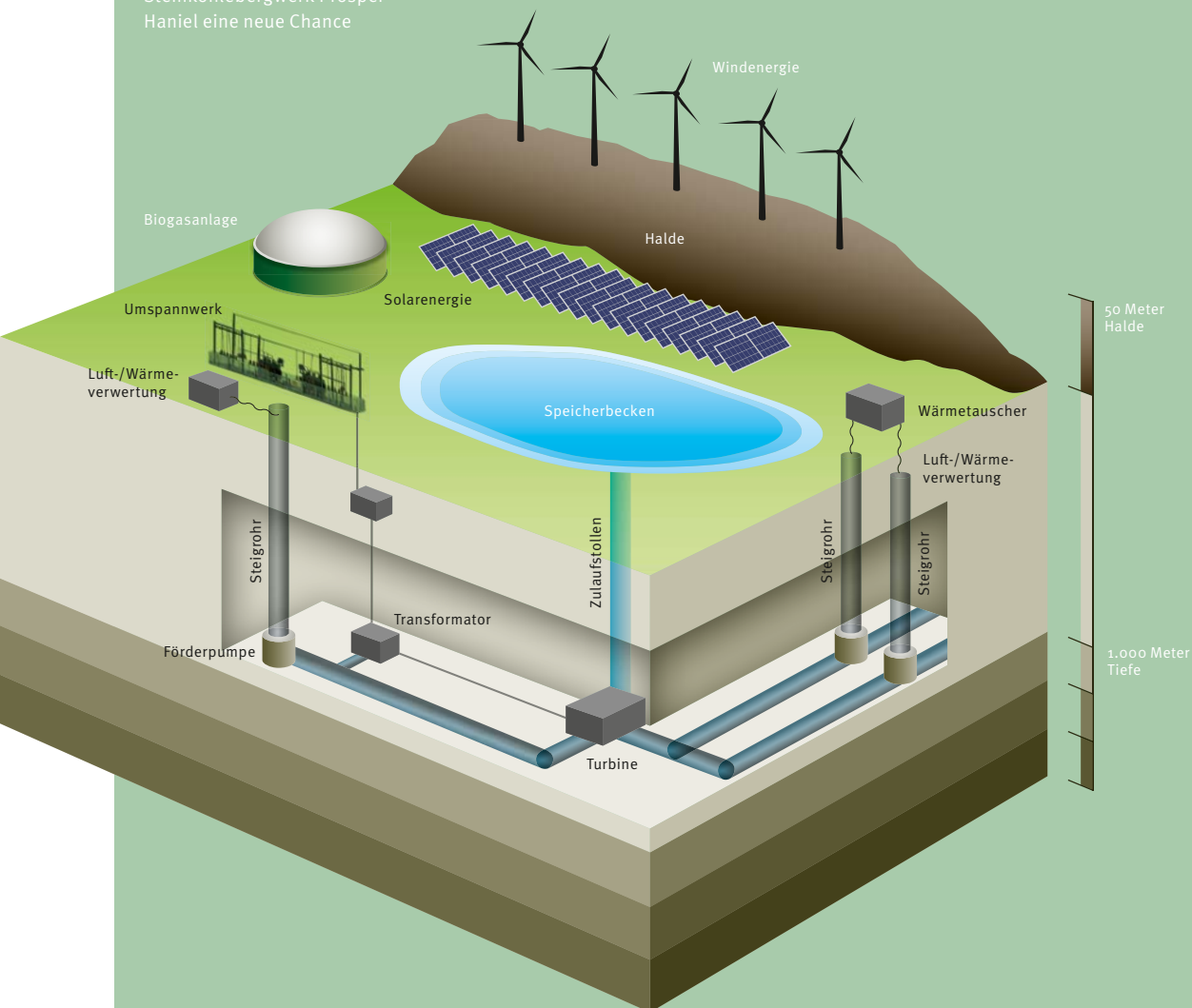
*Elektrizität lässt sich nur in geringen Mengen direkt in Spulen und Kondensatoren speichern. Größere Speichermengen und längere Speicherdauern sind durch indirekte Speicherverfahren möglich, bei denen eine Umwandlung in eine andere Energieart nötig ist. Drei Technologien finden praktische Anwendung:*

- **Elektrochemische Speicherung** nach dem Prinzip der galvanischen Zelle in Batterien und Akkus sowie durch Elektrolyse
- **Mechanische Speicherung** in Gasdruck-, Pump- und Massenspeichern bzw. Schwungrädern
- **Thermische Speicherung** in Wasser, Salz, Beton, Gestein, Eis bzw. speicheroptimierten Substanzen

*Maßgeblich für die Nutzung einer Speicherungsart sind Wirkungsgrad, Speicherkapazität, Dauer des Speicherungs- bzw. Abrufvorgangs, Wiederholfrequenz des Speichervorgangs, bei mobilem Einsatz das Gewicht des Speichers, relative und absolute Kosten im Verhältnis zum Energieerzeugungs- und -handelspreis.*



Aus alten Kohleschächten  
kommt grüner Strom:  
Durch die Idee eines  
Unterflurpumpspeicherwerks  
erhält das stillgelegte  
Steinkohlebergwerk Prosper-  
Haniel eine neue Chance



UNTER-TAGE-/ÜBER-TAGE-PUMPSPEICHERWERK PROSPER-HANIEL IN ZAHLEN

  
**600 m**  
Fallhöhe des Wassers

  
**360 MW**  
Leistungspotenzial

  
**ca. 900 GWh**  
Gesamtleistung im Jahr

» Je konkreter ein Konzept auf die jeweiligen Gegebenheiten und den Bedarf zugeschnitten ist, desto effizienter und wirtschaftlicher kann es sein

## WIRKUNGSGRAD VON ENERGIESPEICHERN

Bei allen Speichertechnologien treten unterschiedlich große Energieverluste auf. Vor allem bei der Umwandlung von Elektrizität in speicherfähige Energieformen bedarf es aufwendiger technischer Vorgänge (Turbine, Kompressor, Motor, Elektrolyseur). Der Wirkungsgrad ist der Anteil an Energie, die nach Rückwandlung wieder als Elektrizität zur Verfügung steht.

### Wirkungsgrade unterschiedlicher Speichersysteme

Pumpspeicherkraftwerk

85–90 %

Kugeldruckspeicher (Fraunhofer)

85 %

Elektrolyse (Power-to-Gas-Wasserstoffherzeugung)

80 %

Druckkolbenspeicher (Gravity Power)

80 %

Stromspeicherung mittels Elektroloks (ARES)

80 %

Druckluftspeicher mit Wärmenutzung

60–70 %

Druckluftspeicher

40 %

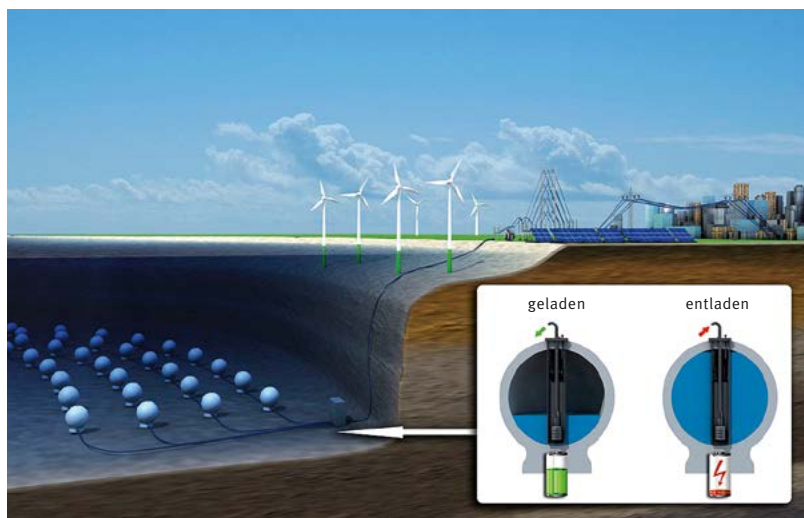
ARES' Fähigkeit zum Querdenken wird vom Kasseler Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik sogar noch in den Schatten gestellt. Für ihr Projekt „Stored Energy in the Sea“ verlagerte man das Pumpspeicher-Konzept vollständig unter Wasser und arbeitete zusätzlich mit Luft als Medium: Vor Überlingen wurde testweise ein 20 Tonnen schwerer Kugelspeicher aus Beton im Bodensee versenkt und mit Wasser gefüllt. Bei Stromüberfluss wurde Luft unter Energieaufwand in die Kugel hineingepumpt. Bei Strombedarf ließ man das Seewasser über eine Turbine zurück in die Kugel strömen und erzeugte dabei wieder Strom. In der Praxis könnten Kugeln mit 30 Meter Durchmesser in 700 Meter Tiefe aufgrund des hohen Wasserdrucks bis zu 20 Megawattstunden Strom speichern.

Bei einem ähnlichen Versuchskonzept arbeitet die kanadische Firma Hydrostor vor Toronto im Lake Ontario nur mit Luft. Mit dieser pumpen die Techniker bei Stromüberschuss unterseeische Ballons auf. Herrscht Strommangel, presst der immense Wasserdruck die Luft über Turbinen wieder aus den Ballons heraus. Je tiefer die Ballons platziert werden, desto höher ist der Wasserdruck und umso größer sind die benötigten und rückgewonnenen Energiemengen – billiger als Betonkugeln dürften die Ballons allemal sein.

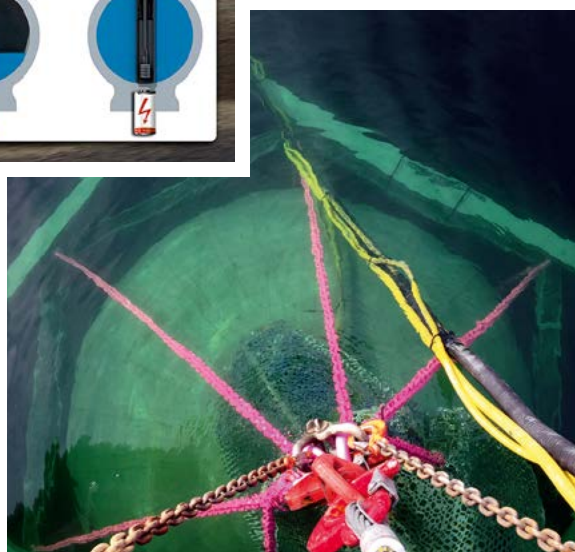
## Je passgenauer, desto effizienter

Beton ist auch die Schlüsselsubstanz für eine andere Form der Stromspeicherung, die die US-Firma Gravity Power entwickelt hat. Ihr Druckkolbenspeicher soll einmal gigantische Dimensionen haben und viel Energie sehr lange vorrätig halten können. Das Prinzip: In einen bis zu 1.000 Meter tiefen, kreisrunden Stollen mit bis zu 100 Meter Durchmesser wird ein riesiger, neun Millionen Tonnen schwerer Betonpfropfen eingepasst, der wie beim Kolben eines Motors zu den Schachtwänden hermetisch abschließt. Will man Energie speichern, wird Wasser unter den Kolben gepumpt, der sich langsam hebt. Bei Strombedarf drückt der Betonkoloss aufgrund der Schwerkraft das Wasser gezielt durch Turbinen und erzeugt wieder Strom. Mit diesem System sollen bis zu 1.600 Megawatt Strom über längere Zeit gespeichert und geregelt wieder ins Netz rückgespeist werden – wenn denn das Problem gelöst ist, Stollenwände und Außenfläche des Pfropfens gegen den immensen





Idee und Umsetzung:  
Der Bodensee  
bekommt Zuwachs in  
Form von 20 Tonnen  
schweren Betonkugeln



Wasserdruck abzudichten. Eine Testanlage ist im bayerischen Weilheim im Bau.

Ein weiterer Schlüssel auf dem Weg zur Energiespeicherung ist der Gedanke, Elektrizität grundlegend umzuwandeln. Nach diesem Prinzip arbeiten Power-to-Gas-Anlagen, die überschüssigen Strom mittels Elektrolyse in Wasserstoff verwandeln. Den kann man lagern, in Erdgaspipelines pumpen und sowohl in Brennstoffzellen für Fahrzeugantriebe nutzen als auch wieder rückverstromen. Mehrere Testanlagen – unter anderem in Stuttgart, Prenzlau und Werlte – funktionieren bereits unter Praxisbedingungen.

Viele aktuelle Konzepte belegen: Der Fantasie der Entwickler sind auch im Rahmen gängiger Konzepte und physikalischer Gesetze kaum Grenzen gesetzt. Mal wird Energie in Form von Wärme in Salz oder Beton gespeichert, mal wird Druckluft oder heißer Dampf in große Behälter gepumpt, um damit bei Strombedarf Turbinen anzutreiben, und sogar in Eis lässt sich Energie speichern.

Bei aller Experimentierfreude und angesichts faszinierender Lösungen wird eine Erkenntnis deutlich: Es geht gar nicht um die allumfassende Systemlösung für alle Speichernotwendigkeiten. Je konkreter ein Konzept auf die jeweiligen Gegebenheiten und den Bedarf zugeschnitten ist, desto effizienter und wirtschaftlicher kann es sein.



## DER AUTOR

*So viel Strom aus der Luft – und die Windräder werden immer mehr! Der freie **Hamburger Journalist Kay Dohnke** – auf Nachhaltigkeitsthemen spezialisiert – ist schon lange vom Erfindergeist beeindruckt, der die Energiewende erst möglich gemacht hat. Und er ist sich sicher, dass auch die Speicherfrage klug gelöst werden wird.*

# SAFT MIT KRAFT

Seit mehr als 100 Jahren bilden mit Benzin, Diesel oder Kerosin betriebene Verbrennungsprozesse das Rückgrat unserer Mobilität. Die Zukunft soll nun Elektro- und Brennstoffzellenfahrzeugen gehören. Doch auch auf absehbare Zeit werden wir nicht ohne flüssige Kraftstoffe auskommen. Was ist so besonders an ihnen?

— von Denis Dilba



— Wenn über die Zukunft der Mobilität gesprochen wird, ist schnell von den üblichen Verdächtigen die Rede: Elektrofahrzeuge – seien es Autos, Fahrräder, Motorräder oder Lkw. Selbst Schiffe und Flugzeuge sollen künftig möglichst rein elektrisch betrieben werden. In ein paar Jahren – so scheint es – gibt es kaum noch ein Gefährt, das nicht in der einen oder anderen Form eine Batterie an Bord hat. Schließlich müssen wir etwas gegen die klima- und gesundheitsgefährdenden Emissionen der Verbrennungsmotoren tun. Und außerdem bleibt uns ja über kurz oder lang auch kaum etwas anderes übrig: Das Erdöl geht ja sowieso bald zur Neige. Die Tage

der flüssigen Kraftstoffe wie Benzin oder Diesel sind damit gezählt, oder? Komplet falsch sei das alles nicht, aber eben auch nicht ganz richtig, sagt Wolfgang Warnecke, Chief Scientist Mobility beim niederländisch-britischen Ölkonzern Shell. „Insbesondere die Zukunftsfähigkeit der flüssigen Kraftstoffe halte ich für unterschätzt.“ Das liege daran, dass bei der Diskussion um die Zukunft der Mobilität die Zusammenhänge oft stark vereinfacht werden. „Bei genauerer Betrachtung stellen sie sich aber als deutlich komplexer heraus – und dann ist die Antwort nicht mehr so leicht wie gedacht“, sagt der promovierte Ingenieur.





Grundsätzlich müsse genau untersucht werden, welche Kombination aus der Vielzahl der heute verfügbaren Antriebskonzepte und Energieträger sich für welche Art der Mobilität am besten eigne. „Die eine optimale Lösung für alle Mobilitätsformen wird es auf absehbare Zeit leider nicht geben“, sagt Warnecke. Alles habe eben je nach Anwendung seine Vor- und Nachteile: Verbrennungsmotoren, Brennstoffzellen, Batterien, flüssige und gasförmige Kraftstoffe. Batterien böten beispielsweise den großen Vorteil, dass sie lokal keine Schadstoffemissionen verursachen, so Warnecke. „Aber je weiter man mit ihnen fahren möchte, desto größer, schwerer und vor allem teurer werden die Stromspeicher. Und wenn sie leer sind, brauchen sie selbst mit Schnellladetechnik mindestens 20 Minuten, um Strom nachzutanken.“ Dazu kommt die Tatsache, dass auch die Produktion des Ladestroms für die Batterien, abhängig vom verfügbaren Strommix,

Kohlendioxidemissionen verursacht. Natürlich wird weltweit daran gearbeitet, die Batteriezelltechnologie in allen Belangen zu verbessern, aber für die kommenden Jahre erwartet Warnecke keine Riesensprünge.

---

### ***Punktsieg für die Brennstoffzelle***

---

Der rein batterieelektrische Antrieb sei daher momentan nur für kleine Stadtautos wirklich sinnvoll: Dort hilft er, die heute oft schlechte Luftqualität zu verbessern, und bietet für die Kunden einen akzeptablen Kompromiss aus Reichweite bis zum nächsten „Tank“-Stopp, Platz, Gewicht und Preis, erklärt der Shell-Experte. Aber schon bei etwas größeren Distanzen zeichne sich ab, dass Brennstoffzellenantriebe die Nase vorn haben könnten: Sie kommen mit einer Tankfüllung Wasserstoff weiter als batterieelektrische Autos mit ihrer Stromladung. Nicht zu unterschätzen sei auch der Zeitvorteil beim Betanken, sagt Warnecke. „Wasserstoff ist genauso schnell im Tank wie Benzin oder Diesel.“ Zwar fehlen noch die Wasserstofftankstellen, doch dieser Nachteil gilt auch für Strom-Schnellladestationen. Für flüssige Kraftstoffe hingegen ist die Infrastruktur bereits vorhanden. Aber nicht nur deshalb führt überall dort, wo es um noch größere Distanzen, mehr Ladung und eng getaktete Terminpläne geht, auch heute kaum ein Weg an ihnen vorbei.



### **» Flüssige Kraftstoffe sind unterschätzt**

Wolfgang Warnecke  
Shell-Chef-Wissenschaftler

---

**1886**

wurde im Benz Patent-Motorwagen Nummer 1 erstmals die Verwendung von (Leicht-)Benzin dokumentiert.

**12.800 Wh/kg**

Energie stecken im Benzin. Das sind 40-mal mehr als selbst in zukünftigen Lithium-Ionen-Batterien: 12.800 gegenüber 200 bis 300 Wh/kg. Allein: Zur Energiegewinnung aus Benzin wird unbedingt Luft benötigt – für eine saubere Verbrennung in einem klassischen Ottomotor im Verhältnis 1 kg Benzin zu 14,7 kg Luft. Das entspricht ca. 11.370 Liter Luft.

Quelle: Fraunhofer IWS

**10 %**

mehr Energie als Kerosin produziert Algen-Biobrennstoff – und könnte damit in der Luftfahrt zur Anwendung kommen.



Einer der Hauptgründe dafür – und auch dafür, dass sich flüssige Kraftstoffe seit mehr als 100 Jahren gehalten haben – ist die im Vergleich zu allen anderen Kraftstoffarten sehr hohe Energiedichte. „Wenn ich ein Kilogramm Benzin, Diesel oder Kerosin mit einem Kilogramm Batterie vergleiche, dann steckt in den flüssigen Kraftstoffen bis zu 40-mal mehr Energie als selbst in zukünftigen Stromspeichern“, sagt Warnecke. Fairerweise müsse man aber berücksichtigen, dass der Wirkungsgrad von Verbrennungsmotoren deutlich schlechter ist als von E-Motoren. Von der in Kraftstoffen enthaltenen Energie kommt also deutlich weniger beim angetriebenen Rad an, als es bei der Kombination Batterie und E-Motor der Fall ist. Rechnet man das mit ein, kann aber immer noch rund 15-mal mehr Energie aus dem gleichen Volumen Flüssigkraftstoff gezogen werden als aus einer Batterie. Und das habe entscheidende Vorteile, erklärt der Forscher: „Das Volumen pro Energieeinheit ist kleiner, man benötigt demnach viel weniger Platz zur Speicherung, was auch weniger mitgeführtes Gewicht bedeutet und damit den Gesamtverbrauch

noch einmal zusätzlich drückt.“ Und man bekomme pro Zeiteinheit mehr Energie in das Fahrzeug, könne also schneller tanken.

Für den Flugbetrieb gibt es daher auch auf absehbare Zeit keine ernst zu nehmende Alternative zu Kerosin. „Batterien und Brennstoffzellen als Hauptantrieb kommen allein wegen der dafür benötigten Größe für Passagierflugzeuge derzeit nicht infrage“, sagt der Shell-Experte. Da hätten nur noch Antrieb und Energiespeicher Platz, die Passagiere müssten am Boden bleiben.

---

### **Wohin mit dem Kohlendioxid?**

---

„Wenn man flüssige Kraftstoffe aber weiternutzen muss oder will, muss man sich Lösungen überlegen, wie man mit dem CO<sub>2</sub> und den Schadstoffemissionen fertig wird“, sagt Warnecke. Denn zumindest das CO<sub>2</sub> entsteht bei jeder Verbrennung. Untersucht und diskutiert werden



sogenannte „Carbon Capture and Storage“-Verfahren, kurz CCS, bei denen das Klimagas in unterirdischen Gesteinsschichten oder Salzkavernen gespeichert wird. Diese müssten das CO<sub>2</sub> aber über Jahrhunderte sicher speichern können. Ob das wirklich möglich ist, wird angezweifelt. Shell-Wissenschaftler forschen daher unter anderem an einer Methode, bei der das CO<sub>2</sub> in klimaneutrales Gestein umgewandelt wird. Am elegantesten wäre es aber, das CO<sub>2</sub> einfach wieder als Rohstoff für die Produktion von flüssigen Kraftstoffen zu verwenden. Indirekt geht das beispielsweise über Biokraftstoffe aus Pflanzen: Sie nehmen CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre auf, werden geerntet und dann zu Treibstoff weiterverarbeitet.

Doch auch diese Methode ist umstritten: Denn aus Zuckerrüben, Mais oder Raps Kraftstoff statt Lebensmittel zu erzeugen ist fragwürdig. Und auch Pflanzen anzubauen, die nicht zu Lebensmitteln verarbeitet werden können, braucht zumindest viel Platz. Pflanzenabfälle wiederum wären zwar unbedenklich, doch bisher konnten Forscher hier noch keinen echten Durchbruch erzielen. Stefan Jennewein, Biochemiker am Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie (IME) in Aachen, hat sich daher von den Biokraftstoffen abgewandt und eine Alternative entwickelt: Er lässt gentechnisch veränderte Bakterien kurzkettige Alkohole und Aceton aus CO<sub>2</sub> produzieren. Aus diesen Stoffen kann dann vergleichsweise einfach Kerosin oder Schiffsdiesel hergestellt werden. Das Potenzial sei riesig, sagt der Wissenschaftler. Allein mit dem CO<sub>2</sub>-Ausstoß eines großen Stahlwerks könnte man seiner Schätzung nach eine international operierende Airline mit Kerosin versorgen. Momentan arbeite er an einer Pilotanlage, um Investoren von der Methode zu überzeugen. Denn die brauche es zwingend, um

damit auf den Markt zu kommen, so Jennewein: Da gehe es um Millionen Tonnen Treibstoff pro Jahr.

Mit solchen Methoden könnte in Zukunft das Kohlendioxid aus Autos, Flugzeugen, Schiffen und Fabriken aufgefangen und wieder in Kraftstoff umgewandelt werden. „Idealerweise brauchen solche Prozesse dann genauso viel CO<sub>2</sub>, wie wir bei der Verbrennung solcher synthetischen Flüssigkraftstoffe freisetzen“, sagt Shell-Wissenschaftler Warnecke. „Das könnte man dann CO<sub>2</sub>-neutral nennen.“ Alle Probleme wären auf diese Weise aber noch nicht gelöst: Lokale Schadstoffemissionen, wie Stick- oder Schwefeloxide, entstehen auch bei der Verbrennung der synthetischen Flüssigkraftstoffe.

Daran werde zwar auch geforscht, aber „neue Flüssigtreibstoffe geben uns keinen Freibrief, sie einfach für jede Mobilitätsform weiter zu nutzen“, sagt Warnecke. „Dort, wo wir sinnvolle Alternativen einsetzen können, müssen wir das tun.“



## DER AUTOR

Shells Chef-Wissenschaftler Wolfgang Warnecke und der auf Technikthemen spezialisierte Journalist **Denis Dilba** (39) hätten noch Stunden weiterdiskutieren können – das Ergebnis zur Zukunft der Mobilität wäre immer eine Momentaufnahme geblieben. Klar ist aber: Bei dem herausfordernden Thema bleiben uns flüssige Kraftstoffe länger erhalten als gedacht.

# DER VERBRENNER LEBT

**Schaeffler hat sich in den vergangenen Jahrzehnten zu einem führenden Partner der Automobilindustrie entwickelt. Warum der Verbrennungsmotor mit seinen flüssigen Kraftstoffen auch in Zukunft eine große Rolle im Technologieunternehmen spielt, erklärt Technikvorstand Prof. Peter Gutzmer.**

„Sowohl im Pkw- als auch im Nutzfahrzeugbereich werden wir in den kommenden Jahren nicht am Verbrennungsmotor vorbeikommen. Deshalb begrüßen wir auch die Ent-

wicklung, dass das Thema Synfuels immer weiter in den Fokus rückt. In der Betrachtung der Energiekette von synthetischen Kohlenwasserstoffverbindungen – etwa erzeugt aus Solarenergie – kann CO<sub>2</sub> zum Rohstoff werden. Die Debatte gab es zwar schon vor Jahren, doch sie ist nicht richtig vorangekommen. Sie wird jetzt aber wieder aufgenommen. Man muss dann diese neuen Kraftstoffe effizient verbrennen. Dabei kann der Dieselmotor mit seiner Effizienz ein Beispiel sein. Veränderte Rahmenbedingungen und



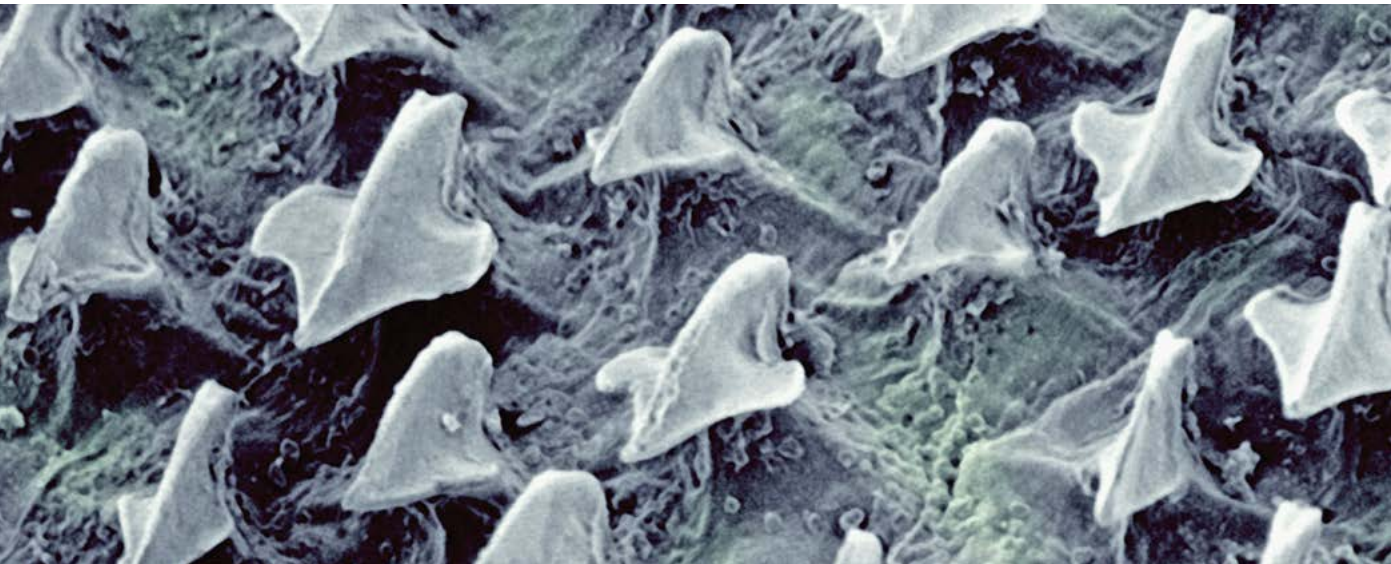
Schaeffler-Technikvorstand Prof. Peter Gutzmer

auch die Kostenentwicklung werden aber dafür sorgen, dass der Anteil an Dieselmotoren kleiner wird.“

# HAI GLATT

Glatt ist nicht gleich glatt: Scheinbar makellose Flachlandschaften gleichen bei mikroskopischer Betrachtung wilden Bergregionen. Dabei liegt in der richtigen Oberflächenbeschichtung viel Energiesparpotenzial. Schaeffler arbeitet unter Hochdruck an innovativen Schichtsystemen.

— von Jan Oliver Löffken





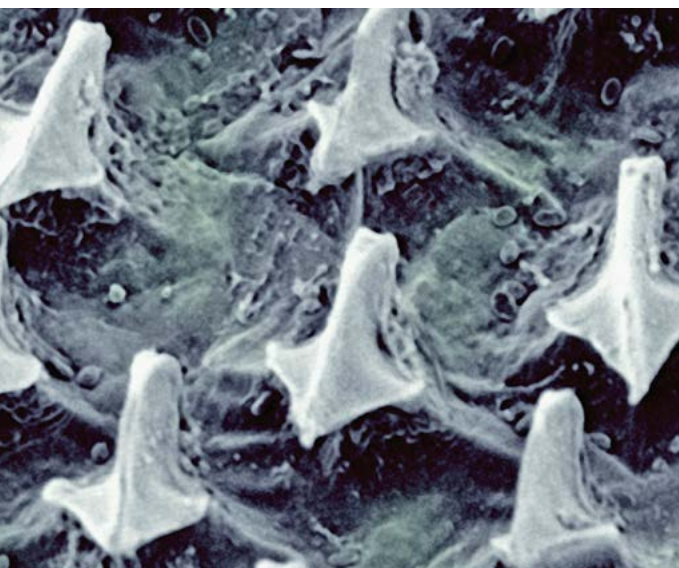


Dr. Yashar Musayev, Leiter des Kompetenzzentrum Oberflächentechnik, untersucht hauchdünne nanostrukturierte Oberflächen

— Spiegelglatt – wer mit dem Finger über den polierten Autolack oder schillernde Gläser streicht, fällt sein Urteil schnell. Doch der Blick durchs Mikroskop zeigt die ganze Wahrheit und offenbart eine zerklüftete Hügellandschaft. Denn Fingerspitzen können Unebenheiten, die kleiner als drei Tausendstelmillimeter sind, nicht mehr ertasten. Gut tausendfach glatter sind Spiegel in Weltraumteleskopen oder Belichtungsoptiken für die Produktion von Computerchips. Nach oft tagelangem Polieren ragen nur noch wenige Atome aus einer mit Edelmetallen beschichteten Oberfläche heraus.

Je glatter, desto besser: Spontan drängt sich diese Strategie auch für Oberflächen von Windrädern und Schiffsrümpfen oder für die Bauteile in Motoren und Getrieben auf. Locken doch auf den ersten Blick weniger Reibung, kaum Verschleiß und eine höhere Energieeffizienz. Doch das ist ein Trugschluss. Das Beschichten und Polieren aller Kontaktflächen – bis auf wenige hervorstehende Atome – wäre kaum bezahlbar. Und oft ist eine gewisse Rauigkeit sogar erwünscht, um Luft- und Wasserströmungen oder Bewegungen zwischen stählernen Bauteilen optimal zu gestalten.

Experten am Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM in Bremen forschen an der Entwicklung einer Beschichtung, deren Oberflächenstruktur den Schuppen von Haien nachempfunden ist. Ablagerungen am Schiffsrumpf könnten verhindert und durch eine derart gestaltete Wasserströmung der Wasserwiderstand verringert werden. Dazu bildet sich in den mikroskopisch kleinen







verlängert. Zahlreiche Rad-, Gleit- und Rolllager in modernen Zügen lassen sich mit Beschichtungen aus Zinkphosphat oder Zink-Eisen- und Zink-Nickel-Legierungen vor Rostfraß schützen. In Generatoren und Elektromotoren verhindern hauchdünne, isolierende Schichten aus Aluminiumoxid unerwünschte Leckströme und Kurzschlüsse. Die Palette der verfügbaren Materialien und Beschichtungen ist gewaltig. „Wir haben dazu eine Art Baukasten entwickelt, aus dem sich jeder Anwender vom Motorenbauer bis zum Windkraftentwickler eine maßgeschneiderte Beschichtung aussuchen kann“, sagt Musayev.

### Beschichtung der Zukunft mit sensorischen Fähigkeiten

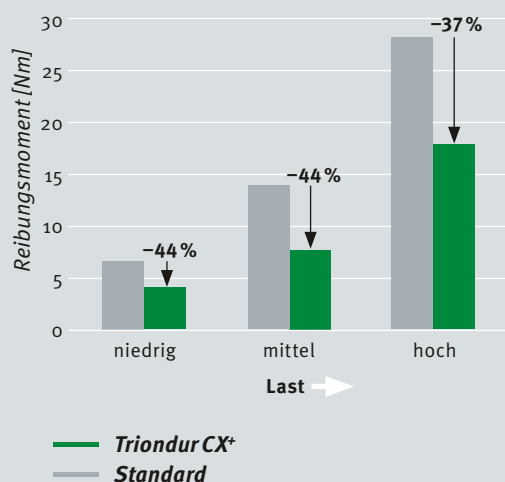
Mit der Suche nach dem jeweils besten Material und Schichtsystem – besonders hart, reibungsarm, isolierend oder korrosionsfest – ist die Arbeit von Musayevs Team aber nicht beendet. Parallel optimieren sie die Verfahren, um mit den höchstens fünf Tausendstel-millimeter dünnen Beschichtungen die stählernen

Bauteile zu veredeln. Mehr Spielraum geben Entwickler von Motoren, Lagern und Getrieben heute nicht mehr. Neben Aufspritzen, Lackieren oder elektrochemischem Abscheiden, dem Galvanisieren, gewinnen spezielle Vakuumverfahren an Bedeutung. In diesen Prozessen – kurz CVD oder PVD (chemical bzw. physical vapour deposition) genannt – setzen sich aus der Gasphase die gewünschten Substanzen in gleichmäßigen dünnen Schichten auf den Bauteilen ab. Für kohlenstoffhaltige Oberflächenbeschichtungen ist zudem ein Plasma aus ionisierten Teilchen sehr effizient.

Mit seinen Kollegen arbeitet Dr. Musayev aber auch an der Zukunft der Beschichtungen. Und diese können sogar so etwas Ähnliches wie Intelligenz aufweisen. „Sensorische Anwendungen sind derzeit einer der neuesten Entwicklungstrends“, sagt der Oberflächenexperte. Mögliche Anwendungen der neuen, oft nanostrukturierten Schichten reichen weit: Von intelligenten Unterlegscheiben, die als Drucksensor die Spannkraft einer Schraubverbindung anzeigen. Bis zur Beschichtung, die Dehnung oder Temperatur detektiert und den reibungslosen Lauf einer Maschine anzeigt und gar vor einer drohenden Überlastung warnt. Diese Parameter lassen sich meist über kleine Änderungen in der elektrischen Leitfähigkeit der jeweiligen Beschichtung zuverlässig, schnell und automatisiert messen. „Doch noch haben diese Sensoroberflächen ihre Serientauglichkeit nicht erreicht“, sagt Musayev.

Ein weiterer weltweiter Trend ist der Trockenlauf mit der Vision: Motoren ohne Öl, Lager ohne Schmierung. Aus heutiger Sicht klingt das utopisch. „Doch daran arbeiten wir auch“, betont der Herr der Schichten. So könnte in Zukunft der teure Schmiermittelanteil durch funktionelle Oberflächenbeschichtungen reduziert werden und die trocken laufende Maschinen dennoch mit hoher Energieeffizienz betrieben werden. „Theoretisch ist das jedenfalls möglich“, ist sich Dr. Musayev sicher.

#### WÄLZLAGER Mangelschmierung Drehzahl: 40 min<sup>-1</sup>



Triondur-Beschichtungen bieten bei minimaler Reibung maximalen Schutz gegen Verschleiß und wurden speziell für Wälzlageranwendungen entwickelt.



#### DER AUTOR

Wissenschaftsjournalist und Physiker **Jan Oliver Löfken** schätzt auf Hochglanz poliertes Chrom an seinem Oldtimer, der noch ganz ohne pfiffig-funktionelle Oberflächen seine Strecken meistert.

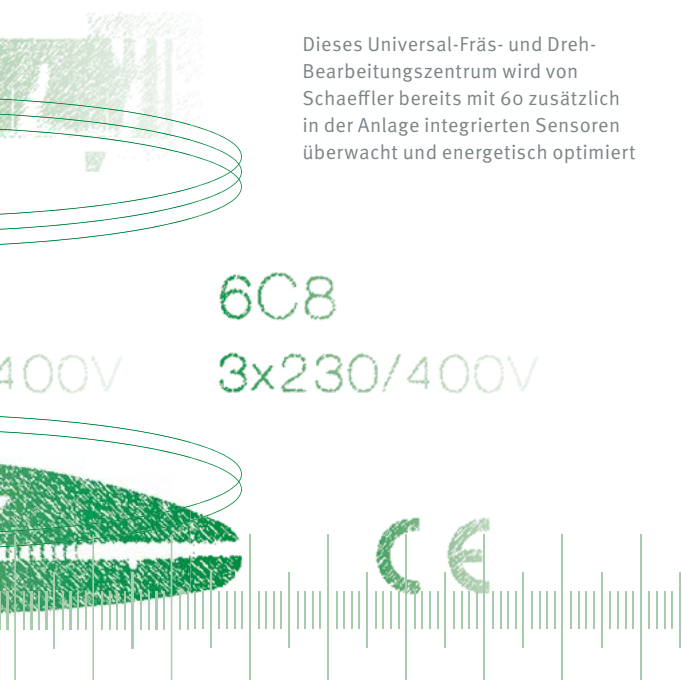


# INDUSTRIE 4.0

## ENERGIE EFFIZIENT EINSETZEN

Die Digitalisierung macht der energieintensiven Industrie Hoffnung. Denn sie kann helfen, einiges an Strom, Wärme und Kälte einzusparen. Mit Kostenvorteilen für Kunden, für sich – und gegenüber dem Wettbewerb. Schaeffler baut in mehreren Projekten an dieser Zukunftsvision – mit heute schon handfesten Ergebnissen.





Dieses Universal-Fräs- und Dreh-Bearbeitungszentrum wird von Schaeffler bereits mit 60 zusätzlich in der Anlage integrierten Sensoren überwacht und energetisch optimiert

— In der Industrie 4.0 läuft eine Maschine dann, wenn der Strom günstig ist. Wann das der Fall ist, weiß sie selbst. Sie schaltet sich automatisch ein, misst ihren Energiebedarf während der einzelnen Bearbeitungsschritte, simuliert diese für zukünftige Arbeitsgänge und bestellt daraufhin automatisch ihren Strombedarf.

Eine Zukunftsvision? Vielleicht. Aber an dieser wird heute schon gearbeitet – auch bei Schaeffler. Zunächst ein Blick auf die Chancen für die Industrie 4.0 beim Thema Energie. Die liegen – logisch – bei Einkauf und Verbrauch.

---

### ***Einkauf optimieren***

---

Zuerst zum Energieeinkauf: Die Digitalisierung bringt schon heute Geschäftsmodelle hervor, mit denen Firmen in Zukunft zeitgenau und abgestimmt auf ihre Produktion Energie beziehen können. Das betrifft übrigens alle Arten von Energie, egal ob Strom, Gas, Wärme oder Kälte. Energieintensive Firmen nutzen Einkaufsoptionen

schon heute, indem sie Mitarbeiter etwa an der Leipziger Energiebörse EEX ausbilden lassen. Die sorgen dann im Unternehmen für optimierte Energiebezüge. Laufen diese heute noch über große Handelsplätze wie Energiebörsen, so können sie in Zukunft direkt zwischen Kunden und Produzenten erfolgen. Das kann die Energiegenossenschaft sein, die im gleichen Ort ansässig ist, oder ein Windparkbetreiber im regionalen Umfeld. Rechtliche Hürden wurden in der aktuellen Fassung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) 2017 weitgehend eliminiert.

---

### ***Verbrauch reduzieren***

---

Und nun zum Energieverbrauch: Hier ist Schaeffler schon heute für seine Kunden aktiv (siehe Kasten Seite 105). Für die Energieeinsparung mittels Digitalisierung sind in der Industrie 4.0 drei sehr praxisnahe Felder vorstellbar:

Ein erstes Feld ist das Zusammenführen von sich gegenseitig ergänzenden Energieformen. Dazu zwei Beispiele: Wird in einem Unternehmen im Produktionsprozess Kälte und Wärme benötigt, kann man diesen Bedarf an Kühlung mittels Absorptionskältemaschinen durch im Prozess anfallende Wärme abdecken. Oder: Benötigt ein Bürogebäude im Sommer Kühlung und im Winter Heizung, wäre der bivalente Betrieb von Wärmepumpen sinnvoll, denn die können beides abdecken. Technisch erfolgt dies schon heute, jedoch nicht eingebunden in eine übergeordnete digitalisierte Energiestrategie eines Unternehmens in der Industrie 4.0.

Im zweiten Feld werden alle Energieverbraucher in einem Unternehmen optimal erfasst und überwacht. Es gilt: „You can't manage what you don't measure!“ Die Datenmengen, die dabei anfallen, sind immens. Menschen sind nur schwer in der Lage, diese schnell auszulesen und sinnvolle Handlungsempfehlungen abzuleiten. Deswegen ist der erste Schritt der Digitalisierung die Erfassung und Visualisierung der Daten. Das ermöglicht einen schnellen Überblick und erleichtert die Entscheidungsfindung. Diese kann zukünftig automatisiert erfolgen. Experten rechnen allein dadurch mit Energieeinsparungen von mindestens 10 bis 20 Prozent.

„Das Thema heißt lückenlose Transparenz in Energie- und Ressourcenverbrauch, idealerweise in Echtzeit“, so Roberto Henkel, bei Schaeffler Director Digitalization Operations. Der Eigenverbrauch einer Maschine etwa von Strom, Kühlschmiermittel und Druckluft bis auf die Ebene des individuellen Bauteils und einzelner Bearbeitungsschritte sei völlig transparent. Henkel nennt das „Energieausweis auf Teile- und Prozessebene“.

Im dritten Feld geht es um die energieoptimierte Abstimmung von Maschinen und Anlagen innerhalb

Dieses gläserne Exponat der Werkzeugmaschine 4.0 zeigt, an welchen Stellen Sensoren verbaut wurden



eines gesamten Unternehmens. Das kann etwa deren Betrieb zu Zeiten sein, in denen der Strom günstig ist und sich die Maschinen zudem automatisch anschalten. Es kann auch die Nutzung bedarfsgerechter An- und Abschaltzyklen bedeuten. „Mit unserem Projekt Werkzeugmaschine 4.0 zeigen wir, wie Transparenz in Energiebedarf und Energieverbrauch auf Einzelmaschinenebene technisch gelingen kann. Dennoch bildet die Sensorisierung einer einzelnen Maschine nur die Grundlage“, so Henkel. Und: „Zukünftig statten wir ganze Werkhallen mit smarter Energiemesstechnik aus. Dies umfasst dann nicht nur Maschinen, sondern auch Gebäudetechnik in einer Factory for tomorrow.“

### **Arbeiten an der „Factory for tomorrow“**

Schaeffler realisiert damit ganzheitliche Ansätze zur Energieeffizienz gesamter Fabriken. Die Vision ist die energieerzeugende Fabrik, die mehr Energie produziert, als sie verbraucht. Mit 75 Produktionsstandorten hat das Unternehmen weltweit ein riesiges Potenzial zur Energieoptimierung der eigenen Wertschöpfungsketten.

Bei der Ausrüstung von Maschinen kommen die Vorteile von Schaeffler als Komponenten- und Systemlieferant zum Tragen. Ziel der Digitalisierung in der Produktion ist die nachhaltige Verbesserung der Kennzahlen hinsichtlich Qualität, Kosten und Liefertreue. „So können wir durch transparente Benchmarks mit Blick auf den Energieverbrauch von einzelnen Maschinen,

## **» Lückenlose Transparenz in Energie- und Ressourcenverbrauch**

**Roberto Henkel, Director Digitalization Operations, Schaeffler**

verketteten Produktionslinien oder sogar gesamten Standorten Optimierungspotenziale aufzeigen und Verbesserungsprojekte initiieren“, erklärt Henkel. Wenn man etwa wisse, wie viel Energie ein Prozessschritt brauche, könne man den Energiebedarf für das Produktionsprogramm der nächsten zwei bis vier Wochen planen, dafür auf dem freien Strommarkt Energie einkaufen oder Spitzenlasten reduzieren.

Schaeffler wird das erproben. Bereits in diesem Jahr wird an einem Standort eine gesamte Produktionshalle mit Energiemesstechnik nachgerüstet. Hier erhalten bis zu 200 Anlagen und die Halleninfrastruktur smarte Energiemesstechnik und werden an die digitale Plattform von Schaeffler konnektiert. Schaeffler-Know-how und IBM-Technologie analysieren die Daten dort und verwenden sie zur ganzheitlichen energetischen Optimierung der Produktionshalle weiter. Bereits im Jahr



## SCHAEFFLER SETZT AUF DIGITALE EFFIZIENZ

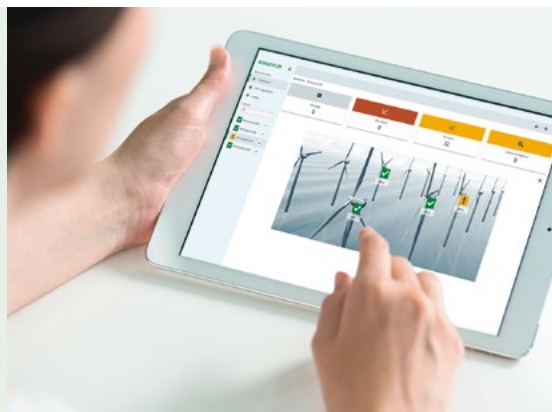
Im Bereich Energie erprobt und realisiert Schaeffler neben der Werkzeugmaschine 4.0 in weiteren Projekten, wie sich in der Industrie 4.0 Energie und somit Geld sparen lässt.

### Überwachte Windräder

Im Projekt „Predictive Maintenance“ werden zum Beispiel die Getriebe von Windturbinen überwacht und ihr Zustand vorhergesagt (Siehe auch „tomorrow“ 3/2016). Das geschieht anhand der Energieproduktion und der mechanischen Anlagendaten. Für die Auswertung sorgt das Analyseprogramm „Schaeffler Service Cloud“. Das System wird auch bei den Antrieben von Kreuzfahrtschiffen eingesetzt.

### Antriebsstrang für Formel E

Schaeffler entwickelte einen Antriebsstrang für die FIA Formula E. Der ABT Schaeffler MGU 01+ ist ein kompletter Elektromotor mit Leistungselektronik. Sie sorgt für einen optimierten Energieverbrauch. Denn nichts wäre peinlicher als ein Formel-E-Auto, dem zu früh der Saft ausgeht.



2019 soll dies in der ersten „Factory for tomorrow“ zur Optimierung eines gesamten Schaeffler-Standortes zum Einsatz kommen.

Ein Szenario könnte so aussehen: Ganze Anlagen und Linien „schlafen“ in nichtproduktiven Phasen, bis ein nächster Auftrag zum Warmlaufen der Anlage führt. Das, so Henkel, sei nicht unrealistisch, sondern vergleichbar mit einem Drucker im Standby-Betrieb in einem Netzwerk, der durch eine Information von außen in den Betriebsmodus zurückversetzt wird.

Die Maschine, die sich bei günstigen Tarifen selbst einschaltet, oder der autonome Maschinenverbund, der sich anhand der Energiepreise und der Auftragsreihenfolge selbst optimiert, sind aktuell noch nicht das primäre Ziel. Henkel: „Solche Visionen brauchen ihre Zeit. Doch die kommt.“



## DER AUTOR

**Frank Urbansky** ist studierter Journalist, war jahrelang in Kommunikationsagenturen tätig und betreute vorrangig Kunden aus der Energiewirtschaft.

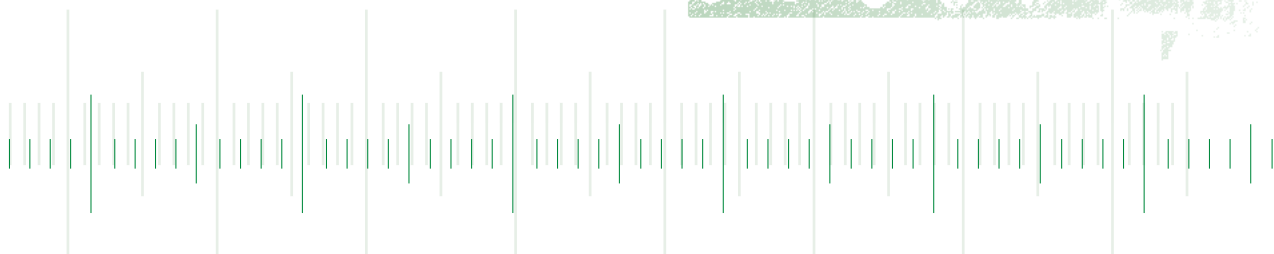
Mit diesem Know-how arbeitet er seit 2014 als freier Journalist und Fachautor und gründete den tagesaktuellen Blog EnWiPo. Seine Schwerpunkte sind die Energiewirtschaft 4.0, der Wärmemarkt, energieeffizientes Bauen, erneuerbare Energien, alternative Antriebe sowie die Öl- und Gasmärkte. Er ist Mitglied des Netzwerkes der Energieblogger.

[enwipo.de](http://enwipo.de)

[energieblogger.net](http://energieblogger.net)

Drehstromzähler

0 0 3 8 0



# IMPRESSUM

## Herausgeber

Schaeffler AG  
Industriestraße 1–3  
D-91074 Herzogenaurach  
www.schaeffler.com

## Kommunikation und Marketing

Christoph Beumelburg (Leitung)  
Jörg Walz (Automotive)

## Konzeption

Jörg Walz (Schaeffler)  
Thomas Voigt (Speedpool)

## Chefredaktion

Jörg Walz (v. i. S. d. P.)

## Redaktionsleitung

Volker Paulun, Stefan Pajung (Stv.)

## Koordination

Carina Chowanek,  
Anke von Lübken, Julia Schneider

## Druckvorstufe

Julien Gradtko, Karolina Krywald,  
Mathias Mayer

## Druck

Blattwerk Hannover GmbH

## Autoren

Thomas Arndt, Wiebke Brauer, Denis Dilba, Kay Dohnke, Claus Gorgs,  
Christian Heinrich, Lars Krone, Volker Kühn, Jan Oliver Löffken,  
Roland Löwisch, Carsten Paulun, Torben Schröder, Michael Specht,  
Wolfgang Stegers, Frank Urbansky, Alexander von Wegner

## Technische Beratung

Michael Krüger

## Redaktion und Produktion

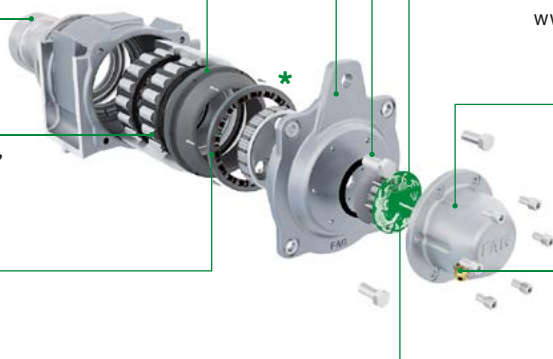
Speedpool GmbH  
www.speedpool.com

## Schlussredaktion

David Feist,  
Volker Hummel,  
Christoph Kirchner

## Grafik

Manuela Mrohs (Ltg.),  
Gökhan Agkurt, Gertje  
Dixius-Klack, Jana Herbst,  
Janina Roll, Mariessa Rose,  
Thomas Wildelau



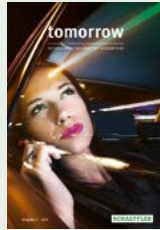
## Fotos

Titel: BlackJack 3D/Getty; S. 3: Schaeffler; S. 4/5: Fredric Alm/LKAB, Getty, RCCO, Getty; S. 6/7: Fredric Alm/LKAB;  
S. 8: EnerKite, Wikipedia; S. 9: ABT Sportsline, colourbox.de; S. 10: colourbox.de, STR/AFP/Getty; S. 11: Wikipedia,  
colourbox.de (2); S. 12: Maxim Kazmin/Fotolia, centennialbulb.org, NASA; S. 13: colourbox.de; S. 14–18: Getty;  
S. 19: Landsvirkjun; S. 20–23: Getty; S. 24–28: Drafter123/Getty; S. 29: Schaeffler; S. 30: Artur Debat/Getty;  
S. 31: Volvo, Tobias Ohls/Scania; S. 32: Alstom; S. 33: Bloomberg/Getty, Daan Roosegaarde; S. 34: Yomiuri Shimbun/AFP/  
Getty; S. 35: jghphoto.com/Getty; S. 36: Joshua/Fotolia; S. 37: Insights/Getty, Bay Ismoyo/AFP/Getty; S. 38: Paul Nicklen/  
Getty; S. 39: Schaeffler; S. 40/41: Getty; S. 42–47: Manuela Mrohs (Illustrationen); Wikipedia (Fotos Zeitleiste);  
S. 48–51: Schaeffler; S. 52–57: Jörg Walz; S. 58/59: Harold Cunningham/Getty; S. 60: Getty, Porsche; S. 62: Ford, Renault;  
S. 63: Chrysler, Porsche; S. 64/65: Porsche; S. 66: Michael Kunkel; S. 67: Panoz, Nissan, Bodo Kräling; S. 68/69: RCCO;  
S. 70/71: Carlos Fernandez/Getty; S. 72: Andrzej Wojicki/Getty; S. 73: Fabrice Coffrini/AFP/Getty, Getty; S. 74/75: Schaeffler;  
S. 76–80: Volker Kühn; S. 81: Schaeffler; S. 82/83: Thomas M. Barwick/Getty, Michael Gottschalk/Getty; S. 84: Privat;  
S. 85: Schaeffler; S. 86/87: Getty; S. 88/89: Macrovector/Freepik; S. 91: Universität Duisburg-Essen; S. 93: Fraunhofer-  
Institut, Hochtief (2); S. 94–96: Gökhan Agkurt (Illustrationen), Shell, Schaeffler; S. 98: Pacific Press/Getty,  
Dr. Wolf Fahrenbach/Getty; S. 99/100: Schaeffler (2); S. 102: Rui Camilo; S. 104–105: Schaeffler (3)



# tomorrow

Alle bisher erschienenen Ausgaben



01/2015  
**Mobilität  
für morgen**



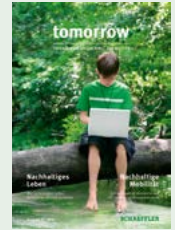
02/2015  
**Produktivität**



03/2015  
**Unterwegs**



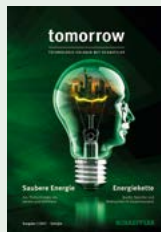
01/2016  
**Innovationen**



02/2016  
**Nachhaltigkeit**



03/2016  
**Digitalisierung**



01/2017  
**Energie**

Wir nehmen Sie gern in den Verteiler für das Magazin auf: [tomorrow@schaeffler.com](mailto:tomorrow@schaeffler.com)

## tomorrow

im Internet



**tomorrow** als digitales Magazin mit  
zusätzlichen Features  
[www.schaeffler-tomorrow.de](http://www.schaeffler-tomorrow.de)



**tomorrow** zum Herunterladen  
als E-Paper oder PDF  
[www.schaeffler.de/tomorrow](http://www.schaeffler.de/tomorrow)

## tomorrow

wurde ausgezeichnet



**Silver Winner**  
Kategorie  
„Custom Publications /  
Corporations: Technology“



**Shortlist**  
Kategorie  
„B2B: Industrie  
Technologie /Automobil“



**Special Mention**  
Excellent  
Communications Design  
Editorial



**WEB-WELTEN**

*Energie- & Umwelttechnik  
sowie weitere Megatrends  
finden Sie auf  
[schaeffler.com](http://schaeffler.com)*