

tomorrow



TECHNOLOGIE ERLEBEN MIT SCHAEFFLER

Maschinen mit IQ

Fabriken der Zukunft, Nanobots,
künstliche Intelligenz, Big Data

Wegbereiter

Von Asphaltierer bis Tunnelbohrer: schwere
Geräte im Dienst der Mobilität für morgen

Ma|schi|ne, die; - [ma'fi:n]

Mit einem Antriebssystem ausgestattete oder dafür vorgesehene Gesamtheit miteinander verbundener Teile oder Vorrichtungen, von denen mindestens eine(s) beweglich ist und die für eine bestimmte Anwendung zusammengefügt sind.

Quelle: Nummer 3.1 der Norm EN ISO 12100/2010



LIEBE LESERIN, LIEBER LESER,

in Wimbledon retournieren Tennisspieler und -spielerinnen Bälle „wie Maschinen“. Marathonläufer rennen Kilometer für Kilometer „wie Maschinen“. Diese Vergleiche deuten an, welche positiven Eigenschaften wir Maschinen zuschreiben: Sie agieren präzise, schnell, ausdauernd, zuverlässig. Die logische Konsequenz: Maschinen sind nicht nur bei Schaeffler unentbehrliche Akteure, sondern in fast allen Bereichen des Lebens substanziiell verankert. Auch in der aktuellen Ausgabe unseres Technologiemagazins „tomorrow“, in der ich Sie mit diesen Zeilen herzlich willkommen heiße, sind Maschinen die Hauptdarsteller.

Obwohl ein jeder von uns mit Sicherheit schon einmal mit der einen oder anderen Unzulänglichkeit der Technik gehadert hat – was wäre der berufliche und private Alltag ohne Maschinen? Beispielsweise ohne Wasch- und Spülmaschine? Zumindest beschwerlich. Ein weiteres Beispiel: Wo wären die Kultur- und Nachrichtenbranche ohne die Erfindung der Druckmaschine? Gutenbergs Meisterstück ist nur einer von vielen technischen Meilensteinen, die den Fortschritt entscheidend geprägt haben – mit Auswirkungen bis in die heutige Zeit. Weitere Beispiele mit derart wegweisender Bedeutung finden Sie ab Seite 56.

Auch die Mobilität wäre eine andere ohne Maschinen. Dabei sollten Sie nicht nur an Fahrzeuge denken, denen Sie in unterschiedlichster Art an mehreren Stellen in diesem Heft begegnen werden. Es gibt ja auch noch jene unzähligen Maschinen, die Fortbewegungsmittel herstellen. Oder solche, die Wege ebnen. Mehr dazu ab Seite 14.

Dass Maschinen andere Maschinen bauen, ist längst Industrielltag. Allerdings: mit dem Menschen als Regisseur. Er hält die Fäden in der Hand. Aber wie lange noch? Denn Maschinen agieren immer autarker, vernetzen sich in zunehmendem Maße untereinander. Ab Seite 86 blickt „tomorrow“ in die Fabrikhallen von morgen. Wer hingegen Nanobots beim Arbeiten zuschauen möchte, darf nicht in Fabriken suchen. Diese kleinsten Maschinchen sind so winzig, dass sie nur unter dem Mikroskop zu entdecken sind. Aller Winzigkeit zum Trotz: Ihr Potenzial, die Welt zu verändern, ist enorm, wie Sie ab Seite 102 erfahren können.



Wie uns innovative Technik beflügelt, das zeigt unser 50-km/h-Zweirad-Vergleich ab Seite 36. Moderne Pedelecs stoßen in Geschwindigkeitsbereiche vor, die vor 100 Jahren noch Motorrädern vorbehalten waren. Dabei sind die Elektrowelos so einfach zu handhaben wie normale Fahrräder – eine smarte und umweltfreundliche Mobilitätslösung für morgen, die schon heute erlebbar ist.

Selbst bei der Entwicklung und Gestaltung von Industriegütern kommt es schon lange nicht mehr nur auf die inneren Werte an. Warum Form und Funktion idealerweise zu einer Einheit verschmelzen, das erklärt „tomorrow“ ab Seite 64. Schließlich wusste schon Johann Wolfgang von Goethe: „Schönheit ist überall ein gar willkommener Gast.“ Also auch in einer Fabrikhalle. Oder in einem Motorraum. Wahre Meisterstücke der Aggregate-Baukunst sind ab Seite 42 ausgestellt.

Wir freuen uns, dass Sie sich die Zeit nehmen, mit unserem Magazin „tomorrow“ in facettenreiche Technikwelten einzutauchen. Viel Freude dabei.

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 „Maschinen“

14

FREIE BAHN

Maschinen ebnen Wege – sie bauen Brücken, asphaltieren Straßen, graben Tunnel

22

MISSION TITELVERTEIDIGUNG

Alles zur **neuen Formel-E-Saison** und dem Team Audi Sport ABT Schaeffler

28

BEAM ME UP!

Es gibt **Maschinen, die sind ganz und gar unmöglich**. An einigen „fast unmöglichen“ wird gearbeitet

32

HEUTE HIER, MORGEN DORT

So verlegt Schaeffler eine **80 Meter lange Produktionslinie** von Deutschland nach China



in bewegung

Innovationen im Laufe der Zeit

36

RELATIV SCHNELL

Früher brauchte es für **50 km/h ein Motorrad**, heute reicht ein **Pedelec** – ein Generationen-Vergleich

42

MASCHINEN(T)RÄUME

Wo einst **Motoren unter der Haube** blitzten, haben sich **Plastiklandschaften** breitgemacht

52

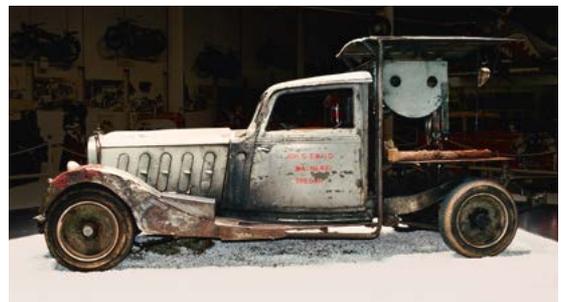
ALLER ANFANG IST SCHWER

So wird aus einer Idee eine **technische Erfolgsgeschichte**

56

MOTOREN DES FORTSCHRITTS

Von Kompass bis 3-D-Drucker – **Zwölf Maschinen, die die Welt verändert** haben



jetzt-zeit

Leben mit dem Fortschritt

64 SCHÖNER ARBEITEN
Viele Jahre waren **Maschinen in der Fabrik** vor allem funktionell – heute dürfen sie auch gut aussehen

68 TECHNIK ENTBLÄTTERT
Dem **Manteltriebwerk eines Airbus A350** unter die Verkleidung geschaut

74 FELDVERSUCHE
Wie viel **Industrialisierung tut der Landwirtschaft** gut? Ein Besuch auf zwei brasilianischen Farmen

80 ALLES (K)EINE FRAGE DES GESCHLECHTS
Frauen können sich genauso für Technik begeistern wie Männer. Ausrufezeichen. Oder Fragezeichen?

ausblick

Technik für morgen

86 SCHICHTWECHSEL
Nicht nur Schaeffler steht mit seiner „**Fabrik für die Zukunft**“ in den Startlöchern

92 ALLE ROBOTER AN DECK!
Dank **autonom fahrender Schiffe** können Kapitäne bald an Land bleiben

96 WELL-TO-WHEEL
Lieferanten und Verbraucher: **Maschinen** sind Hauptdarsteller in einer **nachhaltigen Energiekette**

102 DIE KRAFT DES WINZIGEN
Nanomaschinen stoßen Forschern, Ingenieuren und Medizinern Tore zu neuen Welten auf

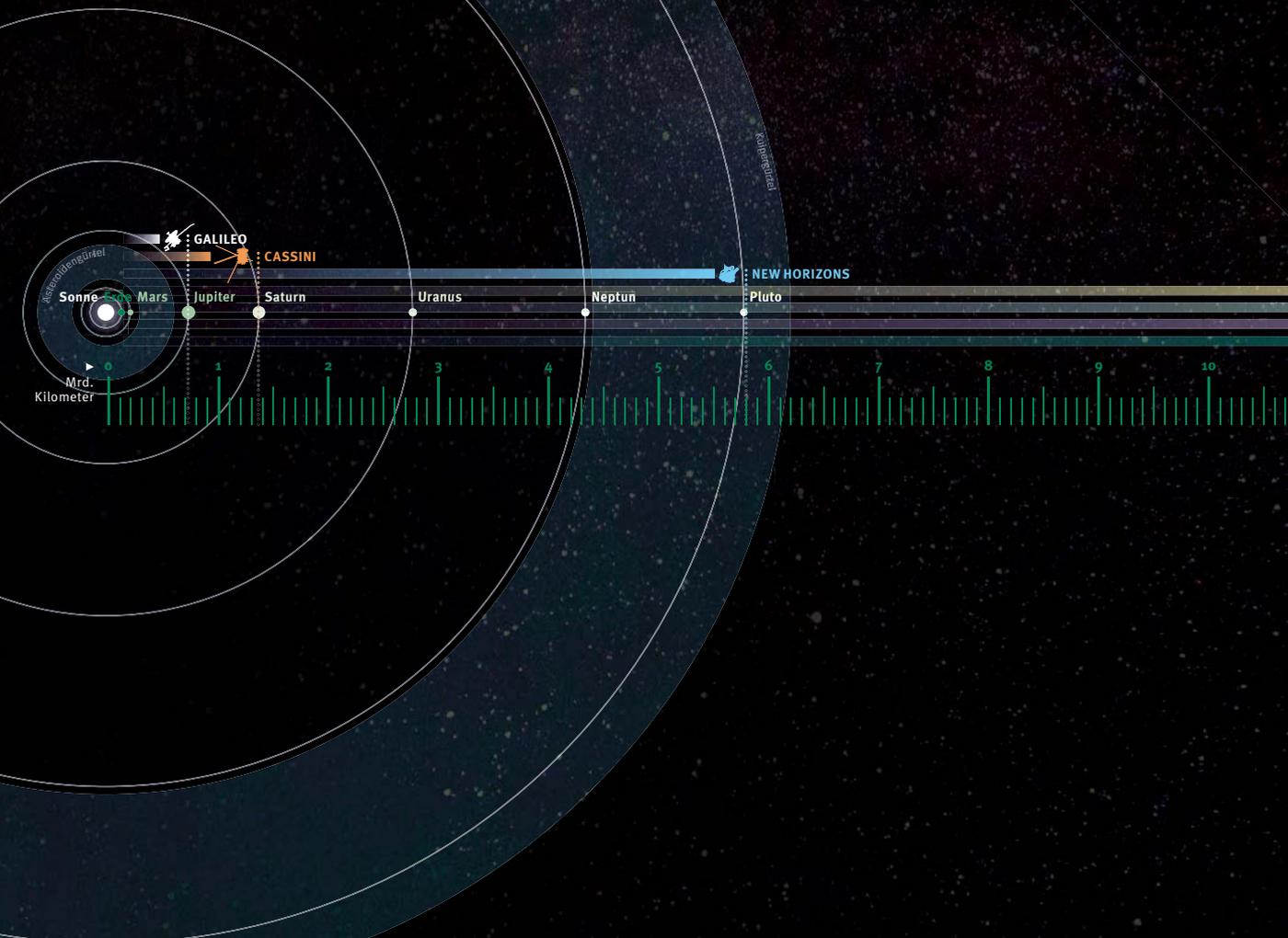
106 IMPRESSUM



DER WELTRAUM, UNENDLICHE WEITEN

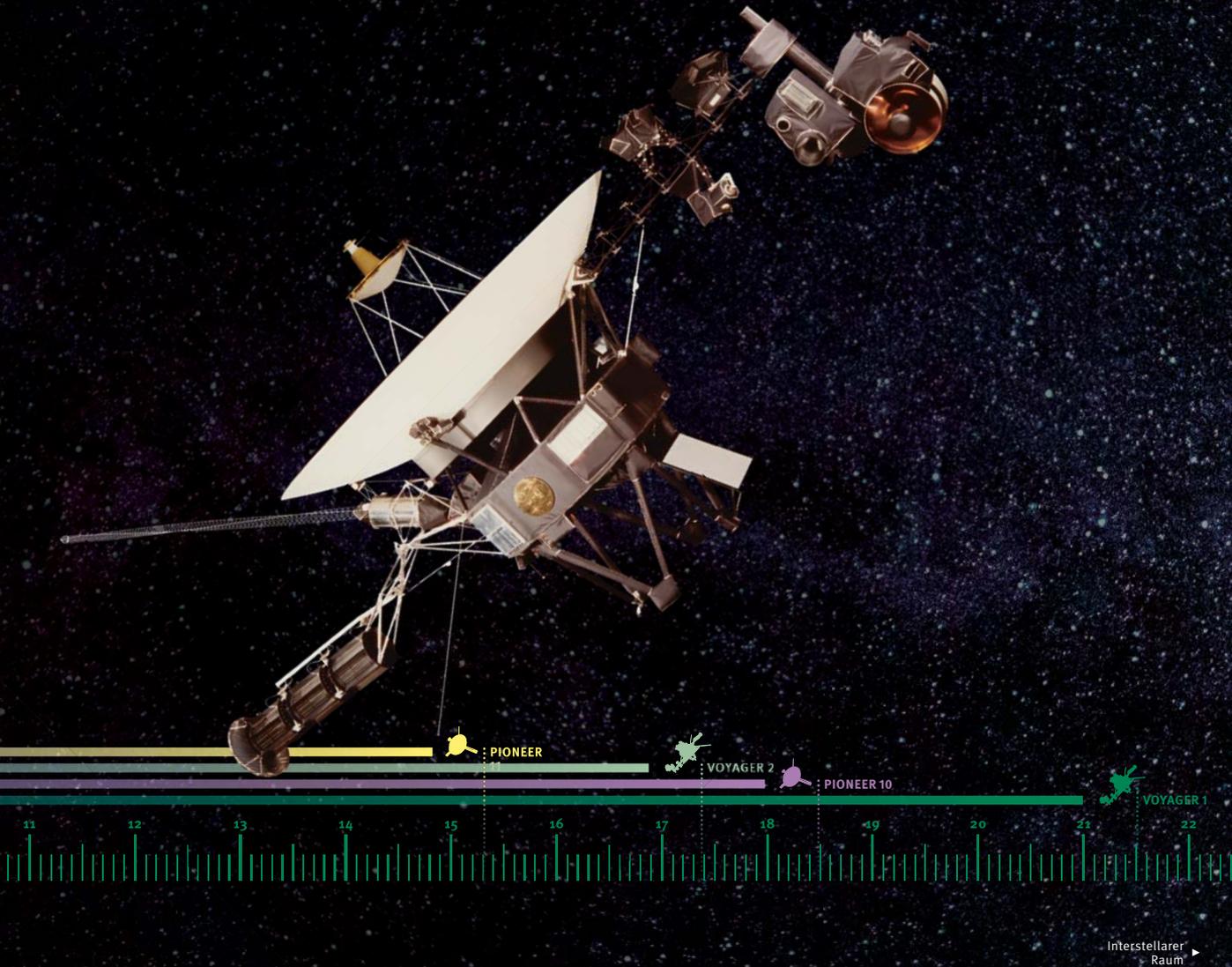
— Maschinen sind Teil unseres Lebens – auch außerhalb unseres Lebensraums. Die von der Erde am weitesten entfernte Maschine ist die Raumsonde Voyager 1. Seit ihrem Start am 5. September 1977 hat Voyager 1 über 21 Milliarden Kilometer zurückgelegt, jedes Jahr wächst die Entfernung um weitere 540 Millionen Kilometer. Bei ihrem Flug wurde die 825,5 Kilogramm schwere Maschine durch die Gravitationskraft von Jupiter und Saturn auf bis zu 62.140 km/h beschleunigt und an den Rand unseres Sonnensystems geschleudert. Sie hat inzwischen den interstellaren Raum erreicht. Voyager 1 ist nun so weit von der Erde entfernt, dass die Übertragung eines Steuerungssignals 19 Stunden und

32 Minuten braucht – trotz Lichtgeschwindigkeit der Datenübertragung. Die Energieversorgung der wissenschaftlichen Instrumente, der Navigation und der Kommunikation übernehmen drei Radionuklidbatterien, die aus dem Zerfall von radioaktivem Material Strom erzeugen. Bis etwa 2025 werden die Batterien noch genügend Strom liefern, bevor die letzten Instrumente und Kommunikationssysteme abgeschaltet werden müssen. Von den ursprünglich elf wissenschaftlichen Instrumenten sind drei zur Erforschung von Magnetfeldern, elektrisch geladenen Teilchen und dem Sonnenwind aktiv. Fünf Systeme wurde abgeschaltet, zwei sind defekt, eines stark beschädigt.



global

Blick in die Welt



» Bei der Eroberung des Weltraums sind zwei Probleme zu lösen: die Schwerkraft und der Papierkrieg. Mit der Schwerkraft wären wir fertiggeworden

Wernher von Braun
auf die Frage, warum die UdSSR vor den USA im All war

360° MASCHINEN

Zahlen, Fakten, Kurioses – ein Rundumblick auf die Welt der Maschinen.

— von Carsten Paulun

UNGEWÖHNLICHE ZEITMASCHINE

Seit 1864 tickt die nach ihrem Erfinder benannte Beverly-Uhr in der Physikfakultät der Otago-Universität in Dunedin, Neuseeland – ohne je einmal aufgezogen oder mit Strom versorgt worden zu sein. Nur die sich ausdehnende oder zusammenziehende Luft erzeugt über eine Membran Bewegungsenergie.

OHNE GRIECHEN KEINE „MASCHINE“

DAS WORT „MASCHINE“ HAT SEINEN URSPRUNG IN DEN ALTGRIECHISCHEN BEGRIFFEN „MĒCHANĒ“ („WERKZEUG, KÜNSTLICHE VORRICHTUNG“) UND „MECHOS“ („MITTEL“, „HILFSMITTEL“). IN VIELEN SPRACHEN LÄSST SICH DIESE WORTHERKUNFT ERKENNEN:

AFRIKAANS: MASJIE

ALBANISCH: MAKINË

BULGARISCH/RUSSISCH: MASHINA

DÄNISCH: MASKINE

ENGLISCH: MACHINE

FRANZÖSISCH: MACHINE

ITALIENISCH: MACCHINA

POLNISCH: MASZYNA

PORTUGIESISCH/SPANISCH: MÁQUINA

TÜRKISCH: MAKINE

2.224,558

RENNKILOMETER HABEN DIE BEIDEN VON SCHAEFFLER UNTERSTÜTZTEN FORMEL-E-RENNWAGEN IN DER SAISON 2017 ZURÜCKGELEGT. MEHR ZUR SCHAEFFLER-MISSION TITELVERTEIDIGUNG IN DER FORMEL E AUF SEITE 22.

70 Prozent

der Deutschen befürchten, dass Computer und Roboter ihnen den Job wegnehmen. In den USA sind es noch mehr: 72 %. **Die Österreicher haben diesbezüglich weniger Sorgen.** Hier sind es nur 18 %.

E-GIGANT

Dieser Muldenkipper wird das größte Elektroauto der Welt: 45 Tonnen Leergewicht, 65 Tonnen Zuladung – und ein Akkupaket mit 700 kWh Speicherkapazität. Das ist so viel wie acht Exemplare des Tesla Model S. Der Fahrer erreicht seinen Arbeitsplatz über neun Treppenstufen; die Reifen des E-Mobils haben einen Durchmesser von knapp zwei Metern. Der elektrisch angetriebene Komatsu HD 605-7 soll 20-mal täglich Material zu Tal befördern – von einem Steinbruch an den Hängen des schweizerischen Chasserals in ein Zementwerk nahe Biel.



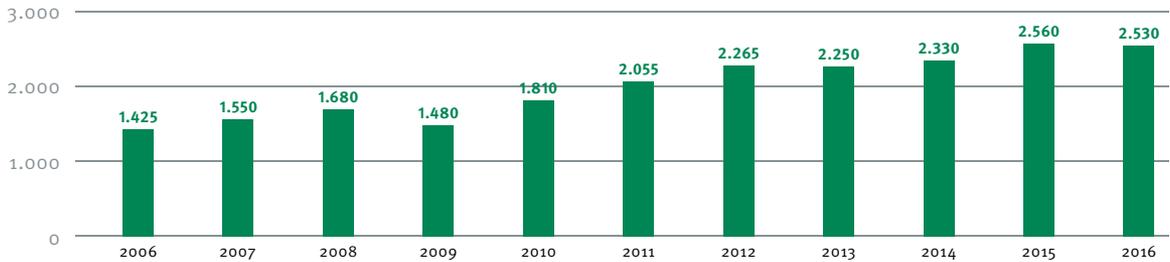
EINE SEILBAHN – DREI WELTREKORDE

Nach sechs Jahren Planung und Bauzeit erklimmt eine neue Seilbahn die Zugspitze, mit 2.962 Metern Deutschlands höchster Berg. Die Fahr-Maschine stellt drei Weltrekorde auf. Die verlasteten Kabinen passieren die mit 127 Meter weltweit höchste Stahlstütze für Pendelbahnen, überwinden den größten Höhenunterschied von 1.945 Metern in einer Sektion sowie das längste freie Spannfeld mit 3.213 Metern. Panoramablick auf den Eibsee, die Waxensteine und die Alpstizze inklusive!

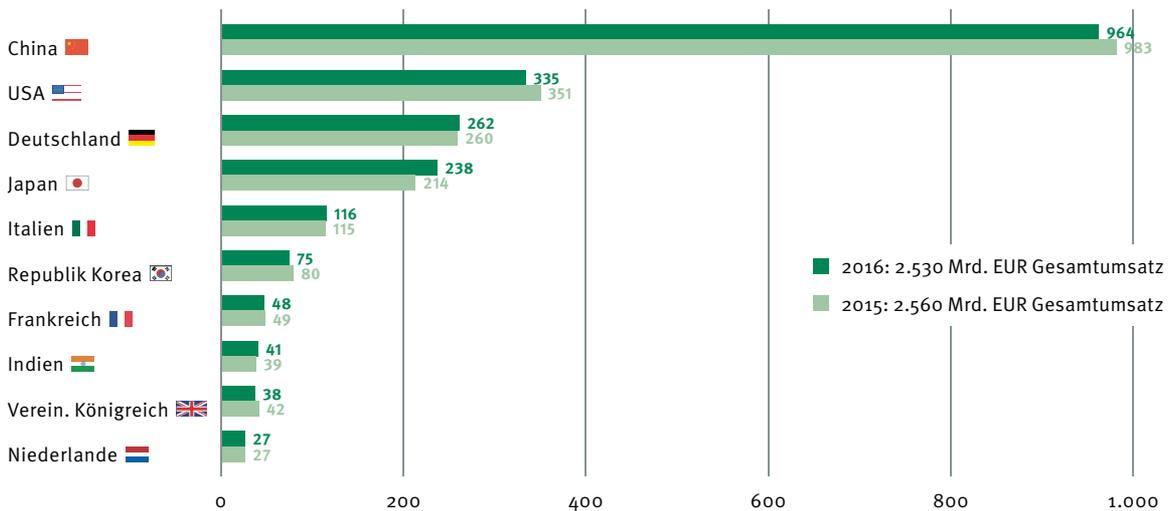


WELTMASCHINENUMSATZ

WELTWEIT¹ Mrd. EUR, geschätzt



TOP-10-LÄNDER-RANKING² Mrd. EUR, teilweise geschätzt



¹ Quelle: VDMA-Schätzungen

² Quelle: VDMA-Schätzungen auf Basis nationaler Statistiken

BRAUNKOHLEBAGGER

Die riesigen Schaufelbagger im Braunkohleabbau sind die schwersten fahrbaren Maschinen der Welt. Der größte davon heißt schlicht „Bagger 293“, ist 96 Meter hoch, 57 Meter breit, 22 Meter lang, wiegt 14.200 Tonnen und frisst sich durch den Tagebau Hambach bei Köln. Mit seinen 18 jeweils 6,3 m³ großen Schaufeln baut er 240.000 Tonnen Kohle und Abraum ab – pro Tag! Die Höchstgeschwindigkeit beträgt selbst bei Überführungsfahrten nur 0,6 km/h.



FANTASTISCHE MASCHINEN

Im französischen Nantes verschmelzen Maschinen auf der einen sowie Flora und Fauna auf der anderen Seite zu einer wahrhaft fantastischen Einheit. Jules Verne lässt grüßen. Im Park „Les Machines“ erwachen die mechanischen Fabelwesen aus Stahl und Holz zum Leben. Schildkröten, Kraken, Insekten. Das spektakulärste Geschöpf ist ein 48-Tonnen-Elefant. Das zwölf Meter hohe Metallrahmen-Geschöpf wird durch einen 450-PS-Motor, 2.000 Liter Hydrauliköl sowie 62 hydraulische und pneumatische Zylinder zum Leben erweckt. Die Skelett-Mechanik erlaubt immerhin einen langsamen Trott mit bis zu 3 km/h.

 lesmachines-nantes.fr



SEINER ZEIT VORAUSS

IM JAHR 1900 ENTDECKTEN GRIECHISCHE SCHWAMMTAUCHER IN EINEM SCHIFFSWRACK EINE APPARATUR, DIE DIE FACHWELT VERBLÜFFTE. DER AUF ETWA 100 V. CHR. DATIERTE „MECHANISMUS VON ANTIKYTHERA“ WAR EINE TECHNISCH SO ANSPRUCHSVOLLE ASTRONOMISCHE UHR, WIE SIE SELBST TÜFTLER IN DER RENAISSANCE 1.500 JAHRE SPÄTER SCHWERLICH KONSTRUIEREN KONNTEN. WISSENSCHAFTSHISTORIKER DEREK DE SOLLA PRICE HÄLT DEN SCHUHKARTONGROSSEN MECHANISMUS GAR FÜR DEN ERSTEN COMPUTER DER MENSCHHEIT.

1,5 MILLIARDEN

Messdaten zeichnen die Prüfstände des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt in Lampoldshausen auf – pro Sekunde. Hier werden Raketentriebwerke unter extraterrestrischen Bedingungen (zum Beispiel Druck, Temperaturen) getestet.



DOPPELT HANTIERT BESSER

DER SCHWEIZER KONZERN ABB HAT MIT YUMI (STEHT FÜR „YOU AND ME“) EINEN ZWEIARM-ROBOTER ENTWICKELT, DER PLATZSPARENDER UND VIELSEITIGER EINSATZBAR SEIN SOLL ALS KLASSISCHE EINARMROBOTER. WIE GUT ER FUNKTIONIERT, HAT YUMI UNLÄNGST IN UNGEWONTER UMGEBUNG IM TEATRO VERDI IN PISA GEZEIGT. DORT DIRIGIERTE ER DAS LUCCA PHILHARMONIC ORCHESTRA DURCH „LA DONNA È MOBILE“, DER BEKANNTEN ARIE AUS VERDIS „RIGOLETTO“.





WIE SPIELZEUG-MÄNNCHEN ...

... sehen die Arbeiter auf diesem Foto aus. 500 Tonnen Gewicht, 19 Meter Länge, 7,25 Meter im Säulenabstand und 7,3 Meter in der Höhe – das sind die beeindruckenden Zahlen zu dieser weltweit schwersten Fräsmaschine, die auch noch energiesparend arbeitet: Sie verfügt über Rollenumlaufeinheiten und reduziert somit Verbrauch und Kosten. Eine verbesserte Energie-

effizienz bringt sie außerdem durch einen geringeren Konstruktionsaufwand auch noch mit. Da hat sich SORALUCE, ein etablierter Konstrukteur und Hersteller von Fräs-, Bohr- und Vertikaldrehmaschinen, mit Schaeffler genau den richtigen Partner ausgesucht. Denn Schaeffler Iberia liefert die Rollenumlaufeinheit für diese riesige Maschine.

LEONARDO DA VINCI

Das italienische Genie lebte von 1452 bis 1519, Maler, Bildhauer, Architekt, Anatom, Naturphilosoph – und Erfinder! Diese Maschinen sind ihm zuzuordnen:

UNENDLICHKEITSMASCHINE
 SEGELFLUGGERÄT
 MUSKELBETRIEBENER SCHWINGENFLÜGLER
 GLEITSCHIRM
 SCHNELLFEUERGESCHÜTZ
 STROMLINIENFÖRMIGE GESCHOSSE
 TAUCHERGLOCKE
 TAUCHERSCHNORCHEL
 PANZERWAGEN
 HAUBITZE
 U-BOOT
 KUGELSICHERE WESTE
 AUTOMOBIL
 UHRWERK
 HYDRAULISCHE MASCHINEN
 SCHÖPFRAD
 HEBELMECHANISMEN
 KUGELLAGER
 WEBMASCHINE
 MUSIKINSTRUMENTE



GLEITEN AUF DEM MAGNETTEPPICH ARRIVO, ERSONNEN VON EINEM EHEMALIGEN HYPERLOOP-ENTWICKLER, WILL DEN URBANEN UND INTERURBANEN VERKEHR REVOLUTIONIEREN – MIT VIELSEITIG BESTÜCKBAREN SCHLITTEN, DIE AUF PARALLEL ZU VORHANDENEN SCHNELLSTRASSEN GEBAUTEN MAGNETSPUREN GLEITEN. JON HICKENLOOPER, GOUVERNEUR DES US-BUNDESSTAATES COLORADO, WILL DIE ARRIVO-MAGNETSCHLITTEN AB 2020 IN DENVER EINSETZEN.

ARRIVO-LOOP.COM

BIO-ROBOTER ALS EVOLUTIONSRETTER

Bei Bio-Robotern, auch BioBots genannt, orientieren sich die Entwickler an der Natur. Dabei schaffen sie beispielsweise künstliche Libellen, die in Katastrophengebieten nach Überlebenden suchen können. **BioBots können auch Funktionen vertriebener oder ausgestorbener Spezies übernehmen.** Zum Beispiel die Bestäubungsarbeit der Bienen, wenn deren globales Sterben weitergehen sollte. Ein durchaus lukratives Feld, denn der volkswirtschaftliche Wert der Bestäubungsarbeit der fleißigen Flieger wird weltweit auf bis zu gewaltigen 300 Milliarden Dollar geschätzt.



IRREN IST MENSCHLICH

» Ich denke, dass es einen Weltmarkt für vielleicht fünf Computer gibt

Harold Watson, CEO von IBM, 1946

» Die weltweite Nachfrage nach Kraftfahrzeugen wird eine Million nicht überschreiten – schon aus Mangel an Chauffeuren

Gottlieb Daimler, Konstrukteur, 1901

» Das Fernsehen wird sich auf keinem Markt, den es erobert hat, länger als sechs Monate halten

Darryl Zanuck, Drehbuchautor, Produzent und Regisseur, 1946

MASCHINEN FÜR DIE MOBILITÄT

Unser Bedürfnis nach Mobilität wächst immer mehr. Um dem gerecht zu werden, setzen wir immer intelligentere und manches Mal auch gewaltigere Maschinen ein. Damit diese effizient und störungsfrei ihrer oft knochenharten Arbeit nachgehen können, müssen alle Bauteile – so auch die weltweit eingesetzten Wälz- und Gleitlager von Schaeffler – Höchstleistungen abliefern.

— von Carsten Paulun

DER SCHIENENLEGER

Gigantische 650 Tonnen schwer und unglaubliche 177 Meter lang – hinter dem unscheinbaren Kürzel RU 800 S steckt ein echtes Multitalent. Der Gleisbau-Gigant erneuert in einem Arbeitsgang komplette Gleisanlagen mitsamt Schotterbett, Schwellen und Schienen. Vorn spreizt der Koloss die alten Schienen auseinander, nimmt Schwellen und Schotterbett auf. Der Schotter gelangt über Förderbänder zu einer Siebanlage, die ihn reinigt. Während der RU 800 S weiterfährt, glättet er den Untergrund, trägt den gereinigten Schotter als Unterschotter auf und verdichtet ihn. Zeitgleich werden die neuen Schwellen verlegt, mit neuem Schotter verfüllt und im Anschluss die neuen Schienen verlegt, auf denen der Arbeitszug bereits wieder fahren kann. In einer 10-Stunden-Schicht schafft der RU 800 S so knapp 2.000 Meter Gleis.



SCHAEFFLER-TECHNIK SPART ZEIT UND GELD

Eine Tunnelbohrmaschine fräst sich 2012 durch Island. Bei der anschließenden Revision müsste eigentlich das eigens angefertigte Hauptlager ausgetauscht werden. Lieferzeit: ca. zwei Jahre. Die Experten von Schaeffler setzen daher auf umfangreiche Aufbereitung des gewaltigen Lagers mit 5,2 Meter Durchmesser. Dauer: acht Wochen. Durch die Maßnahme spart Schaeffler seinem Kunden, der Robbins GmbH, 60 Prozent Kosten gegenüber einem Neuteil ein und ermöglicht den rechtzeitigen Einsatz bei einem Tunnelprojekt in China.

DER TUNNELGRABER



Sie wühlen sich durch Erde, fräsen sich durch Felsen und knacken mühelos Beton: Tunnelbohrer – von Menschen geschaffene Hightech-Maulwürfe. Ganze 17 Jahre knabberten sich diese unterirdischen Giganten beispielweise durch die Schweizer Alpen und schufen unterm Gotthardmassiv die beiden Röhren des mit 57 Kilometer längsten Eisenbahntunnels der Welt. Tunnelbohrer messen bis zu 20 Meter im Durchmesser, sind bis zu 400 Meter lang und kosten zwischen 30 und 100 Millionen Euro pro Stück. In

den meisten Fällen sind sie Universalmaschinen, die bohren, das abgebaute Material über Förderbänder nach hinten transportieren und auch gleich das Tunnelgewölbe mit Stahlplatten und Spritzbeton verkleiden. Viele Tunnelbohrer werden speziell nur für den einen Tunnel gebaut und nach oft jahrelanger Arbeit in der Regel noch vor Ort verschrottet. Sind die Maschinen nur kurz im Einsatz, werden sie zerlegt und aufwendig generalüberholt.



DER ASPHALTIERER

Der Asphaltfertiger Super 3000-2 des deutschen Spezialisten Vögele ist Weltspitze. Die einzigartige Maschine hinterlässt in einem Arbeitsgang eine bis zu 16 Meter breite Asphaltdecke – und das völlig nahtfrei. Das reicht für eine dreistreifige Autobahn inklusive Abbiegespur und Randstreifen. Auch die mögliche Tragschichtdicke von einem halben Meter ist beeindruckend. Gleiches gilt für die Arbeitsgeschwindigkeit des Super 3000-2: Er asphaltiert bis zu 24 laufende Meter pro Minute. Und wie es sich für einen richtigen Giganten gehört, will der Super 3000-2 kräftig gefüttert werden. Bis zu 1.600 Tonnen Asphalt-Mischgut verschlingt er – pro Stunde. Das entspricht der Ladung von mehr als 20 Lkw. Vor dem Asphaltierer fährt ein sogenannter Beschicker, der das Mischgut von den Lkw aufnimmt und den Super 3000-2 mit einer immer gleichmäßig temperierten homogenen Masse versorgt. Die Lkw fahren rückwärts im Drei-Minuten-Takt an den Beschicker heran und kippen in dessen Auffangbehälter das aufgeladene Mischgut. Das alles geschieht, während sich das Gespann aus Asphaltierer und Beschicker vorwärts bewegt.



DER BRÜCKENBAUER

In China ist alles ein bisschen größer. Und manches Mal auch kurioser: Um den Bauboom an neuen Fernstraßen und Eisenbahnverbindungen zu bewältigen, haben die Ingenieure im Reich der Mitte den Brückenbau standardisiert. Und gleich passende Brückenbaumaschinen entwickelt. Allein die Beijing Wowjoint Machinery Company hat über 100 verschiedene dieser Spezialkonstruktionen im Programm. Die größten Exemplare sind knapp 100 Meter lang und wiegen 580 Tonnen. Beim Bau schieben sie sich bis zum Ende der fertigen Brücke vor und schieben Stahlträger auf die nächsten freien Brückenpfeiler. Nun wird das fertige Brückenelement über ein Kranschlittensystem auf den vorgesehenen Einbauplatz gezogen, heruntergelassen und in die entsprechenden Lager montiert. Im Anschluss fährt die gigantische Maschine zurück und holt den nächsten Brückenabschnitt.



DER BAUMUMPFLANZER

Von wegen, einen alten Baum verpflanzt man nicht: Wenn bei Straßen- oder Gleisbauprojekten ein erhaltenswerter Baum im Weg ist, rückt der Optimal 2500 an. Offiziell ist er ein „hydraulischer Ballenstecher“, wir können ihn aber auch einfach Baumumpflanze nennen. Denn nichts anderes tut der Optimal 2500. Er sticht wie jeder Gärtner beim Umpflanzen einen Ballen um das Wurzelwerk der Pflanze aus. Nur dass es sich hier um etwas größere Pflanzen handelt. Statt eines Spatens besitzt der Optimal 2500 gleich fünf davon, die jeweils spitz zulaufen und auf einem mächtigen Ring sitzen. Dieser Ring hat eine Öffnung, die sich schließt, sobald er den Baum in seine Mitte genommen hat. Im Anschluss presst sich der Spatenring mit 260 Bar Druck in die Erde und sticht so den Ballen aus. Mit einem vernehmbaren Schmatzen wird der Ballen herausgehoben und je nach Bauprojekt entweder auf einen Lkw verladen oder ein paar Meter weiter in eine zuvor ebenfalls mit dem Optimal 2500 ausgehobene Mulde eingepflanzt.



An aerial night photograph of a massive industrial shipyard. The central focus is a long, rectangular dry dock structure, illuminated from within, where a large ship is being worked on. The ship's hull is visible, and various cranes and support structures are positioned around it. To the left, there are stacks of orange-colored materials, possibly containers or parts. The surrounding area is filled with industrial buildings, parking lots with cars, and other infrastructure, all lit up against the dark night sky. The overall scene conveys a sense of large-scale industrial activity and engineering.

DER SCHIFFSBETTER

Auch die größten Schiffe müssen mal in die Werkstatt. Um am Unterwasserschiff arbeiten zu können, kann man so einen schwimmenden Koloss aber nicht einfach aus dem Wasser heben. Also fährt das Schiff in ein Trockendock. Das ist wie eine Schleuse als Sackgasse. Hinter dem eingefahrenen Schiff wird das Sperrtor geschlossen und das Wasser abgepumpt. Das Schiff liegt dann auf dem Trockenen, sämtliche Arbeiten am Unterwasserschiff können nun ohne Tauchgänge ausgeführt werden. Eines der größten Trockendocks Europas ist Elbe 17 von Blohm+Voss im Hamburger Hafen. In dem 351,2 Meter langen und 59,2 Meter breiten Betonmonster wurden schon Meeresgiganten wie der Kreuzfahrtriase *Quantum of the Seas* (347 m lang, 41,4 m breit) und das Containerschiff *Souverein* Maersk (347 m lang, 42,8 m breit) eingedockt. Um die gewaltigen Gewichte solcher Schiffe tragen zu können, wurde die Bodenplatte aus neun Meter dickem Stahlbeton hergestellt.



DER PFLASTERER

Auf diese Maschine haben Tausende Bauarbeiter weltweit gewartet: Statt mühsam auf Knien hin und her zu rutschen und Pflastersteine zu verlegen, sortiert der Bauarbeiter im Stehen die Steine nur im gewünschten Muster in den Tiger-Stone. Die 1,60 Meter hohe und ebenso lange Maschine legt dann ein fertiges Pflaster wie einen Teppich auf den vorbereiteten Untergrund. Bis zu 6 Meter breite Pflasterwege sind möglich. Damit alles schön gerade wird, orientiert sich ein Sensor an dem vorab verlegten Bordstein. Zum Spurhalten dienen zwei elektrisch betriebene Raupen. Bis zu 300 Quadratmeter schafft der Tiger-Stone an einem Tag – dreimal mehr als ein erfahrener Pflastersteinverleger. Die von einem Holländer konstruierte und mit einem Innovationspreis ausgezeichnete Maschine ist in den USA ein Riesenerfolg. In Deutschland wird sie nicht eingesetzt.

DER WEGWEISER

Betonleitwände sichern Baustellen und temporäre Fahrbahnschwenkungen besser als einfache Verkehrshütchen. Aber die rund 700 Kilogramm schweren Blöcke sind nur schwer zu handhaben. Jetzt kommt der Road Zipper ins Spiel. In den USA ist die 30 Tonnen schwere Spezialmaschine bereits seit Mitte der 1980er-Jahre im Einsatz. Auf der Golden Gate Bridge in San Francisco versetzt der Road Zipper morgens eine Betonreihe und schafft so eine zusätzliche Spur stadteinwärts,



abends eine stadtauswärts. Dabei hebt der Zipper die Betonelemente leicht an und bewegt sie mit einer Art Förderband bis zum Absetzpunkt. Die Versetzbreite beträgt zwischen 1,2 und 5,5 Meter. Für das Versetzen von 2.800 dieser Betonwände benötigt der Zipper rund 30 Minuten. Ein Kranwagen würde mehrere Tage dafür brauchen. Inzwischen wird der 15 Meter lange Road Zipper auch auf europäischen Straßen eingesetzt.



DER KENNZEICHENDRUCKER

Autokennzeichen sind der Personalausweis eines Pkw. Sie sind in (fast) allen Ländern der Welt vorgeschrieben und dienen, wie die Fahrzeugpapiere, als Identitätsnachweis. Allein in Deutschland werden jedes Jahr rund 22 Millionen Kennzeichen geprägt. Wer sein Auto neu an- oder ummeldet, lässt sich seine Kennzeichen meist direkt vor Ort an der Zulassungsstelle durch eine manuelle Prägemaschine anfertigen. Kfz-Kennzeichen können mit der automatischen Prägepresse des Spezialisten Utsch aus Siegen aber auch im großen Stil geprägt werden. Diese Maschine erledigt alle Arbeitsgänge komplett selbstständig und prägt bis zu 650 Kennzeichen pro Stunde. Auf Wunsch kann die geprägte Kennzeichenlegende per Heißprägefolie automatisch eingefärbt werden. Solche computergesteuerten Anlagen nutzen beispielsweise große Flottenbetreiber wie Autovermieter, aber auch Staaten, die Kfz-Kennzeichen zentral vergeben.

DER FLUSSSAUGER



Wasser ist einer unserer wichtigsten Verkehrswege. Es transportiert aber nicht nur Schiffe auf seiner Oberfläche, sondern befördert auch jede Menge Schwarzfahrer: Sand und Schlick. Für schiffbare Flüsse, Häfen und Kanäle können diese Schwarz-

fahrer zum Problem werden, und zwar an den Stellen, an denen sie sich ablagern. Deshalb setzen die Wasser- und Schifffahrtsämter hier regelmäßig sogenannte Laderaumsaugbagger oder auch Hopperbagger ein, um Sand und Schlick zu entfernen. Dabei löst ein Saugkopf das Sediment am Grund, das über ein großes Rohr wie mit einem Staubsauger an Bord des Baggerschiffs gesogen wird. Die festen Bestandteile wie Sand und Schlick setzen sich im Laderaum des Baggers ab und werden an anderer Stelle wieder ins Wasser gegeben oder an Land gespült. Allein im Hamburger Hafen, dem drittgrößten Europas, fallen bis zu einer Million Kubikmeter Schlick und Sand an – pro Monat! Auch in anderen Welthäfen wie Rotterdam oder Antwerpen ist das nicht anders. Die Hamburger Hafenbehörde setzt daher manchmal bis zu drei Hopperbagger gleichzeitig ein, um für die großen Containerriesen oder auch Kreuzfahrtschiffe wie die Queen Mary 2 die erforderliche Tiefe zu ermöglichen.



DER AUTOR

Warum etwas selber machen, wenn es dafür die passende Maschine gibt?

Ob als Kind vom per Dampfmaschine angetriebenen Bohrer, als Jugendlicher von einem mit Mofa-Motor getunten Kettcar oder in reiferen Jahren von einem vollautomatischen Rasenmäroboter – **Carsten Paulun** (50) hat sich schon immer gern Arbeit abnehmen lassen.





HIER ZÄHLT NUR HÄRTE

Wenn sie anrücken, bleibt oft kein Stein auf dem anderen: Schwere Baumaschinen sind wahre Giganten aus Stahl. Richtig eingesetzt, vermag eine Maschine in einer Stunde mehr zu leisten als ein ganzer Bautrupp in einem Jahr. Dazu müssen selbst filigranste Bauteile oft Hunderte von Tonnen Druck aushalten. Und das am besten auch noch komplett wartungsfrei. Dafür hat Schaeffler Speziallager entwickelt. Denn jede Wartung, jede Reparatur kostet Zeit – und Zeit, in der diese Giganten nutzlos in der Werkstatt stehen, kostet Geld.

Eine besondere Rolle nimmt die Lagerung beweglicher Teile ein. Egal ob es sich um die Radlager bei einem Miningtruck, das Pendel-Knickgelenk einer Baumaschine oder die Seilscheibenlagerung eines Mobilkrans handelt – hier ist das Know-how der Spezialisten von Schaeffler gefragt. Denn je nach Einsatzgebiet ändern sich die Anforderungen an das Lager, nicht nur hinsichtlich der statischen und dynamischen Tragfähigkeit. Im Fokus stehen ebenso Witterungsbeständigkeit und War-

tungsarmut sowie leichte Montage und, wenn nötig, einfache Nachschmierbarkeit. Eine zuverlässige Abdichtung und ein über die gesamte Gebrauchsdauer gegebener Korrosionsschutz ergänzen bei den meisten Lagern das Lastenheft.

Von Schaeffler eingesetzte Spezial-Beschichtungen wie Corroctect sind im Schwerlastbereich eine kostengünstige Alternative zu Niro-Stahl und lassen den korrosionsbedingten Wartungs- und Montageaufwand drastisch sinken. Mit Elgoglide beschichtete Lager im Hubgerüst eines Radladers garantieren sogar die völlige Wartungsfreiheit und den Verzicht auf Schmiermittel über die gesamte Lebenszeit.



Wie hinter Gittern: Der massive Messingkäfig MPAX schützt diese Schaeffler-Zylinderrollen gegen Stoßlasten und Vibrationen



MISSION TITELVERTEIDIGUNG

Neue Rolle für Schaeffler in der Formel E: Nach dem Titelgewinn ist man in der Saison 2017/18 vom Jäger zum Gejagten geworden. Und das Feld der Rivalen in der Elektrorennserie ist stärker als je zuvor.

— von Lars Krone



— Stillstand ist Rückschritt. Bereits vor dem Titelgewinn von Lucas di Grassi im Juli begann beim Team Audi Sport ABT Schaeffler die Vorbereitung auf die vierte Saison der Formel E, die seit dem Saisonauftakt Anfang Dezember in Hongkong läuft.

Schaeffler und Partner Audi haben mit dem Audi e-tron FE04 ein neues Einsatzauto entwickelt, das gegenüber dem Meisterfahrzeug der Vorsaison über einen komplett neuen Antriebsstrang verfügt und erneut die technische Benchmark bildet. „Das Auto ist mega“, ist di Grassi überzeugt. Der Fokus der Schaeffler-Ingenieure lag vor allem darauf, den Wirkungsgrad der Motor-Generator-Unit (MGU) weiter zu erhöhen. Besonders die Beschleunigung aus den Kurven heraus wird damit verbessert. Bei der Kraftübertragung kommt erstmals ein Ein-Gang-Getriebe zum Einsatz. Dieses wurde speziell für den neuen Antrieb entwickelt.

Daniel Abt, erneut Teamkollege von Titelverteidiger di Grassi, ist vom neuen Getriebe begeistert: „Eine deutlich schnellere Lösung als die bisherigen drei Gänge: Man hat keine Kraftunterbrechung mehr beim Schalten und Bremsen. Dadurch liegt der Wagen ruhiger, das Fahrverhalten wird flüssiger.“ Für die vierte Formel-E-Saison wurde zudem die Leistung der Autos in den Rennen auf 180 kW (245 PS) gesteigert.

Mit neuen Austragungsorten wie Rom, Santiago de Chile und Zürich wird der Kalender in Saison vier noch attraktiver. „Die Formel E ist für mich schon jetzt die zweit-relevanteste Rennserie nach der Formel 1“, schwärmt di Grassi. „Sie erfüllt alle Voraussetzungen, um in Zukunft noch weiter zu wachsen.“

Starke Konkurrenz

Die Saison 2017/18 verspricht erneut hochspannenden Rennsport. „Es gibt sicher fünf oder sechs Teams, die um Siege kämpfen werden“, prophezeit di Grassi. „Der Titelkampf wird extrem eng.“ Zu den Favoriten zählt natürlich Dauerrivale Renault e.dams. Die Equipe rund um Ex-Champion Sébastien Buemi ist die bislang erfolgreichste der Rennserie. Aber auch beim Andretti-Team, das intensiv von BMW unterstützt wird, sowie bei Mahindra Racing, DS Virgin Racing und Jaguar Racing hat man hohe Erwartungen. Die Briten wollen nach einem Lehrjahr ganz vorn mitmischen. Das Fahrerfeld ist ebenfalls hochkarätig. Zu den prominenten Neuzugängen zählen die Le-Mans-Sieger André Lotterer und Neel Jani. Außerdem bereichern Ex-F1-Pilot Kamui Kobayashi und DTM-Star Edoardo Mortara die Teilnehmerliste. Die Mission Titelverteidigung ist für Audi Sport ABT Schaeffler also alles andere als eine leichte Herausforderung. —



» In der Formel E können wir Extreme ausloten. Bei Schaeffler haben und sammeln wir großes Know-how im Verbund und Zusammenspiel von Aggregaten. In der Formel E zwischen E-Motor und Getriebe

Prof. Peter Gutzmer,
Schaeffler-Technologievorstand

EFFIZIENTER UND STÄRKER

Für die vierte Formel-E-Saison wurde das Meisterauto des Vorjahres kräftig überarbeitet. Der neue, von Schaeffler und Audi gemeinsam entwickelte Audi e-tron FE04 verfügt unter anderem über einen komplett neuen, innovativen Antriebsstrang.

Aerodynamik

Front- und Heckflügel einstellbar

Fahrwerk

Vorn und hinten Einzelrad-Aufhängung mit Stahl-Querlenkern, Pushrod-System, Torsionsstäbe vorn, Federaufhängung hinten, je zwei Stoßdämpfer vorn und hinten

Antriebsstrang

NEU

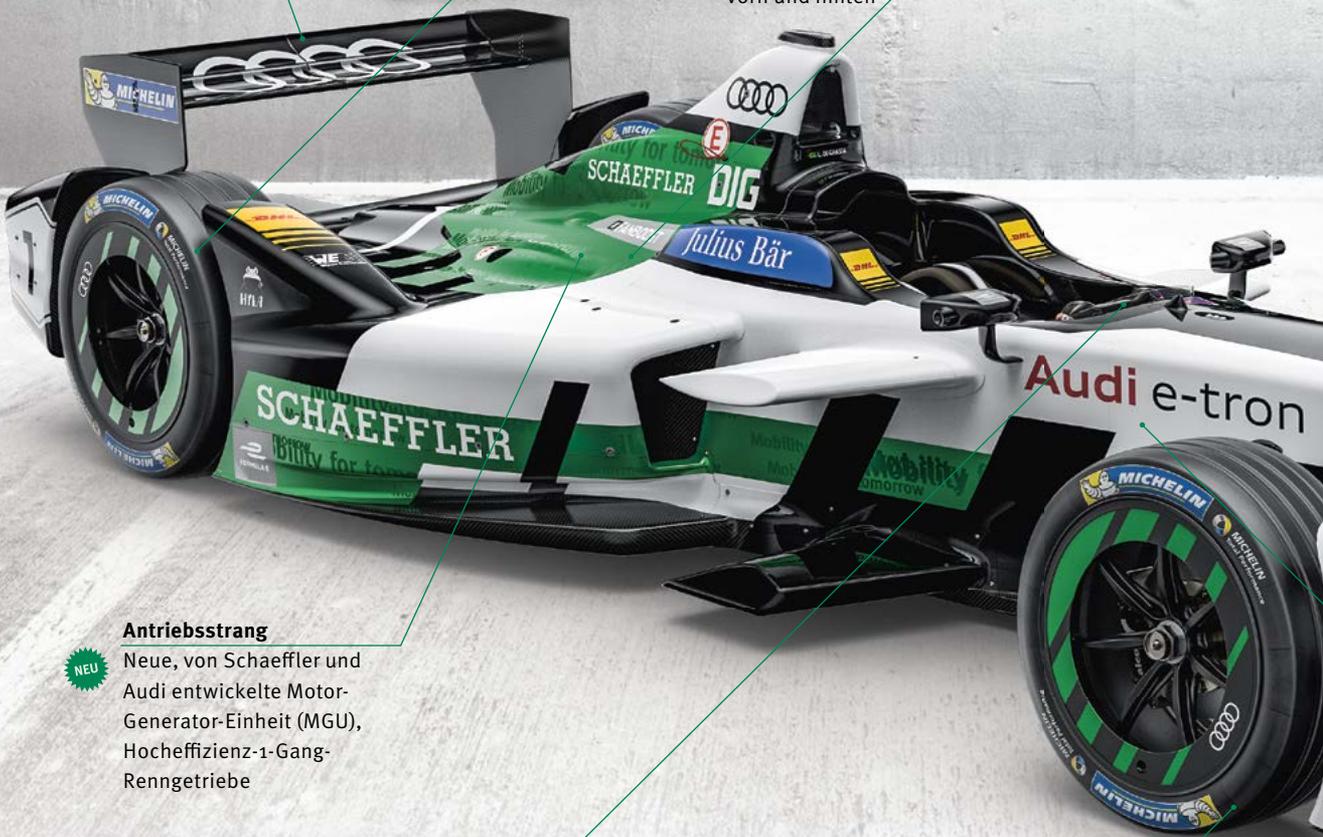
Neue, von Schaeffler und Audi entwickelte Motor-Generator-Einheit (MGU), Hocheffizienz-1-Gang-Renngetriebe

Lenkrad

Einheitliches, individuell programmierbares Lenkrad mit Wippen zum Schalten und zur Rekuperation, Reglern für verschiedene Motoreinstellungen und Display mit allen wichtigen Informationen

Reifen

18-Zoll-Räder mit Allwetter-Einheitsreifen von Michelin (mit Profil wie bei Serienautos)



Dimensionen

Länge: 5.000 mm
 Breite: 1.790 mm
 Höhe: 1.070 mm
 Gewicht: mind. 880 kg
 inklusive Fahrer

Leistung

Training und Qualifying: 200 kW (272 PS)
 Rennen: 180 kW (245 PS) plus FanBoost

NEU

Batterie

Batteriekapazität 34 kWh, davon
 28 kWh nutzbar. Ladezeit: etwa
 45 Minuten. Hergestellt von
 Williams Advanced Engineering

Bremsen

Hydraulische
 Zweikreisbremsanlage,
 Bremskraftverteilung
 einstellbar, KERS-System
 an der Hinterachse

Chassis

Einheitliches Spark-Chassis in
 Verbundfaser-Konstruktion aus
 Carbonfasern mit Aluminium-
 Wabenkern, gefertigt von Dallara

„KEIN ZEITVERLUST DURCH SCHALTVORGÄNGE“

Dr. Simon Opel,
 Leiter Sonderprojekte
 Motorsport bei Schaeffler

Das Formel-E-Auto bekam einen komplett neuen Antriebsstrang. Was sind die Gründe?

Uns ist es gelungen, einen Elektromotor zu entwickeln, der auf der einen Seite ein hohes Drehmoment in einem großen Drehzahlbereich erzielt und auf der anderen Seite sehr effizient ist, also einen Wirkungsgrad von über 95 Prozent hat. Das ermöglicht uns, ein Ein-Gang-Getriebe einzusetzen, wodurch wir keine Zeit mehr durch Schaltvorgänge verlieren.

Was sind die Geheimnisse des neuen Getriebes?

Auch hier haben wir den Wirkungsgrad erhöht. Dadurch, dass wir nur noch einen Gang fahren, konnten wir die Massenträgheit der sich drehenden Komponenten verringern. Zudem hat das Getriebe nun ein Carbonegehäuse, das auch als strukturelles Element dient.

In den Rennen steht den Piloten jetzt mehr Leistung zur Verfügung. Was hat das für Auswirkungen?

Prinzipiell für den Motor keine, denn dieser könnte eine noch höhere Leistung liefern. Allerdings wird die Batterie wärmer, wenn man mehr Leistung aus ihr zieht. Ab einer bestimmten Temperatur droht Leistungsverlust. Darauf muss geachtet werden.

RUND UM DEN GLOBUS

Afrika, Nord- und Südamerika, Asien, Europa – die Formel E macht bei ihrer Welttournee auf fünf Kontinenten halt. Mit 14 Rennen bei elf Veranstaltungen ist das Programm so umfangreich wie noch nie.



**1/2 HONGKONG
CHINA**
2./3. Dezember 2017

Doppellauf zum Start. Der 1,86 Kilometer lange und technisch anspruchsvolle Kurs liegt am berühmten Victoria Harbour.



**3 MARRAKESCH
MAROKKO**
13. Januar 2018

Der Marrakesch E-Prix wurde 2017 als offizielles Partnerevent der UN-Klimakonferenz „COP22“ ins Leben gerufen.



**4 SANTIAGO
CHILE**
3. Februar 2018

Spektakulär: Die Rennstrecke in der Hauptstadt Chiles führt bei ihrer Premiere über einen Fluss.



**5 MEXIKO-STADT
MEXIKO**
3. März 2018

Die Fans erleben auf der einzigen permanenten Strecke im Kalender eine unvergleichliche Stadionatmosphäre.



**6 PUNTA DEL ESTE
URUGUAY**
17. März 2018

Die Kleinstadt am Atlantik ist eines der beliebtesten Urlaubsziele Uruguays. Der Kurs führt malerisch direkt am Strand entlang.



**7 ROM
ITALIEN**
14. April 2018

Wo in der Antike Wagenrennen im Stile von „Ben Hur“ ausgetragen wurden, debütiert nun die Formel E.



**8 PARIS
FRANKREICH**
28. April 2018

2015 haben hier die UN-Staaten besseren Umweltschutz vereinbart. Paris versucht ideenreich, dem Verkehrskollaps zu begegnen.



**9 BERLIN
DEUTSCHLAND**
19. Mai 2018

Die Rennstrecke, der ehemalige Flughafen Tempelhof, liegt nur knapp zehn Kilometer vom Berliner Regierungsviertel entfernt.



**10 ZÜRICH
SCHWEIZ**
10. Juni 2018

Rundstreckenrennen sind hier seit 1955 verboten. Die Formel E erhält als erste Rennserie die Erlaubnis.



**11/12 NEW YORK
USA**
14./15. Juli 2018

Die Formel E brachte als erste Formelserie überhaupt Motorsport mitten ins Herz von New York. In der Vorsaison startete Lucas di Grassi in der US-Metropole seine Aufholjagd zum Titelgewinn.



13/14 TBA

MASCHINEN FANTASIEN

Flugautos, Zeitumkehr, Tarnumhänge, Hoverboards und menschenähnliche Roboter ... unsere Fantasie ist voller Maschinen, die es nicht gibt. Doch halt: Wer genauer hinschaut, stellt fest, dass vieles davon bereits im Entstehen ist – zumindest in den Laboren der Forscher.

— von Ulrich Eberl



— In Büchern und Filmen erscheint alles so einfach: Harry Potter wirft sich den Tarnumhang um und wird unsichtbar. Luke Skywalker verliert im Kampf gegen Darth Vader seine Hand und ersetzt sie durch eine Prothese mit künstlicher Haut, mit der er ebenso gut greifen und fühlen kann wie vorher. Captain Kirk düst mit Warp-Antrieb durchs All und lässt sich auf ferne Planeten beamen. Marty McFly schwebt auf dem Hoverboard über einen Teich und reist per Zeitmaschine „zurück in die Zukunft“. Und der Blade Runner rast mit dem Flugtaxi durch die Straßenschluchten von Los Angeles, um Replikanten zu jagen, die wie Menschen aussehen, aber Maschinen sind.

Unauflösbare Widersprüche

Alles nur Visionen fantasiebegabter Science-Fiction-Autoren? Oder gibt es doch eine Chance, solche Zukunftsmaschinen zu erleben – und wenn ja, wann? Manche von ihnen lassen sich getrost im Reich der Märchen verorten: jene, die technisch nicht realisierbar oder physikalisch unmöglich sind. So wie das Perpetuum mobile, jene fabelhafte Maschine, die sich ohne Energiezufuhr von außen unbegrenzt bewegen und dabei auch noch Arbeit verrichten soll (siehe auch „tomorrow“, 01/2017). Jahrhundertlang ersannen findige Tüftler immer wieder solche Maschinen, bis im 19. Jahrhundert mehrere Wissenschaftler zeigten, dass ein Perpetuum mobile den Energieerhaltungssatz verletzen würde – eines der unumstößlichen Gesetze der Physik. Ähnliches gilt für Zeitreisen. Laut Einsteins Relativitätstheorie kann man zwar in die Zukunft reisen, falls es gelingt, Raketen zu konstruieren, die der Lichtgeschwindigkeit nahekommen. Eine Reise in die Vergangenheit würde allerdings sofort zu unauflösbaren Widersprüchen führen, wie auch McFly erkennen musste: Wer seine eigene Zeugung verhindert, würde ja nie geboren und könnte somit gar nicht in die Vergangenheit reisen, um ... Ein Teufelskreis, der sich in unserem Universum nicht auflösen lässt!

Auch Warp-Antriebe und das Beamen gehören in diese Kategorie. Sie widersprechen zwar nicht den Naturgesetzen, aber der Aufwand, den man in sie stecken müsste, macht sie praktisch unmöglich. So müsste ein Warp-Antrieb den Raum im Weltall so stark krümmen, dass die Entfernung zum Ziel auf einen Katzensprung schrumpft: Physiker haben errechnet, dass dies Energiedichten wie kurz nach dem Urknall erfordert und tödliche Strahlung erzeugt. Beim klassischen Beamen wiederum müsste man die Energie- und Ortsdaten eines jeden Atoms im Körper kennen und rekonstruieren – allein die dafür nötige Informationsmenge entspricht dem Millionenfachen aller derzeit auf der Erde gespeicherten Daten.

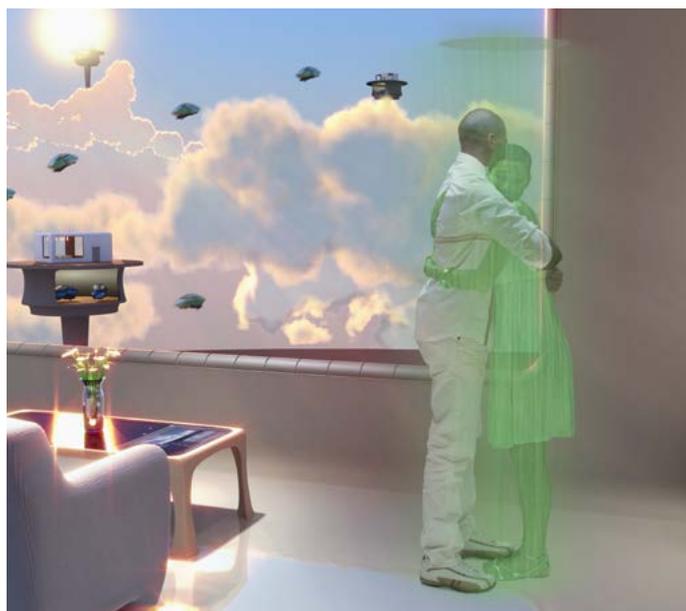
Wie praktisch wäre es angesichts von Überbevölkerung und knappen Ressourcen, wenn man Menschen einfach schrumpfen lassen könnte. Ein einziger Maiskolben,

ein einziges Huhn könnte ganze Dörfer ernähren, und auf einem Quadratmeter fände bequem eine Reihenhaussiedlung Platz. Ein verlockendes Planspiel, Dutzende Male verfilmt. Leider verhindern auch hier mehrere Naturgesetze die Umsetzung ins Reale. So gibt es keine Maschine, die – wie für die Verkleinerung von Lebewesen nötig – Atome schrumpfen lassen könnte und so das sogenannte Pauli-Prinzip außer Kraft setzen würde. Dies manifestiert nicht nur den Aufbau des Atoms, sondern auch den Widerstand, den kondensierte Materie weiterer Kompression entgegensetzt. Die Alternative, die Atomanzahl zu verringern, würde die komplexen Strukturen des Körperapparats zum Kollabieren bringen. Ein Mensch ist eben kein Einzeller.

Wahre Wissenschaftswunder

Keine Science-Fiction, sondern echte Wissenschaft steckt im „Stein der Weisen“. Das ist die einst von den Alchemisten verfolgte Idee, unedle Metalle wie Quecksilber in edles Gold zu verwandeln. Zahllose Schwindler versuchten sich daran und landeten nicht selten im Gefängnis oder auf dem Schafott. Johann Friedrich Böttger gelang auf der Suche nach dem Stein der Weisen im Jahr 1707 immerhin die Herstellung von Porzellan, doch Gold entstand nie – kein Wunder, denn die Umwandlung eines chemischen Elements in ein anderes ist mit chemischen Verfahren nicht möglich, sondern nur wenn man die Atomkerne selbst angreift. Und dafür braucht man Kernreaktoren oder Teilchenbeschleuniger. In den 1950er-Jahren entstanden so erstmals in einem Reaktor in den USA aus Quecksilber winzige Mengen Gold, und 1980 schossen Physiker Atomkerne auf Wismut, das sich dann auch in Gold

Beim Beamen müssen Daten eines jeden Atoms im Körper rekonstruiert werden – allein vom Speicherbedarf ein unvorstellbares Unterfangen



» **Weit fortgeschrittene Technik ist von Magie nicht mehr zu unterscheiden**

Science-Fiction-Autor Arthur C. Clarke



verwandelte – allerdings zum Preis von rund 30 Millionen Dollar pro Millionstel Gramm Gold.

Billiger könnten Tarnkappen werden. Seit einigen Jahren kennt man sogenannte Metamaterialien, die elektromagnetische Wellen um einen Gegenstand herumlenken können. Mit Mikrowellen ist das Forschern bereits gelungen, für Licht allerdings müsste man die Metamaterialien auf Tausendstel eines Haardurchmessers maßschneidern – schwierig, aber machbar. Doch unsichtbar zu werden, das geht auch einfacher, wie ein Blick in die Natur zeigt: Kraken können ihr Erscheinungsbild sekundenschnell so perfekt der Umgebung anpassen, dass sie aussehen wie die Pflanze oder der Felsen hinter ihnen. Mit Sensoren sowie einer künstlichen Haut mit Farbpigmenten und einer Art von Muskeln, die die Pigmente erscheinen und wieder verschwinden lassen, ließe sich so etwas nachbauen. Die nötigen 3-D-Drucker gibt es inzwischen für Materialien aller Art: für Kunststoffe, Metalle und sogar für menschliche Haut. Viele Branchen, von Medizin über Rüstung bis hin zu Autobauern, arbeiten auch an Projektionstechnologien. Dabei wird das Bild des jeweiligen Hintergrunds so auf ein Objekt projiziert, dass es durchsichtig erscheint. Erste Erfolge sind auf Internetplattformen wie YouTube zu bestaunen. Alles Spielereien? Keineswegs. Unsichtbare Karosserieteile würden beispielsweise die Rundumsicht in Fahrzeugen und damit die Sicherheit massiv erhöhen. Tote Winkel wären Vergangenheit.

Roboter – deine Freunde und Helfer

Die Handprothese von Luke Skywalker ist hingegen schon Realität. So verbanden Forscher in den USA

im Jahr 2015 eine Roboterhand direkt mit einem Mikrochip im Gehirn eines querschnittsgelähmten Patienten. Dieser konnte dann – allein mit der Kraft seiner Gedanken – die Hand nicht nur bewegen, sondern ihm wurden auch die Signale ihrer Drucksensoren in den Teil seines Gehirns zurückgemeldet, wo üblicherweise Tasteindrücke wahrgenommen werden. Das Gefühl dabei, sagte der 28-jährige Patient, sei dasselbe gewesen wie vor seinem Unfall, als er mit seiner eigenen Hand noch greifen konnte.

Roboter und smarte Maschinen mit künstlicher Intelligenz haben in den letzten fünf Jahren mehr Fortschritte gemacht als in all den Jahrzehnten vorher. Maschinen schlagen Menschen im Brettspiel Go ebenso

Erstaunlich menschlich: Roboter-Lady Sophia bei einer Podiumsdiskussion mit ihrem humanoiden Kollegen Han



EINE MASCHINE ZIEHT UM

Den meisten von uns graut es sicherlich vor einem Umzug. Denn immer heißt es: packen, schleppen, auspacken. Darüber kann Achim Weber nur müde lächeln. Er ist bei Schaeffler gefragt, wenn eine ganze Produktionsanlage umzieht.

— von Carsten Paulun



Die Produktionsanlage wird in einzelne Abschnitte geteilt (oben links). Bei der Demontage ist Fingerspitzengefühl gefragt, egal ob es um Schutzelemente oder Kabelstränge geht (oben rechts). Teamarbeit (Mitte links) erleichtert die Arbeit und den Umgang mit empfindlichen Bauteilen. Größere Elemente hievt ein Gabelstapler direkt auf die Ladefläche

Taicang

denen die Produktionsanlage besteht. Doch selbst für die einzelnen Abschnitte fallen noch gut 40 Transportboxen an. Viele davon bis zu sechs Meter lang, drei Meter breit und ebenso hoch. Mit mächtigen 16-Tonnen-Gabelstaplern werden die einzelnen Kisten aus der Halle gefahren und millimetergenau auf die bereitgestellten Lkw geladen. Insgesamt 14 Sattelzüge transportieren die demontierte, 80 Tonnen schwere Produktionsanlage nach Bremerhaven. Dort werden die Kisten umgeladen und treten ihre sechs Wochen lange Reise per Schiff an.

Achim Weber ist ein ruhiger, besonnener Mann. Seit 20 Jahren arbeitet er für den Automobil- und Industrielieferer Schaeffler. Weber ist für die Entwicklung von Produktionsanlagen im Geschäftsbereich eMobility verantwortlich. Seit Kurzem ist er auch Umzugsspezialist. Nicht weil er schon diverse Privatuzüge absolviert hat, sondern weil Schaeffler E-Achsen und Hybridmodule wegen der großen Nachfrage aus China nun auch dort fertigt. Auf den Anlagen, die Achim Weber und sein Team in Herzogenaurach entwickeln, aufbauen, ausprobieren und im Anschluss wieder demontieren, verpacken und nach Asien verfrachten. Bei Schaeffler in China werden die Produktionsanlagen wieder montiert und in Betrieb genommen. Etwa zweimal im Jahr zieht auf diese Weise eine Produktionslinie um, von einem Kontinent zum anderen.

Logistischer Kraftakt

Der Umzug einer Fabrik ist ein logistischer Kraftakt, der eine komplexe Planung voraussetzt. Das zeigt der Umzug der Produktlinie „P2-Hybridmodul“, den Weber und sein Team jetzt zum Jahreswechsel vornehmen. Damit die Anlage im knapp 9.000 Kilometer entfernten Taicang bei Shanghai möglichst schnell in Betrieb geht, ist ein reibungsloser Umzug unabdingbar. Zwölf Mitarbeiter werden in der neuen Fabrik täglich bis zu 500 P2-Hybridmodule für chinesische Automobilhersteller fertigen. Denn die Chinesen haben längst die Emissionsvorteile der Elektromobilität entdeckt. Kaum ein Hersteller, der in diesem Segment keine Fahrzeuge anbietet. Schaeffler wird ihnen dank der neuen, 80 Meter langen Produktionslinie 60.000 P2-Hybridmodule im Jahr liefern. Größter Vorteil des innovativen Schaeffler-Moduls: Es ist sowohl in bestehende als auch in neu entwickelte Antriebe integrierbar (siehe rechts).

**40.000 Einzelteile, 17 Mann,
15 Container, 6 Wochen Transportzeit**

Doch bevor es so weit ist, muss die hochkomplexe Produktionslinie demontiert und fein säuberlich verpackt werden. Um nicht jede Schraube, jeden Stellmotor und jeden Sensor beschriften und einzeln verpacken zu müssen, wird die Anlage in möglichst große Abschnitte geteilt. Sonst wären es über 40.000 Einzelteile, aus

Schaeffler-Know-how weltweit gefragt

Ist es da nicht einfacher, so eine Produktionsanlage gleich in China zu entwickeln und zu bauen? Achim Weber: „Der anspruchsvolle Qualitätsmaßstab und die hohen Sicherheits- und Ergonomiestandards erfordern enorm viel Erfahrung. Da sind die Spezialisten gefragt.“ Made in Germany zählt also. Nicht nur in China, sondern weltweit. Genauso wie bei der Ausbildung der späteren Produktionsmitarbeiter. Sie werden alle am deutschen Standort Bühl geschult. Übrigens auf der gleichen Anlage, mit der die Mitarbeiter später täglich arbeiten werden.

Wenn die Anlage in Taicang läuft, haben Weber und sein Team ihren Job erledigt – und der Umwelt unterm Strich die Emissionen vieler Transport-Kilometer erspart. Denn die P2-Hybridmodule für den chinesischen Markt werden zukünftig nah beim Kunden produziert, und die verwendeten Materialien stammen zu 90 Prozent aus der Region um Taicang.

SCHAEFFLER-P2-HYBRIDMODUL

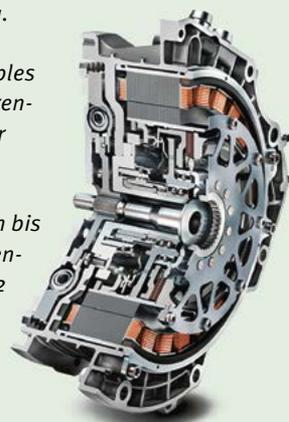
— Passt sich durch den modularen Aufbau den Anforderungen des Automobilherstellers an.

— Einfache Methode, um bestehende Antriebsstränge zu elektrifizieren.

— Verbrauch 1,6 l/100 km (NEDC), Reichweite rein elektrisch bis 60 km, deutliche CO₂-Reduzierung.

— Sehr komfortables Zuschalten des Verbrennungsmotors in unter 400 Millisekunden.

— Elektromotoren bis 85 kW/115 PS, Verbrennungsmotoren bis 82 kW/110 PS möglich.





**»» *Wo die Not drängt, da wird
Tollkühnheit zur Klugheit***

Niccolò Machiavelli (1469–1527),
italienischer Dichter, Politiker, Philosoph

in bewegung

Innovationen im Laufe der Zeit



DIESER HOBEL WAR MAL **NOBEL**

— Not macht erfinderisch. Und in den Nachkriegsjahren herrschte vielerorts Not. Es fehlte an allem. Nicht nur an Nahrungsmitteln, auch Baumaterial und Werkzeug waren knapp. Was man auch bekommen konnte, wurde nutzbar gemacht. Maschinen wurden in der Regel durch mühsame Handarbeit ersetzt. Oder zweckentfremdet. Wie dieser Maybach DSH („Doppel Sechs Halbe“), von dem überhaupt nur 50 Exemplare entstanden sind. Gebaut 1935, von einem 130 PS starken Sechs-

zylinder angetrieben und 25.000 Reichsmark teuer (zum Vergleich: Der VW Käfer sollte 1938 990 Reichsmark kosten), war er einer der besten und feinsten Luxuswagen seiner Zeit. Den Krieg hat er unbeschadet überstanden, doch 1945 hat ihn sein Besitzer aus der Not umgebaut: Er ersetzte den hinteren Teil der Karosserie durch eine Säge, fuhr fortan übers Land und konnte mit seiner mobilen Säge den Unterhalt für sich und seine Familie sichern. —

FAHRSPASS



MIT 50 SACHEN

Zu Urgroßvaters Zeiten waren 50 km/h auf zwei Rädern schon ein wilder Ritt. Heute erreichen wir dieses Tempo dank Elektrounterstützung schon mit dem Fahrrad. Easy-Rider-Feeling in drei Epochen – ein Vergleich.

— von Ralf Bielefeldt



DAS MOTORRAD 1938

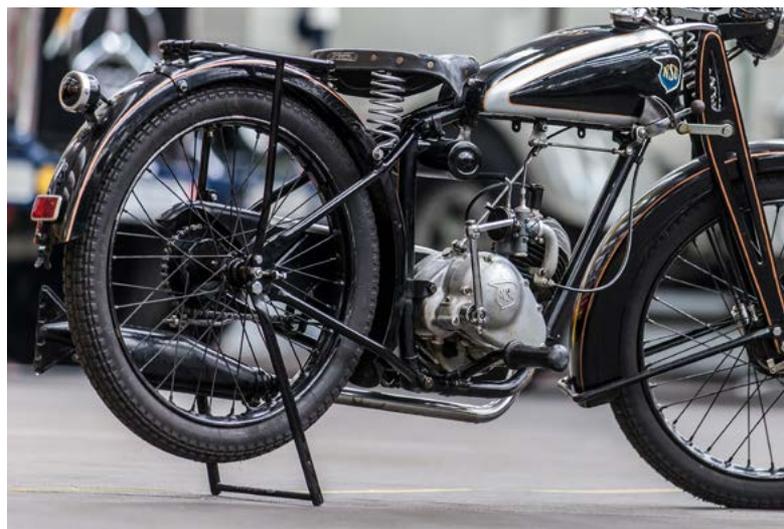
Die Marke NSU genoss in den dreißiger Jahren hohes Ansehen bei den deutschen Motorradfahrern. Rennmodelle wie die 501 SS fuhren reihenweise Siege ein, die 351 OT und 251 OSL galten als Wunder der Zuverlässigkeit. Kleinstes Modell war die Pony 100. Mit sportlicher Tank-Kulissenschaltung, Dreigang-Getriebe und 19-Zoll-Rädern avancierte sie zum echten „Volksmotorrad“ und bescherte der Marke beeindruckende Verkaufszahlen: 62.619 Zweiräder meldeten die NSU-Werke 1938. Das federleichte Zweitaktmodell läuft bergab mit Rückenwind über 70 km/h. Bis die Nadel des VDO-Tachos über die Tempo-50-Marke tanzt, vergeht gleichwohl eine gefühlte Ewigkeit. Anhalten entpuppt sich aus heutiger Sicht als reine Nervensache: Die Fußbremse befindet sich links, die Vorderradbremse wie gewohnt rechts am Lenker. Wer kräftig zupackt, hat eine faire Chance, dass die kleinen Trommeln die Räder zum Stehen bringen. Schlicht beeindruckend: die Unbekümmertheit, mit der das niedliche schwarze Pony um die Kurven trabt. Fahrspaß garantiert!



NSU PONY 100

- 1-Zylinder-Zweitakt
- 97 ccm
- 2,2 kW
- 55 km/h
- 3 Gänge
- Trommelbremsen
- 65 kg

Der Einzylinder mit 97 ccm lässt viel Raum unterm Tank. Der Kickstarter sitzt rechts, die Kette läuft links



DAS MOPED 1978

Der Aufkleber auf dem Tank ist schon reichlich verblichen, an der stolzen Botschaft ändert das nichts: „International Six Days 1975–1976, Trophy Weltmeister Zündapp“ steht da im Lorbeerkranz. Oh ja, Mitte der Siebziger war Zündapp eine große Nummer. Und wer mit einer C 50 Sport vor die Eisdielen knatterte, war der absolute King (und fuhr garantiert nicht allein nach Hause). Ein zarter Tritt auf den links platzierten, nahezu kompressionsfrei arbeitenden Kickstarter, und die Zündapp springt sofort an. Der Sound ist sonor, Beschleunigung und Fahrdynamik sind im Vergleich zur 40 Jahre älteren NSU bahnbrechend. Technisch und optisch ist das schmale Mokick noch heute der Hit: Der seitlich verchromte Tank genießt einen ähnlichen Kultstatus wie die lütte Coca-Cola-Glasflasche. Der kugelschreiberdünne Zündstift fürs Plastikcockpit war damals der Schlüssel zu jugendlichem Ruhm und Rebellentum; heute mutet er in seiner Schlichtheit fast albern an. Der Tacho geht bis Tempo 80, ein kühnes Versprechen – de facto schafft die Zündapp C 50 Sport etwas mehr als die Hälfte davon. Das allerdings sehr souverän.

Helm auf und ab dafür: Seit 1976 gilt in Deutschland Helmpflicht auf motorisierten Zweirädern. Die schlichte Form und der verchromte Tank bescherten der schlanken C 50 Sport Kultstatus



ZÜNDAPP C 50 SPORT

- 1-Zylinder-Zweitakt
- 49 ccm
- 2,1 kW/4,3 Nm
- 40 km/h (gesetzlich limitiert)
- 3 Gänge
- Trommelbremsen
- 84 kg





GIANT QUICK-E+ 45

- E-Motor
- 0,5 kW + Pedalkraft / 80 Nm
- 45 km/h (gesetzlich limitiert)
- 20 Gänge
- Scheibenbremsen
- 23,4 kg

DAS ELEKTRO-FAHRRAD 2017



PS.SPEICHER EINBECK

Der PS.SPEICHER zählt seit 2014 zu den faszinierendsten Automotive-Erlebniselwelten Europas. Die Kulturstiftung Kornspeicher beherbergt in der Bierstadt unter anderem die weltweit größte Sammlung deutscher Serienmotorräder (rund 1.400) sowie von Klein- und Kleinstwagen. Die Fotoproduktion für „tomorrow“ fand – Premiere! – inmitten historischer Nutzfahrzeuge im PS.Depot Lkw + Bus statt.

 ps-speicher.de



Elektrifizierte Fahrräder, sprich E-Bikes und Pedelecs, haben Mokicks heute weitgehend den Rang abgelaufen. Geräuscharm und (lokal) emissionsfrei sorgen die elektrischen Fahrräder für anhaltenden Rückenwind. Sogenannte S-Pedelecs wie das Giant Quick-E+ 45 entfachen einen derartigen Sturm, dass sie auf Radwegen eigentlich nichts verloren haben. In einigen Ländern – wie zum Beispiel Deutschland – besteht der Gesetzgeber gar auf Kennzeichen und Helmpflicht. Wie bei Kleinkraftködern gelten 45 km/h Spitze als offizielles Limit. Um die zu erreichen (oder gar zu toppen), hilft trotz der 500-Watt-Unterstützung nur das Beckern der Pedale. Anders als auf der Zündapp muss man sich den Fahrtwind hier verdienen. Dafür belohnt einen das Giant aber mit dem stärksten Drehmoment im Generationsvergleich. Zur Gefahrenabwehr gibt es eine kernige Hupe. Der 40 Jahre älteren Zündapp musste noch eine Fahrradklingel reichen.



VIELE IDEEN FÜR ZWEIRÄDER

Egal ob Motorrad, Pedelec oder Fahrrad – Schaeffler hat für verschiedenste Zweiräder eine große Bandbreite an Produkten im Angebot und ist weltweit in vielen wichtigen Zweiradmärkten mit Produktions- und Entwicklungsstandorten vor Ort.

Eine Stärke von Schaeffler sind auch im Zweiradsegment kundenspezifische Innovationen durch den Einsatz von modernsten Technologien in Konstruktion, Berechnung, Versuch und Fertigung.

Im Fokus der Entwicklungen bei Zweirädern stehen reibungsarme, kompakte und leichte Lagerlösungen oder Anwendungen wie Kupplungen, Kettenspanner und Zahnkette, Radlager oder auch Starterfreilauf für den motorisierten Zweiradbereich. Für Fahrräder und E-Bikes umfasst das Angebot Tretlager und andere rotative Lagerlösungen für Elektroantriebe und Schaltungen, aber auch die mehrfach ausgezeichnete VELOMATIC für automatisierte Gangwechsel und die Smartphone-App VELODAPTIC.



Digitales Kombiinstrument, gelochte Scheibenbremse vorn, LED-Licht und drei Fahrmodi: Technisch macht das Giant S-Pedelec in diesem 50er-Vergleich klar die Pace



DER AUTOR

Ralf Bielefeldt (Baujahr 1966) jagte in den frühen 1980ern mit seiner frisierten Peugeot TSA durchs Hamburger Umland. Damit war die Zweiradlunte gelegt. Heute schreibt der dreifache Vater als freier

Autor für Fachmagazine und Onlineportale über alles, was einem die Wangentaschen an die Ohren tackert – mit zwei, drei oder vier Rädern.

A vintage steam-powered bicycle is shown in a close-up, low-angle shot. The bicycle features a large, polished brass boiler mounted on the frame, with various pipes and valves. The seat is made of dark, tufted leather. The wheels have a classic wire-spoke design. The background is dark, making the metallic and leather components stand out.

FORTBEWEGUNGS- MASCHINEN

In den zurückliegenden mehr als 13 Jahrzehnten hat das Automobil — sprachlich „das sich selbst Bewegende“ — viele Entwicklungsschritte gemacht. Es reifte von der Bewegungsmaschine zum Hightech-Transportmittel. Wurde immer wieder neu erfunden und hat sich fortwährend neu zu erfinden. Die Evolution des weltweit 1,3-milliardenfach verbreiteten Individualverkehrsmittels ist noch lange nicht an ihrem Ende angelangt. Doch von dem über lange Jahrzehnte hinweg gültigen Zauber der Maschine als zentralem Mittelpunkt für die Faszination des Automobils ist im modernen Zeitalter nicht mehr ganz so viel übrig geblieben ...

DAS ERSTE SEINER ART

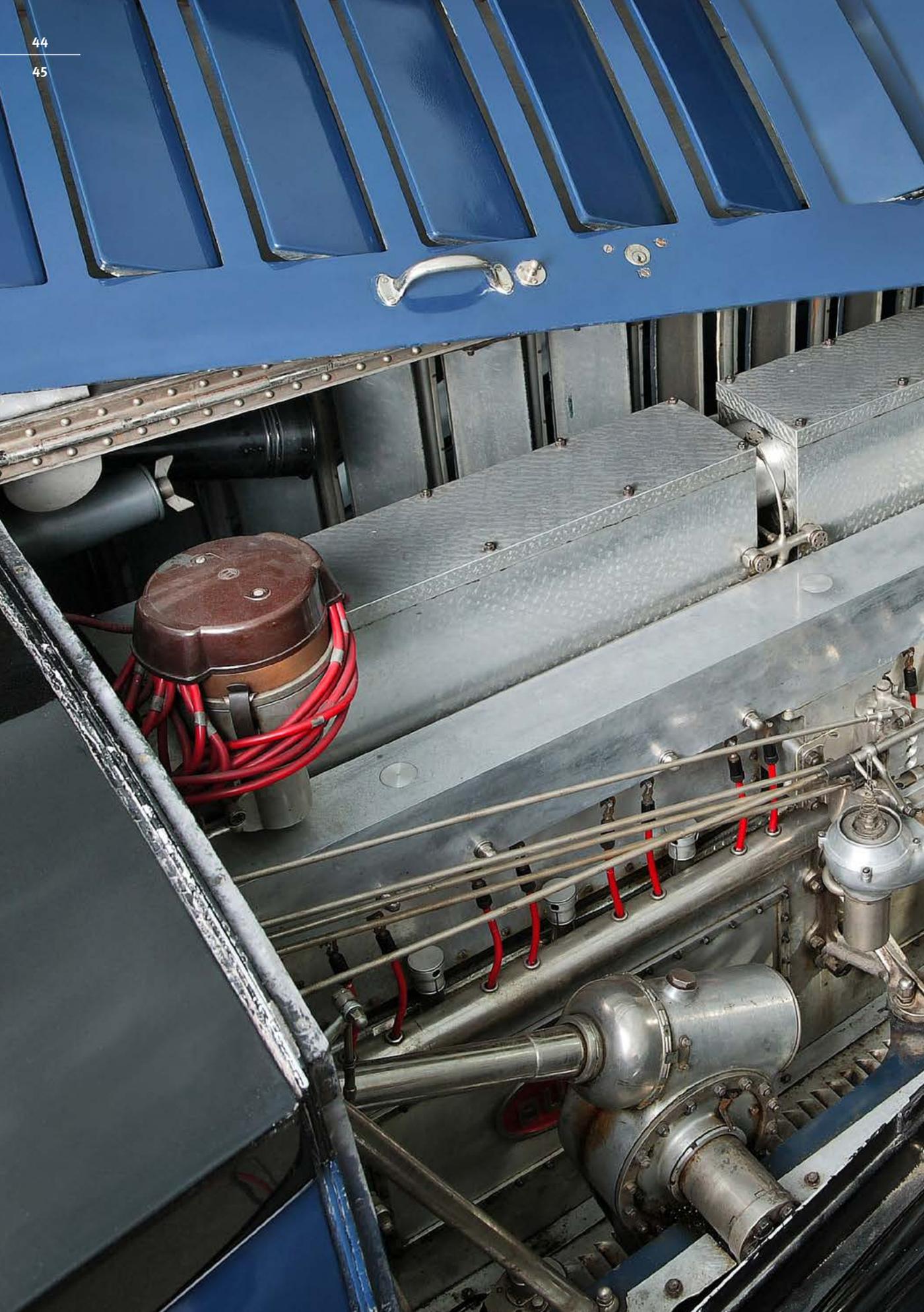
Der schnatternde Verbrennungsmotor ist das Herzstück des 1886 zum Patent angemeldeten ersten Automobils mit Verbrennungsmotor. Auch wenn Bertha Benz den Treibstoff für das Fahrzeug noch mühsam in Apotheken zusammenkaufen muss, so ist die Erfindung von Carl Benz die Initialzündung für eine pferdelose Individualmobilität. Doch noch ist das Auto eine Kutsche, auf deren Rahmen der Motor montiert wird. Mittels eines Lederriemens wird die Rotationsenergie des Einzylinder-Viertakters auf die Hinterachse übertragen.



A1 BENZ PATENT-MOTORWAGEN



Baujahr	1886
Hubraum	954 ccm
Zylinder	1
Bohrung x Hub	90 x 150 mm
PS (kW) bei U/min	0,75 (0,55)/400
Drehmoment	k. A.
Literleistung	0,79 PS/l
Einbauort	hinten liegend
Vmax	16 km/h
Verbrauch	ca. 10 l/100 km





C3

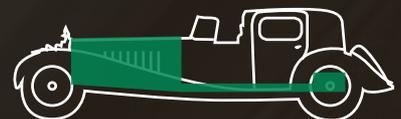
BUGATTI ROYALE



Baujahr	1931
Hubraum	12.760 ccm
Zylinder	8
Bohrung x Hub	125 x 130 mm
PS (kW) bei U/min ...	275 (202)/2.000
Drehmoment	785
Literleistung	21,55 PS/l
Einbauort	vorn längs
Vmax	ca. 200 km/h
Verbrauch	ca. 40 l/100 km

DER GIPFEL DAMALIGER INGENIEURSKUNST

Stolz verweisen die Eigner der ebenso luxuriösen wie sportlichen Bugatti auf das prächtige Triebwerk, das unter den flügelartigen Hauben, hinter dem charakteristischen Kühler in Hufeisenform thront. Acht Zylinder mit gewaltigen 12,7 Litern Hubraum, in Reihe angeordnet in einem Block und Kopf, gestaltet wie ein Kunstwerk. Gradlinig, wie es ein Architekt nicht schöner gestalten kann, und mit präziser „Vogelaugenpolitur“, wie es für jeden Juwelier eine Herausforderung ist. Unternehmens-Patron und Baumeister Ettore Bugatti ist nicht minder stolz auf das Geschaffene. Den Gipfel der Ingenieurskunst jener Zeit. Und stolz nimmt der Motorraum locker zwei Fünftel des Platzes ein, den das ganze, prunkvoll prächtige Automobil für sich beansprucht.





GOLDENE MITTE

„Ich verkaufe keine Autos, ich verkaufe Motoren.“ So sieht das Selbstverständnis von Enzo Ferrari aus. Und dementsprechend auch das letzte automobiler Vermächtnis des Commendatore aus Maranello, der F40. Grundsätzlich ist der Antrieb im Laufe der Jahrzehnte zum integralen Bestandteil des Automobils geworden. Selbsttragende Karosserien mit von vornherein hineinkonstruierten Motorräumen ersetzen die ehemalige Rahmenbauweise. Bei Rennwagen werden Motor und Getriebe mitunter sogar als tragende Bauteile ausgelegt und machen das Fahrzeug so leichter und kompakter. Renn- und Sportwagen werden als Mittelmotor-Fahrzeuge konstruiert. Das kommt der Gewichtsverteilung, ergo der Fahrdynamik zugute. Auch dafür ist der F40 ein Paradebeispiel. Ferraris Prunkstück der Achtziger trägt sein von zwei Turboladern aufgeladenes V8-Triebwerk mitsamt transversal angeblocktem Sechsganggetriebe selbstbewusst unter einer großen Plexiglkuppel zur Schau.



B4

FERRARI F40



Baujahr	1987
Hubraum	2.936 ccm
Zylinder	8
Bohrung x Hub	82 x 69,5 mm
PS (kW) bei U/min	478 (352)/7.000
Drehmoment	575 Nm
Literleistung	164,82 PS/l
Einbauort	hinten längs
Vmax	324 km/h
Verbrauch	20 l/100 km

D4 BENTLEY CONTINENTAL GT W12

Baujahr	2003
Hubraum	5.998 ccm
Zylinder	12
Bohrung x Hub	84 x 90,2 mm
PS (kW) bei U/min ...	575 (422)/6.000
Drehmoment	700 Nm
Literleistung	95,83 PS/l
Einbauort	vorn längs
Vmax	318 km/h
Verbrauch	17,1 l/100 km

VERBORGENE TECHNIK

Natürlich braucht es für den großen Auftritt noch eine lange Motorhaube. Das ist eine jahrzehntelang gelernte Formensprache. Und auch die unter der Haube liegende Insigne Zwölfzylinder ist ein statusrelevantes Statement erster Klasse. Doch moderne Steuerelektronik, Abgasaufbereitung sowie die zahlreichen Leitungen für Klimaanlage und Servo-Hydraulik machen es den Ingenieuren schwer bis unmöglich, dem Triebwerk den großen, architektonischen Auftritt vergangener Jahre zu geben. Und so kommen Verpackungsdesigner zum Zug, die den Motor unter (mehr oder weniger kunstfertigen) Abdeckungen verbergen, die wiederum den großen Auftritt markieren sollen. Keine leichte Aufgabe ...





„MOTORRAUM“ ADE

Zählte das Wort Motorraum über Jahrzehnte zum klassischen Wortgebrauch – schließlich gehörten ja auch kleinere Wartungsumfänge zum alltäglichen Tun eines Autofahrers –, monieren heute Rechtschreib-Programme auf modernen digitalen Endgeräten ebenjenes Wort. Kein Wunder, denn heutige Autos sind um so vieles zuverlässiger, servicefreundlicher, geruchsärmer und leiser geworden. Aber damit verschwindet die Maschine im Herzen des Autos auch mehr und mehr aus der Wahrnehmung und dem Bewusstsein.

ANDERE AUSSICHTEN

Wo ist der Motor? Bei Elektrofahrzeugen – wie dem hier gezeigten Porsche Mission E, der 2019 in Serie gehen soll – erinnern Antriebe formal eher an Marmeladeneimer denn an die gelernte Form eines verbrennungsmotorischen Antriebsstrangs mit Motor und Getriebe. Es fällt schwer, diesen attraktiv in Szene zu setzen. Und er benötigt auch weniger Platz. Und deutlich weniger Wartung. Daher lässt sich der Raum im Fahrzeug für sinnvollere Dinge nutzen – wie zum Beispiel die Insassen. Damit verschwindet er aus dem Blickfeld. Zumal sich die technischen Unterschiede zwischen Innen- und Außenläufer, permanent erregter oder Asynchron-Maschine lange nicht so gut als Gesprächsstoff am Stammtisch oder auf dem Schulhof eignen wie die Zahl von obenliegenden Nockenwellen, Zylindern, Turboladern oder Getriebestufen.

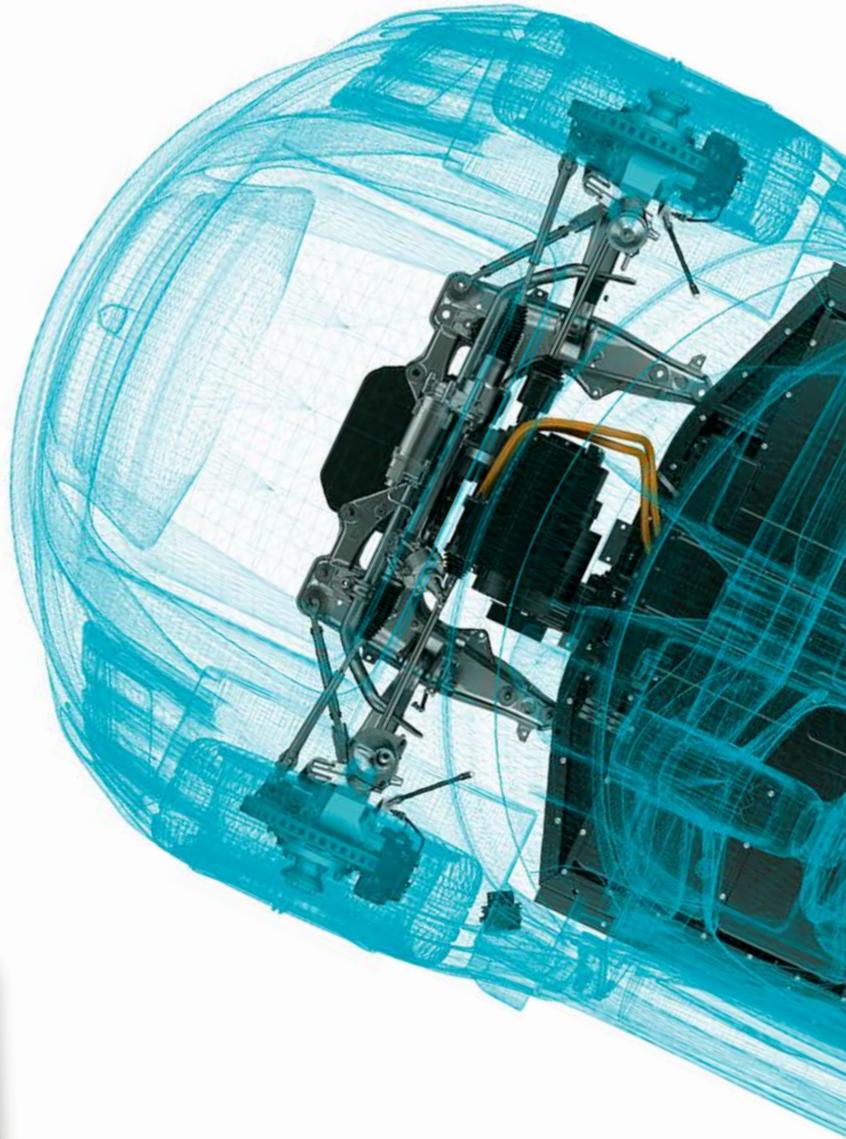


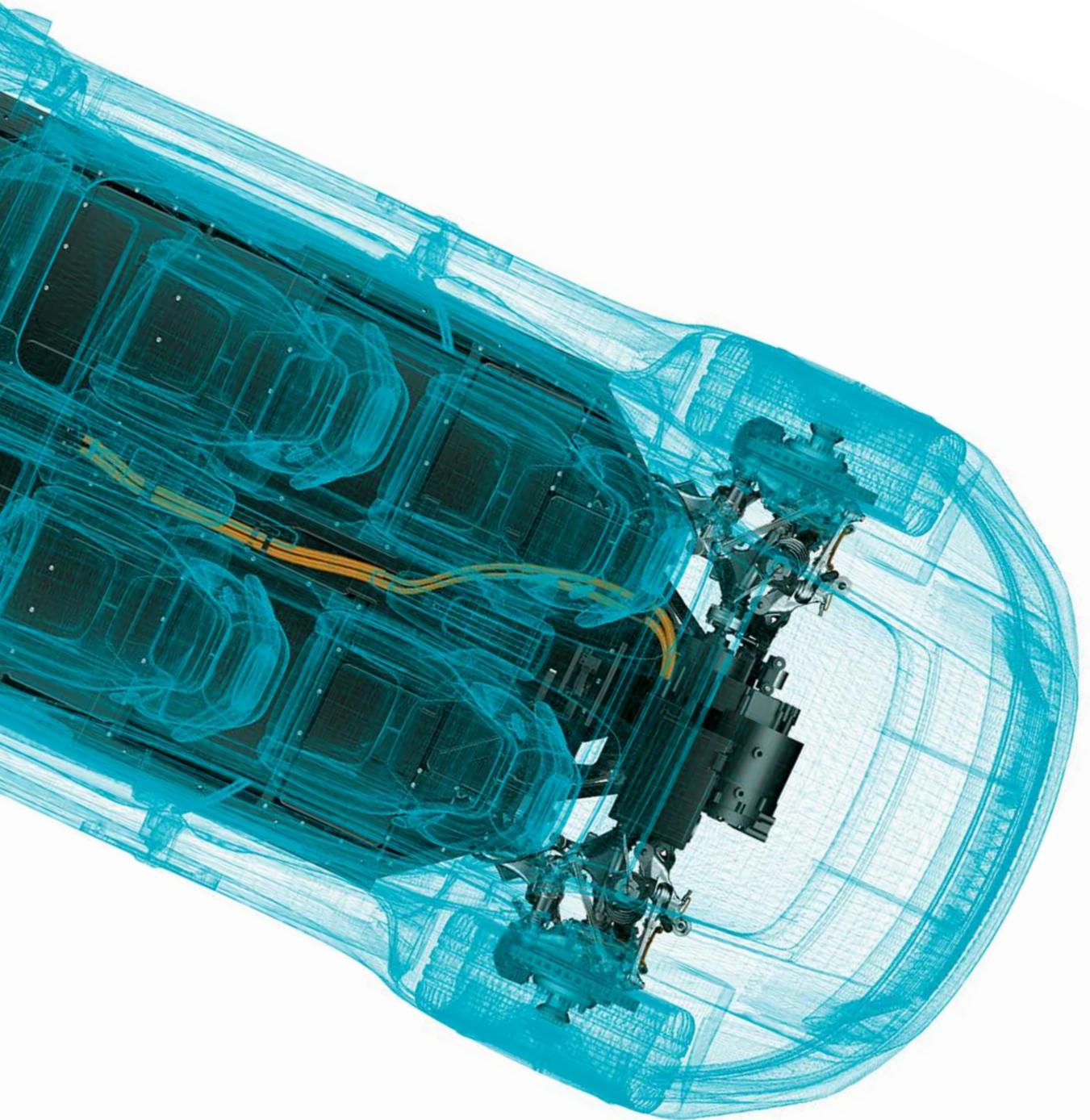
B3

PORSCHÉ MISSION E



Baujahr	2015
Motor	2 x elektro
Systemspannung	800 Volt
PS (kW) bei U/min	600 (441)/k.A.
Einbauort	vorn + hinten
Reichweite	ca. 500 km
Ladezeit	15 Minuten (80%)
Vmax	>250 km/h
Verbrauch	k. A.





DER AUTOR

Jörg Walz begleitet die Geschichte des Automobils seit Jahrzehnten mit den Augen eines Motorjournalisten und Kommunikators. Er hat unter anderem für namhafte Automobilmagazine getestet und geschrieben sowie eine Reihe von Motorbüchern verfasst.

VON DER IDEE ZUM ERFOLG

Strom, Wasserstoff, fossile oder künstliche Kraftstoffe? Oder ein Mix aus mehreren Energiequellen? Womit Pkw und Nutzfahrzeuge in Zukunft angetrieben werden, ist eines der großen Themen der Jetztzeit. Ingenieure auf der ganzen Welt zermartern sich ihre Köpfe, um den Kunden stets die modernste und beste Technologie anbieten zu können. Wie komplex und langwierig solche Entwicklungsarbeit sein kann, das zeigt dieser Bericht anhand von zwei wegweisenden Beispielen aus der Schaeffler-Welt: der trockenen Doppelkupplung sowie der vollvariablen Ventilsteuerung UniAir.

— von Roland Löwisch

DIE TROCKENE DOPPELKUPPLUNG

Was für über 15 Millionen Autofahrer heutzutage selbstverständlich ist, hat letztlich eine fast **100-jährige Entwicklungsgeschichte hinter sich: das Doppelkupplungsgetriebe**. Eine erste frühe Art des Zweigang-Doppelkupplungsgetriebes baut Morgan bis 1931 mit zwei Antriebsketten zum Hinterrad in seine Threewheeler ein. Und erste Patente gehen auf den Franzosen Adolphe Kégresse im Jahr 1939 zurück. In den 80er-Jahren experimentiert Porsche im Rennsport mit den ersten „nassen“ und arg ruppigen Porsche-Doppelkupplungsgetrieben (PDK). Audi adaptiert das Porsche-System für den Rallyesport. Es bleibt aber bei zwei Versuchsein-

sätzen. Ende 2002 bringt VW das erste nasse Doppelkupplungsgetriebe (DSG) im Golf R32. Ab 2008 vereint die trockene Doppelkupplung Effizienz und Komfort.

Das Arbeitsprinzip der Doppelkupplung klingt einfach: Es besteht aus zwei teilautomatisierten Schaltgetrieben, die zusammen einen vollautomatischen Gangwechsel ohne Zugkraftunterbrechung möglich machen. Je ein Getriebe ist für die geraden und die ungeraden Gänge verantwortlich. Im besten Fall sorgt die Doppelkupplung für optimierte Fahrleistungen, Spritersparnis und Komfortgewinn. Während bei nassen Systemen das

Drehmoment über in Öl laufende Lamellen übertragen wird, erfolgt der Kraftschluss bei trockenen Doppelkupplungen über die Reibbeläge der Kupplungsscheiben.

Auch die Schaeffler-Marke LuK setzt als Innovationstreiber ab Ende des 20. Jahrhunderts auf die Entwicklung einer Doppelkupplung. **Dr. Wolfgang Reik (68), Physiker und ehemaliger LuK-Entwicklungschef, erinnert sich an die Anfänge der Entwicklung:** „Die damaligen Wandlerautomaten besaßen einen ziemlich schlechten Wirkungsgrad, besonders im Teillastbereich arbeiteten sie nicht optimal. Da wollten wir die zwei Welten

Automatik und Handschaltgetriebe miteinander verbinden – und damit Schaltkomfort und Effizienz.“ Ein grobes Ziel war gesteckt, aber wie genau sollte dies erreicht werden? **Eine knifflige Frage, die auch Reik und seine Kollegen ausgiebig diskutieren:** „Die einen wollten das Abenteuer Doppelkupplung eingehen, die anderen votierten eher für ein viel einfacheres automatisiertes Schaltgetriebe. Die dort vorkommende Zugkraftunterbrechung ist aber bei exklusiveren Pkw nur schwer zu akzeptieren.“ Die Diskussion zieht sich über viele, viele Monate – kein Wunder, schließlich geht es um eine wichtige Weichenstellung und Investitionen in Millionenhöhe. Letztlich wird aus dem „oder“ ein „und“ – beide Systeme werden weiterverfolgt. 1997 geht als erster Schritt im Bereich der automatisierten Schaltgetriebe das weltweit kompakteste automatische Kupplungssystem in der A-Klasse von Mercedes in Serie, drei Jahre später folgt als Weltpremiere das automatisierte LuK-Schaltgetriebe easytronic des Opel Corsa.

Derweil ringen die Doppelkupplungsbefürworter um eine weitere Grundsatzentscheidung: **Soll man eine nasse oder eine trockene Version entwickeln?** Dr. Reik: „Die ‚trockene‘ Fraktion argumentierte mit dem besseren Wirkungsgrad, da es bei nassen Lamellen immer kleine

Schleppmomente gibt. Die ‚nassen‘ Verfechter glaubten, dass trockene Doppelkupplungen bei hohen Motormomenten nicht die Lebensdauer des ganzen Autos erreichen würden. Das war fast ein Glaubenskrieg – letztlich haben beide auf ihre Art richtig argumentiert.“ Entwicklungs-

partner VW entscheidet sich schließlich für die trockene Version. Nicht zuletzt weil Schaeffler-Ingenieure bis zu zehn Prozent weniger Kraftstoffverbrauch im Vergleich zum nassen DSG damaliger Bauart prognostizieren und über sechs Prozent weniger gegenüber einem Handschaltgetriebe.

Auch wenn das Arbeitsprinzip der neuen trockenen Doppelkupplung ähnlich ist wie die des nassen Verwandten, so sind **auf dem Weg zur Marktreife der effizienten Schalthilfe einige Hürden zu meistern:** „Wir waren mehr als zwei Jahre lang jede Woche bei VW, und manchmal sind wir zweifelnd zurückgefahren wegen der immer wieder neuen Herausforderungen“, erinnert sich Dr. Reik. „Hatten wir eine Baustelle erfolgreich beseitigt, tauchten zwei neue auf. Da hat



Bei der Entwicklung der „trockenen Doppelkupplung“ marschierte Dr. Wolfgang Reik als Verfechter der Idee vorweg – aber der Weg bis ins Ziel war lang

» Die einen wollten das Abenteuer Doppelkupplung eingehen, die anderen votierten eher für ein einfacheres System

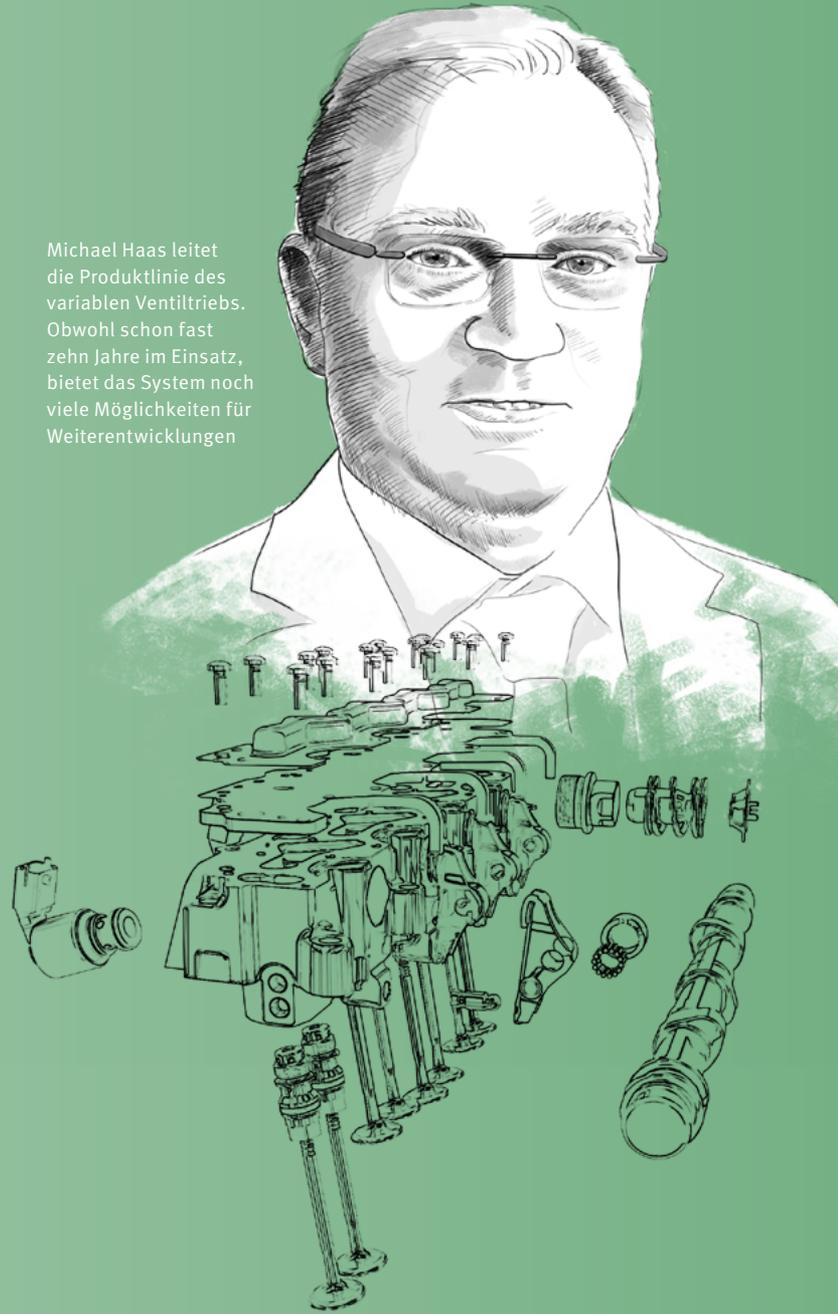
Dr. Wolfgang Reik,
damaliger LuK-Entwicklungschef

schon mal den einen oder anderen der Mut verlassen. Gott sei Dank waren wir nicht alle gleichzeitig mutlos ...“ Ab 2007 dann verbaut VW die trockene Doppelkupplung erstmals in Golf und Touran.

*Die akribische und ausdauernde Entwicklungsarbeit von Dr. Reik und seinen Schaeffler-Kollegen auf der einen und VW auf der anderen Seite zahlt sich aus. Motorjournalisten loben das neue Bauteil schon fast überschwänglich: Die „ADAC Motorwelt“, immerhin Europas auflagenstärkstes Magazin, schreibt: „Die nun verwendete Trockenkupplung zeigt auch bei kaltem Motor im Winter keine Auffälligkeiten, die Schaltvorgänge vollziehen sich weich und sind kaum wahrnehmbar. Insgesamt hinterlässt das Getriebe im Golf einen ausgezeichneten Eindruck.“ In „Auto Bild“ ist zu lesen: **„Das Getriebe wechselt die Gänge so sanft wie die Automatik einer Luxuslimousine.** Beim Anfahren rückt die Kupplung behutsam ein, eine Kriechfunktion hilft beim Rangieren. Durch die sieben Gänge läuft der Golf fast immer im optimalen Drehzahlbereich.“*

Heute baut Schaeffler sowohl nasse als auch trockene Doppelkupplungen, wobei die trockenen die größeren Stückzahlen ausmachen. Die trockenen Lösungen werden eher für Autos bis 150 Kilowatt verwendet, die nassen für die starken Modelle bis 500 Kilowatt. Dr. Reik hält das System Doppelkupplung für ziemlich „fertig erfunden“. Für seine Nachfolger in den Schaeffler-Forschungsabteilungen sieht er aber schon neue Herausforderungen. Zum Beispiel für Hybridautos. Reik: „Wenn man dort den Elektromotor am Getriebeeingang platziert, braucht man eine dritte Kupplung, um den Verbrennungsmotor abzustellen und rein elektrisch fahren zu können.“ Nach einer und zwei Kupplungen sozusagen ein Triple.

Michael Haas leitet die Produktlinie des variablen Ventiltriebs. Obwohl schon fast zehn Jahre im Einsatz, bietet das System noch viele Möglichkeiten für Weiterentwicklungen



» Zwischen Erfinden und Industrialisieren liegt ein himmelweiter Unterschied

Michael Haas,
Leiter Produktlinie variabler Ventiltrieb

DIE VOLLVARIABLE VENTILSTEUERUNG UNIAIR

UniAir ist ein weiteres typisches Beispiel von Schaeffler-Technologien, die ein Autofahrer wohl niemals zu sehen bekommt, die ihm aber Geld sparen, Komfort beschern und der Umwelt zugutekommen. **Es ist das weltweit erste elektrohydraulische System zur vollvariablen Steuerung der Motorventile in Benzin- und Dieselmotoren.** „Bislang wird das System ausschließlich auf der Einlassseite bei Benzinern eingesetzt“, sagt Michael Haas (56), bei Schaeffler Leiter Produktlinie variabler Ventiltrieb. „Allerdings sind dem Einsatz in Dieselmotoren beziehungsweise auf der Auslassseite keine Grenzen gesetzt.“

Mit UniAir kann der Motor stets im optimalen Wirkungsgrad betrieben werden. Der Kraftstoffverbrauch sinkt mit UniAir in Verbindung mit Downsizing um bis zu zehn Prozent. Gleichzeitig können die Leistung um zehn Prozent und das Drehmoment im unteren Drehzahlbereich um bis zu 15 Prozent gesteigert werden. Außerdem profitieren die Insassen von einem komfortableren Fahrgefühl, besonders in dichtem Verkehr. **„UniAir ist nicht nur effizient im Sinne von Kraftstoffverbrauch und Emissionen, sondern es erhöht auch den Fahrspaß durch seine schnelle Reaktion“**, präzisiert Nicola Morelli (48), Leiter Systementwicklung UniAir. Und weiter: „UniAir reagiert schneller auf Anforderungen des Fahrers, erst recht bei niedrigeren Tempi.“

Erdacht wird die UniAir-Technik 1999 vom Centro Ricerche Fiat (CRF). Um das System in die Serie zu bringen, fehlt den Italienern jedoch das Know-how für Entwicklung, Industrialisierung und Fertigung. Das holt man sich bei Schaeffler. Gemeinsam entwickeln Automobilhersteller und Automobilzulieferer bis 2009 das Serienprodukt, welches Schaeffler seitdem dank exklusiver

Lizenz als vollvariable Ventilsteuerung produziert und vermarktet. Zunächst an FCA (Fiat Chrysler Automobiles): Das System arbeitet als „MultiAir“ in Motoren von Alfa Romeo, Fiat, Chrysler und Jeep. Es ist unter anderem Kernstück in der Zweizylinder-Familie „TwinAir“. „Wir haben das System verkaufsfähig gemacht“, pflichtet Haas bei, „denn zwischen Erfinden und Industrialisieren liegt ein himmelweiter Unterschied.“ Das liegt an den vielen Komponenten, die zu UniAir gehören, aber auch an der Präzision im mikroskopischen Bereich: „Zum Bau sind entsprechende Produktionsprozesse nötig, die nur Schaeffler beherrscht“, weiß Haas. **„Wir sind die Hydraulik-Spezialisten mit der notwendigen Präzision, die die passenden Komponenten auch noch zu geringstmöglichen Kosten herstellen können.“** Der erste UniAir-Motor ist 2009 der Fiat-Vierzylinder aus dem Alfa Romeo MiTo 1.4, ein F.I.R.E.-Antrieb (Fully Integrated Robotized Engine), der vollständig von Robotern zusammengebaut wurde.

Eine eigens für Jaguar Land Rover entwickelte vollvariable Ventilsteuerung arbeitet seit Kurzem in der Ingenium-Vierzylindermotorenfamilie. Erstmals wird es mit zwei hydraulischen Nockenwellenverstellern kombiniert. Dadurch lässt sich zum Beispiel der Motor im Start-Stopp-Betrieb vibrationsarm abschalten und blitzschnell wieder starten. Ein

weiterer Vorteil ist die schnelle und zyklusgenaue Ansteuerung der Ventile. Sie lässt einen spontanen Drehmomentaufbau zu, ohne dabei mit zu großer Zündverstellung den Wirkungsgrad zu verschlechtern.

Nun arbeitet Schaeffler daran, UniAir noch effizienter zu machen. Denkbar ist beispielsweise die Reduzierung von Bauteilen. Aber auch der Einsatz von besseren Verbrennungsstrategien. **„Da gibt es noch viele Entwicklungsmöglichkeiten“, weiß Haas. „Wir denken auch über die Integration der vollvariablen Ventilsteuerung UniAir direkt im Zylinderkopf nach ...“**

Bei einer konventionellen Ventilsteuerung sorgen die Nocken der rotierenden Einlass-Nockenwelle für das Öffnen und Schließen der Ventile. Die zur Verbrennung nötige Luft wird durch die Stellung einer Drosselklappe geregelt. Nachteil: Diese Art der Ventilsteuerung ist auf einen bestimmten Lastzustand des Motors optimiert. Selbst die variable Nockenwellenverstellung VCT kann nicht alle sich kontinuierlich verändernden Fahrbedingungen abbilden. Schon gar nicht in dem oft nötigen Tempo. Als Folge läuft das Triebwerk deshalb nicht in allen Bereichen effizient.

Die vollvariable Ventilsteuerung UniAir dagegen passt sich den wechselnden Leistungsanforderungen stets optimal an.



DER AUTOR

Roland Löwisch, freier Motorjournalist aus Hamburg, ist stets neugierig auf die jüngsten technischen Entwicklungen in Sachen Auto und Motor. Für die Recherche tauchte er tief in die Spezialgebiete nasse und trockene

Doppelkupplung sowie vollvariable Ventilsteuerung ein.

WELTVERB

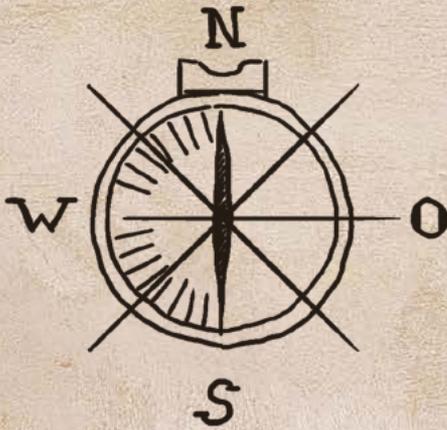
Zwölf Maschinen, die die Entwicklung der Welt maßgeblich vorangetrieben haben.

— von Dr. Christian Heinrich

UM 1000

KOMPASS

Eine Magnetnadel, beweglich aufgehängt: Eine einfachere Maschine – sofern man hier überhaupt diesen Begriff verwenden sollte – kann man sich kaum vorstellen, und doch ist der Kompass eine der größten Erfindungen der Menschheit. Wer seine Erfindung für sich verbuchen darf, ist bis heute umstritten. Die Ursprünge liegen offenbar in China und reichen bis ums Jahr 1000 herum zurück. Dort wird der Kompass allerdings weniger zur Navigation, sondern eher im Rahmen der Harmonielehre Feng-Shui für die Planung und Lage von Häusern verwendet. In Europa wird der Kompass im Jahr 1269 das erste Mal erwähnt – er legt hier die Grundlage für das Zeitalter der Entdeckungen.



WARUM ER DIE WELT VERÄNDERT HAT

- Navigation vor Kompass war unzuverlässig
- Grundlage für die Vermessung der Welt: Erst der Kompass ermöglichte die Erstellung von verlässlichen Land- und Seekarten
- Entdeckung neuer Länder und Erdteile
- Ausweitung des Welthandels durch Entstehen fester Handelsrouten
- Navigieren heute: GPS statt Kompass

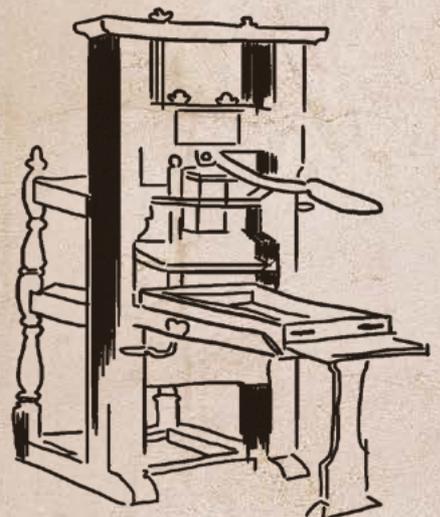
UM 1450

DRUCKERPRESSE

Um das Jahr 1400 wird in Mainz ein Junge namens Johannes Gutenberg als Sohn eines Kaufmanns geboren. Vermutlich schon in jungen Jahren hatte er sich ein Ziel gesetzt: Schriften vervielfältigen zu können. Etwa 50 Jahre später gelingt es ihm erstmals, die Bibel zu drucken. Entscheidend dafür sind Gutenbergs Handgießinstrument, mit dessen Hilfe er Drucklettern einzeln, schneller und feiner gießen kann, die Druckerpresse und eine verbesserte Druckfarbe.

WARUM SIE DIE WELT VERÄNDERT HAT

- Einfaches Vervielfältigen von Texten und Bildern
- Ohne die Druckerpresse wäre die Menschheit kulturell und intellektuell nicht zur heutigen Zivilisation herangewachsen
- Demokratisierung von Bildung und Sprache
- Höheres Bildungsniveau
- Schneller und präziser Wissensaustausch
- Beginn der Massenkommunikation



ESSERER

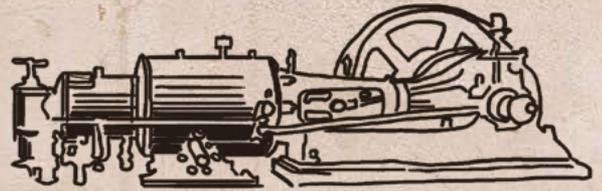
1765

DAMPFMASCHINE

Wie wäre eine Welt, in der alles – von der Fortbewegung über die Alltagsverrichtungen bis zur Produktion – weitestgehend auf der Muskelkraft von Menschen und Tieren beruht, und allenfalls noch auf den vor Ort vorhandenen Naturkräften wie Wasserkraft und Wind? Es gäbe keine Autos und keine Eisenbahnen, fast alles müsste per Hand hergestellt werden. So sah die Welt etwa bis zum Jahr 1765 aus. In diesem Jahr entwickelt der schottische Erfinder James Watt bestehende Dampfpumpen, die bereits im Bergbau eingesetzt wurden, entscheidend weiter, indem er neue Komponenten wie einen Kondensator hinzufügt und so drei Viertel des Brennstoffs einspart. Die ihm daher zugeschriebene Dampfmaschine kann nicht nur Arbeiten erledigen, die bislang überwiegend von Menschen oder Tieren geleistet werden mussten. Sie eröffnet durch die schiere Kraft, die sie entfaltet, auch ganz neue Möglichkeiten.

WARUM SIE DIE WELT VERÄNDERT HAT

- Motor der Mobilität: Eisenbahn und Dampfschiffahrt veränderten Gesellschaft, Wirtschaft und Alltag
- Impulsgeber der industriellen Revolution, die zu enormem Bevölkerungswachstum, Urbanisierung und großen Fortschritten in Technik und Wissenschaft führt
- Fabriken produzierten so effizient wie noch nie
- Neue Oberschicht der Fabrikbesitzer entsteht



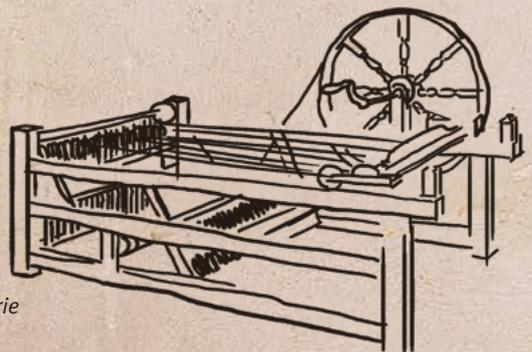
1786

MECHANISCHER WEBSTUHL

Kleidung ist lebenswichtig für jeden Menschen, in vielerlei Hinsicht, der Schutz gegen Kälte und Wetter ist dabei nur das grundlegendste Element. Kein Wunder, dass die Menschen seit jeher versucht haben, das Weben von Kleidung zu vereinfachen oder gar zu automatisieren. Einfache Vorgänger des Webstuhls mit Steinen als Gewichten gibt es schon seit mehreren Tausend Jahren, den Durchbruch aber schafft erst der mechanische Webstuhl, den der Engländer Edmund Cartwright entwickelt: 1786 meldet er ein Patent an auf den sogenannten „Power Loom“ (Kraftwebstuhl), der komplett mit Dampf betrieben wird. Es ist der Beginn einer neuen Art zu produzieren.

WARUM ER DIE WELT VERÄNDERT HAT

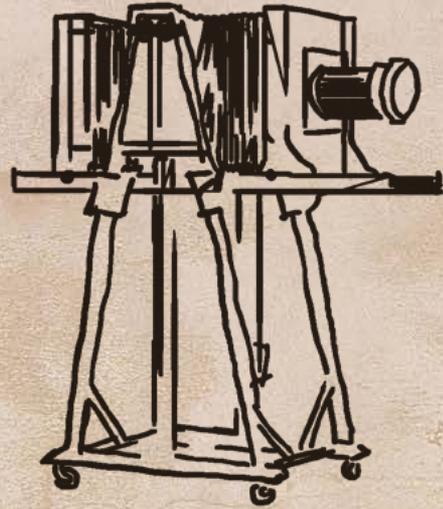
- Erhebliche Steigerung der Produktivität
- Erste maschinelle Massenproduktion
- Mechanischer Webstuhl neben der Dampfmaschine entscheidender Meilenstein der industriellen Revolution
- Fabriken verdrängen Manufakturen
- Kostengünstige Produktion großer Mengen bei gleichbleibender Qualität
- Mehr als 60 Millionen Menschen arbeiten heute in der Textilindustrie



1826

FOTOAPPARAT

Zum ersten Mal in der Geschichte der Menschheit gelingt es dem Franzosen Nicéphore Niépce, einen Moment auf einem Foto dauerhaft festzuhalten. Er verwendet das in dieser Zeit schon bekannte Prinzip der Camera obscura. Das bis dahin bestehende Problem, dass die entstandenen Bilder nicht lichtbeständig und damit nicht von Dauer sind, löst Niépce, indem er die Belichtungsoberfläche austauscht: Zum Tragen kommt nun Asphalt, der extrem hart und beständig ist. Am 22. November 1826 gelingt es Nicéphore Niépce so, das erste bleibende Bild zu schaffen. Es zeigt den Blick aus seiner Werkstatt. Bilder mit Menschen und Tieren sind zu dieser Zeit allerdings noch fast unmöglich: Die Belichtungszeit liegt noch bei mehreren Stunden.



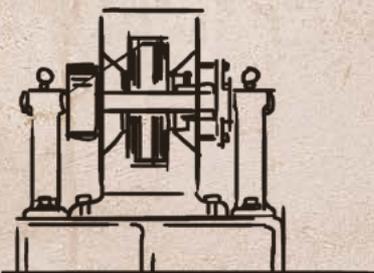
WARUM ER DIE WELT VERÄNDERT HAT

- Dokumentation und Konservierung der Wirklichkeit
- Das Foto gibt der Kunst die Freiheit, abstrakter zu werden
- Vorläufer des Bewegtbilds
- 1,2 Billionen Fotos werden heute jährlich gemacht
- Grundlage von Social Media wie Snapchat oder Instagram
- Heute ermöglichen Bildbearbeitungsprogramme Manipulationen von Fotos, Glaubwürdigkeit ist geringer geworden

1867

DYNAMO

Die Macht des Stroms ist den Menschen zur Weltausstellung in Paris im Jahr 1867 längst ein Begriff. Die Telegrafie etwa schickt bereits Nachrichten über viele Kilometer über Stromkabel. Doch der Strombedarf wächst, und es fehlt die Möglichkeit, ausreichend Strom herzustellen. Man nutzt zwar die Magnetkraft von elektrischen Spulen, aber um die zu betreiben, braucht man bislang auch Batterien – ein ineffizientes Verfahren. Der Dynamo, den Werner von Siemens auf der Weltausstellung vorstellt, ist so konstruiert, dass sich das Magnetfeld durch den erzeugten Strom selbst verstärkt. Damit muss die Dynamomaschine nur bei der ersten Verwendung kurz an eine externe Stromquelle angeschlossen werden.



WARUM ER DIE WELT VERÄNDERT HAT

- Der Dynamo ist der erste Stromgenerator, der wirklich und umfassend in der Praxis eingesetzt werden konnte
- Ermöglichte Siegeszug der Elektrizität, die sich mittlerweile auf alle Bereiche des Lebens erstreckt
- Elektrische Lichtquellen machen unabhängig vom Tageslicht
- 21 Billionen kWh Strom werden heute jährlich verbraucht

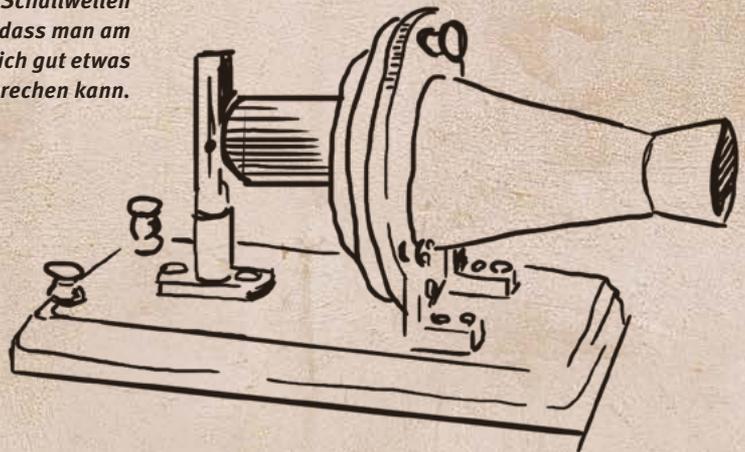
1876

TELEFON

Die Erfindung des Telefons ist nicht das Verdienst eines Einzelnen, sondern vieler. Eine zentrale Figur ist der Mathematik- und Physiklehrer Philipp Reis, der 1861 in seiner Scheune ein „Wursthaut-Telefon“ baut: Auf einer hölzernen Ohrmuschel aufgespannte Wursthaut dient als Nachbildung des menschlichen Trommelfells, die Schwingungen werden mithilfe von Stromunterbrechungen erfasst. Doch erst als der Sprachtherapeut und Gehörlosenlehrer Alexander Graham Bell im Jahr 1876 den Stromkreis nicht mehr unterbricht, sondern ihn im Rhythmus der Schallwellen schwingen lässt, ist die Qualität so, dass man am anderen Ende der Leitung tatsächlich gut etwas versteht und von einem Telefon sprechen kann.

WARUM ES DIE WELT VERÄNDERT HAT

- Direkte Kommunikation über große Entfernungen
- Ortsunabhängigkeit durch Mobil- und Smartphones ermöglicht neues Kommunikationsniveau: gleichzeitige Freiheit und Verbundenheit
- Voraussetzung für Globalisierung
- Durchschnittlicher Nutzer greift pro Woche 1.500-mal zum Smartphone



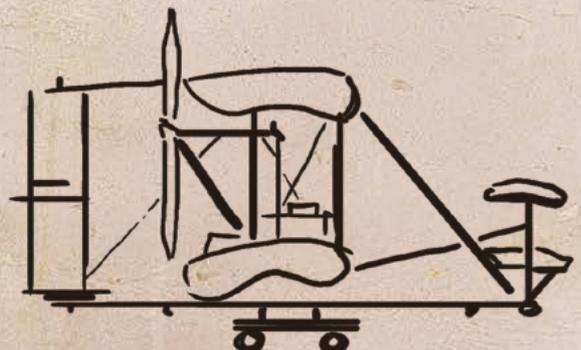
1891

FLUGZEUG

Wie machen es die Vögel? Sie haben Flügel und schlagen damit. Der Deutsche Otto Lilienthal schaut noch etwas genauer hin und entdeckt das Prinzip von Auftrieb und Vortrieb. Darauf basierend entwickelt er Tragflügel und schließlich ein Gleitflugzeug, das einen Mann trägt. Von 1891 bis 1896 zeigt Lilienthal selbst bei zahlreichen gelungenen Testflügen, dass der Traum vom Fliegen für Menschen wahr geworden ist. Darauf aufbauend gelingt es 1903 den US-amerikanischen Brüdern Wright, ein Motorflugzeug zu starten und zu landen.

WARUM ES DIE WELT VERÄNDERT HAT

- Menschen und Waren können schneller und über größere Distanzen transportiert werden, eigener Wirkhorizont hat sich enorm vergrößert
- Flugzeuge haben die Menschheit globalisiert
- Fliegen internationalisiert Tourismus
- Täglich weltweit mehr als 100.000 Flugzeuge in der Luft
- Erster Schritt zur Eroberung des Weltraums



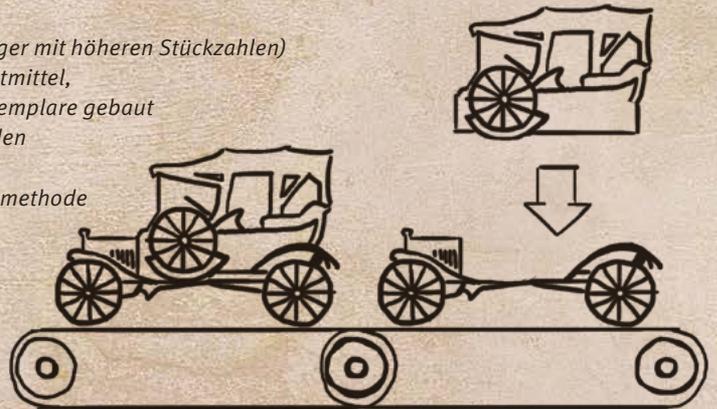
1913

FLIESSBAND

Seine Autos fahren noch heute auf den Straßen. Der Name des Automobilherstellers Henry Ford steht für den Durchbruch des Fließbandes. Am 7. Oktober 1913 beginnt Ford mit dem Probetrieb eines behelfsmäßigen ersten Montagebands für die Produktion des sogenannten Modell T. Die Einführung dieses Schrittes geschieht nicht aus heiterem Himmel. Ford bedient sich der Vorerfahrung anderer Branchen, etwa der riesigen Schlachthöfe von Chicago, in denen Rinder und Schweine in einer Art fortlaufender Fertigungsstraße zerlegt werden und ihr Fleisch in Konserven verpackt wird. Doch erst die Übernahme dieses Produktionskonzepts in die Automobilindustrie und die vollständige Automatisierung dort machen das Fließband zum Symbol einer neuen Zeit.

WARUM ES DIE WELT VERÄNDERT HAT

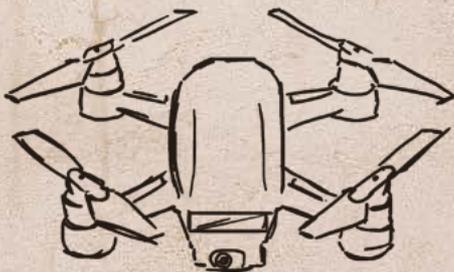
- Steigerung der Produktivität (schneller und billiger mit höheren Stückzahlen)
- Auto wird durch Fließband zum Massentransportmittel, allein vom Ford Modell T werden 15 Millionen Exemplare gebaut
- Arbeitsweise erreicht weltweiten Höhepunkt in den 1950er- und 1960er-Jahren
- Wegen Nachteilen der Fließbänder (Produktionsmethode ist starr und unflexibel, wird ein Arbeitsschritt nicht schnell genug abgewickelt, stockt gesamtes System) heute oft modulare Montage mit Fertigungsinseln



SEIT 1914

DROHNEN

Die ersten per Funk gesteuerten Fluggeräte entstehen bereits während des Ersten Weltkriegs. Sie können eine vorher festgelegte Route fliegen und an einer bestimmten Stelle Torpedos abwerfen. Im Zweiten Weltkrieg kommen Drohnen im größeren Stil zum Einsatz, in den Jahrzehnten danach werden sie vor allem für Aufklärungsflüge eingesetzt. Das revolutionäre Potenzial der Drohne entfaltet sich allerdings erst in den letzten Jahren.



WARUM SIE DIE WELT VERÄNDERT HABEN

- Sehr beweglich: Drohnen starten, fliegen und landen wie Hubschrauber, nicht wie Flugzeuge
- Für unterschiedlichste Anwendungen in Logistik, Transport und Fabrikation nutzbar
- Leicht zu bedienen
- Abgelegene Gebiete werden erreichbar
- 2017 wurden fast 3,8 Millionen Drohnen verkauft
- Autonome Drohnen können Stadtverkehr in die Luft verlagern
- US-Start-up Matternet hat langfristige Vision, alle Landflächen weltweit mit einem Transportnetzwerk aus Drohnen zu überziehen

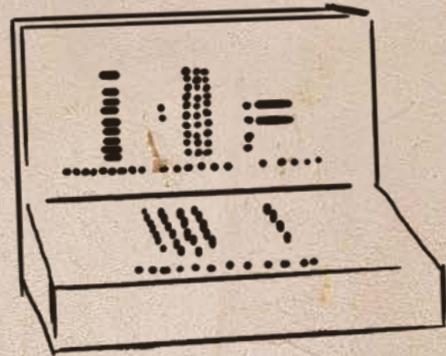
1941

COMPUTER

„Der Krieg ist der Vater aller Dinge“, sagt Heraklit. Dieses Diktum scheint für den Computer besonders zutreffen: In der Zeit des Zweiten Weltkriegs entstehen die ersten Computer, oft in der Absicht, die Flugbahn von ballistischen Projektilen zu berechnen und Nachrichten des Feindes zu dechiffrieren.

Einer der ersten Computerkonstruktoren ist der deutsche Ingenieur Konrad Zuse, der im Mai 1941 die Rechenmaschine Z3 konstruiert. In den folgenden Jahren entstehen weitere Computer sowohl in Deutschland als auch in den USA und Großbritannien.

Bei den Rechenmaschinen handelt es sich um meterlange Kolosse, der sogenannte ENIAC-Computer aus den USA etwa, gebaut 1946, ist 17 Meter lang und mehr als zehn Meter hoch.



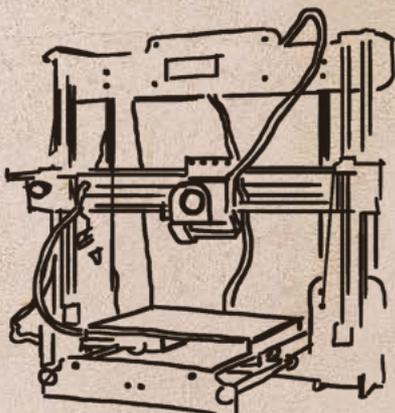
WARUM ER DIE WELT VERÄNDERT HAT

- Enorme Beschleunigung der technischen Entwicklung
- Billige Massenproduktion macht Hightech für breite Bevölkerungsschichten zugänglich
- Computer in 95 Prozent aller Lebensbereiche vorgedrungen
- 20 Millionen Exemplare: Der C64 ist der meistverkaufte Rechner aller Zeiten
- Internet vernetzt Menschen weltweit und revolutioniert Daten- und Informationsaustausch
- Ermöglicht digitale Vernetzung in der Industrie 4.0

1986

3-D-DRUCKER

Im Jahr 1986 meldet der US-Amerikaner Charles Hull den ersten 3-D-Drucker zum Patent an. So wie man mit dem Laserdrucker zu Hause Text auf Papier druckt, so druckt der 3-D-Drucker kleine dreidimensionale Gebilde. Anfangs wurden auf diese Weise vor allem Prototypen erstellt, heute werden zunehmend individuelle Auftragsproduktionen über 3-D-Drucker produziert. Langsam hält der 3-D-Drucker auch Einzug in die Privathaushalte, hier beschränkt sich die Anwendung vielerorts auf Spielereien wie eigens am Computer designte Spielfiguren. Doch die Revolution ist bereits am Horizont sichtbar.



WARUM ER DIE WELT VERÄNDERT HAT

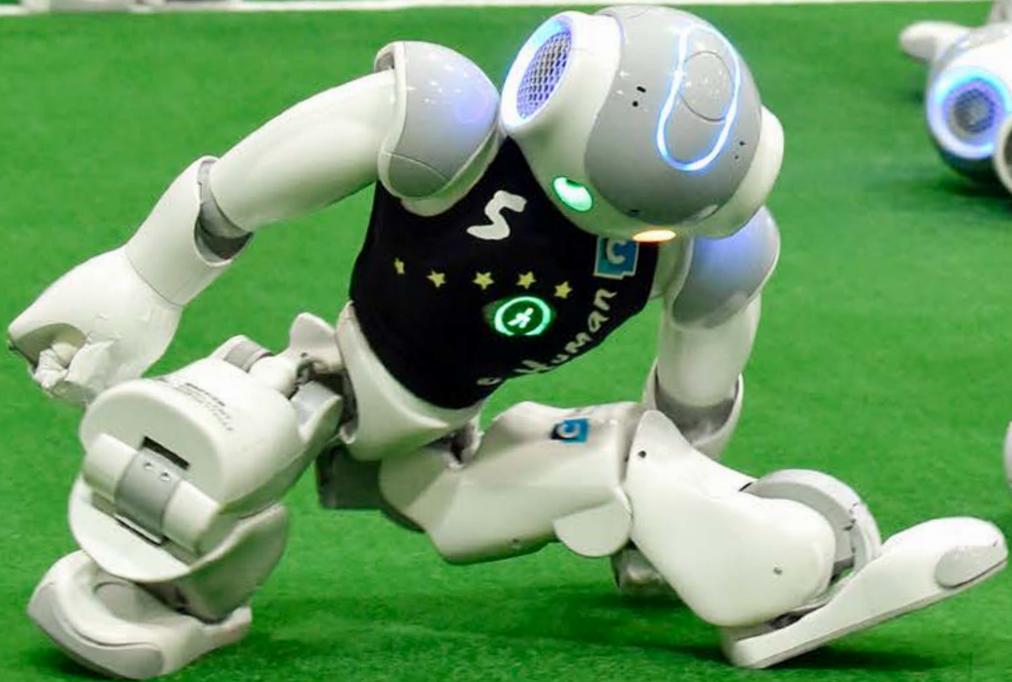
- Fabrik im Miniaturformat: Drucker kann sogar im Wohnzimmer stehen
- Privileg der Produzenten mit Fabriken verschwindet – und damit auch ihre Marktmacht
- Produkte werden maßgeschneidert und individuell an eigene Bedürfnisse angepasst
- Teile können schnell und direkt gefertigt werden
- Produktionsstätten werden flexibel
- Reduzierung des Transportverkehrs

DER AUTOR



Christian Heinrich schreibt als freier Journalist unter anderem für die „taz“ und die „Zeit“. Er ist gespannt, welche Maschine als Nächstes die Welt verändern wird.

Am wahrscheinlichsten erscheinen ihm Roboter mit künstlicher Intelligenz. Wie diese Revolution aussehen könnte, dafür hält das Kino schon eine Reihe von Szenarios bereit. Besonders gefallen dem Autor „Her“ und „Blade Runner“.



MASCHINEN-KICK

— *Roboter im Sport – da denkt man vielleicht an eine Tennisballwurfmaschine oder den Mähroboter des Greenkeepers. Die Technik ist aber schon viel weiter. Beim Roboterfußball (Foto) zum Beispiel treten Mannschaften, bestehend aus fünf etwa 60 Zentimeter großen Digitalkickern, gegeneinander an. Sie agieren dank einer ausgeklügelten Programmierung und zweier Kameras im Kopf völlig autonom, also ohne Fernsteuerung von außen. Passen, laufen, dribbeln, schießen, hinfallen, aufstehen, Torwartparaden – alles wie bei ihren Pendants aus Fleisch und Blut. Apropos: Das Projekt „RoboCup“, eine internationale Initiative zur Förderung der Forschung in den Bereichen künstliche Intelligenz und Robotik, hat sich zum Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2050 ein Team aus humanoiden Roboterfußballern zu entwickeln, das die deutsche Herren-Nationalmannschaft schlägt.*

jetzt-zeit

Leben mit dem Fortschritt

» Unser Mitarbeiter des Monats wird niemals krank

Die IT- und App-Schmiede Sportplatz Media über einen Journalisten-Roboter, der Fußballspielberichte automatisch erstellen soll

KÜNSTLICHE INTELLIGENZ IM SPORT – MEILENSTEINE

1769

Wie von Geisterhand bewegt der erste **Schachroboter** Figuren. Jahrzehnte später die Enttarnung: Die Maschine wurde von einem Menschen bedient.

1897

Der britische Mathematiker Charles Hinton erfindet die erste **Baseball-Pitching-Maschine**. Sie wird mit Schießpulver betrieben.

2016

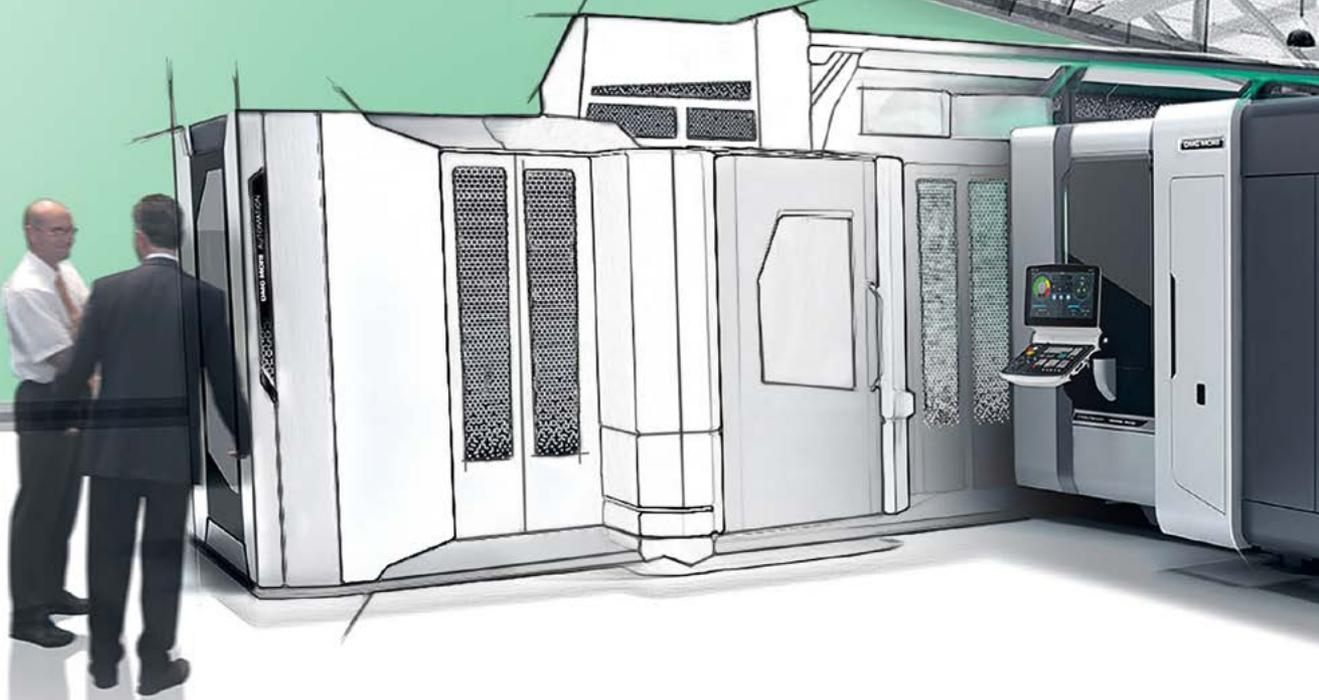
Der **autonom fahrende Elektrorennwagen** Robocar dreht erste Demorunden bei der Elektrorennserie Formel E.

2017

Highlight der seit Beginn des Jahrtausends populären **Roboterkämpfe**: der Vergleich Japan vs. USA mit riesigen von Menschen gesteuerten Ungetümen.

2020

Für mehr Objektivität: Bei den Olympischen Spielen in Tokio soll ein Roboter die Athleten der **Rhythmischen Sportgymnastik** bewerten.



NEUE SCHÖN

Die Fabrik wird chic. Längst gehen auch Maschinenbauer dazu über, ihren Anlagen attraktive Formen zu geben. Die Kunst besteht darin, scheinbare Gegensätze zu vereinen: Emotion und Technik, Form und Funktion.

— von Christel Trimborn

— Es gibt diesen Satz, den wir alle kennen: Das Auge isst mit. Soll heißen: Je attraktiver und appetitlicher ein Gericht auf dem Teller angerichtet ist, desto lieber wird es gegessen. Ja, unter Umständen schmecken gewöhnlich zubereitete Erbsen, Bohnen und Co. sogar besser, wenn das Gemüse stilvoll arrangiert wird. Dasselbe gilt für fröhlich gestaltete Klassenräume, in denen das Lernen Spaß macht, für ansprechende Medizintechnik, vor der man keine Angst hat, oder für ultraleichte Werkzeuge, mit denen sogar Hobbybastler ohne große Anstrengungen ein passables Arbeitsergebnis erzielen. Dass eine inspirierende Umgebung oder verbraucherfreundlich gestaltete Produkte des täglichen Bedarfs das allgemeine

Wohlbefinden sowie die Kauf- und Leistungsbereitschaft steigern können, ist hinlänglich bekannt. Immerhin reichen jedes Jahr Tausende von Firmen und Designern ihre Produkte bei international renommierten Gestaltungswettbewerben wie dem „Universal Design Award“, dem „iF Design Award“ oder dem „Red Dot Award“ ein. Deren Juroren sollen mit ihrer fachlichen Expertise das hohe Qualitätsniveau, den Innovationsgrad und damit den Marktwert der verschiedensten Produkte bestätigen – von der Armbanduhr bis zum Zahnarztstuhl. Wie aber sieht es beim Industrie- und Werkzeugmaschinen-Design aus? Wird an gut gestalteten Druck- oder Vermessungsmaschinen, an schicken Pressen oder an optisch



HEITSIDEALE

ansprechenden CNC-Fräsen nachweisbar effizienter, fehlerfreier oder sogar lieber gearbeitet?

Mensch im Mittelpunkt

In kaum einer anderen Branche diktierte die Funktion die Form derart rigoros wie im Maschinenbau. Bedienungs- und Wartungsfreundlichkeit waren ebenso Trumpf wie Robustheit. Schöne Linien eher nicht. Das hat sich vor ein paar Jahren geändert – das konstatiert auch der Schweizer Industriedesigner Dominic Schindler. Gemeinsam mit seinem Team hat er sich auf Innovationsstrategien für anspruchsvolle Güter und komplexe Systeme spezialisiert und für seine internationalen Kunden von der Seilwinde bis zum Spindelkopf bereits über 3.000 Projekte realisiert. Immer in Schindlers Hinterkopf: der Mensch, der sie bedient. Nicht umsonst heißt eine Maxime seiner am Bodensee und bei Zürich ansässigen Agentur: „Wir verwandeln Visionen in Arbeitsrealitäten und stellen die Menschen immer in den Mittelpunkt unserer Lösungen.“ Deshalb gehören für ihn – neben den klassischen Kriterien

Bedienungs- und Wartungsfreundlichkeit sowie den immer wichtiger werdenden effizienten Prozessabläufen – längst auch Emotionen und Erlebnisse beim Bedienen von Industriemaschinen zu den vorrangigen Kriterien, die bei der Entwicklung und Gestaltung eines Produkts berücksichtigt werden müssen. „Experience Design“ nennt er das. Neben der Ästhetik spielt aus seiner Sicht bei der Gestaltung neuer oder verbesserter Maschinen die Nutzer-Erfahrung eine wesentlich größere Rolle. Je weniger Stress und Anstrengung die Bedienung einer Maschine verursache, je leichter und intuitiver man sie benutzen könne, je wohler sich der Nutzer mit ihr fühle, desto attraktiver und wertvoller sei sie.

Hand in Hand

Die Anforderungen an moderne Industrie- und Werkzeugmaschinen wachsen beständig. Schneller, präziser und effektiver sollen die oftmals hochtechnisierten Geräte sein, gleichzeitig aber dürfen sie den Bediener nicht überfordern. Um diesen immer komplexer werdenden Ansprüchen gerecht zu werden und dabei die

» Heutzutage arbeiten Designer und Ingenieure immer mehr Hand in Hand – sie begegnen sich auf Augenhöhe und sind beide gleichermaßen an der Entwicklung eines Produktes beteiligt

Björn Steinhoff,
Design Zentrum Nordrhein-Westfalen

Menschen nicht aus den Augen zu verlieren, ist vor allem eins notwendig: eine enge Kooperation zwischen Entwicklern und Designern. „Heutzutage arbeiten Designer und Ingenieure immer mehr Hand in Hand – sie begegnen sich auf Augenhöhe und sind beide gleichermaßen an der Entwicklung eines Produktes beteiligt“, weiß Björn Steinhoff, Head of Communications & Public Relations beim Essener Design Zentrum Nordrhein-Westfalen, das den Red Dot Award organisiert. Klingt logisch: Während die Ingenieure ihr oftmals sehr spezielles Fachwissen beisteuern, denken Designer eher in ästhetischen oder lösungsorientierten Kategorien. Im besten Fall entstehen aus der Kombination von rationellem und emotionalem Input Synergieeffekte und erfolgreiche neue Produkte oder Arbeitsgeräte. Industriedesigner Dominic Schindler geht aber noch einen Schritt weiter. Es genüge bei Weitem nicht, sagte er in einem Interview mit dem Schweizer Fachmagazin „Maschinenmarkt“, nur die Benutzer über ihre Prozesse zu befragen. Vielmehr müsse man die Anwender während ihres Tagesablaufs begleiten – oder sich als Designer sogar mal selbst als Bediener an eine Maschine stellen, um herausfinden zu können, was wirklich gebraucht würde. In den eben angebrochenen Zeiten von Industrie 4.0., gekennzeichnet durch vernetzte, selbststeuernde Prozesse, werden Designer, Ingenieure und Anwender vermutlich noch viel enger zusammenarbeiten und sich noch stärker austauschen müssen. Denn um die vielfältigen Anforderungen an Produkte, Maschinen und Systeme in puncto Gestaltung, Handhabung und Dienstleistung in Einklang zu bringen, ist mehr interdisziplinäres Denken gefragt als je zuvor.

Best of the Best

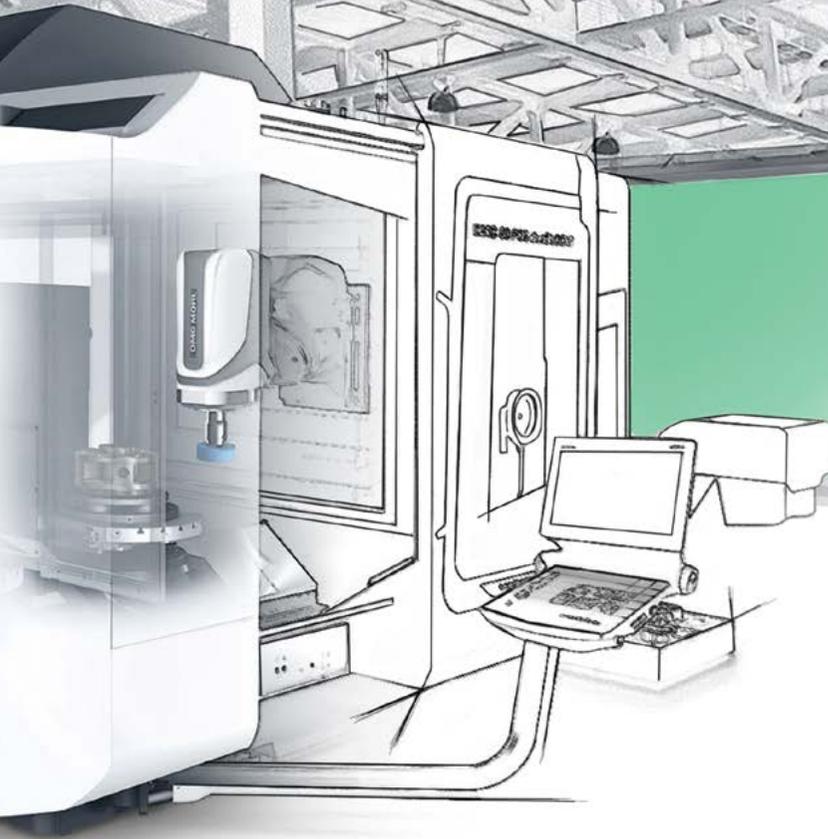
Die Komplexität bei der Beurteilung, was „gutes Design“ denn nun eigentlich ist, kennen auch die Juroren der internationalen Designwettbewerbe. Die höchste

Mitte des
19.
Jahrhunderts

beginnt mit der Massenproduktion von Konsumgütern in der industriellen Gesellschaft die **Geschichte des Produktdesigns** und des Prototypenbaus. Einer der ersten Stars der Szene: der deutsche Möbeldesigner Michael Thonet.

Auszeichnung, die die Jury des Red Dot Award zu vergeben hat, werde deshalb nur Produkten zuerkannt, die formvollendetes Design mit maximaler Funktionalität in Einklang brächten, so die Wettbewerbsverantwortlichen. „Anwender- und Wartungsfreundlichkeit, einfache Bedienung, Ergonomie und eine spezielle Form- und Farbgebung sind allesamt Faktoren, die mit gutem Design einer Industriemaschine einhergehen“, sagt Björn Steinhoff. Welche Auswirkungen eine detailliert durchdachte und individuell auf die Bedürfnisse der Anwender zugeschnittene Gestaltung haben kann? „Alle diese Faktoren tragen wesentlich zur Steigerung der Produktivität bei. Dadurch, dass das Arbeiten an einer gut gestalteten, ergonomischen Maschine deutlich mehr Spaß macht, ist auch die Leistungsbereitschaft der Mitarbeiter größer.“ Darüber hinaus sei ein weiterer positiver Nebeneffekt zu beobachten, so Steinhoff. Angeblich gingen Mitarbeiter mit gut und bedienerfreundlich gestalteten Maschinen deutlich





Die in diesem Artikel gezeigten Produktionsmaschinen stammen vom Schaeffler-Partner DMG Mori. Der weltweit führende Hersteller von spanenden Werkzeugmaschinen setzt im Bereich Design seit vielen Jahren Maßstäbe. Die Gestaltung der Fräs-, Dreh- und Werkzeugmaschinen optimiert die Interaktion zwischen Bediener und Maschine einerseits sowie zwischen Maschine und übergeordneten Netzwerken andererseits. DMG Mori und Schaeffler arbeiten unter anderem bei Entwicklungen für die Industrie 4.0 zusammen

pfleglicher um und achteten darauf, dass sie nach der Arbeit in gutem Zustand hinterlassen würden.

Nicht ganz neu

Ein Blick in die Geschichte des Industriedesigns macht deutlich, dass der Typ des modernen Designers bereits in den 20er-Jahren des vorigen Jahrhunderts entstand – und zwar auf beiden Seiten des Atlantiks und in zwei ganz unterschiedlichen Ausprägungen: In Europa waren es die Künstler der Bauhaus-Bewegung und die Mitglieder der klassischen Moderne, die überwiegend konstruktivistisch-experimentell arbeiteten. In den USA ging es da bereits kommerzieller zu. Hier war es die Autoindustrie, die den ersten Arbeitsmarkt für industrielle Gestalter bildete: In der Abteilung für „Art and Color“ von General Motors waren sie dafür zuständig, den Absatz der Neuwagen durch regelmäßige Modellkosmetik zu steigern. „Die Kategorie ‚Maschinen-, Komponenten- und Anlagentechnik‘ ist von Beginn an Teil des ‚Red Dot Award: Product Design‘ – also seit Mitte der 1950er-Jahre“, weiß Marketingmann Björn Steinhoff. „Das heißt, dass einige Hersteller bereits zu dieser Zeit den Wert guten Designs erkannt haben. Im Laufe der 1990er-Jahre wurde dieses Bewusstsein immer stärker, und heute lässt es sich aus der Investitionsgüterbranche nicht mehr wegdenken.“ Die Konsequenz: Heute arbeiten Designer und Entwickler früher und intensiver Hand in Hand – für eine perfekte Einheit von Form und Funktion.

10 THESEN VON DESIGN-IKONE DIETER RAMS ÜBER GUTES PRODUKTDESIGN

- *Gutes Design ist innovativ.*
- *Gutes Design macht ein Produkt brauchbar.*
- *Gutes Design ist ästhetisch.*
- *Gutes Design macht ein Produkt verständlich.*
- *Gutes Design ist unaufdringlich.*
- *Gutes Design ist ehrlich.*
- *Gutes Design ist langlebig.*
- *Gutes Design ist konsequent bis ins letzte Detail.*
- *Gutes Design ist umweltfreundlich.*
- *Gutes Design ist so wenig Design wie möglich.*



DIE AUTORIN

*Wenn es um die Gestaltung von Alltagsgegenständen geht, kennt die Beinahe-Modedesignerin **Christel Trimborn** (das Studium brach sie nach dem vierten Semester ab) kein Pardon: Wenn der schöne Schein die praktischen Funktionen überschattet, fällt das Produkt bei ihr durch. Für faszinierend schöne, aber völlig nutzlose Dinge kann sie sich dennoch begeistern – solange sie diese nicht in Gebrauch nehmen muss.*

HERR DER LÜFTE

Ohne sie wäre die heutige Luftfahrt nicht denkbar: Erst moderne Mantelstromtriebwerke – mit Hightech-Bauteilen wie die Speziallagersysteme und andere Präzisionskomponenten von Schaeffler – sorgen für den nötigen Schub, damit wir dank tonnenschwerer Verkehrsmaschinen global zusammenwachsen.

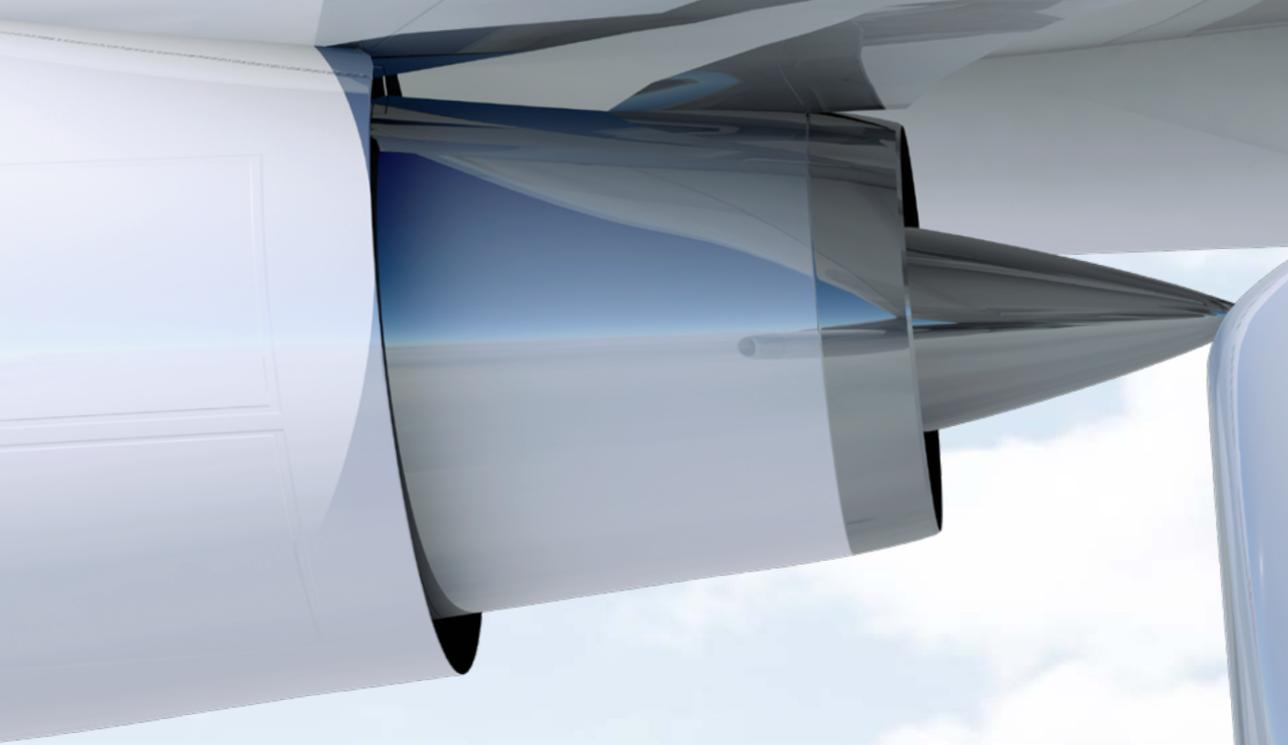
— von Carsten Paulun

BITTE AUFKLAPPEN ▶



STRAPPING ZONE
VLT 3200 KG (max. Nutzlast)

est

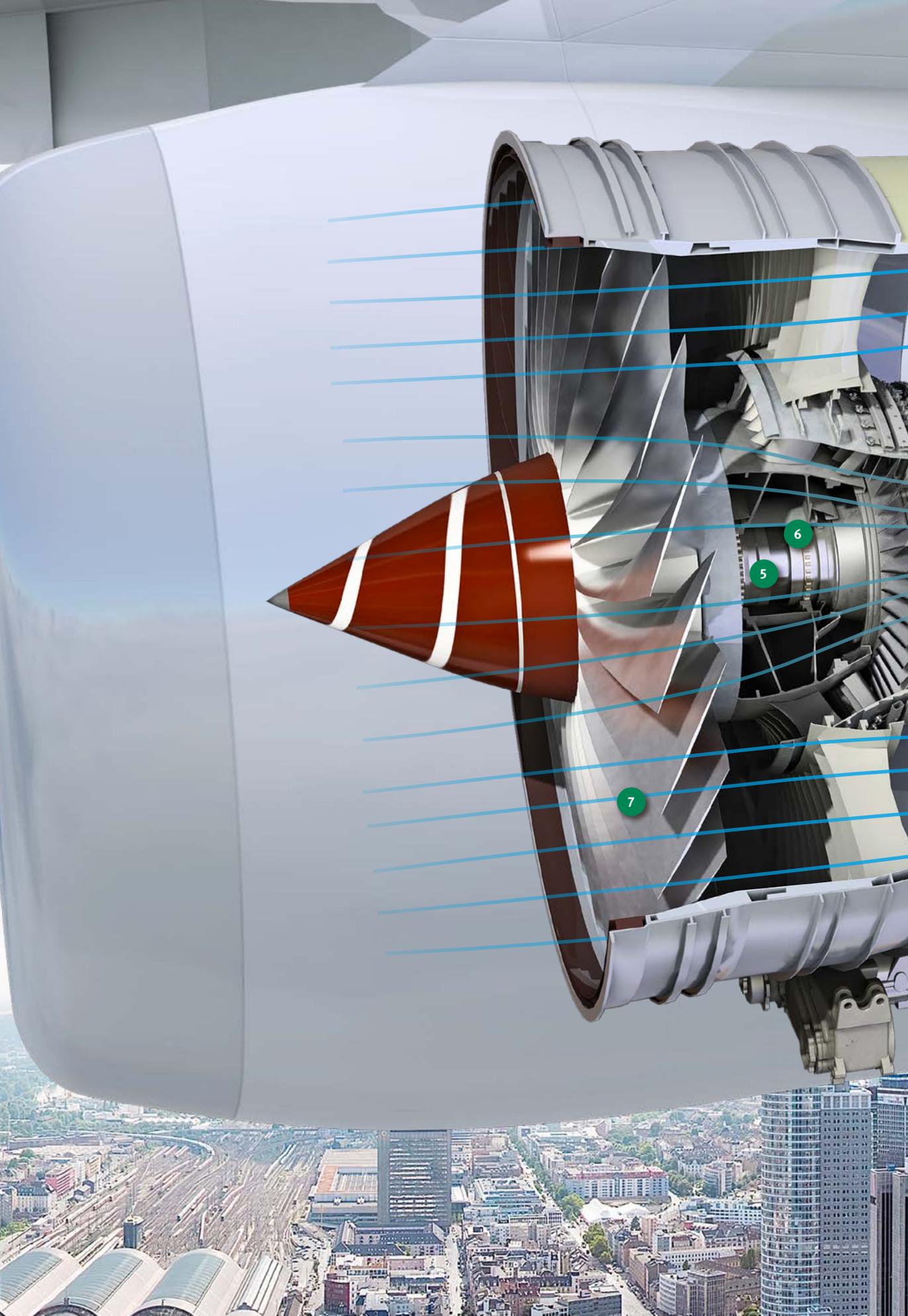


HOHE DRÜCKE – HOHE MATERIALANFORDERUNGEN

Die Technologie hinter einem Jet-Triebwerk ist eigentlich ganz einfach: Ein Kompressor **1** verdichtet die vorn am Triebwerk eingesogene Luft, in der Brennkammer **2** wird dazu Treibstoff eingespritzt und entzündet. Durch die Verbrennung dehnt sich das Luft-Treibstoff-Gemisch explosionsartig aus und wird durch die vorn neu eingepresste Luft nach hinten gedrückt. Das Volumen, das die Luft nach dem Verbrenen einnimmt, ist wesentlich größer als das der einströmenden Luft vorne. Damit diese Abgasmenge das Triebwerk verlassen kann, muss sie deutlich schneller sein als die Luft, die einströmt. Es entsteht ein Abgasstrahl **3**, der die entsprechende Schubkraft erzeugt und am Ende des Triebwerks wieder austritt. Zusätzlich treibt der Abgasstrahl ein Schaufelrad **4** an, das über eine Welle **5** mit dem Kompressor **1** am Triebwerkseingang verbunden ist. Um den Druck auf das 45-Fache des Eingangsdrucks zu erhöhen, besitzen moderne Abgas-

strahltriebwerke zwischen acht und 14 nacheinander geschaltete Druckstufen. Besondere Herausforderungen sind die hohen Abgastemperaturen von bis zu 2.200 Grad und die Belastungen für die Wellen. Das Temperaturproblem haben die Ingenieure mit speziellen Materialien und Kühlverfahren direkt an den Rotorblättern gelöst. Für die Wellen hat Schaeffler Lager und integrierte Wellenteile **6** entwickelt, die per Elektronenstrahl verschweißt sind. Um Jet-Triebwerke sparsamer zu machen, teilen die Ingenieure den vorn eintretenden Luftstrahl. Dabei werden mehr als 80 Prozent der Luft über die erste Druckstufe, den Fan **7**, an der Brennkammer **2** vorbeigeleitet. Wie ein großes Gebläse beschleunigt dieser Fan die Mantelstromluft, die am Ende des Triebwerks zusammen mit dem heißen Abgasstrahl austritt und für den Großteil des eigentlichen Schubs sorgt. Ergebnis: Verbrauchseinsparungen von zehn bis 15 Prozent.

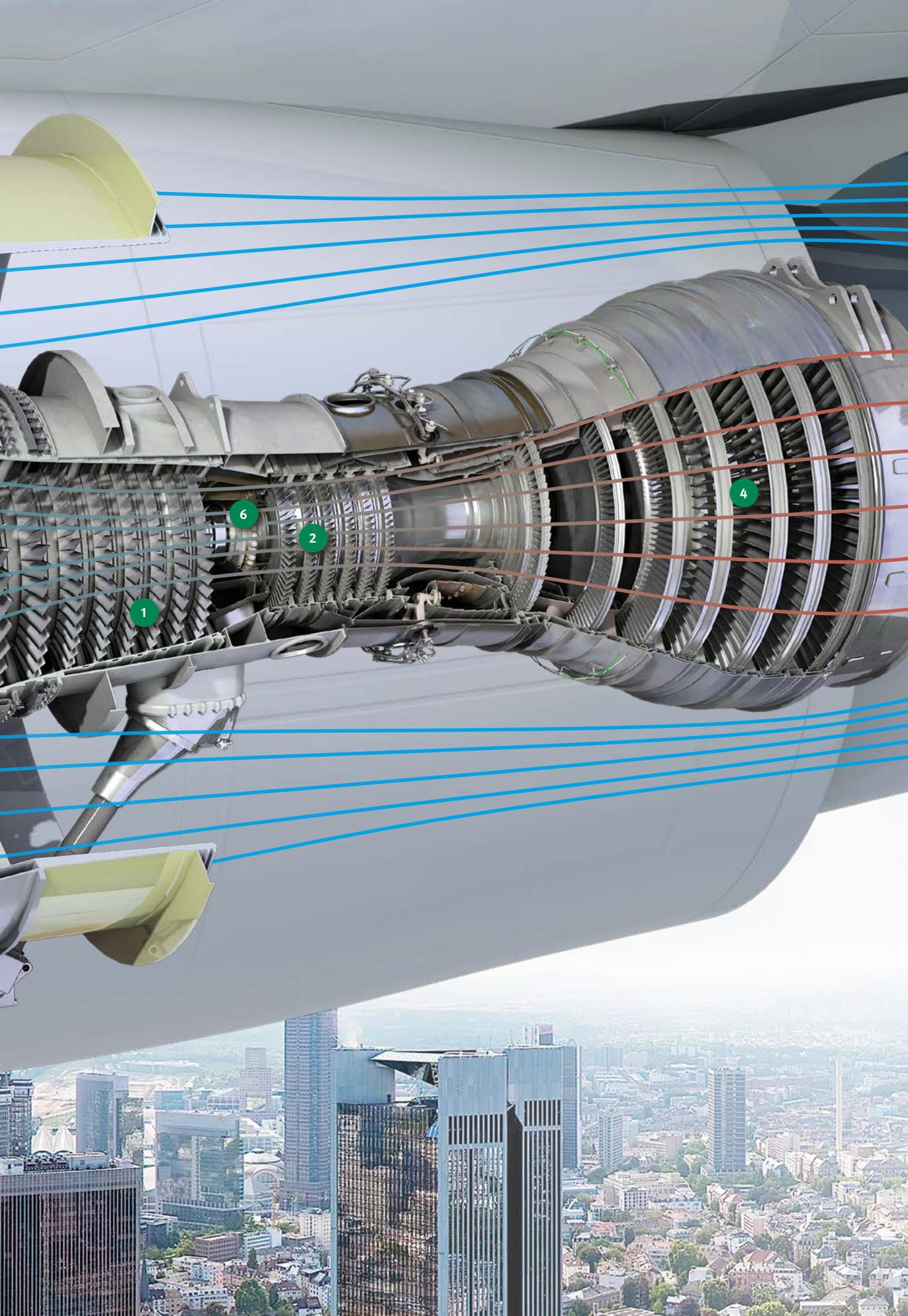




5

6

7

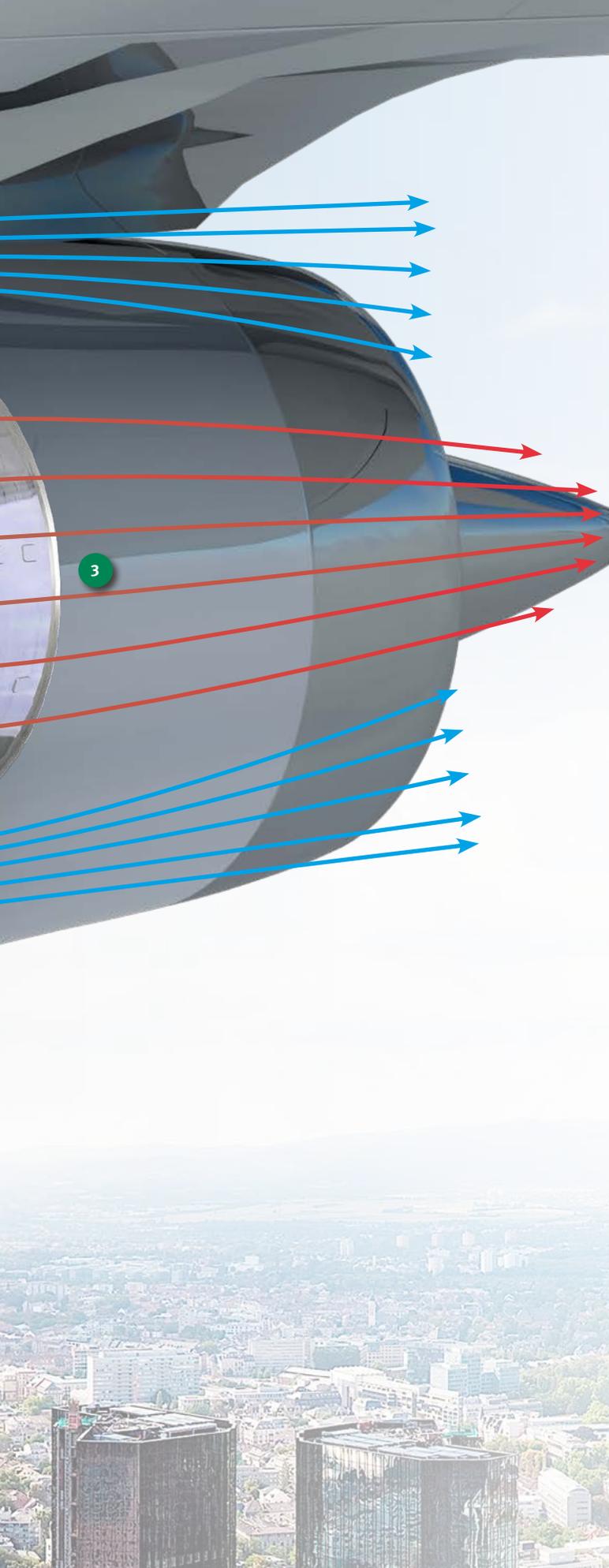


1

6

2

4



ELEKTROMOBILITÄT AUCH IN DER LUFT?



Airbus, Rolls-Royce und Siemens erproben den hybrid-elektrischen Jet-Antrieb

Wenn es nach den Flugzeugherstellern Airbus und Boeing geht – JA! Beide haben bereits elektrisch betriebene Prototypen in der Luft. Geforscht wird an drei Varianten:

— **Hybridantrieb.** Wie beim Auto ergänzen sich Elektro- und Verbrennungsmaschine. Drei Beispiele:

Elektrischer Radantrieb für die Fahrten auf dem Vor- und Rollfeld. Die Jet-Triebwerke werden erst zum Start an- und nach der Landung abgeschaltet.

Wie bei einem Range-Extender erzeugt eine mit Kerosin betriebene Turbine den Strom zum Nachladen der Akkus während des Flugbetriebs der Elektroturbinen.

Elektromotor und klassisches Jet-Triebwerk sorgen parallel für den Antrieb.

— **Brennstoffzelle.** Wie bei einem Fuel-Cell-Auto reagieren Wasserstoff und Sauerstoff und erzeugen Strom. Vorteil: Wasserstoff kann ähnlich wie Kerosin getankt werden, Akkus entfallen.

— **Rein elektrischer Antrieb.** Der Jet-Antrieb wird durch eine Strom-Variante ersetzt. Problem: die aktuell zu geringe Batteriekapazität.

Dr. Dirk Uwe Sauer von der Technischen Hochschule Aachen (RWTH): „Es wird noch lange ein Traum bleiben, im großen Passagierflugzeug rein elektrisch auf Basis von Batterien zu fliegen.“

STÄHLERNE LANDARBEITER

Maschinenpark gegen Mini-Fuhrpark – Landpartie zu zwei
höchst unterschiedlichen Agrarbetrieben in Brasilien.

— von Philipp Lichterbeck



— Die Maschine, die alles änderte, wirkt auf den ersten Blick wie ein gefräßiges, riesiges Insekt: ein Raupenfahrzeug, an dessen Front vier leicht angewinkelte Förderschrauben ein metallenes Maul bilden. Darüber erhebt sich bedrohlich ein Ausleger. In der Mitte thront die Führerkabine, dahinter ragt ein Förderarm in die Höhe. Was ungewohnt aussieht, entpuppt sich als Zuckerrohrschneider. Er steht in der Maschinenhalle von Antônio Cury, dem Besitzer des Agrarbetriebs Estiva. Der 62-Jährige sagt über das Erntefahrzeug: „Mit ihm begann in Brasilien eine neue Zeitrechnung.“

3.000 Hektar, vier Millionen Euro Umsatz

Die Fazenda Estiva liegt in der Nähe des Städtchens Ituverava im brasilianischen Bundesstaat São Paulo. Ituverava ist das Zentrum einer agrarisch dominierten

Region. Rund um den Ort breitet sich eine sanfte Hügellandschaft mit fruchtbaren roten Böden aus, das Klima ist subtropisch warm. „Es sind ideale Bedingungen für den großflächigen Anbau verschiedener Nutzpflanzen“, sagt Antônio Cury. Nicht umsonst werde die Region auch „Kalifornien Brasiliens“ genannt.

In den vergangenen Dekaden hat sich hier ein erstaunlicher Wandel vollzogen. Wurde rund um Ituverava bis Ende der 1980er-Jahre noch Baumwolle angepflanzt, spezialisierten sich die Bauern danach auf Mais und Soja. Um die Jahrtausendwende begann dann ein Zuckerrohrboom, der bis heute anhält, ausgelöst von der Nachfrage nach Bio-Treibstoff. Bis zum Horizont reichen heute die Felder mit den hellgrün schimmernden Zuckerrohrstauden. Die Risiken solcher Monokulturen sind global bekannt: ausgelaugte Böden und sich schnell vermehrende Schädlinge.



Antônio Cury ist einer der größten Bauern in Ituverava. Seine Fazenda umfasst 3.000 Hektar Land, und er beschäftigt 40 Angestellte. Cury's Jahresernte beläuft sich auf 230.000 Tonnen Zuckerrohr, die er an drei Fabriken verkauft, die daraus Zucker, Ethanol und durch die Verbrennung der Bagasse Elektrizität gewinnen. Sein jährlicher Umsatz schwankt zwischen umgerechnet 3,2 und vier Millionen Euro.

AGRARMACHT BRASILIEN

Brasilien ist zu einer der drei wichtigsten Agrarnationen der Welt aufgestiegen. Am globalen Handel mit Agrarrohstoffen hat das Land derzeit einen Anteil von fünf Prozent. Diesen will Landwirtschaftsminister Blairo Maggi, selbst einer der größten Sojabauern der Welt, auf zehn Prozent steigern. Führend ist Brasilien bei der Ausfuhr von Zucker, Orangensaft und Kaffee. Beim Export von Soja, Rind- und Hühnerfleisch sowie Zellstoffen ist es ebenfalls ganz vorn dabei. Für den Staatshaushalt Brasiliens sind die Landwirtschaftsexporte unerlässlich. Mehr als 40 Prozent der Ausfuhren des Landes sind agrarischer Natur. Der Wandel ist umso bemerkenswerter, weil Brasilien noch in den 1970er-Jahren Lebensmittel importierte. Damals lag die Produktivität pro Hektar bei 1,4 Tonnen. Heute beträgt sie 4,5 Tonnen. Die Steigerung geht auf den Einsatz von Agrochemie sowie die zunehmende Mechanisierung zurück. Innerhalb weniger Dekaden wandelte sich die traditionelle, kaum mechanisierte Landwirtschaft Brasiliens so zu einer hochmodernen Industrie. Günstige Faktoren für die Mechanisierung sind das Klima, der verbesserte Zugang zu Kapital für die Bauern sowie fruchtbare Flächen, die den Einsatz von Maschinen ermöglichen. Rund 20 Prozent der Landesfläche Brasiliens werden für die Rinderzucht verwendet, acht Prozent für den Anbau landwirtschaftlicher Produkte. Der Agricultural Outlook der OECD-FAO sagt voraus, dass Brasilien bis 2024 der größte Agrarexporteur der Welt wird.

Großbetriebe wie der von Cury tragen dazu bei, dass Brasilien heute der größte Zuckerrohrproduzent der Welt ist. Das Land erntet so viel wie seine sechs nächsten Konkurrenten auf dem Weltmarkt zusammen. Es ist ein Trend, der die brasilianische Landwirtschaft insgesamt charakterisiert. Ob Kaffee, Soja, Mais, Orangen oder Rindfleisch: Brasilien gehört heute zu den größten Herstellern der Welt. Ohne den Einsatz spezialisierter Maschinen wäre das unmöglich. Beim Zuckerrohr hat das Land geradezu eine technische Revolution erlebt.

95-prozentige Mechanisierung

„Ich war ein Pionier“, sagt Antônio Cury. „Ich baute in Ituverava als erster Zuckerrohr an. Mit den Jahren steigerte ich meine Erträge um 20 Prozent.“ Das sei der Mechanisierung zu verdanken. Moderne Maschinen brächten Schnelligkeit und Genauigkeit.

Cury's Maschinenpark umfasst 40 Fahrzeuge, darunter ein neuer Zwölf-Tonnen-Traktor mit GPS und 225 PS, den er für das Ziehen schwerer Pflüge einsetzt. Seine jüngste Anschaffung aber ist ein mit Bordcomputer ausgestattetes Sprühfahrzeug, das Pestizide abschnittsgenau in zuvor programmierten Mengen auf einem Feld ausbringt. Weitere Besonderheiten der circa 200.000 Dollar teuren Maschine: die Bodenfreiheit von 1,35 Metern, Sprüharme mit einer Spannweite von 24 Metern, eine isolierte Fahrerkabine, in die keine Pestizide eindringen können, und die hohe Geschwindigkeit von 50 km/h. „Dieses Fahrzeug erledigt die Arbeit von zehn herkömmlichen Traktoren“, schwärmt Cury – und man versteht, warum Betriebe wie seiner als Präzisionslandwirtschaft bezeichnet werden.

Die Stars aber seien die Zuckerrohrschneider, sagt Cury. „Sie veränderten alles.“ Noch vor wenigen Jahren wurde Zuckerrohr in Brasilien von Saisonarbeitern mit Macheten geschlagen. Dazu zündete man vorher die Felder an, um die Stauden von den Blättern zu befreien. Diese Zeiten sind vorbei. 2014 wurde die 95-prozentige Mechanisierung der Zuckerrohrernte in Brasilien erreicht.



» Die Maschinisierung verändert alles

Antônio Cury,
Agrarunternehmer



40 Fahrzeuge umfasst der Fuhrpark des brasilianischen Agrar-Großbetriebs Fazenda Estiva. Das hier gezeigte Sprühfahrzeug ist die neueste und modernste Anschaffung. Dank Hightech-Ausstattung erledigt es die Arbeit von zehn Traktoren



Computer haben auch die Cockpits von modernen Landmaschinen erobert

Wie diese aussieht, kann man einige Kilometer entfernt von Cury's Fazenda beobachten. Dort fräst sich eine Erntemaschine mit 20 km/h regelrecht durch ein Feld. Mit einem vorgelagerten Arm schneidet sie die Blätter über der Staude ab, welche sie dann etwas oberhalb des Bodens abtrennt und aufnimmt. Im Innern der Maschine werden die Stauden zerteilt, bevor sie in einen neben der Erntemaschine fahrenden Truck ausgeworfen werden. Cury selbst besitzt nur eine Erntemaschine. Es sei üblich, sagt er, sich diese bei den Zuckerrohrfabriken zu leihen. Das sei günstiger und einfacher.

Allerdings, gibt Cury zum Abschied zu bedenken, seien auch die besten Maschinen nutzlos, wenn es nicht regne. Leider verzeichne man seit einigen Jahren zunehmende Trockenheit. Experten vermuten, dass der ausbleibende Niederschlag mit der Abholzung des Regenwalds in der Amazonasregion 2.000 Kilometer weiter nördlich zu tun habe. Denn weniger Wald führt zu weniger Wolkenbildung. Gerodet wird der Amazonaswald für riesige Sojafelder und Rinderweiden. Es ist die Kehrseite der industriellen Landwirtschaft, wie sie auch Antônio Cury betreibt.

Der Kontrast: 344 Hektar, 170.000 Euro Umsatz

600 Kilometer südöstlich von Ituverava kämpft man ebenfalls mit der Trockenheit. Auf der Fazenda

St. Rita spannt ein Vorarbeiter gerade einen Pflug hinter einen der beiden Traktoren des Betriebs. Ein kleines Feld soll für die Aussaat von Mais vorbereitet werden – obwohl es eigentlich noch nicht ausreichend geeignet habe, sagt Fazenda-Chef Amauri Almeida. Die Fazenda St. Rita liegt in einem schmalen Hochtal im Bergland des Bundesstaats Rio de Janeiro. Auf rund 90 Hektar baut Almeida mit zehn Angestellten Mais, Kaffee und Gemüse an: Bohnen, Tomaten, Zucchini, Auberginen. Auf weiteren 254 Hektar halten sie knapp 400 Rinder. Außerdem gehört eine kleine Hühnerfarm dazu.

Zwar ist Almeida nicht der Eigentümer der Fazenda St. Rita – dieser lebt in der vier Stunden entfernten Millionenmetropole Rio de Janeiro – aber er ist seit 27 Jahren ihr Manager. Einmal pro Woche lässt er die Erzeugnisse mit einem alten Truck zu einem Großmarkt ins Tal transportieren. Insgesamt erzielt die Fazenda einen Umsatz von umgerechnet 170.000 Euro.

Wie zu Großvaters Zeiten

Die Fazenda St. Rita unterscheidet sich – nicht nur, was die Zahlen angeht – grundlegend von der Fazenda Estiva in Ituverava. Sie repräsentiert die andere Seite des brasilianischen Agrarmodells. Wird dort auf riesigen, monokulturell bepflanzten Flächen Präzisionslandwirtschaft mit computergesteuerten Maschinen betrieben, wirtschaftet man hier fast noch wie zu Großvaters Zeiten. So ernten Almeidas Angestellte den Großteil des Gemüses mit der Hand. Auch den Mais pflücken sie manuell. „Wir sind klein, aber ich bin stolz darauf, dass wir Essen für die Bevölkerung produzieren“, sagt Almeida. Da ist etwas dran. Während die Großbetriebe vor allem für den Export produzieren, werden 70 Prozent der Lebensmittel, die die Brasilianer konsumieren, von kleinen bis mittleren Betrieben wie dem von Almeida hergestellt.



» Wenn mir die Mitstreiter ausgehen, brauche ich geeignete Maschinen

Amauri Almeida,
Kleinbauer



Der 75-PS-Traktor ist der „Allround-Gaul“ von Kleinbauer Almeida. Er nutzt ihn zum Pflügen, für die Aussaat, das Ausbringen von Pestiziden und die Fahrt zum Markt

Die Kleinbetriebe schaffen das über ihre bloße Anzahl: 4,4 Millionen von ihnen sind in Brasilien registriert, sie beschäftigen 14 Millionen Menschen. Maschinen können sie sich kaum leisten. Vier Jahre ist es her, dass Almeida die letzte große Anschaffung gemacht hat: ein Traktor mit 75 PS für umgerechnet 29.000 Euro. Bis dahin hatte man mit einem einzigen Traktor gearbeitet. Er stammte aus dem Jahr 1982. Die neue Maschine sei ein Kompromiss zwischen Leistung und Gewicht gewesen, erklärt Almeida. Denn wenn der Traktor zu schwer sei, verdichte er den Boden. Genutzt werde die Maschine für alles Mögliche: zum Pflügen, für die Aussaat, das Ausbringen von Pestiziden. Aber auch um Anhänger mit Gemüseboxen zu ziehen. „Er ist unser Allround-Gaul“, sagt Almeida.

Als größte Herausforderung neben der Trockenheit beschreibt der 54-Jährige das unebene Terrain. Er würde sich daher zusätzlich einen kleinen Traktor wünschen, mit dem er an abschüssigen Hängen, zwischen den Gemüsegeldern und Kaffeehainen fahren kann. Aber den habe er bisher auf dem Markt nicht gefunden. „Wir sind ein kleiner Betrieb“, sagt er, „aber wir möchten wachsen.“ Genau das ist in Zukunft wohl nur mit geeigneten Maschinen zu erreichen. Aus einem einfachen Grund: Almeida gehen die Arbeiter aus. Seine zehn Angestellten sind im Durchschnitt 45 Jahre alt, und ihre Söhne und Töchter suchen

sich lieber Jobs in der Stadt, als sich die Hände auf dem Feld schmutzig zu machen.

Almeida kann das nicht verstehen. Er arbeitet seit 27 Jahren auf der Fazenda St. Rita, und er hat noch kein einziges mal Urlaub gemacht. „Ich sehne mich auch nicht danach“, sagt er. „Die Arbeit erfüllt mich. Und wenn mir die Mitstreiter ausgehen, dann brauche ich eben geeignete Maschinen.“



DER AUTOR

Fast 20 Jahre lang beschäftigte **Philipp Lichterbeck** sich bereits akademisch und journalistisch mit Lateinamerika, als er sich 2012 entschied, ein neues Kapitel im Leben aufzuschlagen. Er zog von Berlin, wo er lange für den „Tagesspiegel“ gearbeitet hatte, nach Rio de Janeiro. Aus der „Wunderbaren Stadt“ berichtet er seitdem für deutschsprachige Medien über Brasilien und den Rest Lateinamerikas. Lichterbeck ist zudem Autor von Reiseführern und hat ein Buch mit Reportagen über Haiti und die Dominikanische Republik veröffentlicht.



Seit 6.500 Jahren wird der Pflug bei der Feldarbeit eingesetzt. Das Bild zeigt einen deutschen Landwirt um 1949

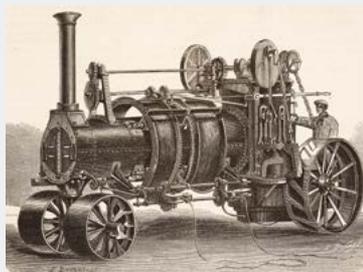
DER PFLUG

Eines der ältesten bis heute gebräuchlichen landwirtschaftlichen Werkzeuge ist der Pflug.

Dem Pflug ähnliche Geräte dienten schon den ersten Ackerbauern zur Auflockerung des Bodens. Die positiven Effekte waren und sind: Sauerstoffzufuhr, die Unterpflügung von Unkraut und Ernterückständen sowie die Zerstörung der Gänge und Nester von Feldmäusen und anderen Schädlingen. Offenbar zogen bereits in der Jungsteinzeit die ersten Bauern mit einfachsten Geräten, die aus nicht viel mehr als angespitzten Holzstöcken bestanden, Furchen in ihre Felder. Der älteste Fund eines Pflugs in Europa wurde in der heutigen Schweiz gemacht. Das Alter des Werkzeugs wird auf die Mitte des 5. Jahrtausends vor Christus datiert. Der älteste in Deutschland gefundene Pflug stammt aus Ostfriesland und ist circa 4.000 Jahre alt. Zogen die frühen Bauern ihre Pflüge noch selbst, kamen später Zugtiere zum Einsatz. Erst im 20. Jahrhundert begann man Traktoren einzusetzen. Dementsprechend größer und schwerer wurden die Pflüge.

DIE MECHANISIERUNG DER LANDWIRTSCHAFT

Der Einsatz von Maschinen in der Landwirtschaft war eine Konsequenz der Industrialisierung. Er begann in Europa und den USA mit dem Ende des 19. Jahrhunderts und veränderte nicht nur die bäuerliche Wirtschaftsweise, sondern auch die gesellschaftlichen Strukturen. Die Mechanisierung war ein Auslöser für die Abwanderung von „überflüssigen“ Ländarbeitern in die Städte. Zu den ersten landwirtschaftlichen Maschinen gehörten Zugmaschinen und Traktoren. Die Traktoren, auch Ackerschlepper genannt, veränderten zudem den Tierbestand der Bauern, die weniger Zugtiere benötigten, insbesondere Pferde und Ochsen. Der technische Fortschritt wurde auch dadurch beschleunigt, dass die enormen Felder im Mittleren Westen der USA ohne Maschinen gar nicht mehr bestellt werden konnten. In den USA kamen auch die ersten Mähdrescher zum Einsatz. Eines der ersten Traktormodelle in Deutschland war in den 1920ern der Lanz Bulldog. Allerdings bleibt ein Traktor für viele Bauern in Deutschland lange Zeit unerschwinglich. Ihre Verbreitung nahm erst nach dem Zweiten Weltkrieg zu.



Eine dampfbetriebene Landmaschine aus dem Jahr 1864. Sie zog den Pflug nicht hinter sich her, sondern mit Seiltrommeln um den Wassertank an sich heran

SMART FARMING

Wie kann die Weltbevölkerung von fast 10 Milliarden Menschen ernährt werden, die für 2050 erwartet wird? Die Welternährungsorganisation FAO hat errechnet, dass die landwirtschaftliche Produktion dazu um 70 Prozent steigen müsste. Aber geht das, ohne das ökologische Gleichgewicht des Planeten zu zerstören – zumal das meiste geeignete Ackerland bereits genutzt wird? Als einzige Möglichkeit sieht die FAO die Steigerung der Erträge pro Hektar. Diese könne durch Mechanisierung, Agrochemie und den Einsatz neuer Pflanzensorten erzielt werden. Eine ergänzende Antwort lautet: Smart Farming. Das bedeutet, dass ein Bauer verschiedene Faktoren im Auge behält – Wetter, Feuchtigkeit und Mineralgehalt der Böden, Unkraut- und Schädlingsbefall – und anhand dieser Faktoren mit Computermodellen den idealen Einsatz (Zeitpunkt, Menge, Ort) von Düngern, Wasser und Pflanzenschutzmitteln errechnen kann. Die Anfang des Jahrtausends eingeführten GPS-gesteuerten Landwirtschaftsmaschinen waren ein Schritt in diese Richtung. Das Ortungssystem verhindert etwa, dass eine Maschine einen Teil eines Feldes „vergisst“ oder gar zweimal bearbeitet. Mittlerweile vernetzen sich die Maschinen und können autonom im Verbund arbeiten.

Das Cockpit einer modernen Landmaschine (hier ein Fendt-Traktor) ist mit Hightech gespickt. Die Fahrzeuge können auch autonom fahren und mit anderen interagieren



DER FEINE UNTERSCHIED

Interessieren sich Männer für Maschinen und Frauen nicht? Bevor ein Sturm der Entrüstung losbricht, sollte man sich ein paar Zahlen ansehen und welche Veränderungen gerade stattfinden. Und ganz wichtig: Ruhe bewahren!

— von Wiebke Brauer



— Mehr als 5.600 neurowissenschaftliche Studien aus dem Themenbereich Geschlechterdifferenzforschung wurden seit Anfang der 90er-Jahre veröffentlicht – wie eine Arbeitsgruppe der University of Cambridge einmal errechnete. Eine gewaltige Zahl. Und ein Beleg dafür, dass der Gender-Diskurs in vollem Gange ist. Ein glutheißes Eisen sozusagen. Und das seit Jahrzehnten. Aktueller Beweis gefällig? In den USA ist jüngst ein Mitarbeiter entlassen worden, der in einem Memo festhielt, es gebe genetische Unterschiede zwischen Männern und Frauen, die sich in unterschiedlichen Neigungen äußerten. Die Entlassung sorgte vielerorts für Erstaunen. Zumal man doch zum Beispiel beim US-Psychologen und Bestsellerautor Gregory L. Jantz nachlesen kann, dass sich das männliche und weibliche Gehirn an rund 100 Stellen voneinander unterscheiden. Ticken Frauen und Männer also schon allein deswegen unterschiedlich? Nicht unbedingt. Zahlreiche Studien unterstreichen: Es kommt nicht nur auf die Hardware an (Gehirn), sondern natürlich auch auf die Programmierung (durch das soziale Umfeld).

Die geschlechtsneutrale Früherziehung ist dabei ein wichtiges Thema. Lässt sich der Onlineshop des Spielzeugriesen Toys'R'us deshalb nach allen möglichen Suchkriterien durchforsten, aber nicht geschlechterspezifisch? Aber warum gibt es dann auf der anderen Seite

spezielle Überraschungseier für Mädchen? Wo man auch hinschaut: Die Gender-Diskussion ist ein Kampf an vielen Fronten. Nicht wenige halten das Kinderzimmer gar für die vorderste Linie. Spielzeug-Bagger auf der einen, Glitzer-Barbie auf der anderen Seite.

Ein Mann und eine Frau stehen vor einem Automaten

Dass es Unterschiede zwischen Männlein und Weiblein beim Umgang mit Technik gibt, belegt auch eine Untersuchung der deutschen Wissenschaftlerin Uta Brandes. Die Professorin für Gender und Design in Köln erforschte das Verhalten an Fahrkartenautomaten und fand heraus, dass Männer an Automaten weniger Angst vor

aus den 1990er-Jahren – hält Eliot nicht viel. Wenn überhaupt, nivelliert sie, „seien Männer aus North Dakota und Frauen aus South Dakota“. Demnach könnten Frauen sehr wohl ein ausgeprägtes technisches Interesse entwickeln – wenn frühzeitig eine entsprechende soziale Prägung erfolgt. Also, Mädchen, ran an den Spielzeug-Bagger, wenn du Ingenieurin werden willst.

Benutzeraffinität oder doch echtes Technikinteresse?

Wenn wir uns als Nächstes mit dem Interesse für Technisches beschäftigen, muss man erst fragen, was genau darunter zu verstehen ist. Fängt ernsthaftes Interesse damit an, dass man einen Toaster in seine Bestandteile zerlegt, oder reicht es, ihn mit Begeisterung zu benutzen? Und überhaupt, was ist eigentlich mit Technik gemeint, oder sagen wir, mit Maschinen? Laut Wikipedia ist die Maschine „eine mechanische Vorrichtung, die Kraft oder Energie überträgt und so bestimmte Arbeiten für den Menschen erleichtert“. Ganz weit in den feministischen Bereich würde man tappen, wenn man behauptete, dass die Maschine in ihren Anfängen die Körperkraft des Mannes überflüssig machte und der Mann sich eine neue wirksame männliche Identität erschuf. Eine, die Schöpfermythos, unermüdlige Potenz und Tüftler-Ehre in sich vereint. Oder wie der Autor Georg Seeßlen einmal so schön schrieb: „Der Mann verschmilzt mit seiner Maschine zu einem neuen, potenten Wesen, die Frau dagegen wird durch ihre Maschine befreit.“ Maschinen, die Frauen befreien? Da fällt einem doch gleich die schwer chauvinistische Werbung eines deutschen Hausgeräteherstellers ein, der immerhin 50 Jahre damit warb, zu wissen, was Frauen wünschen. Nämlich Kühlschrank, Waschmaschine und Trockner.

In der Tat werden diese technischen Geräte mehrheitlich von Frauen bedient. In Deutschland beispielsweise noch heute doppelt so häufig wie von Männern. Aber aufgemerkt: Selbst die linksliberale deutsche Tageszeitung „taz“ sang 2016 ein emanzipatorisches Loblied auf die Weiße Ware: „Wenn man so will, erweiterte das automatische Schleudern den 68er-Slogan der Frauenbewegung ‚Das Private ist politisch‘ um einen technischen Aspekt. Staubsauger, Bügeleisen und Waschmaschine scheinen nicht Symbole der Unterdrückung zu sein, sondern der Befreiung.“ In dem gleichen Artikel wird eine Umfrage des deutschen TNS-Emnid-Instituts zitiert, in der 44 Prozent der Befragten in der Waschmaschine eine der wichtigsten Erfindungen überhaupt sehen. Der südkoreanische Wirtschaftswissenschaftler Chang Ha-joon adelt das Reinigungsgerät sogar als „revolutionärer als das Internet“. Wenn man also die empirisch gestützte Brücke von Waschmaschine über Technik zu Frauen schlägt, kann man zu dem Schluss kommen, dass das weibliche Geschlecht durchaus problemlos mit wegweisenden Maschinen umgehen kann – vielleicht machen Frauen



Misserfolgen haben und die Methode „Trial and Error“ bevorzugen, Frauen hingegen länger überlegen, bevor sie einen Knopf drücken. Allein, was beweisen diese und andere Untersuchungen, wie wurden sie durchgeführt, handelt es sich um Tendenzen, und was ist aus den Ergebnissen zu schließen? Und auch hier wieder: Ist das jeweilige Verhalten eine Folge von geschlechterstereotypen Sozialisationserfahrungen oder biologisch bedingt? Man erahnt es: Studien werfen oft mehr Fragen auf, als dass sie Antworten liefern. Interessant dabei: Den Forschern scheint eher daran gelegen zu sein, Unterschiede zwischen Mann und Frau zu manifestieren. Ähnlichkeiten nachzuweisen lockt wenige hinter dem Ofen hervor. Zu dieser Minderheit zählt die Neurowissenschaftlerin Dr. Lise Eliot. Von der populärwissenschaftlichen Aussage „Männer sind vom Mars, Frauen von der Venus“ – so der Titel eines Gender-Bestsellers

88 %

aller zwischen 1980 und 2010 aus der IT-Branche **angemeldeten Patente** beruhen auf Entwicklungen rein männlicher Teams. Rein weibliche Teams haben 2 % der Patente eingereicht.

Quelle: National Center for Women & Information Technology 2016

14 %

aller Führungskräfte im **Silicon Valley** sind weiblich.

Quelle: Studie Fenwick & West 2016

einfach nur weniger Bohei darum, wenn sie eine Gerätschaft erfolgreich zum Arbeiten gebracht haben.

Andere Länder, andere Frauenquoten

Nichtsdestotrotz: Sieht man sich die Anzahl der Frauen in den MINT-Berufen an, also Tätigkeitsfeldern innerhalb der Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik, könnte man darauf kommen, dass die Neigung dazu in der Damenwelt von Natur aus nicht sehr ausgeprägt ist: In Deutschland stehen 70 Prozent Männer etwa 30 Prozent Frauen gegenüber. Ein ähnliches Bild zeigt sich in Polen und Spanien. Dort sind ein Drittel aller angehenden Ingenieure weiblich. Nach einem Report von McKinsey sind hingegen in Italien und Kanada – zumindest in einigen naturwissenschaftlichen Fächern – über die Hälfte der Studierenden Frauen. Auch Indien und Australien vermelden eine 50-Prozent-Quote unter den Abschlussjahrgängen einiger technischer und naturwissenschaftlicher Studiengänge. Also globale Entwarnung an der Gender-Front? Nicht ganz: In Japan beispielsweise ist nicht einmal jeder fünfte Absolvent im MINT-Bereich weiblich. Dort ist also noch Luft nach oben. Die unterschiedlichen Zahlen offenbaren: Technisches Interesse hat doch etwas mit soziokultureller Prägung zu tun.

Corinna Schittenhelm, Personalvorständin bei Schaeffler, hat hausinterne Vergleichszahlen aus den Regionen Greater China und Europa, die diese These untermauern: „In Greater China haben wir mit 25 Prozent vor allem auf Leiterebene einen sehr hohen Anteil von Frauen im Vergleich zu Europa mit nur 8 Prozent. Auch auf Spezialistenebene ist Greater China mit einem Anteil von 33 Prozent deutlich vor den anderen Regionen.“ Global

liegt dieser Wert bei Schaeffler bei 21 Prozent. Aber ein Wandel deutet sich auch bei Schaeffler an: Wenn man sich die Trainee-Stellen anschaut, liegt der Frauenanteil bei 30 Prozent. Personalchefin Schittenhelm hofft, dass möglichst viele von den weiblichen Jobneulingen die Karriereleiter hinaufklettern werden. Ihr Ziel diesbezüglich ist klar formuliert: „Schaeffler will den Anteil der Frauen in Führungspositionen erhöhen.“

Eine Zahl aus den USA macht dabei deutlich, dass Frauen in Führungspositionen eine Sogwirkung auf das gleiche Geschlecht haben. Eine aktuelle Erhebung des FundersClub hat ergeben, dass US-Technologie-Startups, die von Frauen gegründet wurden, durchschnittlich doppelt so viele weibliche Mitarbeiter haben wie Vergleichsunternehmen mit rein männlichen Entrepreneurs.

Eines muss bei solchen Zahlenspielen jedoch stets im Hinterkopf behalten werden: Ein Gleichgewicht oder – warum eigentlich nicht – einen Frauenüberhang in technischen Berufen wird es im globalen Arbeitsmarkt nicht von heute auf morgen geben. Selbst wenn 90 Prozent aller neu eingestellten Ingenieure weiblich wären, würde es wegen des aktuellen deutlichen Männerüberhangs ein paar Jahre dauern, bis ein Gleichgewicht entstünde. Und nur des Proporz wegen etablierte männliche Mitarbeiter zu entlassen würde den Gleichberechtigungsgedanken ad absurdum führen.

Elektronische Gadgets als geschlechtsneutrale Statussymbole

Förderlicher erscheint, zu betrachten, inwieweit sich das Maschinelle in Zeiten der Digitalisierung in Richtung Elektronik bewegt. Und was das in Bezug auf die Genderproblematik in technischen Berufen bedeutet. In der Tat hat sich durch die Erfindung des iPhones einiges in Sachen Zuschreibung getan. Die Technik steht nicht mehr allein für Geschicklichkeit oder Kraft, sondern vielmehr für geistige Potenz und kommunikative Stärke – also Eigenschaften, die sich sowohl Männlein als auch Weiblein gern an die Brust heften. Und das Smartphone – ebenfalls ganz geschlechtsneutral – hat sich an vorderster Gadget-Front zum Statussymbol entwickelt und so neue technische Affinitäten erschaffen. Gut möglich also, dass das Smartphone als Unisex-Vorzeige-Technik-Equipment auch in der Gender-Auseinandersetzung eine disruptive Wirkung ausübt. —



DIE AUTORIN

Die Hamburger Autorin **Wiebke Brauer** nahm schon als Kind ihre Spielzeugautos auseinander und ist bis heute von Maschinen fasziniert. An Fahrkarten-Automaten verzweifelt sie trotzdem.

VIER VORREITERINNEN

Laut einer Microsoft-Studie ist das Interesse von Mädchen an Technik im Alter von elf bis 16 Jahren am stärksten ausgeprägt und sinkt dann rapide ab. Ein Grund dafür: der Mangel an weiblichen Vorbildern. Dabei gibt es sie überall auf der Welt.

DIE AUTODIDAKTIN

Aya Jaff gilt als Deutschlands Digitalrevolutionärin. Die 21-Jährige wurde im Irak geboren, brachte sich selbst das Programmieren bei und entwickelte das Online-Börsenspiel „Tradity“ mit. Heute studiert sie in Nürnberg Wirtschaftswissenschaften und Sinologie, schreibt an einem Buch über Börsengrundlagen und sagt Sätze wie: „Ich liebe Programmiersprachen!“ 2016 war sie als **einzigste Deutsche Stipendiatin an der amerikanischen Draper University im Silicon Valley**, stellte dort der Jury ein Konzept für ein deutsches Hyperloop-System vor und bekam von Dirk Ahlborn, Gründer des Unternehmens Hyperloop Transportation Technologies, das Angebot, frei für ihn zu arbeiten. Sie beschloss, zuerst ihr Studium zu beenden – man darf gespannt sein, was danach folgt.

ayajaff.strikingly.com

DIE FABRIK-ARBEITERIN

Die Chinesin Zhou Qunfei ist die jüngste Selfmade-Multimilliardärin der Welt. Die 47-Jährige stammt aus armen Verhältnissen, ging mit 16 von der Schule ab und arbeitete am Fließband eines Herstellers für Uhrenlinsen. **Mit 22 gründete sie ihre erste Firma.** Heute stellt ihr Konzern Lens Technology Handydisplays her und beliefert Firmen wie Apple und Samsung. Das Unternehmen beschäftigt 90.000 Mitarbeiter, ihr Vermögen wird auf elf Milliarden Dollar beziffert, und Zhou Qunfei ist dafür bekannt, dass sie ihre Geschäftsführer auch mal in Meetings zum Geadesitzen ermahnt. Es heißt, dass es in keinem Land mehr Selfmade-Milliardärinnen gebe als in China, Grund dafür sei die Förderung von Chancengleichheit durch die Kommunistische Partei unter Mao Tse-tung.

DIE LEHRERIN

Die Finnin Linda Liukas kämpft dafür, dass sich Frauen mehr für Rechner interessieren, und gründete „Rails Girls“. Die Initiative ermöglicht es Frauen, Programmieren zu lernen, inzwischen finden auf der ganzen Welt von Krakau bis Neuseeland kostenlose Computerkurse für Frauen und Mädchen statt. Sie sagt: „Programmier-Code ist die Sprache des 21. Jahrhunderts.“ Zudem schrieb die 31-Jährige das Kinderbuch „Hello Ruby – Programmier dir deine Welt“. Für das Projekt sammelte sie 380.000 Dollar, die höchste Crowdfunding-Summe, die je für ein Kinderbuch erreicht wurde – und die Illustrationen in dem Buch stammen ebenfalls von Liukas.

helloruby.com railsgirls.com

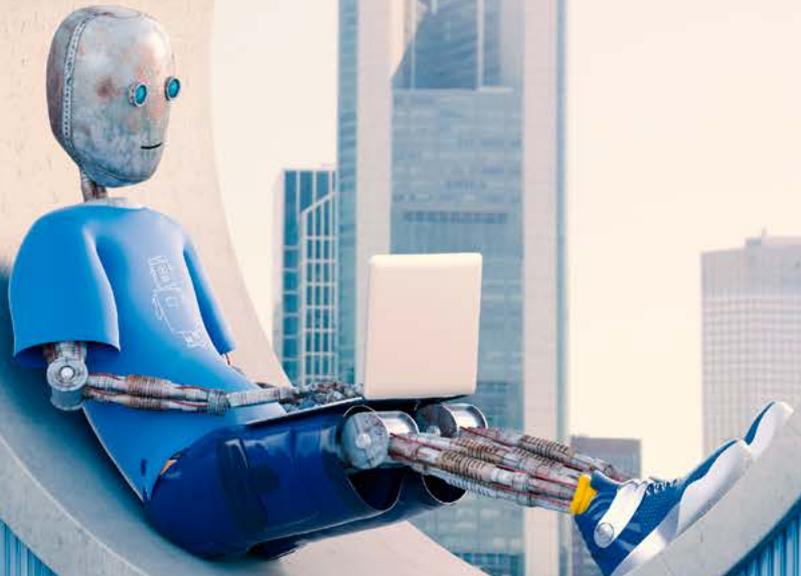
DIE KÄMPFERIN

Sheryl Sandberg ist vielleicht die wichtigste **Symbolfigur des weiblichen Erfolgs im Silicon Valley**. Fünf Jahre war sie Stabschefin im Finanzministerium unter Bill Clinton, 2001 wurde sie Vizechefin des globalen Online-Verkaufs von Google, seit 2008 ist sie Geschäftsführerin von Facebook. 2013 schrieb sie den Bestseller „Lean In – Frauen und der Wille zum Erfolg“. Für viele Frauen galt das Buch als Karrierebibel. Seit dem unerwarteten Tod ihres Mannes vor zwei Jahren kümmert sich Sandberg allein um die beiden Kinder, ihr Buch „Option B“ erschien 2017. Darin schreibt sie, dass sie den Feminismus neu überdenken musste und der Kampf für Chancengleichheit allein-erziehende Frauen viel stärker in den Fokus nehmen müsse.



» *Um einen neuen Standard zu schaffen, braucht es etwas, das wirklich neu ist und die Vorstellungskraft der Leute einfängt*

Bill Gates



ausblick

Technik für morgen

SMARTE STÄDTE

— Testlabor für Zukunftstechnologien: Bill Gates investiert 80 Millionen US-Dollar in Landkäufe für die geplante intelligente Stadt Belmont für bis zu 200.000 Menschen in der Wüste Arizonas. Auch in Asien entstehen auf dem Reißbrett Hightech-Metropolen mit Verkehrskonzepten ohne private Pkw, mit unterirdischen Systemen für Lieferungen und Müllentsorgung – alles angetrieben von Sonne und Wind. In Masdar (UAE) transportieren kleine Kapseln Menschen über ein Tunnelsystem zum gewünschten Ort. Neom im Länderdreieck von Saudi-Arabien, Jordanien und Ägypten soll mit 500 Milliarden Dollar Investitionen ein neues Silicon Valley werden. Dort werden Maschinen und Menschen zu Nachbarn: Roboter sollen den Großteil der Arbeiten in Vewaltung und Service übernehmen. —

LANDKARTE DER AUTOMATISIERTEN STÄDTE





86

87

DIE FABRIK DER ZUKUNFT

„tomorrow“ stellt die sechs Trends vor, die das produzierende Zusammenspiel von Mensch und Maschine grundlegend verändern.

— von Dr. Christian Heinrich

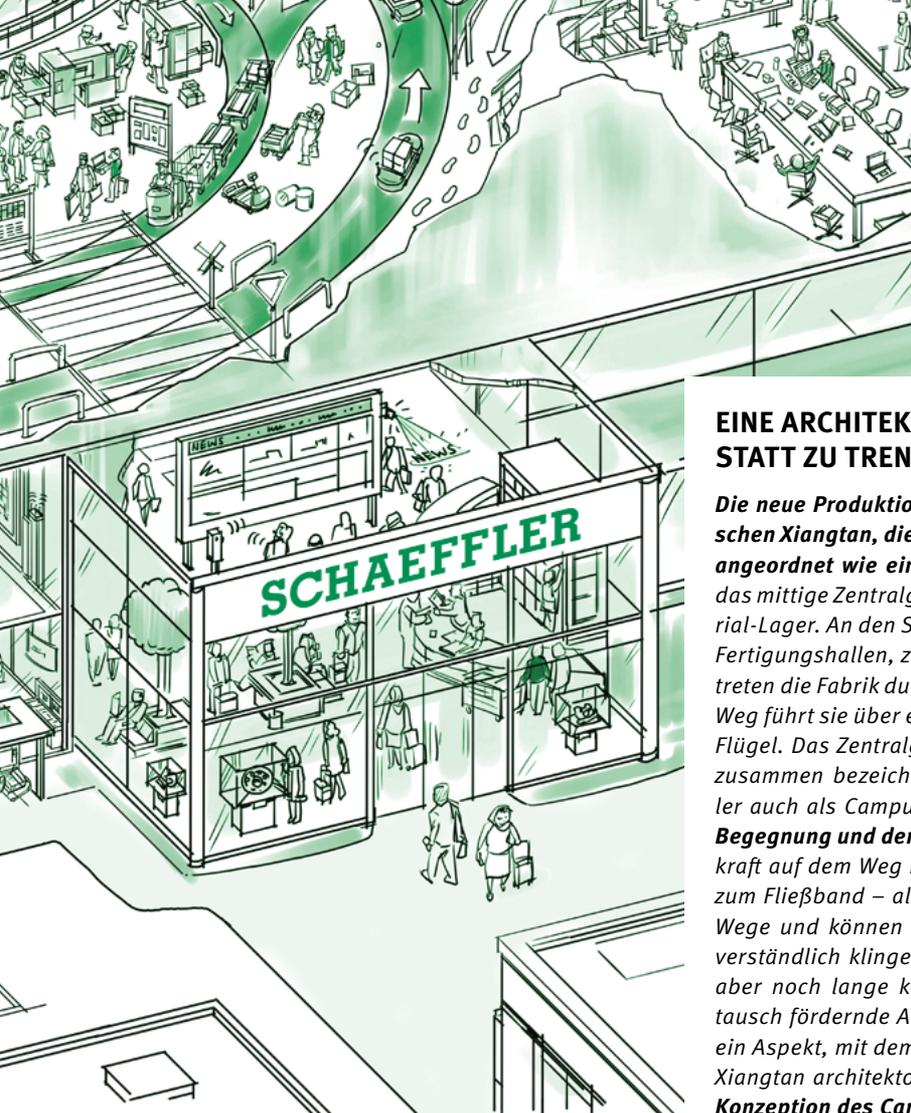
MENSCH UND ROBOTER ARBEITEN HAND IN HAND

In einer kleinen Werkshalle im „Future Work Lab“ am Stuttgarter Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO **greift ein Roboter dem Menschen wortwörtlich unter die Arme:** Die „Stuttgart Exo-Jacket“ ist ein sogenanntes Exoskelett, eine Art Jacke, die den Werksarbeiter bei seinen Bein- und Armbewegungen unterstützt, ihm somit hilft, Kraft zu sparen, und für die Muskeln belastende Bewegungen erleichtert. Das aus Carbon gefertigte Exoskelett ist nur eine von mehreren Entwicklungen,

bei denen **Maschinen und Roboter den Menschen nicht ersetzen, sondern ihn stärker und leistungsfähiger machen.** Ein weiteres Beispiel, das sich im Future Work Lab in Stuttgart besichtigen lässt: ein intelligenter Arbeitstisch, der sich ganz auf den an ihm arbeitenden menschlichen Mitarbeiter einstellt, indem er die Höhe der Tischplatte von selbst anpasst und mit Lichtkegeln auf den jeweils nächsten Arbeitsschritt hinweist. Und dann ist da noch eine Art fliegender Diener, **eine Drohne, die den Fabrikarbeitern die jeweils benötigten Teile bringt.** Bei all diesen Innovationen spielt auch das Thema Sicherheit eine wichtige Rolle. Bewegliche Produktionshelfer wie Drohnen oder Greifarme sind mit Kameras und Sensoren ausgestattet, um Menschen erkennen und ausweichen zu können. Mehr noch: Anhand der gesammelten Informationen sollen die Maschinen auch menschliches Verhalten interpretieren können. Ein auf dem Boden liegender Körper deutet beispielsweise auf einen Notfall hin, der medizinisch versorgt werden muss – entsprechend wird Hilfe gerufen. Der Roboter, unser neuer Freund und Helfer.

Auch im Audi-Forschungsprojekt „Smart Factory“ sind Drohnen testweise im Einsatz





EINE ARCHITEKTUR, DIE VERBINDET, STATT ZU TRENNEN

*Die neue Produktionsstätte von Schaeffler im chinesischen Xiangtan, die 2019 in Betrieb genommen wird, ist angeordnet wie ein Schmetterling. Den Körper bilden das mittige Zentralgebäude und das angrenzende Material-Lager. An den Seiten angedockt sind die Flügel: vier Fertigungshallen, zwei auf jeder Seite. Alle Arbeiter betreten die Fabrik durch das Zentralgebäude. Ihr weiterer Weg führt sie über eine Art Rückgrat in einen der beiden Flügel. Das Zentralgebäude und das Rückgrat – beides zusammen bezeichnen die Konstrukteure von Schaeffler auch als Campus – sind für die Menschen **Orte der Begegnung und der Kommunikation**. Egal ob Führungskraft auf dem Weg ins Büro oder Arbeiter auf dem Weg zum Fließband – alle gehen ein Stück weit die gleichen Wege und können sich austauschen. Das mag selbstverständlich klingen, ist in vielen Fabriken heutzutage aber noch lange keine Realität. Doch diese den Austausch fördernde Architektur mit einem Campus ist nur ein Aspekt, mit dem die Schaeffler-Produktionsstätte in Xiangtan architektonisch neue Maßstäbe setzt. **Bei der Konzeption des Campus hat man mit einem Feng-Shui-Berater zusammengearbeitet**, um die lokale Kultur von Anfang an mit einzubeziehen. So öffnet sich beispielsweise der Haupteingang gen Süden, um die Energie des Flusses Lian Shui aufnehmen zu können. Außerdem hat man die Fabrik so konstruiert, dass die Mitarbeiter von **fast überall nach außen sehen können – eine erhebliche Steigerung der Arbeitsplatzqualität**. Manchmal bedeutet Zukunft eben einfach nur – mehr Tageslicht.*

rd. **2**

neue Fabriken will Schaeffler pro Jahr bauen. Die „Fabrik für morgen“ gilt dabei als Vorbild.

» Vorgaben hatten wir viele. Die vielleicht wichtigste: Menschen zusammenzubringen

Andreas Fuchs, Leiter Programming beim Architekturbüro Henn, das die erste „Fabrik für morgen“ von Schaeffler geplant hat



Setzt neue Maßstäbe: die Austausch fördernde und durch viel Glas lichtdurchflutete Architektur der Schaeffler-Produktionsstätte in Xiangtan



MEHR ALS NUR DREIDIMENSIONAL: AUGMENTED REALITY IN PLANUNG, MONTAGE UND WARTUNG

Wie wäre es, um eine Produktionsmaschine oder um ein fertiges Bauteil herumzugehen und es sich ganz genau anzusehen, bevor es überhaupt existiert? Genau das ermöglicht das Konzept der sogenannten Augmented Reality: **Dabei erweitern Datenbrillen sowohl Konstrukteuren als auch Fabrikarbeitern wortwörtlich den Horizont.** Sie projizieren zusätzliche Informationen und Objekte ins Blickfeld – passgenau dorthin, wo gerade notwendig oder erwünscht. Für den Konstrukteur bedeutet dies zum Beispiel, dass er in einem dargestellten Projekt realitätsnah prüfen kann, ob sich alle Bauteile zusammenfügen lassen und wie das Endprodukt im Detail aussieht. Es ist, wenn man so will, **ein Blick in die Zukunft**, der manche Fehlschläge und -konstruktionen vorhersagen und damit verhindern kann. Auch dem Arbeiter in der Fabrik kann die Datenbrille zu einer großen Hilfe werden. So können in dem Display Konstruktionsdaten mit dem realen Bild, das eine Kamera in der Datenbrille erfasst, abgeglichen und Abweichungen festgestellt werden. Die Symbiose von virtueller und „echter“ Realität: ein Gewinn für alle. Und wenn es doch mal ganz haptisch sein muss, dann ermöglicht die 3-D-Drucktechnologie ein rasches Anfertigen von Prototypen.

» Augmented Reality und autonome Roboter werden miteinander verschmelzen

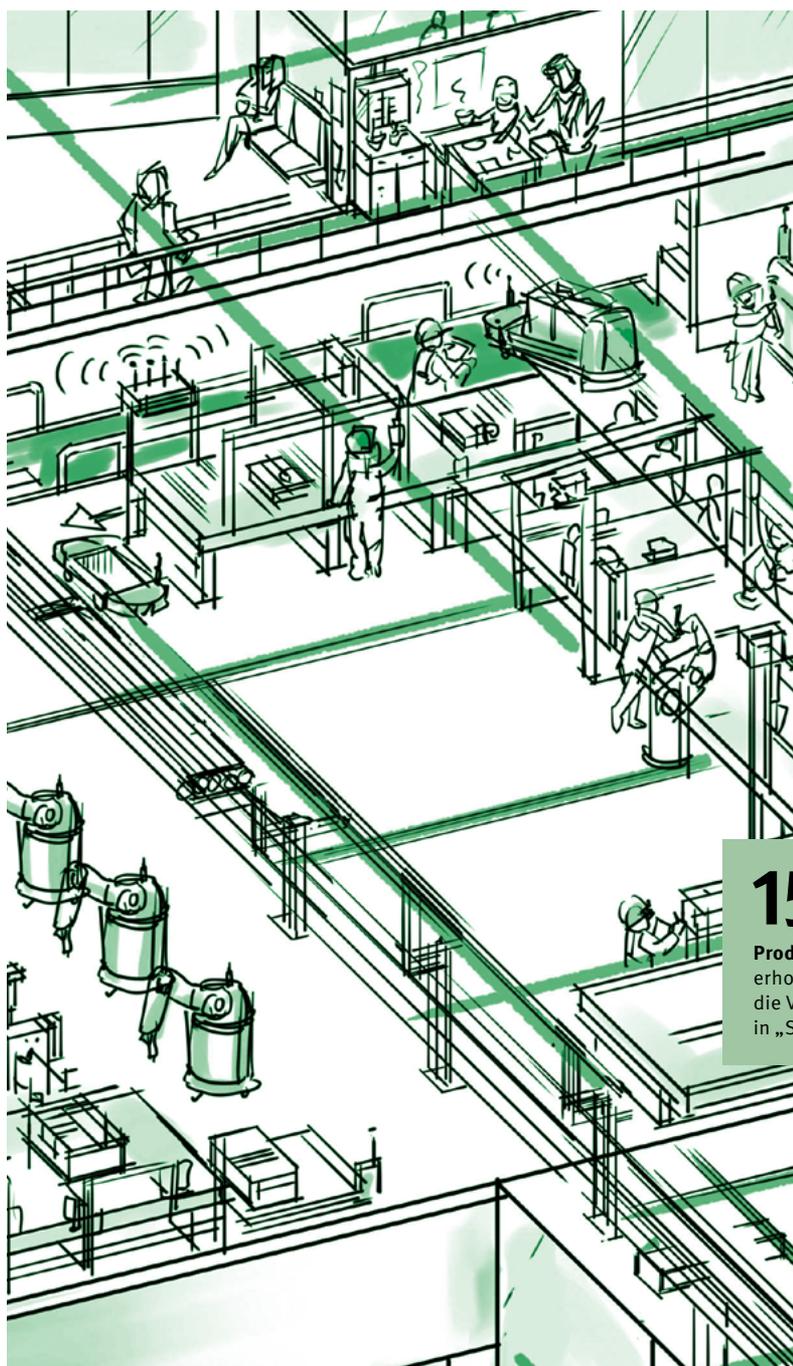
Science-Fiction-Autor Bruce Sterling im Tech-Magazin „Wired“



SMARTE VERNETZUNG VON MASCHINEN UND BAUTEILEN

Einst waren sie stumme, tumbe Diener ohne Augen und Ohren. Heute entwickeln sich die Produktionsmaschinen auch durch die Digitalisierung immer mehr zu aufmerksamen und höchst wachsamem Partnern: Kameras erfassen die Umgebung und verhindern etwa Arbeitsunfälle, Mikrofone nehmen Geräusche auf und registrieren Störungen, andere Sensoren wie Laser messen Abstände, Volumen, Oberflächenformen oder Temperaturen. Der Datenaustausch zwischen den Maschinen lässt sie Arbeitswelten auf ganz neuen Ebenen erfassen. Sowohl die Maschinen selbst als auch

Zentralcomputer verbessern sich kontinuierlich darin, die Daten richtig zu interpretieren – das Erfolgsgeheimnis dafür ist eine intelligente Software. Um diesen Fortschritt voranzutreiben, kooperiert Schaeffler nicht nur mit Universitäten und Forschungseinrichtungen wie dem Fraunhofer-Institut. Kürzlich hat Schaeffler auch zu 100 Prozent die autinity systems GmbH übernommen. Das IT-Unternehmen hat sich auf Maschinendatenerfassung und -interpretation spezialisiert. Die „Smart Factory“ kann kommen? Nein, sie ist zu einem großen Teil schon da!



Vernetzte Maschinen sorgen in einer „Smart Factory“ für einen lückenlosen, autonomen und vollautomatisierten Materialfluss in der Produktion

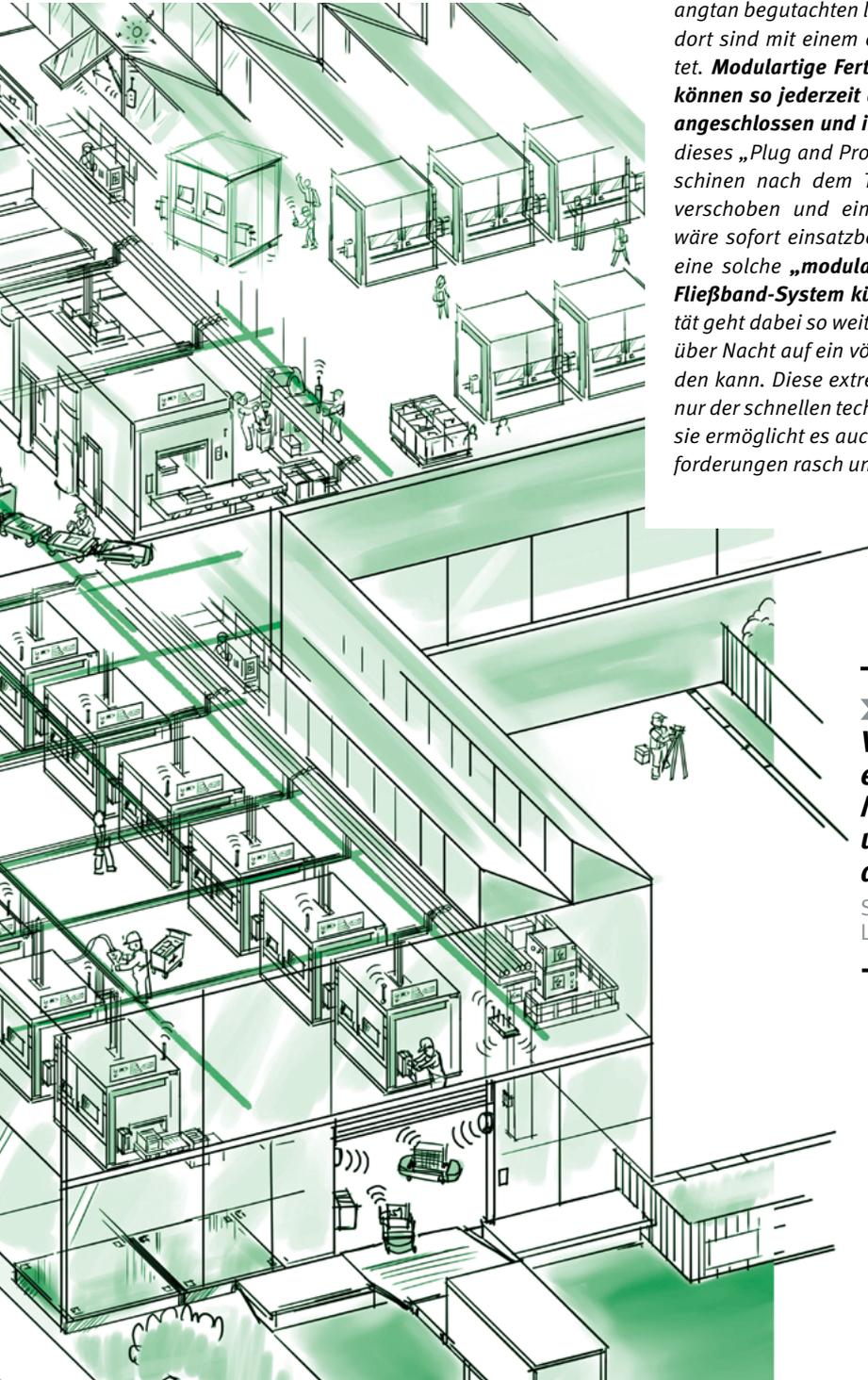
15–20 %

Produktivitätssteigerung erhoffen sich Experten durch die Vernetzung von Maschinen in „Smart Factories“.



PRODUKTIONSPROZESSE ÜBER NACHT ANPASSEN

Fortschritt bedeutet Geschwindigkeit. Das gilt auch und insbesondere für die Produktion: Die **Produktionszyklen werden immer kürzer, die technischen Entwicklungen immer kurzlebiger**. Eine Produktionsstraße, die einmal aufgebaut, jahre- oder gar jahrzehntelang die immer gleichen Dinge produziert – Vergangenheit. Deshalb müssen Fabriken heute und in Zukunft so flexibel wie möglich sein. Wie das in der Praxis aussieht, wird sich ab 2019 in der neuen Schaeffler-Produktionsstätte im chinesischen Xi-angtan begutachten lassen. Die großflächigen Werkhallen dort sind mit einem engen Versorgungsrastrer ausgestattet. **Modulartige Fertigungsanlagen mit Standardmaßen können so jederzeit ans Strom-, Wasser- und Datennetz angeschlossen und in Betrieb genommen werden**. Durch dieses „Plug and Produce“ können auch bestehende Maschinen nach dem Tetris-Prinzip in neue Umgebungen verschoben und eingepasst werden – die Produktion wäre sofort einsatzbereit. Vieles deutet darauf hin, dass eine solche „modulare Montage“ **das lange und starre Fließband-System künftig verdrängen wird**. Die Flexibilität geht dabei so weit, dass eine Fabrik fast sprichwörtlich über Nacht auf ein völlig anderes Produkt umgestellt werden kann. Diese extreme Anpassungsfähigkeit trägt nicht nur der schnellen technologischen Entwicklung Rechnung, sie ermöglicht es auch, auf wirtschaftliche Trends und Anforderungen rasch und kostengünstig zu reagieren.



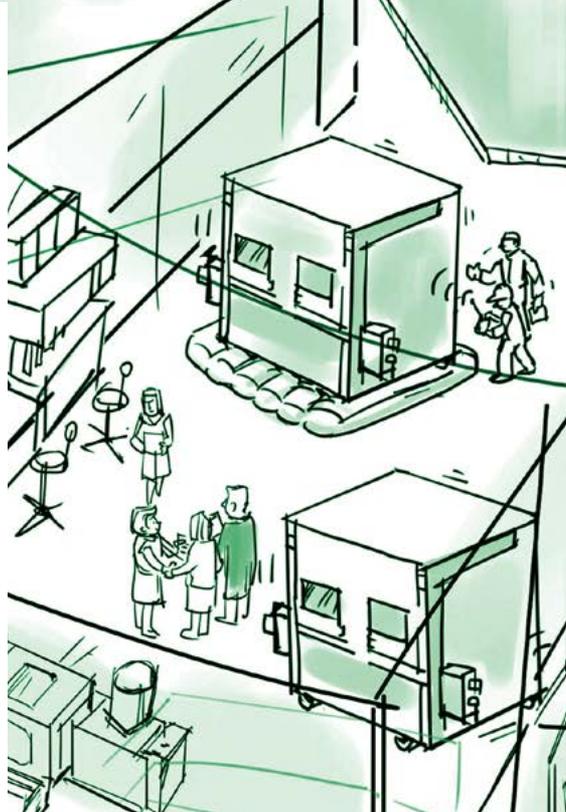
» Ein standardisiertes Versorgungsrastrer ermöglicht es uns, Maschinen schneller und unkomplizierter ans Netz zu nehmen

Stephan Böhnlein,
Leiter Schaeffler-Fabrikplanung



BIG DATA: DIE FABRIK LERNT VON SICH SELBST

Es geht um die Nadel im Heuhaufen. Und warum wir sie künftig immer häufiger finden werden. Und was eigenständig ablaufende Lernprozesse von Fabriken damit zu tun haben. Der Heuhaufen, das ist Big Data (siehe „Smarte Vernetzung von Maschinen und Bauteilen“). **Doch wer genau in die riesige Datenmenge schaut, die in der digitalisierten Fabrik anfällt, der findet tatsächlich zielgenau die berühmten Nadeln.** In diesem Falle wichtige Zusammenhänge und Informationen, die das Produzieren verbessern können. Hochleistungscomputern gelingt dies schon heute; sie werten riesige Datenmengen aus, erkennen Zusammenhänge und können Ereignisse vorhersagen, auf die man sich vorbereiten kann. Ein paar Beispiele: Durch Sensoren und RFID-Etiketten ist der Materialbestand immer im Computer. Der Rechner lernt im Laufe der Zeit, wie viel tatsächlich verbraucht wird – **so kann Material immer passgenauer bestellt werden.** Verschleißbedingte Maschinenausfälle gehören auch bald der Vergangenheit an: Dank angesammelter Daten und Informationen von Sensoren können **Wartungspläne optimiert und Teile ausgetauscht werden, bevor sie den Dienst quittieren.** Fehler im Produktionsprozess kann die Fabrik der Zukunft ebenfalls selbstständig aufdecken: indem hinterlegte Maschinen-Solldaten bei Auffälligkeiten mit den Istwerten zum Herstellungszeitpunkt automatisch abgeglichen werden. **In solchen Fällen zeigt die Fabrik der Zukunft eine Eigenschaft, die Menschen manchmal vermissen lassen: Sie lernt aus ihren Fehlern.**



Wieso, weshalb, warum? Der YouTube-Clip über die Schaeffler-Fabrik von morgen gibt Antworten



ROBOTER ZUR SEE

Alle Mann von Bord! Autonom fahrende Schiffe sollen in Zukunft die Weltmeere befahren. Soweit es geht mit elektrischem Antrieb. Ein Ausblick auf die Seefahrt von morgen.

— von Alexander von Wegner

— Still und leise, in den Tiefen der Geschichtsbücher, findet sich ein erster Beleg: Schon 1886 querte ein Ausflugschiff die Spree in Berlin mit der Kraft aus Batterien. Elektra war der treffende Name für das Schiff. Auch auf dem Königssee in Bayern kreuzen seit fast einem Jahrhundert elektrische Barkassen. Und vom Flughafen in die Innenstadt von Venedig schippert ein Hybrid-Boot – auf offener See pflügt es dank Dieselantrieb mit 30 km/h durch die Wellen, in den Lagunen genügt der Elektroantrieb für sechs bis sieben Stundenkilometer.

Diese maritimen Einsätze haben gleich mehrere Besonderheiten gemeinsam: Relativ kurze Routen, damit verbunden eine häufige Rückkehr an die Anlegestelle zum Wiederaufladen, der Taktverkehr einer ganzen Flotte und niedrige Werte bei Eigengewicht und Nutzlast ebenen den elektrifizierten Antrieben in diesen Fällen den Weg. Wie aber ist es um Fähren, Frachter und andere Schiffstypen bestellt?

Vorreiter auf der Hybridwelle

Schon in den neunziger Jahren war auf der Nordsee ein dieselelektrisches Hybridschiff als Versorgungsboot

zu Bohrinseln unterwegs. Im Unterschied zum üblichen Parallelhybridantrieb im Auto handelte es sich dabei um einen seriellen Hybrid: Mehrere Dieselgeneratoren erzeugen den Strom für die Elektromotoren, die die Schiffsschrauben antreiben. Obwohl solche seriellen Antriebe einen geringeren Wirkungsgrad haben, kann sich die Lösung je nach Einsatzgebiet auszahlen. Abhängig davon, wie viel Energie das Schiff benötigt, können ein oder mehrere Generatoren abgeschaltet werden. Die benötigten Generatoren laufen dann bei optimalem Wirkungsgrad und sind nicht an die Schiffsschrauben gekoppelt. Wenn sich die beanspruchte Antriebsleistung also häufig ändert, fallen die Einsparungen stärker ins Gewicht als der schlechtere Wirkungsgrad. Im Vergleich zum reinen Dieselantrieb sparen solche Lösungen bis zu 35 Prozent Kraftstoff.

Ein weiterer Vorteil von Hybridlösungen ist die reduzierte Schadstoffbelastung für Hafenstädte, wenn die Schiffe mit Elektroantrieb aufs offene Meer fahren. Die Reederei Scandlines bedient bereits mehrere Ostseerouten mit Hybridfähren. Konkurrent Color Line will 2019 mit dem größten Hybridschiff der Welt kontern.

Auch vollelektrische Lösungen rücken näher. 2015 überquerte die erste vollelektrische Auto- und Personenfähre in Norwegen einen Fjord mit der Energie aus Batterien. Die „Ampere“ der Werft Fjellstrand benötigt 20 Minuten für eine sechs Kilometer lange Strecke im Sognefjord. Die zwei Elektromotoren des von Siemens stammenden Antriebsstrangs leisten je 450 Kilowatt. Die Lithium-Ionen-Akkus, die immerhin zehn Tonnen wiegen, bieten 1.000 Kilowattstunden Energie – genug für mehrere Fahrten. Beim Be- und Entladen von Passagieren und Fracht lassen sich die Batterien direkt wieder aufladen. Und da der Strom in dieser Region Norwegens vollständig aus Wasserkraft entsteht, wird kein Gramm Kohlendioxid ausgestoßen.

Bei Containerfrachtern schickt sich Norwegen ebenfalls an, eine Pionierleistung zu vollbringen. Der Düngemittelhersteller Yara und die Reederei Kongsberg

NEUE ENERGIEWEGE

Die Kraft von Wind und Sonne sollen die Solarsegel auf diesem Schiffskonzept in Vortriebs- und Versorgungsenergie umsetzen. Anbieter Eco Marine Power will damit im Zusammenspiel mit anderen Technologien bis zu 40 % Kraftstoff sparen.



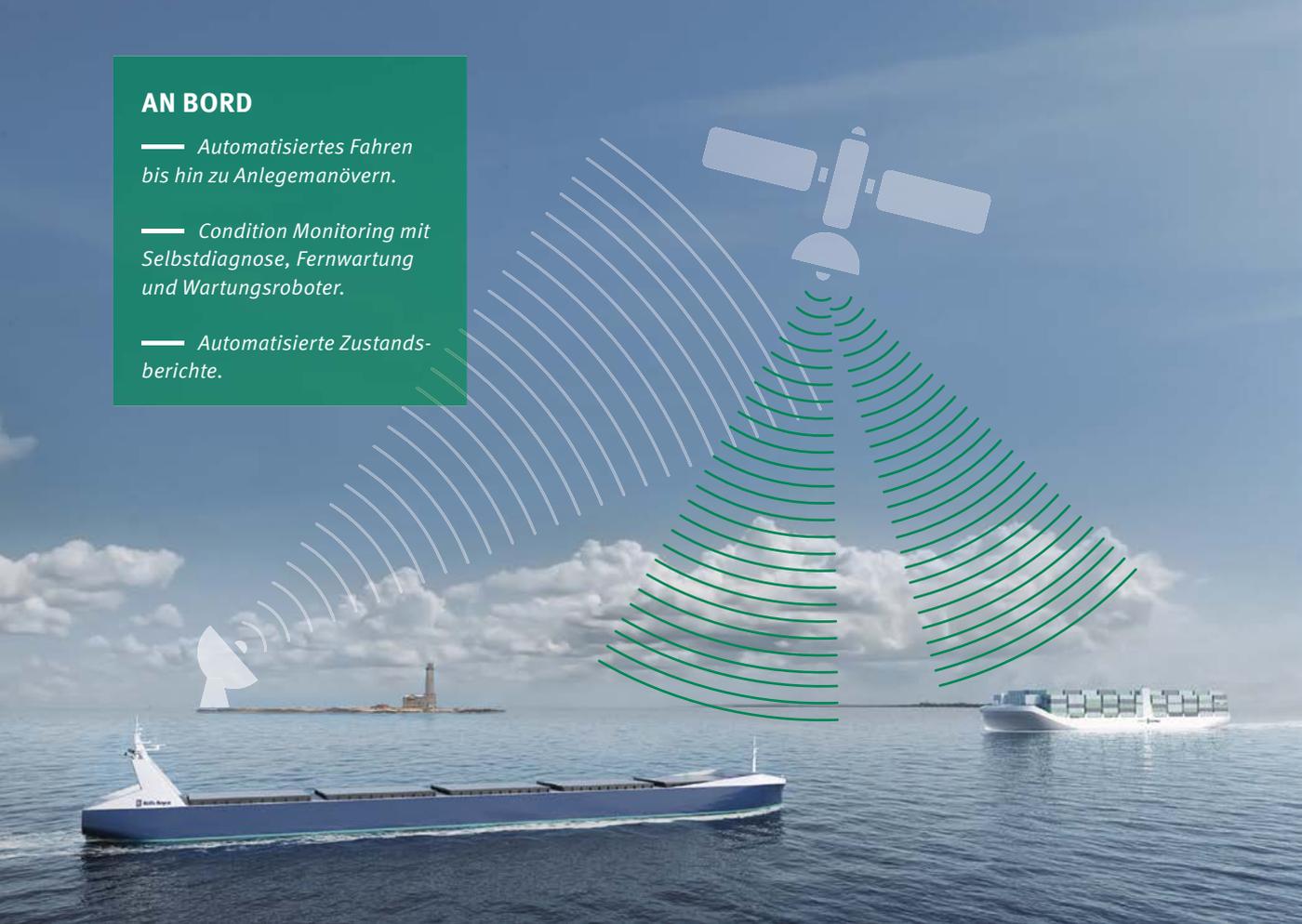


KOMMANDOZENTRALE AN LAND

- Navigation (Situationsabhängige Unterstützung der bordeigenen Systeme bei Gefahrensituationen), Lotsen.
- Überwachung, Maschinensteuerung.
- Steuerung der Frachtgut-Be- und Entladung.
- Optimierung von Energieeffizienz, Flottensteuerung und dadurch von Erträgen.

AN BORD

- Automatisiertes Fahren bis hin zu Anlegemanövern.
- Condition Monitoring mit Selbstdiagnose, Fernwartung und Wartungsroboter.
- Automatisierte Zustandsberichte.



bilden eine Partnerschaft, um bereits im kommenden Jahr ein vollelektrisches Schiff zu Wasser zu bringen. Seine Route umfasst drei Orte. Das erspart der Region zwischen der Chemie-Produktionsstätte in Porsgrunn und den Häfen Brevik und Larvik künftig 40.000 Lkw-Fahrten pro Jahr. Der mehr als 70 Meter lange Containerfrachter soll maximal 18,5 km/h erreichen, auf eine Nutzlast von 120 TEU (1 TEU = 1 Zwanzig-Fuß-Standardcontainer) ausgelegt sein und Batterien für eine Energiemenge von 3,5 bis 4 Megawattstunden beherbergen. Der innovative Frachter soll ab 2018 zunächst bemannt unterwegs sein, um ab 2019 ferngesteuert und ab 2020 vollständig autonom zwischen den drei Orten zu fahren. Seine Route verläuft innerhalb einer Grenze von zwölf nautischen Meilen entlang der Küste. Drei Kontrollzentren wachen permanent über den Einsatz. Ihre Aufgaben: Hilfe in Ausnahmesituationen und Notfällen, Betriebszustands- und Einsatzkontrolle, Entscheidungsunterstützung, Überwachung von Schiff und Umwelt sowie weitere Sicherheitsaspekte.

Autonomie bringt Freiräume

Mit der Zielsetzung, ab 2020 autonom unterwegs zu sein, zielt die norwegische Kooperation auf das gleiche Datum wie Rolls-Royce. Bereits 2014 nahm der Antriebsspezialist diese Jahreszahl ins Visier. Ohne Menschen an Bord entfallen verschiedene Aspekte schon

bei der Konstruktion. Ob es der Verzicht auf die Unterbringung oder sogar auf die ganze Brücke ist – die Ingenieure haben mehr Freiräume bei Kosten, Gewicht und räumlicher Anordnung. Dagegen steigen die Anforderungen bei der Konnektivität, ebenso müssen redundante Systeme und Funktionen eingeplant werden. Die permanente Überwachung in Echtzeit hilft zugleich, Kosten bei Service und Wartung einzusparen. Hier können modulare Sensorlager von Schaeffler Daten wie Geschwindigkeiten, Drehzahlen, Kräfte oder Temperaturen erfassen. „Condition Monitoring“-Systeme wie FAG SmartCheck können den Zustand von Wälzlagern und Maschinenteilen diagnostizieren.

Der reichhaltige Datenstrom eröffnet den Schiffsbesitzern zugleich neue ökonomische Dimensionen: Flotten lassen sich optimieren, Kombinationen von Routen und Frachten besser planen, und es entstehen neue Dienstleistungen. Die Verantwortlichen skizzieren neue Poolbildungen und Allianzen, veränderte Leasing-Möglichkeiten, neue Online-Marktplätze für die Frachtdienstleistungen und vieles mehr.

Ob all die Vorteile reichen werden, die aufwendigen Systeme, die für ein autonom fahrendes Schiff erforderlich sind, zu refinanzieren, wird sich zeigen. Skeptiker haben da ihre Zweifel. In einem Artikel auf der Internetplattform maritime-executive.com stellt Autor Kapitän George Quick fest, dass die Mannschaft lediglich sechs



15 Prozent

weniger Treibstoff als bemannte Schiffe sollen autonom fahrende verbrauchen – weil sie durch den Wegfall der Mannschaft leichter (5 %) sind, weniger Strom benötigen und windschlüpfriger konstruiert werden können.

Quelle: Rolls-Royce

75–96 %

aller Zwischenfälle auf dem Meer sind Folgen menschlichen Versagens, das hat eine Untersuchung der Allianz-Versicherung ergeben.

SCHAEFFLER AUF DEN WELTMEEREN

Schaeffler bietet für die Schifffahrt ein großes Portfolio an Lagern an. Hier sind ein paar Beispiele:

— Für Rohrverlege-Schiffe wie die „Seven Navica“ liefert Schaeffler tonnenschwere Wälzlager für die gewaltigen Haspeln, auf denen die Rohrleitungen aufgewickelt sind.



— Für Kräne, die auf Lastschiffen zum Einsatz kommen, hat Schaeffler axiale oder radiale Pendelrollenlager im Programm. Die Lagerung muss das hohe Gewicht der Aufbauten plus die zu hebende Last aufnehmen und dabei auch enormen Kippmomenten standhalten.

— Für das Arbeitsschiff „Pieter Schelte“ realisierte Schaeffler den bis dato größten Lieferauftrag an wartungsfreien und extrem belastbaren Elges-Gelenklagern. Über 240 Lager mit einem Außendurchmesser von 400 bis 1.060 mm wurden für das „Topsides Lift System“ verbaut, die Hebeeinrichtung für Aufbauten von Ölbohrplattformen. Der seit 2015 „Pioneering Spirit“ genannte schwimmende Gigant ist mit 382 Meter Länge, 123,75 Meter Breite und 403.342 Bruttoreaumzahl (BRZ) das größte bislang gebaute Schiff der Welt.



— Auch bei Schiffsantrieben und -getrieben ist die Kompetenz von Schaeffler gefragt. Bei Ozeanriesen wie der „Celebrity Solstice“ müssen Pendelrollenlager enorme Schub- und Gewichtskräfte aufnehmen und sind für Belastungen bis zu 430 Tonnen ausgelegt.



— Zusammen mit ABB hat Schaeffler sein aus dem PKW-Bereich stammendes vollvariables Ventilsteuerungssystem UniAir für Großmotoren ab 400 kW Zylinderleistung angepasst, wie sie in der Schifffahrt sowie im Maschinen- und auch Stationärbetrieb im Einsatz sind.



Prozent aller Kosten beim Betrieb eines Schiffes ausmacht. Ein Fakt, der nicht gerade für die Automatisierung spricht. Auf der anderen Seite gehen mehr als drei Viertel aller Schiffsunfälle auf menschliches Versagen zurück (siehe Infokasten). Die finanziellen Folgen solcher Zwischenfälle können gewaltig sein, was wiederum für den Computer-Kapitän spräche.

Nonstop auf See

Bei der weltweit größten Reederei Maersk kann man sich den Einsatz von Roboterschiffen ab dem Jahr 2030 vorstellen. Planspiele des Logistikkonzerns sehen sogar unbemannte Schiffe vor, die nonstop über die Meere fahren, ohne je einen Hafen anzulaufen. Be- und entladen werden sie auf See von Drohnen.

Esa Jokioinen, Chef des Blue Ocean Teams bei Rolls-Royce, blickt jedenfalls gespannt Richtung Zukunft: „Teilweise profitieren existierende Marktteilnehmer davon, andere Entwicklungen werden disruptiv sein. Auch neue Kräfte werden sich große Marktanteile sichern, so wie Uber, Spotify oder Airbnb in anderen Bereichen.“ Und natürlich muss ein umfangreiches Risikomanagement erfüllt werden, denn auch bei Piraterie, Systemausfällen, Stürmen oder Monsterwellen müssen die Schiffe kontrollierbar bleiben. Bei aller Automatisierung wird die Natur weiter unberechenbar bleiben.



DER AUTOR

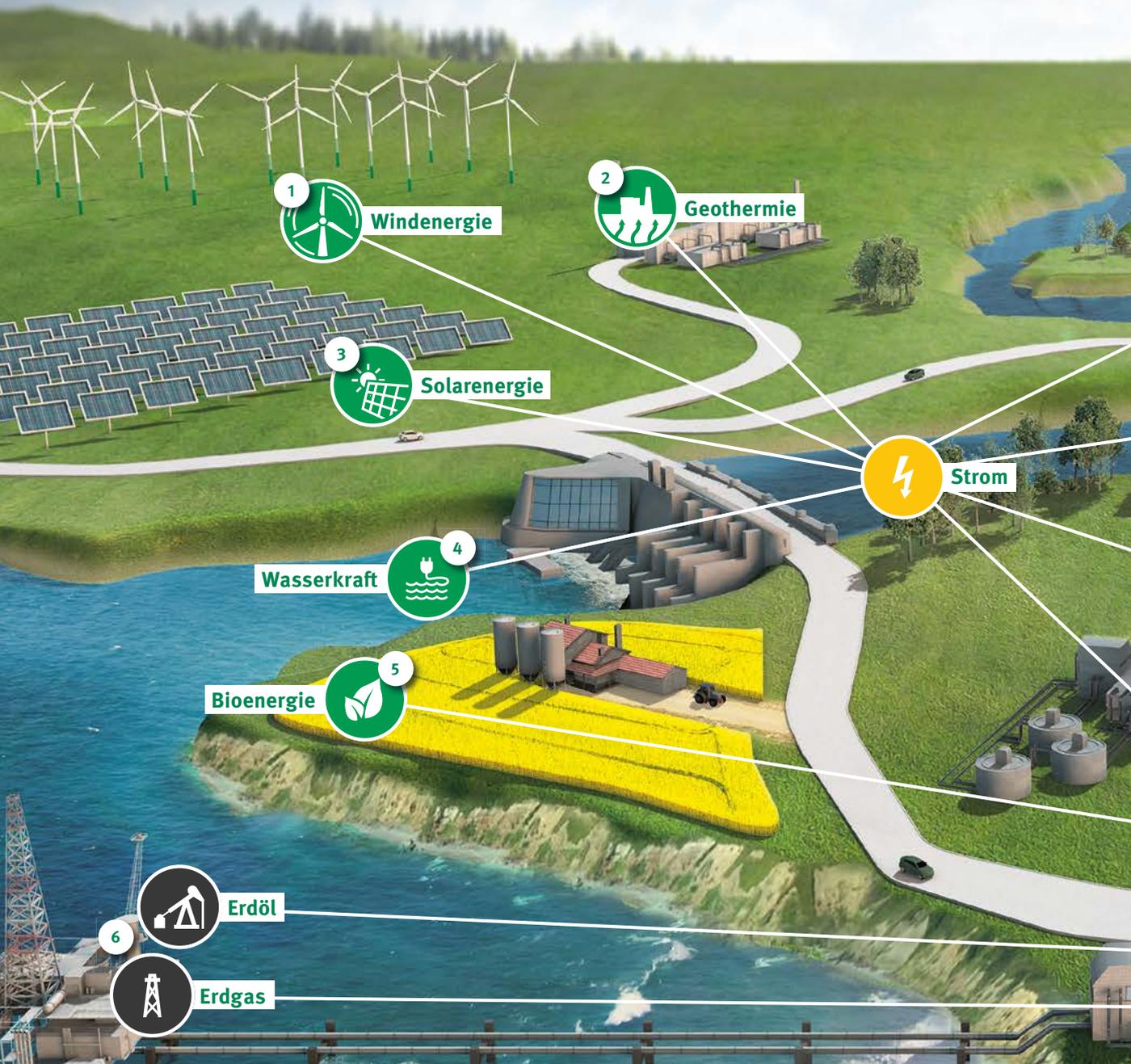


Die Beschäftigung mit der Seeschifffahrt überstieg die Kapitänserfahrung von Autor **Alexander von Wegner** deutlich, der allenfalls Kompetenzen im Ruderboot auf der Hamburger Alster aufzuweisen hat.

OHNE **ENERGIE** LÄUFT KEINE MASCHINE

Nachhaltigkeit bei der Erzeugung, Speicherung und Verwendung von Energie ist der Schlüssel zur Reduzierung von schädlichen Emissionen und zum ökologisch verantwortungsvollen Umgang mit Ressourcen. Der Technologiekonzern Schaeffler betrachtet Zusammenhänge dieser Energiekette ganzheitlich visionär und richtet Konzernstrategien danach aus.

— von Carsten Paulun



ENERGIEGEWINNUNG

Am Anfang einer nachhaltigen Energiekette steht die regenerative Erzeugung der Primärenergie. Dabei stehen uns schon jetzt verschiedene Formen zur Verfügung: Wind- und Wasserkraft, Geothermie sowie Bio- und Sonnenenergie. Schaeffler-Technologie kommt in allen Bereichen zum Einsatz.

1 WINDENERGIE

Wind als Energiequelle nutzten unsere Vorfahren bereits vor mehr als 4.000 Jahren, sowohl zur Fortbewegung in Form von Segelschiffen als auch zum Betrieb von Windmühlen. Zur Stromerzeugung dienen Windräder seit Ende des 19. Jahrhunderts. Eine große Rolle bei der Effizienz dieser heute bis zu 200 Meter hohen Giganten spielen Speziallager für die Rotorwelle, die Rotorblattverstellung und die Windnachführung der Gondel sowie im Getriebe und dem Generator. Schaeffler, Marktführer bei Getriebe lagern, hat alle nötigen Wälzlager im Portfolio. Diese Lager müssen zum Teil mehr als 500 Tonnen Gewichtskraft aushalten, rollwiderstandsarm und vor allem zuverlässig sein.

2 GEOTHERMIE

Unser Planet erzeugt in seinem Kern Wärme. Die ersten drei Kilometer der Erdoberfläche enthalten genug Energie, um die aktuelle Bevölkerung für 100.000 Jahre zu versorgen. Wie bei der Stromerzeugung aus Wind- und Wasserkraft treibt auch bei der Geothermie eine regenerative Energiequelle einen Generator an. In der Regel ist das Wasserdampf aus den heißen Erdschichten.

3 SOLARENERGIE

Die Sonne ist unser größter und wichtigster Energielieferant. Quelle dieser Energie ist die Verschmelzung von Wasserstoff zu Heliumkernen im Inneren der Sonne. Theoretisch müsste die Sonne nur eine Stunde scheinen, um den Energiebedarf aller Menschen ein Jahr lang zu decken. Wir müssen diese Energie nur besser verwerten. Wie im marokkanischen Noor-Kraftwerk, bei dessen verstellbaren Kollektorspiegeln Lager von Schaeffler eine exakte Nachführung ermöglichen.

4 WASSERKRAFT

Ohne Wasser würden wir nicht leben: Unser Körper besteht zu 65 Prozent aus Wasser, und es ist derzeit auch die wichtigste Quelle erneuerbarer Energie. Ob Gezeiten-, Meeresströmungs-, Pumpspeicher- oder Wellenkraftwerk – allein aus der Energie von fließendem Wasser lässt sich Strom erzeugen. Für einen effizienten Betrieb ist die reibungsarme und zuverlässige Lagerung von Wellen, Achsen und den Verstell-schaukeln der Turbinen ein wesentlicher Faktor.

5 BIOENERGIE

Nachwachsende Rohstoffe wie Holz, aber auch landwirtschaftliche Agrarrohstoffe und organische Reststoffe enthalten chemisch gebundene Energie. Wir nutzen sie nach Umwandlung als Strom, Wärme oder in Form von Kraftstoffen.

6 FOSSILE BRENNSTOFFE

Trotz des verstärkten Einsatzes regenerativ erzeugter Energie werden fossile Brennstoffe wie Öl, Gas und Kohle auch in den nächsten Jahren noch eine Rolle im Energie- und Mobilitätssektor spielen.



» Es geht um eine grundlegende Transformation unseres Wirtschaftens, die alle Sektoren erfasst – die industrielle Produktion, die Mobilität, die Energieerzeugung, die Wärmedämmung, die Energieeffizienz

Angela Merkel, Bundeskanzlerin, hier im Bild mit dem Schaeffler-Vorstandsvorsitzenden Klaus Rosenfeld (Mitte) und Automotive-Vorstand Matthias Zink auf dem Schaeffler-Stand bei der IAA 2017

ENERGIESPEICHER

Regenerativ erzeugte Energie muss in den meisten Fällen zwischengespeichert werden, bevor sie eine Maschine antreibt. Das gilt besonders für Strom, der in Zeiten erzeugt wird, in denen er nicht genutzt werden kann. Ihn in größerer Menge über längere Zeiträume zu speichern ist nur mit indirekten Verfahren möglich, bei denen eine Umwandlung in eine andere Energieart nötig ist. Schaeffler baut strategisch Kompetenzen auf diesem Gebiet aus.

1 STATIONÄRE ENERGIESPEICHER

Bisher verwenden wir drei Technologien zur Speicherung von Strom. Die bekannteste Form ist die elektrochemische Speicherung nach dem Prinzip der galvanischen Zelle in Batterien und Akkus. Zu den elektrochemischen Verfahren zählt auch die Elektrolyse. Die zweite Möglichkeit ist die mechanische Speicherung in Gasdruck-, Pump- und Massenspeichern bzw. Schwungrädern. Der dritte Ansatz verfolgt die 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 sowie relative und absolute Kosten im Verhältnis zum Energieerzeugungs- und -handelspreis.

3 WASSERSTOFF

Zwei Drittel der Erdoberfläche sind mit Wasser bedeckt, einer Verbindung aus Sauerstoff und Wasserstoff. Eine Kombination, die es in sich hat: Ein Kilogramm Wasserstoff enthält 33 kWh Energie – fast dreimal so viel wie Benzin. In der Natur kommt Wasserstoff aber fast ausschließlich in gebundener Form vor, zum Beispiel in Wasser oder in diversen Gasen wie Methan. Um ihn dort in aufwendigen Elektrolyseverfahren herauszulösen, wird viel Energie benötigt. Die Idee ist nun, mit überschüssiger regenerativer Energie Wasserstoff zu erzeugen, ihn zu speichern und beispielsweise in Brennstoffzellen später wieder in Strom und Wärme umzuwandeln.

2 BATTERIE

Flüsterleise und ohne Abgase: Elektromobilität klingt verlockend. Vor allem wenn der Strom, wie in unseren Beispielen, vollkommen regenerativ erzeugt wird. Damit Fahrzeuge diesen Strom nutzen können, müssen sie ihn speichern können. Es gibt heute noch keine Batterie, die bei Platzbedarf, Gewicht und Energiedichte mit fossilem Kraftstoff mithalten kann. Mit der heutigen Technologie können in einem ein Kilogramm schweren Lithium-Akku rund 350 Wattstunden Strom gespeichert werden. Ein Liter Benzin enthält rund 11.000 Wattstunden Energie. Experten von Schaeffler rechnen damit, dass sich die Kapazität von Batterien durch den Einsatz neuer Materialien bis 2030 mehr als verdreifachen wird.

» Strom aus erneuerbaren Energien steht nicht rund um die Uhr zur Verfügung. Um Energie zu speichern und im Bedarfsfall wieder ins Netz einzuspeisen, benötigen wir effiziente Speichermöglichkeiten

Prof. Tim Hosenfeldt,
Schaeffler, Leiter Corporate Innovation

Stationäre
Energiespeicher



2



Batterie

Wasserstoff



Synthetischer
Kraftstoff



Biologischer
Kraftstoff



Benzin/Diesel



CNG/LPG



4 SYNTHETISCHER KRAFTSTOFF

Flüssige Kraftstoffe haben bezogen auf ihr Volumen von allen Kraftstoffen die höchste Energiedichte. Wäre da nicht das Emissionsproblem. Genau das sollen synthetische Kraftstoffe lösen. Anders als ihre natürlichen Verwandten werden die künstlichen Kraftstoffe nicht aus Erdöl hergestellt, sondern auf biologischem oder chemischem Weg aus anderen Gasen oder Biomasse und mithilfe von regenerativ erzeugtem Strom. Außerdem wird CO₂ als Rohstoff eingesetzt. Und zwar ungefähr so viel, wie bei der späteren Verbrennung wieder freigesetzt wird. Deshalb gilt dieser Treibstoff als CO₂-neutral. Auch andere Emissionen wie Stickstoff-Verbindungen werden drastisch reduziert.

5 BIOLOGISCHER KRAFTSTOFF

Biomasse lässt sich unter Nutzung regenerativ erzeugten Stroms weitestgehend CO₂-neutral direkt in flüssige Kraftstoffe wandeln. Sie ähneln in vielen Parametern Benzin und Diesel, können genauso leicht transportiert und gespeichert werden. Mit leichten technischen Anpassungen können Verbrennungsmotoren diesen Treibstoff problemlos nutzen.

6 BENZIN/DIESEL

Die beiden weltweit am häufigsten eingesetzten Kraftstoffe sind Benzin und Diesel. Sie werden in einem petrochemischen Verfahren aus Erdöl gewonnen und besitzen gemessen am Volumen eine hohe Energiedichte, was sie vor allem für mobile Anwendungen interessant macht. Ihre chemische Energie wird durch Verbrennung in Antriebsenergie umgewandelt.

7 CNG/LPG

Die gasförmige Variante des Rohöls heißt Erdgas und steht als CNG (Compressed Natural Gas = komprimiertes Erdgas) zur Verfügung. Während CNG zwischen 75 und 98 Prozent Methan enthält und zum Heizen, zur Stromerzeugung und für Antriebe genutzt wird, besteht LPG (Liquefied Petroleum Gas = flüssiges Rohölgas) aus den Gasen Propan und Butan. Sie werden verflüssigt und wie Benzin in Verbrennungsmotoren verwendet.

ENERGIENUTZUNG

Unser Energiehunger wächst weltweit: Immer mehr Maschinen erleichtern uns unser Leben, immer mehr Menschen bevölkern unseren Planeten. Auch wenn wir unsere Energien immer stärker regenerativ erzeugen, müssen wir sie so effizient wie möglich nutzen. Im Bereich der Mobilität hat Schaeffler deshalb bereits viele nachhaltige Innovationen in die Serienfertigung gebracht – sowohl in der Elektromobilität als auch bei klassischen Verbrennungsmotoren. Unter dem Motto „Mobilität für morgen“ arbeitet der Global Player zudem an visionären neuen Antriebskonzepten wie zum Beispiel platzsparenden, elektrischen Radnabenmotoren.

1 ELEKTRIFIZIERTE ANTRIEBE

Für die automobile Zukunft gibt es nicht die eine Antriebslösung. **Ob Verbrennungs- oder Elektromotor, ob Batterie oder Brennstoffzelle oder Kombinationen aus diesen Elementen – die Ingenieure von Schaeffler arbeiten an allen Antriebsmöglichkeiten.** Allein im Bereich der Elektromobilität wird Schaeffler bis 2020 eine halbe Milliarde Euro investieren und 1.200 neue Mitarbeiter einstellen. Aus gutem Grund, denn trotz der bereits geleisteten Optimierungsarbeit und der noch zu erwartenden Verbesserungen beim verbrennungsmotorischen Antrieb: Ohne Elektrifizierung/Hybridisierung halten Experten es nicht für realisierbar, Mittelklasse- oder höherklassige Autos „unter den zukünftigen CO₂-Grenzwert von 95 g/km zu drücken“, so Professor Peter Gutzmer, Technikvorstand von Schaeffler. Aus diesem Grund hat Schaeffler die Entwicklung eines umfangreichen Hybridisierungsbaustens inklusive des Hybridmoduls Gen 3 mit integriertem Drehmomentwandler vorangetrieben.

2 BRENNSTOFFZELLE

Kaum zu glauben: Bereits seit 1838 kennen wir die Funktionsweise der Brennstoffzelle. Kurz gesagt wandelt sie chemische Reaktionsenergie eines kontinuierlich zugeführten Brennstoffes und eines Oxidationsmittels in Strom und Wärme um. Die Brennstoffzelle fand jedoch keinen breiten Einsatz, da man sich damals um Emissionen noch keine Gedanken machte. Erst als die Raumfahrt und das Militär Anfang der 1950er-Jahre kompakte und leistungsstarke Energiequellen suchten, ging die Entwicklung weiter. Heute gilt vor allem die Wasserstoff-Luft-Brennstoffzelle technologisch betrachtet als fertig entwickelt. Größter Vorteil: Als lokale Emission entsteht lediglich Wasser. Zudem arbeiten Brennstoffzellen nahezu geräuschlos und erzielen in Kombination mit Elektromotoren deutlich höhere maximale Wirkungsgrade (bis zu 60 Prozent) als Benzin- oder Dieselmotoren (38 bis 45 Prozent). Ingenieure von Schaeffler forschen an Materialien, die die Brennstoffzelle im Detail noch leistungsfähiger machen.

» Die weltweite Reduzierung von Emissionen kann nur in einem geschickten Zusammenspiel der gesamten Energiekette gelingen

Prof. Peter Gutzmer,
Technologie-Vorstand Schaeffler

POSTER ZUR STORY

**DIE ENERGIEKETTE
AUF EINEN BLICK**



3 VERBENNUNGSMASCHINE

Auch wenn die Elektromobilität große Schritte macht, werden wir in den kommenden Jahren sowohl im Pkw-als auch im Nutzfahrzeugbereich nicht am Verbrennungsmotor vorbeikommen. Warum auch? Schließlich ist der Verbrennungsmotor noch lange nicht ausgereizt. „Das gesamte zum heutigen Stand der Serienmotoren verbleibende Effizienzsteigerungspotenzial schätzen wir auf 20 Prozent für Ottomotoren und auf 10 Prozent für Dieselmotoren“, erklärt Schaeffler-Technikvorstand Prof. Peter Gutzmer. Zur weiteren Verringerung des Verbrauchs hat Schaeffler eine ganze Reihe von wirkungsvollen Produkten entwickelt. Einzig die Rekupe-ration ist mit dem Verbrennungsmotor allein nicht möglich. Genau da setzen Mild-Hybrid-Konzepte mit Elektromotoren an. In dieser Kombination wird der Verbrennungsmotor fortbestehen. Wenn dann noch synthetisch hergestellte Kraftstoffe eingesetzt werden, können sogar bestehende Verbrennungsmotoren CO₂-neutral betrieben werden.



Elektrifizierte Antriebe 

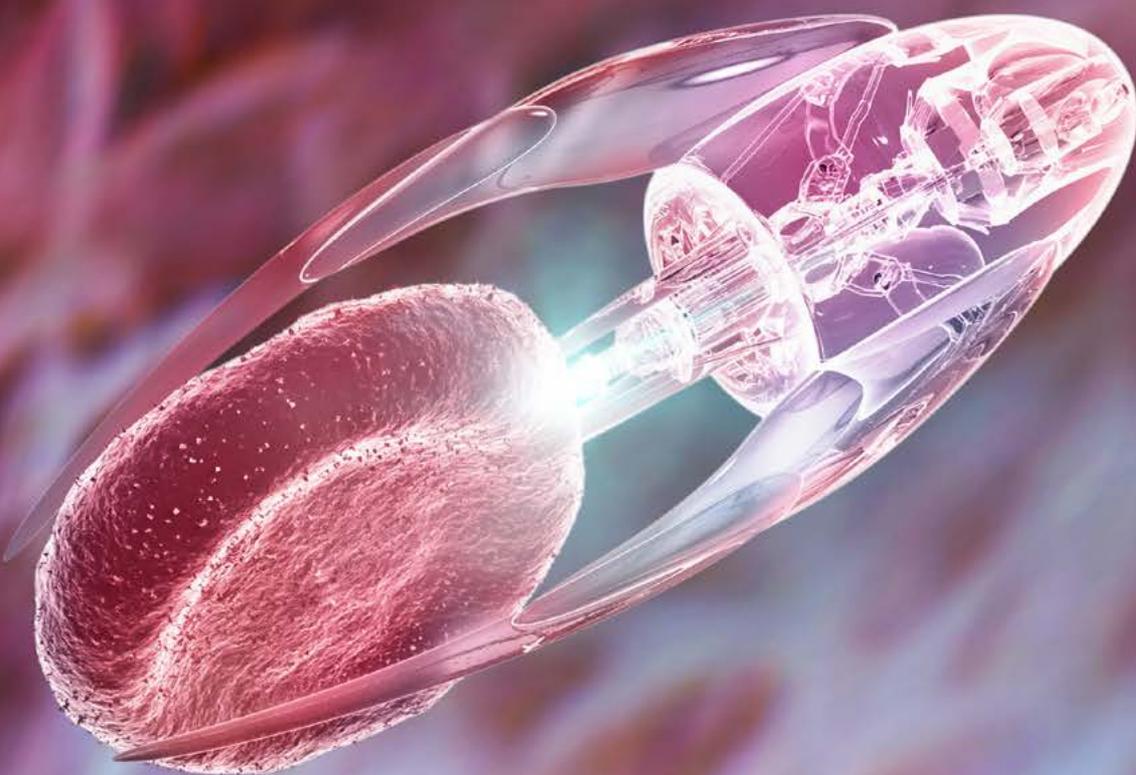
Brennstoffzelle 

Verbrennungsmaschine 

ZWERGE MIT POTENZIAL

Für die Grundlagen zum Bau von komplexen Nanomaschinen gab es im letzten Jahr den Chemie-Nobelpreis. Seit den ersten Schritten Anfang der 80er-Jahre hat sich das neue Forschungsfeld rasant entwickelt – und eröffnet faszinierende Möglichkeiten in Sensorik, Produktion und Medizin.

— von Denis Dilba

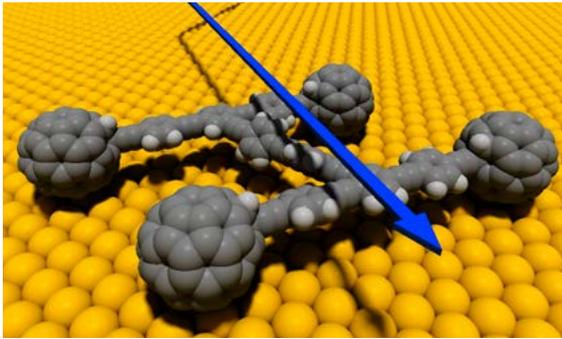


U-Boote, Roboter, Windmühlen, Autos, Fahrstühle und Motoren – man braucht als Laie schon ein gewisses Maß an Fantasie, um in den winzigen Molekülen unter dem Rastertunnelmikroskop das zu erkennen, was Wissenschaftler der Disziplin molekulare Nanotechnologie da alles sehen. In Zukunft sollen solche künstlichen Nanomaschinen beispielsweise durch den Blutkreislauf navigieren, Krankheiten diagnostizieren und Wirkstoffe dahin bringen, wo sie gebraucht werden. Sie könnten Umweltgifte aufspüren und direkt unschädlich machen, kleinste Leiterbahnen für die kommenden Computergenerationen erstellen oder Chemikalien zusammenbauen, wie ihre große Roboter-Verwandtschaft ein Auto am Fließband. Wahrscheinlich beschreibt die Vorstellungskraft der Forscher, die heute die ersten Nanomaschinen bauen,

trotzdem nur einen Bruchteil der Möglichkeiten der noch vergleichsweise jungen Forschungsrichtung.

So weit wie E-Motoren im Jahr 1830

„Ich glaube auch, dass da vieles kommen kann“, sagt Leonhard Grill, Leiter der Arbeitsgruppe „Single-Molecule Chemistry“ am Institut für Chemie der Karl-Franzens-Universität Graz. „Aber bis dahin sind noch so viele Schritte zu machen, dass wir heute nicht abschätzen können, was genau. Wir stehen gerade am Anfang.“ Das Nobelpreiskomitee, das den drei Wissenschaftlern Jean-Pierre Sauvage, James Fraser Stoddart und Bernard Lucas Feringa im letzten Jahr für die Entwicklung der Grundlagen



So ein zwei Nanometer kleines Molekül-Rennauto wird durch Stromstöße aus einem Elektronenmikroskop angetrieben

zum Bau von Nanomaschinen den Nobelpreis für Chemie verliehen hat, beschreibt es so: Bei der Entwicklung von Nanomaschinen stehe man aktuell etwa auf dem Stand der Elektromotoren im Jahr 1830. Damals ließen sich nicht viel mehr als erste Räder oder Wellen drehen. Wie revolutionierend die Kraft der Technologie werden sollte, konnte damals noch niemand erahnen.

Ähnlich rudimentär beginnen die Arbeiten der Nanomaschinen-Pioniere. Anfang der 1980er-Jahre findet der Franzose Sauvage einen Weg, ringförmige Moleküle miteinander zu verketten. Der Chemiker von der University of Strasbourg schafft damit erstmals die Möglichkeit, mechanische Kräfte von einem beweglichen Nanobauteil zu einem anderen zu übertragen. Dem Schotten Stoddard, der heute an der Northwestern University in Evanston bei Chicago forscht, gelingt es dann Anfang der 1990er-Jahre, einen Molekülring auf einer stabähnlichen Struktur gezielt von der einen zu einer anderen Position wandern zu lassen. Und der Dritte im Nobelpreis-Bund, Bernard Feringa, Chemiker an der Universität Groningen, krönt kurz vor der Jahrtausendwende die junge Forschungsrichtung mit dem ersten molekularen Motor: Sein Nanorotorblatt dreht sich kontinuierlich in dieselbe Richtung, wenn es mit Licht bestrahlt wird.

Nanorennstrecke als Inkubator

Der Niederländer ist es auch, der 2011 das erste Nanoauto konstruiert. Das Molekülkonstrukt ist inklusive Chassis und Rädern zwei Nanometer (also zwei Millionenstel Millimeter) groß und wird durch Stromstöße aus einem Elektronenmikroskop angetrieben. Der Chemiker und sein Team beweisen damit, dass es möglich ist, mit Atom- und Molekülbausteinen Maschinen zu konstruieren, die ähnlich wie ihre Vorbilder in der makroskopischen Welt funktionieren. Auch Leonhard Grill arbeitet unter anderem mit solchen Nanoautos. Zusammen mit dem Amerikaner James Tour von der Rice University in Houston gewinnt

der Grazer Ende April 2017 das erste Nanocar-Race der Welt. Dabei müssen Molekül-Fahrzeuge, ähnlich wie bei Feringas Boliden, durch elektrische Impulse aus einem Rastertunnelmikroskop entlang eines vorgegebenen Parcours bewegt werden.

„Das Nanocar-Race war eher eine öffentlichkeitswirksame Spielerei – aber eine, die uns sehr viel Spaß gebracht hat, zumal wir ja auch gewonnen haben“, sagt Grill. Grundsätzlich geht es bei solchen Rennen darum, mehr über die Wechselwirkung zwischen Oberfläche und Molekül zu lernen, also quasi den Grip des Nanoautos zu optimieren. Grill und Tour haben in der Zwischenzeit einen noch flexibleren Lichtantrieb für eine Nanomaschine entwickelt. Dieser „Treibstoff“ bietet gleich mehrere Vorteile, sagt Grill: „Damit können wir die Maschinen aus der Ferne aktivieren und außerdem extrem viele Moleküle gleichzeitig bewegen – in Zukunft möglicherweise zum gezielten Transport von Atomen oder Molekülen.“

Angriff der Nanomaschinen auf das Böse im Körper

Dieses Kunststück ist dem Wissenschaftler X. Chris Le von der University of Alberta für einen Spezialfall gerade geglückt. Er befestigte künstliche Enzyme auf einem Nanopartikel aus Gold, um sie in eine Krebszelle zu schleusen. Die kranke Zelle produziert eine chemische Substanz, die wiederum einen in die künstlichen Enzyme eingebauten Schalter aktiviert. Daraufhin beginnen die Kunst-Enzyme, bestimmte Moleküle zu spalten. Noch ist das nur ein Prinzip. Es zeigt aber die Richtung auf: In Zukunft könnten so Wirkstoffe im Inneren von erkrankten Zellen aktiviert werden.

Wenn es nicht darauf ankommt, die Zelle zu heilen, hat James Tour noch eine brachialere Variante in Arbeit: Sein neuester molekularer Motor beginnt unter UV-Licht unglaublich schnell zu rotieren. Die mehr als zwei Millionen Umdrehungen pro Sekunde reichen aus, um Zellwände zu durchbohren. Durch das Loch läuft das Plasma aus,



» Wir stehen gerade am Anfang

Leonhard Grill,
Führender Experte an
der Universität Graz,
über den Stand der
Nanotechnologie

244 Atome

bilden das Gerüst des **ersten Nano-U-Bootes**, das an der Rice University in Houston entwickelt wurde. Mit seinem von UV-Licht angetriebenen Motor erreicht es Geschwindigkeiten von zwei Zentimetern pro Sekunde: Rekord für Nanomaschinen.

100 Nanometer

lang und komplett aus Goldatomen war die **Rennstrecke beim Nanocar-Race** am Forschungszentrum für Materialentwicklung und Strukturuntersuchungen (CEMES) in Toulouse. Für die Strecke hatten die Nanoboliden maximal 36 Stunden Zeit.

1 Atom

groß ist der **kleinste Kühlschrank der Welt**, den ein Forscherteam von der Universität Mainz gebaut hat. Das in einem speziellen elektrischen Feld gefangene Kalzium-Atom wandelt thermische Energie in mechanische Arbeit um und könnte Nanosysteme kühlen.

die Zelle stirbt. In Tests haben Tours Nanobohrer Prostatakrebszellen innerhalb von drei Minuten zerstört. Noch funktioniert die Methode aber nur im Reagenzglas. Vor allem die Frage, wie der Nanobohrer und auch andere molekulare Maschinen künftig gezielt dahin gesteuert werden können, wo sie gebraucht werden, ist ebenfalls noch offen. UV-Licht wird von der menschlichen Haut absorbiert, im Körper kommt man damit nicht weit.

Nobelpreisträger Feringa wird daher langsam ungeduldig. Seiner Meinung nach sollten seine Kollegen jetzt verstärkt darüber nachdenken, wie man die heute bekannten Nanomaschinen zum Einsatz bringt. Damit aus Fantasie auch tatsächlich Realität wird.



DER AUTOR

Mini-U-Boote in der Blutbahn und andere Nanomaschinen, die in unserem Körper Krankheiten bekämpfen, sind deutlich näher an der Realität, als Denis Dilba vor seinen Recherchen gedacht hat. Aus dem faszinierenden Reich der Zwerge werden wir künftig noch viel hören, davon ist der auf Technik-Themen spezialisierte Autor („Financial Times Deutschland“, „New Scientist“, heise.de) überzeugt.

IMPRESSUM

Herausgeber

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

Kommunikation und Marketing

Christoph Beumelburg (Leitung)
Jörg Walz (Automotive)
Thorsten Möllmann (Corporate)

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 Gradtke, Mathias Mayer,
Diana Schröder

Druck

Hofmann Druck
Nürnberg GmbH & Co. KG

Autoren

Ralf Bielefeldt, Wiebke Brauer, Denis Dilba, Ulrich Eberl, Dr. Christian Heinrich,
Lars Krone, Philipp Lichterbeck, Roland Löwisch, Andrea Neumeyer, Carsten
Paulun, Torben Schröder, Christel Trimborn, Alexander von Wegner

Technische Beratung

Michael Krüger

Redaktion und Produktion

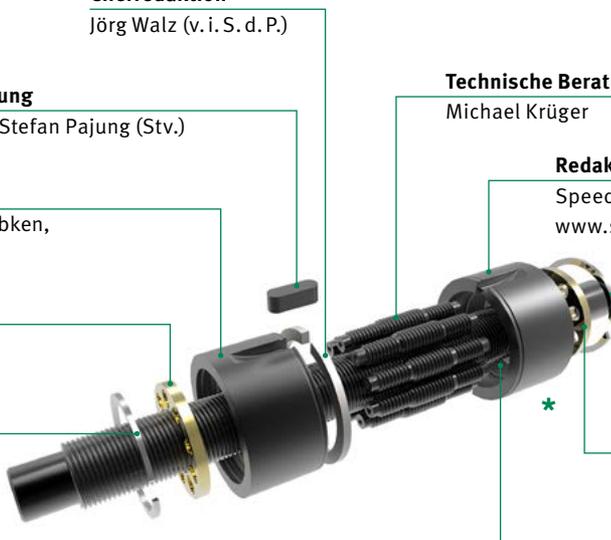
Speedpool GmbH
www.speedpool.com

Schlussredaktion

David Feist,
Volker Hummel,
Christoph Kirchner

Grafik

Manuela Mrohs (Ltg.),
Gökhan Agkurt, Jana
Herbst, Janina Demiana
Roll, Mariessa Rose,
Julian Schmaljohann,
Thomas Wildelau



Fotos/Illustrationen

Titel: Colin Anderson/Getty; S. 3: Schaeffler; S. 4/5: NASA, Dr. Hans-Jürgen Schlicht, Kazuhiro Nogi/Getty, Westend61/Getty; S. 6/7: NASA; S. 8: University of Otago; S. 9: Andreas Sutter/Lithium Storage GmbH, Bayerische Zugspitzbahn Bergbahn AG/fendstudios.com; S. 10: nettetal10/pixabay.com; S. 11: Jean-Dominique Billaud/LVAN, NAMA/wikipedia.com, DLR, ABB; S. 12: Schaeffler; S. 13: Arrivo, Victor Habbick/Getty; S. 14: Plasser & Theurer; S. 15: herrenknecht.com; S. 18: Vögele, Beijing Wowjoint Machinery, Stefan Kiefer; S. 18: Peter Schubert/euroluftbild.de; S. 19: Hersteller; S. 20: Hersteller, Hochfeld/HPA, privat; S. 21: Liebherr, Schaeffler, Vögele; S. 22–25: Audi Sport ABT Schaeffler; S. 26: Fotolia; S. 27: Michael Kunkel/Hoch Zwei; S. 28–30: Jayme Thornton/Getty (3), studioEAST/Getty; S. 31: Schaeffler, privat; S. 32/33: Schaeffler; S. 34/35: Dr. Hans-Jürgen Schlicht; S. 36–41: Bernd F. Ahrens (10), PS.Speicher (1), Schaeffler (1); S. 42–51: Daimler AG; bernardcanonne.com (2), Bentley, Lukas Olek/Getty, Porsche, Jörg Walz (5); S. 52–54: Manuela Mrohs; S. 56–61: Thomas Wildelau; S. 62/63: Kazuhiro Nogi/Getty; S. 64–67: DMG Mori; S. 68–73: Rolls-Royce, Westend61/Getty, Airbus; S. 74–78: Philipp Lichterbeck, Westend 61/Getty; S. 79: Bundesarchiv, Biblioteca Ambrosiana/Getty, Fendt; S. 80/81: Westend61/Getty; S. 83: Lukasz Olek/Getty; S. 84/85: Westend61/Getty; S. 86/87: Schaeffler (2), Audi; S. 88/89: Schaeffler, Monty Rakusen/Getty, Audi; S. 90/91: Schaeffler; S. 92: Eco Marine Power; S. 93: Rolls-Royce; S. 94: Subsea7.com, Allseas Pioneering, Celebrity Cruises, Schaeffler; S. 96/97 Speedpool/Schaeffler; S. 98/99 Speedpool/Schaeffler, Cybrain/Fotolia; S. 100/101: Speedpool/Schaeffler; S. 102/103: Coneyl Jay/Getty; S. 104: Rice University, Universität Graz; S. 105: Laguna Design/Getty, privat; Poster: Speedpool/Schaeffler, Audi Sport ABT Schaeffler

tomorrow

Alle bisher erschienenen Ausgaben



01/2015
**Mobilität
für morgen**



02/2015
Produktivität



03/2015
Unterwegs



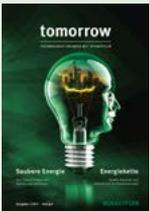
01/2016
Innovationen



02/2016
Nachhaltigkeit



03/2016
Digitalisierung



01/2017
Energie



02/2017
Bewegung



03/2017
Maschinen

tomorrow

im Abonnement

Wir nehmen Sie gern in den **Verteiler** für das Magazin auf: tomorrow@schaeffler.com

tomorrow

im Internet



tomorrow als **digitales Magazin** mit
zusätzlichen Features
www.schaeffler-tomorrow.de



tomorrow zum Herunterladen
als **E-Paper oder PDF**
www.schaeffler.de/tomorrow

tomorrow

wurde ausgezeichnet



Silver Winner
„Custom Publications/
Corporations:
Technology“



Shortlist
„B2B: Transport/
Logistik/Automotive/
Technologie“



Special Mention
Communications
Design
Editorial



Special Mention
für „herausragende
Markenführung“



Silber
Sonderpreis
„Internationale
Kommunikation“



Shortlist
„External
Publications“



WEB-WELTEN

*Die Mobilität für morgen
sowie weitere Megatrends
finden Sie auf
schaeffler.com*