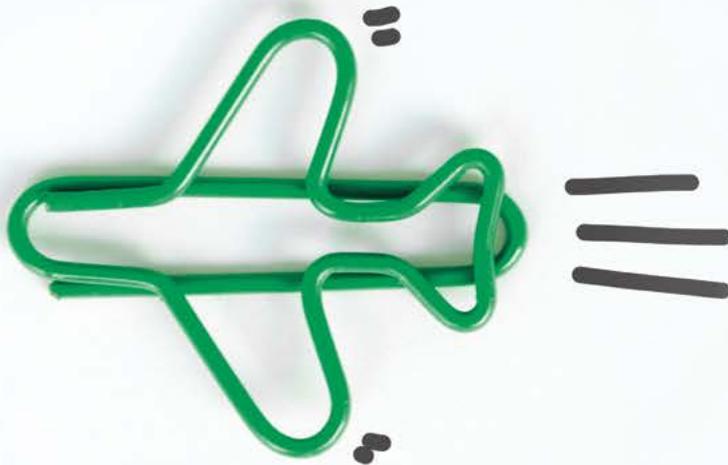


tomorrow

Technologie erleben mit Schaeffler



Gewusst, wie

So werden aus guten Ideen
weltbewegende Erfindungen

In|no|va|ti|on, die; - [ɪnovaˈt͡si̯oːn]

[1] Allgemein: Bezeichnung in den Wirtschaftswissenschaften für die mit technischem, sozialem und wirtschaftlichem Wandel einhergehenden (komplexen) Neuerungen. [...]

[2] Innovation als Prozess: Innovation ist ein Prozess, der sich von der Exploration und Analyse eines Problems, der Ideensuche und -bewertung, Forschung, Entwicklung und Konstruktion, Produktions- und Absatzvorbereitung bis zur Markteinführung, d.h. in mehreren Phasen innerhalb und außerhalb der Organisation, abspielen kann. [...]

Quelle: Springer Gabler Verlag (Hrsg.), Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Innovation, online im Internet unter: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/innovation-39624/version-263028> (Stand: 17. November 2020, 14:20 Uhr)

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

im Abonnement



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



Liebe Leserin, lieber Leser,

mit dem Schwerpunktthema dieser „tomorrow“ greifen wir den Hauptbestandteil der DNA des Schaeffler-Konzerns auf: Innovation. Seit Jahren belegt Schaeffler im Anmelde-Ranking des Deutschen Patentamts Top-Platzierungen. 2019 erreichten wir mit 2.385 Anmeldungen erneut die zweite Position. Ein Ergebnis, auf das wir sehr stolz sind. Diese Innovationsführerschaft wollen wir festigen, mehr noch: Wir wollen sie ausbauen. In der jüngst gestarteten „Roadmap 2025“ des Schaeffler-Konzerns ist Innovation eine von drei strategischen Prioritäten, neben Agilität und Effizienz.

Wenn Sie diese „tomorrow“ lesen, wozu ich Sie mit diesen Zeilen herzlich einlade, wird eines deutlich: Innovation ist mehr als eine gute Idee. Innovation ist ein Prozess, bei dem die Idee lediglich der erste Schritt ist. Der nächste ist die Weiterentwicklung der Idee zu etwas Greifbarem, Erlebbarem. Diese Entwicklung kann Jahre dauern und ist nicht selten von Rückschlägen geprägt. Diese gehören zum Prozess dazu und können – wenn man die

richtigen Schlüsse daraus zieht – durchaus wertvoll sein. Wirklich bahnbrechend wird der kreative Schöpfungsakt aber erst, wenn das Ergebnis auch auf Anwenderseite als sinnhafte Verbesserung angenommen wird. Ab Seite 32 zeigen wir Ihnen Beispiele von gescheiterten Ideen. Dabei stellt sich heraus, dass oft nicht die Idee selbst Makel hatte, sondern andere Faktoren den Durchbruch verhindert haben. Wie gesagt: Innovation ist ein Prozess mit vielen Schritten und Herausforderungen.

Innovation ist für einen global agierenden Technologiekonzern wie Schaeffler überlebenswichtig. Deshalb forschen und entwickeln wir an mehr als 20 Standorten weltweit. Außerdem kooperieren wir in unseren SHARE-Projekten mit renommierten Hochschulen in verschiedenen Bereichen und auf mehreren Kontinenten. Ein vielversprechendes Fokusfeld unserer F&E-Aktivitäten ist der Bereich Wasserstoff, der eine wichtige Rolle spielt auf dem Weg zu einer CO₂-neutralen Gesellschaft. Mehr dazu ab Seite 56.

Innovation führt zu technischem und gesellschaftlichem Fortschritt, aber die Quelle, das sind wir. Sie zum Sprudeln zu bringen muss das Ziel moderner Bildung sein. Wissen vermitteln allein reicht nicht mehr, das lässt sich mittlerweile überall digital abrufen. Vielmehr muss Bildung heute und zukünftig Neugier und Wissensdurst wecken, den Blick für Neues öffnen und ermutigen, selbstbestimmt zu agieren. Auch das ein Thema in dieser „tomorrow“.

Natürlich beflügelt Innovation auch den Sport – von Schach über Fußball bis zum Segeln. Wir von Schaeffler nutzen unser Motorsport-Engagement als Highspeed-Innovationslabor, übrigens mittlerweile auch die digitale Variante am Simulator. Lesen Sie mehr zu diesem Thema ab Seite 22.

Ich wünsche Ihnen nach einem für uns alle schwierigen Pandemie-Jahr viel innovative Energie für 2021. Bleiben Sie gesund und bleiben Sie optimistisch.

Klaus Rosenfeld
Vorsitzender des Vorstands

Global

Blick in die Welt



Gut zu wissen 8

Daten, Fakten, Kurioses – ein 360-Grad-Rundumblick auf das „tomorrow“-Schwerpunktthema „Innovation“

Lange Leitung 12

Ja zu elektrischer Energie aus Sonne, Wind und Wasser! Aber die muss dann noch smart verteilt werden – mit innovativen Stromnetzen

Daniel Düsentrieb 16

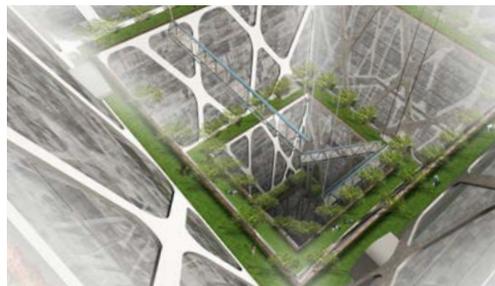
Was für ein tierischer Innovator – der ingenieöse Mastermind in Disneys Entenhausen-Universum. Seine tollkühnsten Erfindungen

Das nächste Level im Sport 22

Innovative Technologien eröffnen Athleten ganz neue Möglichkeiten – ob bei Schach, Fußball, Segeln oder Motorsport

In Bewegung

Innovationen im Laufe der Zeit



Genial daneben 32

Tolle Erfindungen können aus den unterschiedlichsten Gründen scheitern. Wir zeigen kuriose Tech-Flops

Schaefflers Schätze 38

Vom Nadellager bis zur XTRONIC Control Unit – Schaefflers DNA ist Innovation. Beispiele aus acht Automobil-Jahrzehnten

Die Geschichte der Roboter 42

Bereits vor etwa 3.000 Jahren dachten kluge Köpfe über künstliche Helfer nach – ein historischer Abriss

Gestern, heute, morgen 48

Geniestreich käfiggeführtes Nadellager – vor 70 Jahren legte Georg Schaeffler die Grundlage, seine Innovation führt aber auch in die Zukunft

Jetzt-Zeit

Leben mit dem Fortschritt



Lösungen nach Maß 52

Das perfekte Tool zur Auslegung von Elektroantrieben – Schaefflers modularer E-Achsen-Konfigurator

Handicaps besiegt 54

Keine Arme, keine Beine, aber dank Innovation und Hightech ist Janis McDavid trotzdem grenzenlos mobil – sogar im Rennwagen

Wunderenergie Wasserstoff 56

Wie gewinnt und transportiert man ihn? Wie speichert man Wasserstoff und wozu kann man ihn eigentlich überall nutzen?

We pioneer motion 62

Ein starker Claim und eine kreative Kampagne betonen Schaefflers seit Jahrzehnten kontinuierlich ausgebauten Kompetenzen

Ausblick

Technik für morgen



Bahn im Umbruch 66

Vorbild Fernost – wenn der Schienenverkehr den Flugzeugen Konkurrenz machen will, braucht es einen Innovationsschub

Lernziele verschieben 72

Innovationsgetrieben und digital – die moderne Welt erfordert eine neue Bildung und Ausbildung – wir zeigen den Kompass dafür

Häusle bauen 2.0 76

Stein auf Stein war gestern – moderne Technologien sorgen in der Baubranche für eine Revolution

Der Wind, der Wind ... 82

Das himmlische Kind wird – dank futuristischer Innovationen – zum mächtigen Werkzeug im Kampf gegen den Klimawandel

Impressum 90

Global

Blick in die Welt

Innovation reloaded

Hurrikans sind zerstörerische Naturgewalten, unaufhaltsam. Wirklich? Nein, sagt das norwegische Start-up OceanTherm, das mit einer Novität auftaucht, die eigentlich ein alter Hut ist. Unterwasser-Blasen – seit 50 Jahren im Einsatz, um Fjorde eisfrei zu halten – sollen künftig tropische Wirbelstürme stoppen. Die Idee: Anders als im kühlen Nordmeer sollen die Blasen in Hurrikangebieten nicht warmes Wasser nach oben befördern, sondern kaltes. Technik aus der Kategorie Climate Engineering, also künstliche Eingriffe ins Wettergeschehen. Hintergrund: Hurrikans (oder auch Zyklone und Taifune) entstehen über Meeresoberflächen mit Wassertemperaturen oberhalb von 26,5 Grad. Selbst, wenn es nicht gelingt, diesen Grenzwert zu halten, so mildert jedes gewonnene Grad die Wucht des Sturms um bis zu 20 km/h. Für einen wirkungsvollen Blasenvorhang muss ein weitläufiges Pressluftleitungssystem in mehr als 100 Meter Tiefe entstehen. Entweder fest installiert oder als mobile Lösung mit rund 20 Schiffen als schwimmende Basis. Noch sucht das Start-up nach Forschungs- und vor allem Finanzierungspartnern. Die Kosten für die mobile Lösung werden auf circa 270 Millionen Dollar im Jahr geschätzt. Wenn dieses Climate Engineering aber funktioniert, könnte sich das Investment durchaus lohnen, denn allein in den USA verursachen Hurrikans laut Berechnungen des US-Kongresses Schäden von rund 54 Milliarden Dollar pro Jahr.

**»» Den guten Steuermann lernt man erst
im Sturme kennen**

Lucius Annaeus Seneca, römischer Philosoph



305 km/h

schnell fegte Hurrikan **Camille** 1969 über den Golf von Mexiko. Rekord! Nur noch Hurrikan Allen erreichte 1980 an der Küste von Texas die gleiche Geschwindigkeit.

45 Kilometer

beträgt im Schnitt der **Durchmesser des Auges** eines Hurrikans, um das der Sturm tobt. Das gesamte Wirbelsystem ist größer, möglich ist ein Durchmesser von über 1.600 Kilometern.

3 Begriffe,

eine Bedeutung: Die im nord- und mittelamerikanischen Sprachraum **Hurrikans** genannten Wirbelstürme heißen im Indischen Ozean und Südpazifik-Raum **Zyklone** und in Südostasien **Taifune**.

81 Mrd. \$

an **Schäden verursachte der Hurrikan Katrina**, als er 2005 den Süden der USA heimsuchte – er ist damit der bislang teuerste Wirbelsturm der Geschichte.

28 Tage

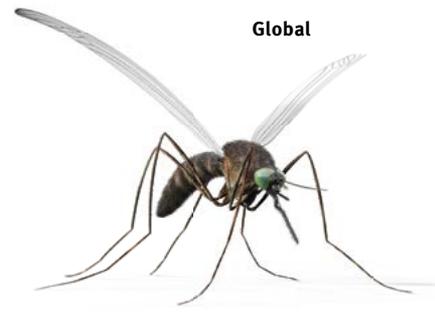
dauerte der am **längsten anhaltende Hurrikan**. Der Wirbelsturm zog fast einen Monat lang über den Atlantik.

360° Innovation

Zahlen, Fakten, Kurioses – ein Rundblick auf das Schwerpunktthema dieser „tomorrow“-Ausgabe.

African Sunrise

Das Weltwirtschaftsforum hat **fünf Start-up-Hotspots abseits des Silicon Valley** als besonders fruchtbaren Innovations-Nährboden ausgemacht. Auf Platz vier hinter Singapur, Israel und Südkorea ein **Überraschkandidat: Kenia**. Das hat Gründe: Die dortigen Start-ups können auf einen großen Pool junger Talente aus zahlreichen Universitäten zurückgreifen, die obendrein Englisch als Muttersprache haben. Ein zuverlässiges Internet sowie eine ausgezeichnete Online-Zahlungsinfrastruktur rund um den Dienst M-Pesa lassen viele auf mobilen Anwendungen basierte Geschäftsmodelle gedeihen. Darüber hinaus unterstützt die Regierung mit ihrer Initiative „Enterprise Kenya“ Unternehmer beim Wachstum und der Skalierung ihrer Ideen. Kenia gilt auch als attraktiver Markt für einen frühen 5G-Einsatz.



OX5034

heißt eine **genmanipulierte Mücke**, von der 2021 und 2022 750 Millionen Stück in den Florida Keys ausgesetzt werden sollen. Die Blutsauger wurden dahingehend modifiziert, dass weibliche Nachkommen im Larvenstadium absterben. **So soll die Population der Krankheitsüberträger (u. a. Zika und Gelbfieber) dezimiert werden.** Ist dieses Bio-Engineering, an dem Hunderte Wissenschaftler rund um die Welt zehn Jahre lang gearbeitet haben, eine heilsbringende Innovation oder russisches Gen-Roulette? Kritiker warnen vor einem „Jurassic-Park-Experiment“, weil mögliche Langfristfolgen nicht ausreichend erforscht seien.

Starke Worte



»» *Man sagt, die Zeit ändert die Dinge, aber tatsächlich sind wir es, die die Dinge ändern müssen*

US-Pop-Art-Ikone Andy Warhol

»» *Die beste Methode, eine gute Idee zu bekommen, ist, viele Ideen zu haben*

Chemie-Nobelpreisträger Linus Pauling

»» *Scheitern ist eine Option. Ohne Scheitern kann man nicht innovativ sein*

Tesla-Chef Elon Musk

»» *Den lieb ich, der Unmögliches begehrt*

Universalgenie
Johann Wolfgang von Goethe

»» *Innovationen werden anfangs maßlos überschätzt, auf Dauer aber maßlos unterschätzt*

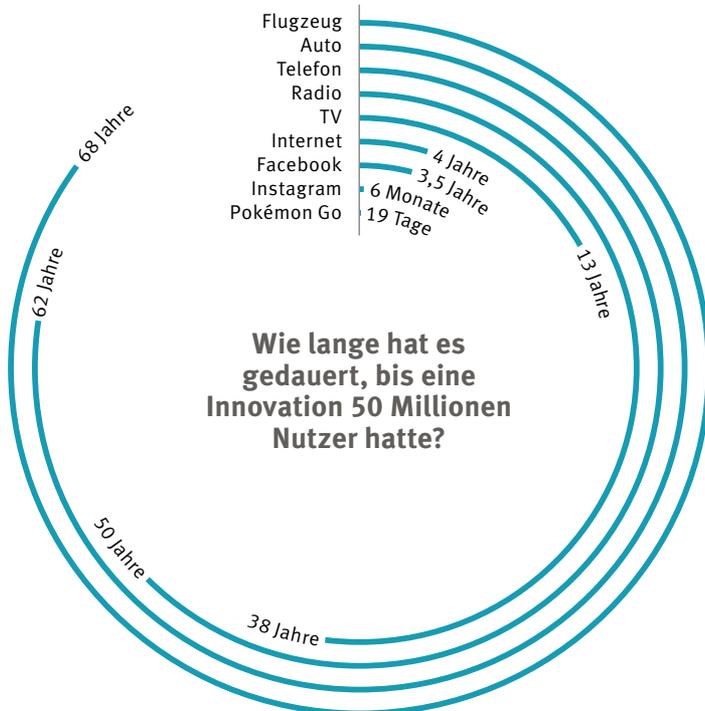
Ex-Microsoft-Deutschland-Chef Achim Berg

Sonnenfänger

Rund ein Drittel des weltweiten Energieverbrauchs wird für Gebäude genutzt. Tendenz steigend. Jede Innovation, die hilft, gegenzusteuern, ist willkommen. Techniker setzen große Hoffnungen in **Halbleiter-Solarzellen mit einer Beschichtung aus Perowskit-Kristallen**. Die nanometerdünnen Flächen sind so flach und transparent, dass sie zwischen die Scheiben doppelverglaster Fenster gelegt werden können. Dort wirken sie zweifach: Bei Sonneneinstrahlung ordnen sich die Perowskit-Kristalle neu, zuerst zu Ketten, dann zu Platten und schließlich zu Würfeln. Jede neue Form verdunkelt das Glas sukzessive und reduziert die Sonneneinstrahlung. Diese automatische Tönung geschieht innerhalb weniger Sekunden. **Aber der eigentliche Clou: Sind die Scheiben dunkel, wird das Fenster zur Solarzelle und liefert Strom.** Die Glaspaläste moderner Großstädte werden so zu Sonnenkraftwerken. Noch ist das Zukunftsmusik. Aber Wissenschaftler des National Renewable Energy Laboratory (NREL) des US-Energieministeriums wollen bis Herbst 2021 einen ersten Prototyp bauen. Das deutsche Fraunhofer-Institut beschäftigt sich ebenfalls mit dieser Technologie.



Aus der Nische ...



Quelle: „Tech for Life“ von Lars Thinggaard und Jim Hagemann Snabe

OPTIME von Schaeffler gewinnt Innovationspreis

Die von Schaeffler entwickelte Condition-Monitoring-Lösung **OPTIME ist Sieger des Industrie 4.0 Innovation Award 2020**. Die Auszeichnung wird vom VDE-Verlag in Zusammenarbeit mit dem Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI) und dem Standardization Council Industrie 4.0 vergeben. OPTIME ist ein einfaches, kosteneffizientes und skalierbares Tool zur Zustandsüberwachung ganzer Werke und Produktionsanlagen. Im Fokus der Überwachung stehen Elektromotoren, Pumpen, Aggregate und Lüfter, also Antriebe und Aggregate, die in sehr großer Zahl eingesetzt und oft mangels wirtschaftlicher und technischer Lösungen kaum oder nur manuell zustandsüberwacht werden. Rauli Hantikainen, Leiter des Strategischen Geschäftsfelds Industrie 4.0, freut sich: „Unsere Schaeffler-Teams und Entwicklungspartner haben das Konzept von OPTIME mit viel Engagement an den Bedürfnissen und der konkreten Arbeitswelt unserer Kunden ausgerichtet. Dass wir für OPTIME nun den Industrie 4.0 Innovation Award erhalten, macht uns sehr stolz. Die Auszeichnung spornt uns an, weiterhin mit Pioniergeist und Innovationskraft Lösungen für unsere Kunden zu entwickeln.“



Guckst du hochkant?

Als wohl wichtigste Innovation des 21. Jahrhunderts hat das Smartphone viel verändert – auch Sehgewohnheiten. Kaum jemand hält den Handybildschirm quer, um ein Video anzuschauen.

Folgen Kino und TV diesem Trend? Der russische Filmemacher Timur Bekmambetov produzierte mit zehn Millionen Dollar Budget einen Vertikal-Spielfilm. Gezeigt werden soll er unter anderem beim Streamingdienst Quibi, einer Art Netflix für Vertikal-Filme. Samsung ist auch schon auf den Vertikal-Trend aufgesprungen und hat einen Fernseher vorgestellt, dessen Bildschirm sich hochkant drehen lässt (Foto).

Ausgezeichnete Innovation

Seit ihrer Gründung im Jahr 1983 hat die Schaeffler FAG Stiftung mehr als eine Million Euro an Fördergeldern ausgeschüttet. Acht Nachwuchswissenschaftler erhielten für ihre zukunftsweisenden Arbeiten, die neue Maßstäbe setzen, den **Innovation Award 2019 der Schaeffler FAG Stiftung**. Themenbreite und -tiefe beeindruckten: So gewann Dr.-Ing. Marian Skalecki den 1. Preis in der Kategorie Promotion mit einem Simulationsmodell zur Vorausberechnung des Carbonitrierens. Den 1. Preis in der Kategorie Bachelor- und Masterarbeiten gewann M.Sc. Yong Wang mit dem Thema „Validierung von Haft-Gleit-Modellen für Wälzlager-Dynamiksimulation“. Der Teufel steckt eben auch bei Innovation im Detail ...

Ideenlieferant Internet

Ideen für Innovationen zu haben kann schwer sein ... oder eben genial einfach. Indem man sie gar nicht selbst sucht, sondern suchen lässt. Das macht Vivere aus Hamburg. Das internationale Team rund um Sebastian Johnston **wertet Suchanfragen auf Google oder Amazon mit intelligenten Algorithmen aus** und kreierte daraus ad hoc und inhouse Produkte. Von der Laborforschung über den Prototyp bis zur Serienfertigung, vom Verpackungsdesign bis zum Vertrieb passiert alles bei Vivere. 55 eigene Marken und 700 Produkte sind so entstanden, zum Beispiel ein Anti-Schnarch-Spray oder ein Lack, der das Fingernägel-Knabbern verhindert.

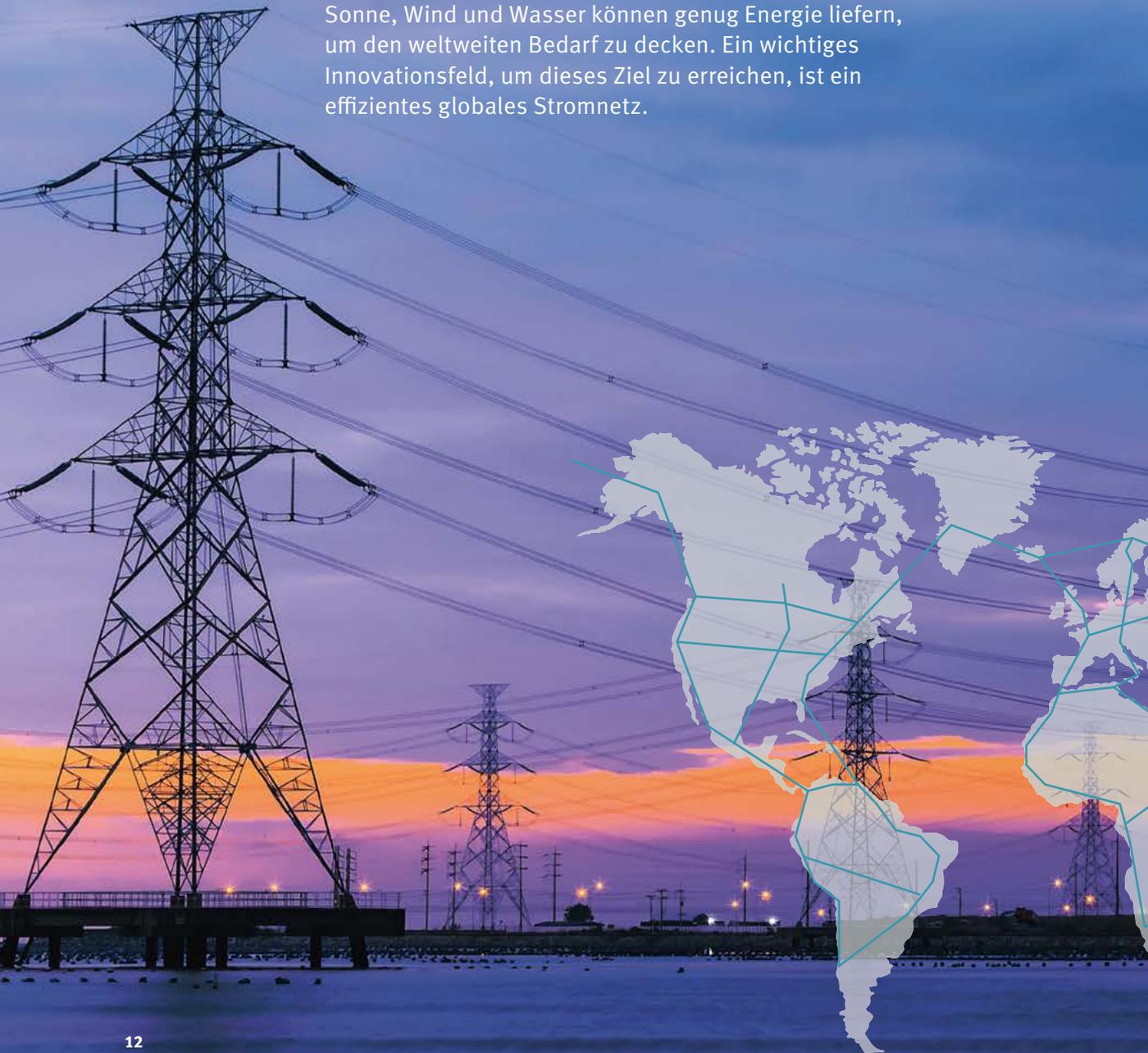


Essen auf 4 Rädern und mit 5G

Fast-Food-Fans aufgepasst, eure Träume sind – zumindest in Shanghai – Wirklichkeit. Kentucky Fried Chicken setzt in der chinesischen Metropole **autonom fahrende Foodtrucks** ein – in Zeiten von „Social Distancing“ ein perfekter Move. Die von Neolix entwickelten **50 km/h schnellen Fahrzeuge verfügen über 5G-Technologie, etwa 100 Kilometer Reichweite, und ein Akkutauch ist in 30 Sekunden möglich**. Am Screen auf dem Dach wird bestellt, bezahlt wird per Handy, die Hähnchenteile lagern „frisch“ hinter einer Tür. Und auch wenn mit Pizza Hut bereits der nächste Fast-Food-Gigant Interesse hat, gibt es auch deutlich gesündere Einsatzzwecke als „Essen auf Rädern“. So werden die autonomen Vehikel während der Pandemie zur kontaktlosen Lieferung von Medikamenten in Krankenhäusern eingesetzt oder haben sogar bei der Straßenreinigung geholfen.

Immer der Sonne nach

Sonne, Wind und Wasser können genug Energie liefern, um den weltweiten Bedarf zu decken. Ein wichtiges Innovationsfeld, um dieses Ziel zu erreichen, ist ein effizientes globales Stromnetz.

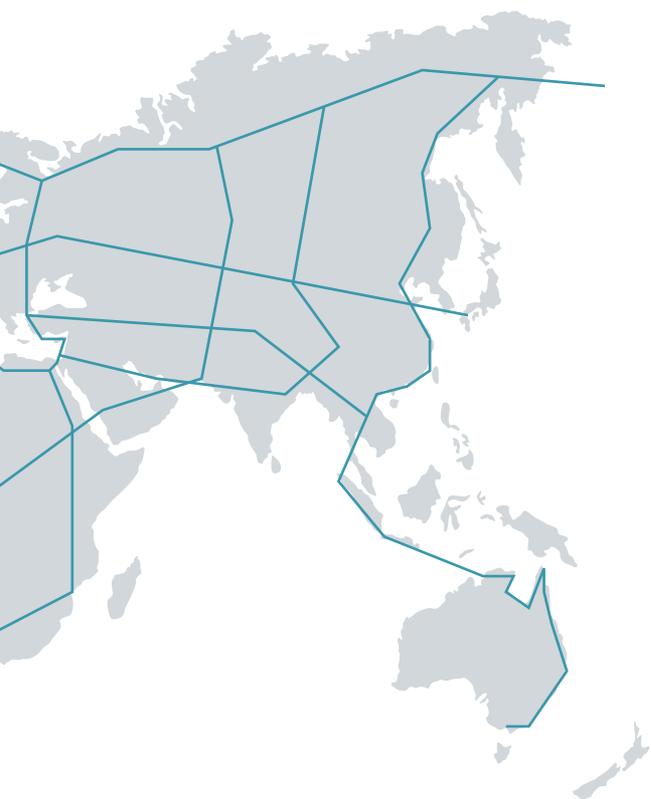


Von Dr. Lorenz Steinke

Nur kurz war die Hoffnung, dass Stromnetze mit der zunehmenden Verbreitung erneuerbarer Energien und einer damit verbundenen räumlichen Annäherung der Quelle an den Kunden an Bedeutung verlieren würden. Heute wissen wir: Dem ist nicht so. Fotovoltaik, Solarenergie, Wind- und vor allem die Wasserkraft tragen zwar mittlerweile mit rund einem Viertel zur weltweiten Stromerzeugung bei – aber unabhängig von Netzen machen sie uns nicht. Regionale Autarkie dank lokaler Selbstversorgung bleibt auch im 21. Jahrhundert Utopie. Im Gegenteil: Erst die Verbindung mit vielen anderen Erzeugern schafft für das solare Kleinkraftwerk auf dem Häuserdach oder das Windrad auf dem Dorfanger die nötige Versorgungssicherheit.

Auch ist die Nähe zum Verbraucher nicht immer von Vorteil: Fotovoltaikzellen ernten in den Tropen zum Beispiel mehr als doppelt so viel Energie aus dem Sonnenlicht wie vergleichbare Anlagen in gemäßigten Klimazonen nördlich des 40. Breitengrades, wo der Stromhunger in Städten wie New York, Berlin, Moskau oder London aber am größten

So soll das globale Mega-Stromnetz des chinesischen GEIDCO-Projekts die Erde umspannen



ist. Im Zusammenspiel mit den seit Jahren fallenden Preisen für Module und Wechselrichter werden Solarparks in sonnenreichen Regionen immer attraktiver. Im Wüstenstaat Dubai wächst ein solcher Solarpark heran. Die Gesteungskosten von einer Kilowattstunde aus Sonnenenergie sollen dort bis auf gerade einmal 1,5 Cent purzeln, ein Bruchteil vom dem, was Strom aus konventionellen Kraftwerken kostet. Vieles spräche also dafür, globale Stromautobahnen zu schaffen, damit das Elektro-Schneemobil im vereisten russischen Murmansk zukünftig mit CO₂-sparendem Sonnenstrom aus der Wüstenstadt Manamah betrieben werden könnte.

Verlustreicher Stromtransport

Doch „ $Q=I \cdot L \cdot R / \Delta U$ “ – so lautet die Formel, die Energieversorgern und Übertragungsnetzbetreibern weltweit Kopfschmerzen bereitet. Sie gibt an, wie elektrischer Strom auf seinem Weg durch Kupfer und Aluminium mit jedem Meter an Spannung verliert und dabei Energie – meist in Form von Wärme – an die Umgebung abgibt. Will man diese sogenannten Transmissionsverluste reduzieren, muss man den Querschnitt der Leitungen erhöhen oder aber den Strom hochtransformieren.

Mit bis zu 380 kV Drehstrom arbeitet heute die sogenannte Transportebene des europäischen Energieverbundnetzes UCTE. Russland und Kanada übertragen Strom sogar mit bis zu 750 kV. Zwischen ein und sechs Prozent der übertragenen Energie gehen dabei auf hundert Kilometern verloren. Wenn sich beispielsweise die Leitungsbündel unter Last auf bis zu 80 Grad erhitzen oder an warmen Sommertagen über sogenannte Koronaentladungen ihr typisches Knistern von sich geben, steigt der Schwund. Erdkabel verlieren auf dem Weg zum Verbraucher noch einmal ein gutes Viertel mehr an elektrischer Energie.

AC kontra DC

Seit einiger Zeit erlebt deshalb der Gleichstrom mittels sogenannter Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsleitungen (HGÜs) ein Revival, etwa bei der Anbindung von Offshore-Windkraftanlagen oder bei Punkt-zu-Punkt-Verbindungen über weite Strecken. Die Drehstrom-/Wechselstrom-Technik kommt dort an technische Grenzen,

ihre Leitungen wirken wie große elektrische Kondensatoren. Gleichstrom hat auf lange Distanzen bis zu zehnmal geringere Leitungsverluste. Dafür ist die Transformator- und Schaltungstechnik an den Endpunkten deutlich aufwendiger. HGÜs durch den Skagerrak verbinden beispielsweise seit 1977 zuverlässig das nordeuropäische Verbundsystem NORDEL mit dem Netz der kontinentaleuropäischen Staaten UCTE.

Trotz solcher Verkoppelungen sind die europäischen Verbundsysteme weit davon entfernt, ein hocheffizientes „Supergrid“ zu sein, obwohl bereits vor der Jahrtausendwende erste entsprechende Konzepte erarbeitet wurden. In solch einem Supergrid könnten gewaltige Strommengen über größere Distanzen verschoben werden – oder importiert werden, zum Beispiel aus wind- und sonnenreichen Ländern Nordafrikas.

Eine agile und effiziente Verteilung großer Strompakete aus erneuerbaren Energiequellen über Grenzen oder Kontinente hinweg würde auch Kapazitätsengpässen durch sogenannte „Dunkelflauten“ den Schrecken nehmen. Denn irgendwo auf der Welt scheint immer die Sonne oder weht ein frischer Wind. Daher würden Supergrids dem Energieexperten Dr.-Ing. Gregor Czisch zufolge den Bedarf an riesigen Speicherkapazitäten und konventionellen Grundlastkraftwerken marginalisieren.

Bei so vielen positiven Seiten fragt man sich, warum unser Planet noch nicht mit einem Supernetz durchwoben ist. „Die Entwicklung wird durch eine Reihe von Faktoren erschwert“, erklärt Energiemarktexpertin Jessica Lewis, Leitende Analystin bei Navigant Research. „Dazu gehören ein begrenzter politischer Wille, das Fehlen harmonisierter Standards, komplexe Genehmigungs- und Zulassungsverfahren für grenzüberschreitende Übertragungsprojekte und eine konventionelle Sichtweise, dass die Energiesicherheit nationales Hoheitsgebiet ist. Deswegen zögern einzelne Länder, ihre Versorgungssicherheit in die Hände anderer zu legen.“

Erste Supergrid-Fäden sind geknüpft

Nichtsdestotrotz wächst die Zahl einzelner Hochleistungsstromstrecken zum Übertragen

regenerativ erzeugter Energie. Windparks in der deutschen Nordsee liefern ihren Strom über HGÜs ans Festland. Entlang des deutschen SüdLink-Korridors soll das größte HGÜ-Erdkabelprojekt der Welt umgesetzt werden. In den USA gibt es eine HGÜ-Verbindung für Windstrom von Oklahoma ins mehr als 1.000 Kilometer entfernte Tennessee. In Brasilien fließen 600 kV durch eine 2.400 Kilometer lange HGÜ, beim sogenannten Champa Project in Indien sind es 800 kV über 1.365 Kilometer.

Vorreiter beim Bau von HGÜ jenseits der magischen 1-Megavolt-Grenze ist China, das seit 2019 von Changji nach Guquan Gleichstrom über 3.000 Kilometer mit 1,1 Megavolt transportiert – und das mit einer Verlustrate von weniger als fünf Prozent auf der gesamten Strecke. Zum Vergleich: Durchs deutsche Drehstromnetz flutschen nur 380 Kilovolt. Über die von Peking initiierte Energieagentur GEIDCO will das Land bis 2070 den Bau eines weltumspannenden Energienetzes vorantreiben, auch durch Ozeane. Geschätzte Kosten: gigantische 38 Billionen US-Dollar. Die enormen Kosten sind sicherlich auch ein Grund, warum das globale Supernetz aktuell sehr grobmaschig ist.

Das chinesische Megaprojekt soll als Supernetzebene die kontinentalen Transportnetze miteinander verknüpfen. Die umständliche Verschiffung von Energie in Gas- und Rohöltankern über die Weltmeere könnte dann Geschichte sein und stattdessen saudische Wüstensonne per Stromkabel Fischerhütten auf den Aleuten erwärmen.



Der Autor

Fast kann er vom heimischen Schreibtisch aus die beiden größten Strommasten

Europas in Hetlingen/Kreis Pinneberg sehen, die als Teil

einer 380-kV-Drehstrom-Freileitungskreuzung Nord- und Mitteleuropa verbinden. Im Leben von

Dr. Lorenz Steinke spielt die elektrische Energie eine zentrale Rolle. Und auch wenn sein erster Solartaschenrechner in Kindertagen nicht immer zuverlässig funktionierte, freut er sich schon auf günstigen Fotovoltaik-Strom aus Dubai.

Innovative Technik für nachhaltigen Strom

Mobilität soll klima- und umweltfreundlicher werden – zum Beispiel durch elektrisch angetriebene Fahrzeuge. Aber das ist nur dann wirklich sinnvoll, wenn auch der Strom dafür sauber produziert wird. Dafür bieten sich Solar-, Wasser- und Windkraftanlagen an. Schaeffler liefert für alle entscheidende Komponenten und Systemlösungen.



Windkraft

Weltweit bietet bodennahe Windenergie Potenzial für über 400 Terawatt Leistung – etwa das 20-Fache des weltweiten Energiebedarfs. Als einer der weltweit führenden Wälzlagerhersteller und Entwicklungspartner der Branche produziert Schaeffler seit mehr als 30 Jahren und mit entsprechend umfangreicher Expertise Großlager und andere Komponenten für Windkraftanlagen. Hochmoderne Berechnungs- und Simulationsprogramme optimieren deren Auslegung. Schaeffler-Lager kommen von der Rotorwelle über Getriebe und Generator bis zur Windnachführung und Blattverstellung zum Einsatz. Das digitale Condition Monitoring von Schaeffler ermöglicht eine hohe Anlagenverfügbarkeit und senkt den Wartungsaufwand.

Wasserkraft

Weltweit erzeugen Wasserkraftwerke deutlich mehr Strom als Kernkraftwerke und stillen mehr als 16 Prozent des globalen Bedarfs an elektrischer Energie. Über die konventionelle Nutzung von Wasserkraft hinaus sind zusehends neue Technologien auf dem Vormarsch, die auf die Stromproduktion durch Nutzung von Wellenbewegungen und Strömungen in den Meeren setzen. Ob konventionelle oder neue Wege der Wasserkraft – Schaeffler bietet die passenden Lagerlösungen und Engineering-Ressourcen.



Solkraft

Die Sonne liefert jeden Tag so viel Energie, dass der weltweite Bedarf eines ganzen Jahres gedeckt wäre. Um den maximalen Wirkungsgrad zu erzielen, müssen Solarkraftwerke besonders effizient, präzise und ausfallsicher arbeiten. Als Entwicklungspartner und Zulieferer engagiert sich Schaeffler derzeit in mehreren Projekten, zum Beispiel für Parabolrinnen-, Solarturm-, Fresnel- und Dish-Stirling-Kraftwerke. Schaeffler bietet für Nachführsysteme von Solaranlagen ein vielseitiges Angebot an Wälz- und Gleitlagern.



Der Vordenker

Daniel Düsentrrieb ist das innovative Mastermind im Disney'schen Entenhausen-Universum. Mit dem Credo „Dem Ingeniör ist nichts zu schwör“ ersann er Verblüffendes wie Intelligenzstrahlen, Schalllöcher und Luftroller. Dabei bewies er mit vielen seiner Erfindungen – wie sich heutzutage herausstellt – einen überaus visionären Weitblick. Aber lesen Sie selbst ...

Von Björn Carstens



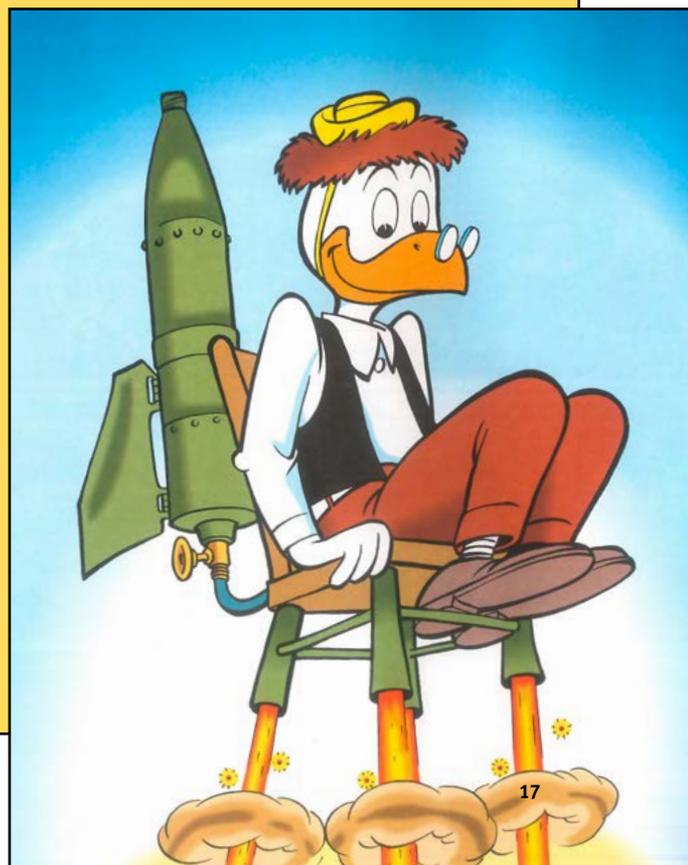
» Zwischen Wahnsinn und Verstand ist oft nur eine dünne Wand

Daniel Düsentrieb

Mobilität

Mobilität ist ein Thema, das im wahrsten Wortsinne die Welt bewegt. Die Bewohner von Entenhäusern sind da keine Ausnahme. Allen voran Daniel Düsentrieb. Was hat der Meistertüftler (Eigenwerbung: „Erfindungen nonstop“) mit dem markanten Zwicker auf dem Schnabel nicht alles ersonnen, um sich selbst und seine Mitbürger von A nach B zu bringen. Vor allem liebt Düsentrieb das Fliegen. „Du schwebst und bist nun endlich frei“, sinniert Düsentrieb über einen ewigen Menschheits Traum. Ob mit motorisierten Märchenklassikern wie Hexenbesen oder Teppichen, mit Hoverboard-artigen Flugrollern – der Hollywood-Klassiker „Zurück in die Zukunft“ lässt grüßen – oder mit Flugautos. Klar, auch eine fliegende Untertasse findet sich in Düsentriebs Garage. Zisch und weg. Aber wie so viele Genies hadert auch der schlaue Hahn mit seinem Werk. „Fort mit dir“, bepöbelt er in der Geschichte „Zurück zur Natur“ seine fliegende Untertasse. „Verkehrsmittel sind das schlimmste Erzeugnis der modernen Technik. Wozu hat man zwei Beine!“ Düsentrieb bricht zu einem Abenteuermarsch auf – und muss von zwei Robotern gerettet werden. Technik: Fluch und Segen gleichermaßen. Mit dieser Ambivalenz lässt Düsentrieb-Erfinder Carl Barks seine Figur stellvertretend für die Menschheit immer wieder kämpfen. Letztlich obsiegt der Glaube an den technischen Fortschritt. Weil er eben Gutes bewirken kann, wenn er nicht nur „höher, schneller, weiter“ als Ziel hat, sondern zum Beispiel auch Effizienz. Und die hat Düsentrieb immer wieder im Lastenheft seiner Erfindungen stehen. Ja, man kann sogar sagen: Der gezeichnete Erfinder ist ein Öko-Pionier. Ein Weltretter aus Überzeugung. Der Natur- und Tierfreund entwickelt eine lautlose Rakete (Düsentriebs Geburtsjahr 1952 kreuzt den Beginn des Jet-Zeitalters), er greift auf Bio-Sprit zurück (sein Flugroller verbraucht ein Brauseglas Erdnussöl auf 100 km) und lässt sein Auto von einem Perpetuum mobile antreiben, während eine

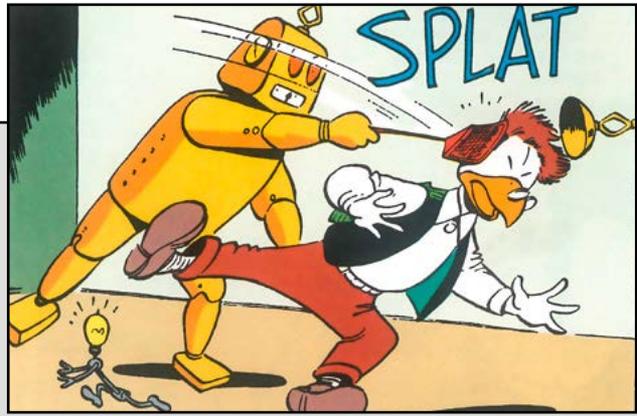
Solarzelle die Bordelektrik mit nachhaltiger Energie versorgt. Damit bringt er Tankwart Donald Duck zur Weißglut. Den Kragen seines Matrosenanzugs platzend schreit der Erpel: „Ja, spinnen Sie? Warum halten Sie an einer Tankstelle, wenn Ihre Kiste so ein modernes Wunder ist, dass sie nichts, aber auch gar nichts braucht?!“ Wünsch, wünsch. Genau so ein Auto hätten wir heute nur allzu gern. Spannend ist auch, was Autor Carl Barks seinen nimmermüden Innovator 1964 mit einem Raketenrucksack machen lässt. Düsentrieb düst nicht einfach sinnbefreit durch die Lüfte, no, no. Er nutzt die gewonnenen Fähigkeiten, um in Windeseile eine Brücke zu lackieren. Ob Barks gewusst hat, dass er damit den Vorläufer einer Drohne als fliegenden Arbeitshelfer erschaffen hat?



Intelligente Maschinen

Künstliche Diener erblicken in Entenhausen regelmäßig das Licht der Comicwelt. Daniel Düsentrieb sei Dank. Maschinen, Roboter und Alleskönner-Computer, die den Alltag erleichtern sollen, haben es

dem Gehirnakrobaten mit der schier unerschöpflichen Kreativität angetan: „Ich glaube, diesmal ist mir ein Meisterstück gelungen ... ein Roboter, der meine Gedanken lesen kann und danach handelt.“ Roland tauft der Schöpfer seine innovative gelbe Blechbüchse – vor mehr als 60 Jahren ist emanzipatorisch offenbar nicht vorgesehen, weibliche Vornamen zu wählen. Apropos Alexa, Siri und Co.: Düsentriebs Erschaffer Barks zeichnet schon 1958 die Frühform heute gängiger Sprachassistenten: „Mensch fragt, Maschine antwortet“, nur zwei Jahre nachdem einer seiner Landsmänner den Begriff „Künstliche Intelligenz“ ersann und lange bevor KI millionenfach Einzug in unsere Haushalte hielt. Der denkende Roboter Rudi (Sie merken: Die Namensvergabe hat System) hat allerdings noch ein paar Macken („Ich richte zwei vernünftige Fragen an ihn und erhalte zwei sinnlose Antworten.“). Stöhn! erinnert aber auch wieder an Siri („Ich verstehe deine Frage nicht“). Und trotzdem tüftelt der „Ingenieur“ immer weiter am Verschmelzen von maschineller und biologischer Intelligenz. Bei Mensch und Tier. Die Fusion zweier Welten. Beim Panzerknacker lässt der rechtschaffene Erfinder seine Intelligenzmaschine aber nur auf halber Kraft laufen („Wenn er glaubt, dass ich ihm bei seinen gesetzeswidrigen Absichten helfe, dann täuscht er sich.“). Die Fauna bringt Daniel „Doolittle“ Düsentrieb mittels eines Denkapparates und Intelligenzstrahlen zum Plappern. Stante pede äußert ein Wolf seinen Heißhunger auf Entenbraten. Jamm! Alarmstufe Rot in Entenhausen. Verständlich. Interessant ist auch der metaphysische Charakter vieler Maschinen. Allen voran Düsentriebs legendäre Phantasiermaschine. „Unter der Haube erlebt man alles, was man sich in seiner Phantasie vorstellt, gewissermaßen wirklich“, schwärmt der Kult-Erfinder. Seine frühe, aber schon fortgeschrittene Antwort auf Virtual Reality.



So heißt Daniel Düsentrieb in anderen Sprachen

- **Englisch:** Gyro Gearloose
- **Dänisch:** Georg Gearløs
- **Estnisch:** Leidur Leo
- **Finnisch:** Pelle Peloton
- **Französisch:** Géo Trouvetou, Géo Trouvetout
- **Niederländisch:** Willie Wortel
- **Norwegisch:** Petter Smart
- **Polnisch:** Diodak
- **Portugiesisch:** Prof. Pardal
- **Slowenisch:** Profesor Umnik
- **Spanisch:** Ungenio Tarconi

4

verschiedene Geschmäcker kann Düsentriebs Heu-Milchmaschine produzieren. Vanille,

Schokolade, Karamell und Kuhgeschmack. Später gipfelt seine synthetische Nahrungsmittelproduktion in dem Eiserne-Patentration-Gerät, das ausschließlich aus Sand und Luft Zutaten für alle möglichen Speisen generiert. Ein hochaktuelles Thema, Forscher tüfteln seit Jahren an künstlichem Fleisch und Gemüse aus dem Labor.



„Kein Roboter soll mir das Schönste wegnehmen, was ich habe ... die Arbeit. (...) Die Welt ist für die totale Automation noch nicht reif“



Mit Schrecken stellt Daniel Düsentrieb anno 1964 fest, dass sein Traumbild von einer vollautomatisierten Stadt zum Albtraum mutiert ist. Der Entenhausenkosmos erleidet eine tiefdepressive Episode. Grund: Es gibt für die Bewohner kaum noch etwas zu tun. Teilautonom fahrende Schwebomobile mit selbsttätigen „Abstandszischern“ kutschieren Donald und Co. sicher zu ihren Zehn-Minuten-Schichten in die von Robotern dominierten Fabriken. Gleitbahnen ersparen das Zufußgehen. Und Tonbandgeräte mit Kopfkissenzuflüsterern vermitteln Tick, Trick und Track Schulstoff im Schlaf. Gäh! Selbst die Spielsachen spielen von selbst. Auch Düsentrieb bläst Trübsal, da eine Menschmaschine seine Erfinderarbeit übernommen hat. Dem Schlaukopf platzt endgültig der Kinnriemen seines gelben Hutes: „Nehmt einen Hammer und schlagt alles kaputt!“ Whank! Bong! In den Stahlwerken wird gejubelt: „Die Automaten sind kaputt. Sollen wir wieder selber erschaffen? Ja! Los! Bravo! Hurra!“ Auch diese Kurzgeschichte greift den Zeitgeist auf, denn keine zwei Jahre zuvor nimmt der weltweit erste Roboter bei Autobauer GM in Detroit seine Arbeit auf. Staun, stöhn. Denn einerseits wecken die emsigen Maschinen schon damals die Fantasie, was man mit ihnen alles so anstellen könnte. Andererseits schürten sie die Angst vor Massenentlassungen. Heute weiß man: Sowohl die Maschinen als auch die Digitalisierung haben bislang mehr Arbeitsplätze geschaffen als vernichtet und nehmen uns viele wenig erfüllende Tätigkeiten ab.

Düsentriebs treuer Gefährte

„All meine Freunde verlassen mich. Mir bleibt nichts als mein kleiner Helfer“, klagte Düsentrieb dereinst wehmütig. Helferlein – ein kleines Glühlampnmännchen aus Draht und Dichtungsringen – begleitet ihn in fast all seinen Abenteuern und hilft dem Erfinder mehr als einmal aus der Patsche. Denn im krassen Gegensatz zu Düsentriebs meisten Erfindungen erweist sich sein putziger Sidekick als nahezu perfekt. Daher gilt es als ausgeschlossen, dass Düsentrieb ihn selbst erschaffen hat. Aber wer dann? Es bleibt ein Rätsel, das Zeichner Carl Barks vor seinem Tod nie aufgelöst hat. Das Helferlein tauchte einfach plötzlich wie ein elektromechanisches Findelkind

in seinen Bilderwelten auf und ist fortan nicht mehr wegzudenken. Ein kleines Maschinenmännchen als omnipräsenter Freund und Helfer in allen Lebenslagen. Hand aufs Herz: Wer hätte nicht gern ein solches Helferlein an seiner Seite?



Am Wetter schrauben

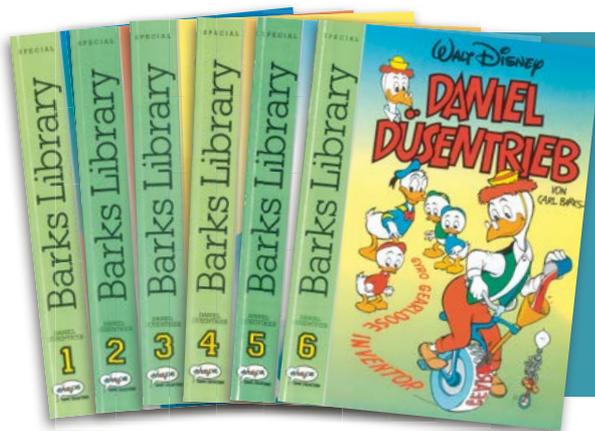
Wenn alle Versuche scheitern, das Klima zu schützen, gilt Geo-Engineering – auch Climate Engineering genannt (siehe Seite 6) – als möglicher Plan B. Während viele Konzepte noch in den Kinderschuhen stecken, hat der clevere Hühnervogel Düsentrieb dazu schon vor Dekaden mehrere patente Prototypen (Gewitterzerstreuer, Ultraschallschneeverdampfer etc.) entwickelt. Kult ist seine Regenstation („Leichter Schauer 3 Taler, Wolkenbruch 20 Taler“), bei der er auf Benjamin Franklins Spuren watschelt. Während der Naturwissenschaftler einen Drachen aus Holzstäben und Seidentuch als Gewitterköder für seinen Blitzableiter nutzt, dreht Entenhausens Universalgenie das Prinzip um. Er schickt mit einem baugleichen Modell einen Blitz – ca. 280 kWh elektrische Energie – zurück in die Wolken. Gush! Der Himmel öffnet seine Schleusen („Sie haben den Blitz ja doch für die Menschheit nutzbar gemacht, Herr Düsentrieb“). Wieder scheint das gezeichnete Superhirn seinen menschlichen Forscherkollegen einen Schritt voraus zu sein. Denn erst seit Ende der 1980er-Jahre versuchen Wissenschaftler, die in Blitzen steckende Energie technisch nutzbar zu machen. Mit überschaubarem Erfolg. Düsentrieb dagegen könnte als Regenmacher Taler um Taler scheffeln. In Zeiten von immer länger werdenden heißen Trockenperioden keine schlechte Geschäftsidee.



Düsentriebs geistiger Vater

„Im Grunde meines Herzens bin ich ein Erfinder, mir fallen ständig die verrücktesten Dinge ein“, sagt Carl Barks einmal. Sein Erfindungsreichtum macht ihn zu einem der bekanntesten Autoren und Zeichner im Disney-Kosmos, unter anderem ist Barks Vater von Dagobert Duck und der Panzerknacker-Bande. Daniel Düsentrieb erweckt der US-Amerikaner 1952 zum Leben – als einen ruhigen, lebenswürdigen und äußerst unpräntösen Charakter. Barks braucht einen Erfinder für einen kurzen Gag. „Hätte ich gewusst, dass ich mal ein ganzes Buch mit seinen Geschichten machen sollte, hätte ich seine Körpergröße von vornherein der Donalds oder Onkel Dagoberts angepasst.“ Wie Düsentrieb arbeitet auch Barks sehr zurückgezogen in seinem Haus in San Jacinto, Kalifornien. Maximal zweimal im Monat verlässt er die Scholle, um seine Geschichten beim Verleger zu präsentieren, die anfangs nur mit Walt Disney signiert sind. Da Fans lange Zeit nicht wissen, wer der Autor ist, bedenken sie ihn mit dem Ehrennamen „The good artist“. Barks stirbt im Jahr 2000 im Alter von 99 Jahren.



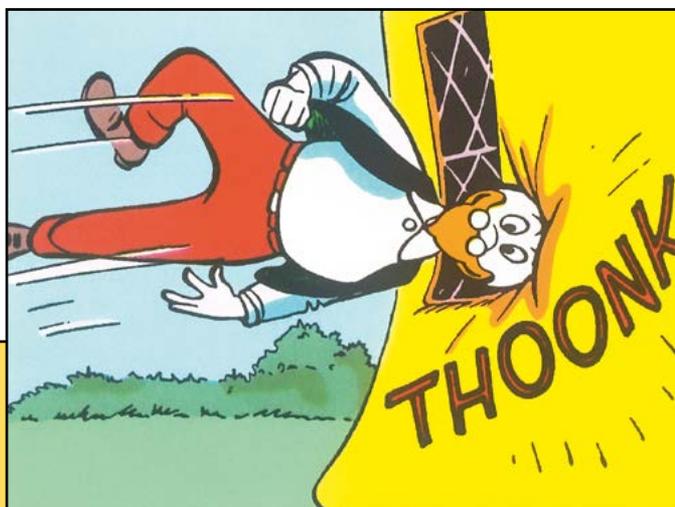


Die Barks Library

umfasst die gesammelten Werke von Disneys Kultcomicautor Carl Barks, die er von 1942 bis zum Ruhestand 1966 geschrieben und gezeichnet hat. Das Düsentrieb-Special beinhaltet 6 Bände, inklusive eines Lexikons mit allen Erfindungen. Von A wie aufblasbares Haus bis Z wie Zukunftskamera.

» Niemand kann einen Apparat intelligent genug konstruieren, als dass es nicht doch irgendeinen Idioten gäbe, der zu dumm wäre, um ihn zu benutzen

Daniel Düsentrieb



Materialoptimierung

Materialien veredeln, Oberflächen optimieren, der technische Fortschritt auf diesem Gebiet galoppiert in Höchstgeschwindigkeit. Auch Schaeffler baut seine Kompetenzen in der Beschichtungstechnologie kontinuierlich aus. In diesem Sinne sind die Entwickler aus Herzogenaurach und der Comickollege forschende Brüder im Geiste. Zugegebenermaßen mit unterschiedlichen Schwerpunkten. Das schnabelige Cleverle setzt auf eher ausgefallene Innovationen. Oder haben Sie schon mal was von Fell auf kalten Türklinken gehört? Laut Entenhausener Gerüchteküche schwören Rheumatischer Düsentrieb ewige Dankbarkeit wegen dieses Geistesblitzes. Genauso wie der geizige Onkel Dagober, für den das Superhirn einen unzerstörbaren Geldbehälter gebaut hat. Aus einem neu geschaffenen Element: Fortisium (aus dem Lateinischen für stark). Ein Stoff, härter als Diamant auf der Mohsschen Härteskala. Superärgerlich nur, wenn man dann den Code für das 17-fach gesicherte Panzerschloss vergessen hat. Superhart wird auch Düsentriebs neuartiger Schaumstoff: „Er kommt fertig aus der Tube, härtet sich in zwei Minuten und ist dann fest wie Granit.“ So lesen sich Wunschträume von realen Bautechnikern. Apropos schaffe, schaffe, Häusle baue: Auch hier setzt Düsentrieb auf das Prinzip ruck-zuck. Ein Haus ohne Stein, ohne Holz und Metall, aus einem „modernen Plastik-Material. Das ganze Haus kann aufgeblasen werden wie ein Luftballon“. Im Prinzip ein frühes Exemplar des Kinderfest-Klassikers Hüpfburg, den eine Österreicherin erst 20 Jahre später, nämlich 1977 erfand. Ob diese ein Düsentrieb-Fan war, ist nicht überliefert.



Das nächste Level

Innovative Technologien eröffnen Athleten neue Möglichkeiten. Ein interdisziplinärer Überblick von Schachbrett bis Rennstrecke.

Von Olaf Jansen

Schach

Daten am Zug

Im Schach ist heute derjenige erfolgreich, der vor einer Partie möglichst viel von der Spielweise seines Gegners kennt. Denn: Man kennt sich. Weiß um die Vorlieben des anderen. Um dessen liebste Eröffnungen, strategische Kniffe, Varianten im Mittel- und Endspiel. Denn Datenbanken und Computerprogramme haben gläserne Schachspieler geschaffen.

Daher gilt im heutigen Schachspiel auf höchster Ebene: Man muss vorbereitet sein. Schon vorher wissen, wie am besten auf die Manöver des Gegenübers zu reagieren ist. Das bringt Erfolg. Auf der anderen Seite muss der Spieler variabel sein und seinen Gegner, der sich ja ebenso vorbereitet hat, immer wieder mit neuen Varianten und Strategien überraschen. Bis in die Mitte der 80er-Jahre war

das ganz anders – Schach war ein analoges Spiel. Topleute wie Anatoli Karpow dominierten diese Sportart allein aufgrund ihrer routinierten Abläufe, Gedankenschnelligkeit und strategischen Fähigkeiten am Spielbrett.

Bis Garri Kasparow kam. Oder die Computer. Oder eben beides. Denn als Kasparow seinem Konkurrenten Karpow 1985 den Weltmeistertitel entriss, tat er dies auch mithilfe der neuen Technologien. Kasparow gilt als einer der ersten Weltklasespieler, die mithilfe von Computerprogrammen Partien durchrechneten und ihre Rechner diverse Varianten durchspielen und -kalkulieren ließen. Kasparow eignete sich mit Unterstützung der neuen Technologien einen Wissensvorsprung an, der von Konkurrenten wie Karpow bei aller Fantasie und Spielstärke nicht zu kompensieren war.

Kasparows Titelgewinn war der Startschuss für eine neue Ära des Schachsports, die fortan von Datenbanken und Computerprogrammen geprägt wurde. Weltweit führend in dieser Branche ist ChessBase. Das Hamburger Unternehmen baute eine riesige Datenbank auf, in der mittlerweile mehr als acht Millionen gespielte Schachpartien eingesehen werden können. Zudem vertreiben die Hamburger Computerprogramme, mit deren Hilfe Schachpartien ausgewertet und zahllose Varianten in Sekundenschnelle durchgespielt werden können. Prominentester Kunde ist der amtierende Weltmeister Magnus Carlsen. Der 30-jährige Norweger erklomm 2013 den Weltmeister-Thron – natürlich auch mithilfe moderner Technologien. Wie seine Konkurrenten wird auch Carlsen dabei von einem ganzen Team unterstützt, das ihm bei der Arbeit mit Datenbanken und Computern hilft. Allein könnte der „Mozart des Schachs“ den Wust von Varianten, Stellungen, Eröffnungen und Strategien niemals durchrechnen lassen.

Der Norweger Magnus Carlsen wurde mit 13 Jahren und 4 Monaten der zweitjüngste Großmeister der Schachgeschichte. Der heute 30-Jährige ist seit 2011 Weltranglistenerster – auch wenn er im Oktober nach 125 Siegen in Folge erstmals zwei Partien verloren hat

4 Stunden

Lernzeit benötigte die künstliche Intelligenz

AlphaZero, um das bis dato führende Datenbank-basierte Schachprogramm Stockfish zu bezwingen. 2017 gewann AlphaZero von 100 Partien 28, 72 gingen remis aus, keins gewann Stockfish. Ein Jahr später lautete das Duell bei 1.000 Partien mit veränderter Bedenkzeit und mehr Datenquellen für Stockfish aus Sicht von AlphaZero: 155 Siege, 839 Remis, 6 Niederlagen. AlphaZero gilt in der Schachwelt als echter Game Changer, verblüfft mit unkonventionellen Strategien. Auch Weltmeister Magnus Carlsen adaptiert die KI – und das ohne Berührungsängste: „Letztlich bin ich vom Stil her ein ganz anderer Spieler geworden, als ich es noch kurz davor war, und es war ein großartiger Ritt.“ AlphaZero kann aber nicht nur Schach. Auch das Duell gegen AlphaGo, den Rechner, der 2016 erstmals den besten Go-Spieler der Welt bezwungen hatte, entschied AlphaZero 60:40 für sich – und das nach nur acht Stunden Lernzeit.





Im SAP Interactive Data Space auf dem Trainingsgelände fließen sämtliche sportlich und geschäftlich relevanten Daten des Fußballbundesligisten TSG Hoffenheim zusammen. Trainer und Spieler nutzen den Raum für interaktive Team-Besprechungen und die datenbasierte Strategieplanung

Fußball

KI-Kicker

Wenn ein Profispieler der TSG Hoffenheim morgens aufwacht, hört er erst einmal in sich hinein. „Hab ich gut geschlafen? Bin ich gut drauf oder eher ver-spannt? Bin ich gesund?“ Der Spieler des Bundesligisten startet dann die Vereins-App, die sich auf seinem Smartphone befindet, und sendet die Infos zu seinem Arbeitgeber ins Trainingszentrum.

„In den letzten zehn Jahren hat sich im Profifußball im Zuge der Digitalisierung unwahrscheinlich viel getan. Die Entwicklung der technischen Möglichkeiten hat ganz tief in die strategischen Abläufe dieses Spiels eingegriffen und es massiv verändert“, sagt Rafael Hoffner, seit 2009 bei der TSG und Chef der Abteilung IT & Infrastruktur des Clubs.

Waren Trainer einst Einzelkämpfer, sitzt heute bei jedem Bundesligisten ein ganzes Team auf der Bank. Alle sind über einen Internet-Port und ein Netzwerk miteinander verknüpft. Trackingsysteme geben Auskunft über Lauf- und Zweikampfdaten der Spieler, zusätzlich liefern im Stadion verteilte Spielanalysten ihre Eindrücke und Daten zu. Die

1 Mio. Daten

Alles, was es zum Erfassen von Fußballer-Bewegungen braucht, ist **ein kleines Tracking-System direkt am Körper**. Dabei sollen die Spieler natürlich nicht in ihren Bewegungen eingeschränkt sein, weshalb Unternehmen wie GPS-Sports oder VX Sport die Technik in ein Bustier stecken. Das sitzt am Oberkörper, ohne die Sportler beim Trainieren zu behindern. Per GPS-Signal erstellt das Gadget ein Bewegungsprofil, zeichnet Geschwindigkeiten auf und analysiert die Effizienz auf dem Platz. In einer 90-minütigen Trainingssitzung kommen so eine Million Daten zusammen. Per Funk landen diese auf Computern am Spielfeldrand oder lassen sich per Dockingstation später innerhalb weniger Sekunden auslesen.

Strategie lautet: Möglichst variabel bleiben, den Gegner immer wieder überraschen. „Ständig kann heute ein Matchplan verändert werden. Man möchte für den Gegner möglichst unberechenbar bleiben“, sagt Hoffner.

Doch es geht nicht nur um die 90 Minuten am Spieltag. Die TSG installierte zudem als Vorreiter der Branche eine riesige Videoleinwand und etwa 80 Sensoren auf dem Trainingsplatz, die das Gelände in eine 3D-Karte verwandeln. Die Spieler tragen bei ihren Einheiten wiederum Sensoren in einem Brustgurt und auf dem Rücken. Hoffner: „Wir erhalten so Infos über den körperlichen Zustand der Spieler und deren kognitive Leistungen. Wir bekommen Antworten in fußballspezifischen Detailfragen. Zum Beispiel: War ein Sprint angesichts einer bestimmten Spielsituation sinnvoll? Hat sich der Spieler räumlich geschickt bewegt?“

Die meisten Top-Vereine im Fußball haben technisch mittlerweile nachgezogen, in Hoffenheim profitieren sie allerdings heute von ihrem frühen strategischen Interesse an Innovationen. „Wir sammeln schon seit über zehn Jahren Daten unserer Spieler. Wir kennen daher ihre Stärken und wissen im Detail, woran wir arbeiten müssen“, sagt Hoffner. So bekommt der eine mehr Arbeitsstunden mit den Sportpsychologen, der andere arbeitet verstärkt mit dem Footbonauten, einer Ballmaschine zur Verbesserung der Pass- und Schusstechnik.



Neben dem Footbonauten kann mit der Helix auch ein virtueller Raum benutzt werden, in dem die Akteure ihre kognitiven Fähigkeiten schulen können. Einspielungen über die 180-Grad-Projektionsfläche der Bildschirme versetzen den Spieler in unterschiedliche Spielsituationen – er muss entsprechend reagieren. Trainiert werden Konzentration, Wahrnehmung und peripheres Sehen.

In Hoffenheim wissen sie vieles über ihre Spieler. Werden die vielen Daten also bald zu einer berechenbaren Strategie führen? „Nein“, sagt Hoffner. „Der Mensch bleibt immer ein Stück unberechenbar. Und das ist auch gut!“



Das digitale Abbild realer Spielszenen (hier eine Demonstration bei der Veranstaltung SportsInnovation der Deutschen Fußball Liga) unterstützt Mannschaften bei der Spielanalyse und steigert das Stadionerlebnis der Fans



Segeln

Alle Chips an Deck

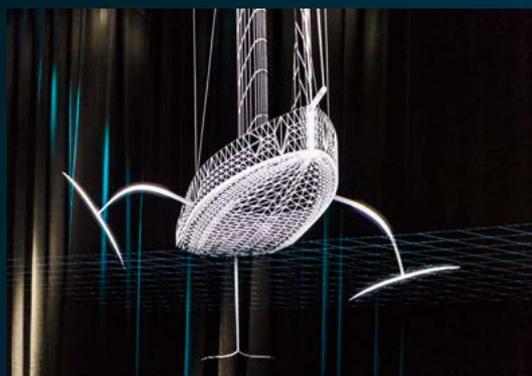
Als Jochen Schümann 1976 in Montreal seine erste von insgesamt drei olympischen Goldmedaillen ersegelte, tat er dies ganz allein. Er war solo im Finn-Dinghy unterwegs und nutzte die vorherrschenden Naturgewalten ausschließlich nach Gefühl: Windrichtung und -stärke, Wasserströmungen, Einschätzung der klein- und großräumigen Wetterentwicklungen. Schümann bewies damals erstmals international sein mittlerweile legendäres Gespür und Talent fürs Segeln – und fuhr als erst 22-Jähriger allen davon.

Mit dem Sport von damals hat Segeln heute nicht mehr allzu viel zu tun. Schümann sagt: „Segeln ist im Lauf der Zeit immer komplexer geworden. Die Fortschritte in Sachen Material und Datenauswertung haben den Sport enorm weiterentwickelt und zu einer regelrechten Wissenschaft gemacht.“

Immer leichtere Materialien an Rumpf, Segeln, Tauen und Masten machten die Boote zunehmend schneller, zuletzt führte die Foil-Technik, bei der die Boote auf Tragflächen übers Wasser fliegen, zu einer kaum für möglich gehaltenen Geschwindigkeitsexplosion. Über 90 km/h sind mit diesen Gleitern möglich.

Die aber wohl entscheidende Entwicklung, die massiven Einfluss auf Strategie und Taktik, aber auch die Konstruktion der Segler genommen hat, ist die Datensammlung und -verwertung. Ein Prozess, der sich seit einigen Jahren durch den Einstieg von Software-Konzernen wie Oracle und SAP ins Segeln massiv beschleunigt hat. Je nach Bootsklasse erfassen Dutzende, manchmal tausend und mehr Sensoren und GPS-Tracker jede Bewegung im Wasser und an Bord, sammeln dabei Unmengen an Daten. Auch Wetter- und Strömungsdaten, sogar der Salzgehalt des Wassers, werden digital seziiert und ausgewertet. Bis zu 16 Gigabyte pro Tag können da zusammenkommen.

Während bei den kleineren olympischen Bootsklassen technischer Support von außen während der Wettfahrt verboten ist, nutzen die Segler von Großbooten bei millionenschweren Regatten wie dem America's Cup oder dem Volvo Ocean Race die enormen neuen Möglichkeiten auch während des Rennens: Informationen über Ruderlage und -stellung, Zugspannung der Segelseile, Grad der Krängung und, und, und: All diese Informationen laufen live auf dem Computer am Kommandostand ein und nehmen Einfluss auf die Entscheidungen des



Auch bei der Konstruktion der Segelboote (hier die America's-Cup-Yacht Luna Rossa) spielen Daten eine entscheidende strategische Rolle



Steuermanns. Die Segler kleinerer Boote profitieren vor allem nach ihrer Wettfahrt von der neuen Technik – bei der Vorbereitung aufs nächste Kräftemessen. Im Zusammenspiel mit Daten über Strömungen und Windverhältnisse, die einst von den Seglern mühselig per Hand festgehalten wurden, ergibt sich für die Athleten heute innerhalb von Sekunden nach der Zieldurchfahrt ein Analysebild, das ganz neue taktische und strategische Überlegungen zwischen den einzelnen Wettfahrten ermöglicht.

Weiterer Vorteil: Durch Softwareprogramme lassen sich die Positionen der Segler digital übertragen, die Lage der Boote vor Tonnen, den Wendepunkten und der Ziellinie wird zentimetergenau dargestellt. Das ist gut für den Überblick der Zuschauer, Organisatoren und Berichterstatter.

Bei der Konstruktion der Boote sind die gesammelten Daten ebenfalls Gold wert. „Bootsbau ohne Daten – ich weiß gar nicht, was das ist“, bekräftigt der America's-Cup-erfahrene Ingenieur Mauricio Munoz und ergänzt, die Königsklasse des Segelsports sei ohnehin fast mehr ein Rennen der Konstrukteure und Datenjongleure als der Sportler.

So weit will Jochen Schümann nicht gehen. „Die Datenanalysten haben heute einen enorm

Fast 100 km/h

schnell gleiten die neuen AC75-Einrumpfboote des America's Cup (im Foto oben das britische Ineos-Team) über das Wasser. Der Kampf um den ältesten Sportpokal der Welt gilt als millionenteure Königsklasse des Segelsports. Der Schlüssel zum Erfolg liegt darin, die Variablen aus den Bereichen Material (Segel, Foils), Natur (Wind, Wellen, Strömung) und Gegner mit einer passenden Strategie optimal zusammenzubringen.

wichtigen Job“, sagt er. „Aufgrund ihrer Aussagen kann sich der Segler seine Strategie gegen die Konkurrenz zusammenbauen.“ Aber ganz ohne das Gefühl des Athleten geht es seiner Meinung nach auch heute noch nicht: „Letztendlich ist es wie in jedem hoch entwickelten Leistungssport: Die vorhandene Datenmenge ist eine Grundlage. Aber auf dem Wasser, im entscheidenden Moment, braucht es den genialen Sportler, der die Entscheidung trifft. Und die kann ihm kein Computer abnehmen.“

Motorsport

Innovation aus dem Highspeed-Labor



Vier E-Motoren, knapp 1.200 PS und in 2,4 Sekunden von 0 auf 100: das Demofahrzeug der DTM Electric

DTM-Finale 2020, Hockenheimring. Noch bevor der Champion der Gegenwart in den letzten Saisonrennen der Top-Tourenwagenliga ermittelt wird, geht die Zukunft der Rennserie an den Start. Ein Demonstrationsfahrzeug der DTM Electric drehte seine Runden im badischen Motodrom. Mit knapp 1.200 PS Leistung bewegt sich das E-Auto auf dem Performance-Niveau der Formel 1. Fahrdynamisch stößt es in neue Dimensionen vor, denn die vier batterieelektrischen Antriebe von Schaeffler lassen sich für perfekte Traktion bei allen denkbaren Streckenbedingungen radindividuell ansteuern – Stichwort Torque-Vectoring. Auch die Beschleunigungswerte beeindrucken. 2,4 Sekunden vergehen beim Sprint von 0 auf 100 km/h.

Das sind 0,4 Sekunden weniger als beim aktuellen DTM-Auto. Ein Wimpernschlag, der auf der Rennstrecke eine halbe Ewigkeit bedeutet.

2021 sollen weitere Demo-Einsätze der DTM Electric folgen, erste Wettkämpfe sind für 2023 geplant. Die Entwicklung des Prototyps erfolgte in enger Zusammenarbeit zwischen der DTM-Dachorganisation ITR und Schaeffler, künftiger Serien- und Innovationspartner der DTM. Der renommierte Automobil- und Industriezulieferer steuert bei dem Testträger neben dem Antrieb unter anderem auch die bereits im Motorsport erprobte Steer-by-Wire-Technologie Space Drive bei. Gemeinsam zeigen die Partner, wie die Zukunft des Motorsports auch aussehen kann: Sie ist grün, hochperformant und elektrisch.

„Wir freuen uns auf die Partnerschaft“, sagt Matthias Zink, Vorstand Automotive Technologies bei Schaeffler. „Unsere innovativen E-Antriebstechnologien sorgen bereits seit 2014 in der Formel E für Siege und kommen mittlerweile auch in Serienfahrzeugen zum Einsatz. Die Kooperation



» Die Partnerschaft mit der DTM passt perfekt zu Schaeffler. Als Vorreiter möchten wir vorangehen, den Status quo herausfordern und Grenzen verschieben – und so den Unterschied machen

Matthias Zink,
Vorstand Automotive Technologies bei Schaeffler

belegt Pioniergeist und Innovationskraft und unterstreicht unseren Anspruch, als Technologiepartner Fortschritt zu gestalten, der die Welt bewegt.“

Ebenfalls 2023 soll mit der HYRAZE League die weltweit erste Automobil-Rennserie an den Start gehen, die auf umweltfreundlich produzierten Wasserstoff als Energieträger setzt. Auch hier ist Schaeffler als Technologie-Partner involviert. Die Rennen werden mit 800 PS starken Wasserstoff-Autos ausgetragen. Die Energie für den emissionsfreien Antrieb liefert grüner Wasserstoff, der in den beiden Brennstoffzellen der Rennfahrzeuge in Strom für die vier Elektromotoren umgewandelt wird. Zusätzlich wird beim Bremsen zurückgewonnene Energie in kompakten Hochleistungs-Batteriezellen gespeichert.

Aber auch in anderen Bereichen des HYRAZE-Fahrzeugs ist viel nachhaltige Innovation mit an Bord. Die Karosserieteile werden beispielsweise aus einem Naturfaser-Verbundwerkstoff hergestellt. Einzigartig im internationalen Rennsport wird auch das Bremssystem der allradgetriebenen Fahrzeuge. Denn jeglicher anfallende Bremsstaub entweicht nicht unkontrolliert in die Umwelt, sondern wird im Fahrzeug aufgefangen und im Nachhinein umweltneutral entsorgt. Spezielle, aus schnell nachwachsenden Rohstoffen entwickelte Reifen sorgen außerdem für eine Minimierung des Reifenabriebs. Zusammen mit einer strikt limitierten Anzahl von Reifen reduziert sich die Feinstaubbelastung wesentlich.

Innovativ ist auch die Verknüpfung von E-Sport und realem Motorsport in der HYRAZE League. Die Teams haben für jedes Auto zwei Fahrer – einen für die realen Wertungsläufe und einen, der an den gleichfalls zur Meisterschaft zählenden

Schaeffler inside: So sieht der Hightech-Wasserstoff-Rennwagen der HYRAZE League aus



E-Sport-Events teilnimmt. Die Ergebnisse beider Rennen fließen zu gleichen Teilen in die Meisterschaftswertung ein, sodass am Ende ein Team als Gesamtsieger beider Disziplinen gekürt wird – ein absolutes Novum im Motorsport.



Der Autor

Sportjournalist und Buchautor **Olaf Jansen** (Die Zeit, Deutschlandfunk, 11 Freunde) ist kein Technik-Freak – und hat sich daher von den

Fachleuten alles ganz genau erklären lassen. Daheim hat des Autors jüngerer Sohn alle Texte noch einmal Korrektur gelesen. Denn er ist – zu Vaters Erstaunen – besonders talentiert in Physik und Mathematik.

In Bewegung

Innovationen im Laufe der Zeit

Ab nach unten

Ob als Schutz vor Überfällen, Kriegen, Kälte oder Hitze – seit über 2.500 Jahren bauen wir Menschen Behausungen unter der Erdoberfläche. Bereits im 8. Jahrhundert vor Christus erweitern innovative Menschen in der heutigen Türkei Höhlen zu unterirdischen Städten mit bis zu 19 Stockwerken. Heute kommt ein weiterer Grund hinzu: die Urbanisierung. Gibt es Anfang der 1950er-Jahre mit New York weltweit nur eine Stadt mit mehr als zehn Millionen Einwohnern, sind es heute 41. Im Jahr 2050 werden nach Prognosen der Vereinten Nationen mehr als zwei Drittel der auf fast zehn Milliarden Menschen gewachsenen Weltbevölkerung in Städten leben. Doch wohin mit ihnen? Megacities wie Tokio, Manila oder Paris platzen schon heute aus allen Nähten. Die Strategie: Ab nach unten. Beispiel Helsinki: In den Felsen der finnischen Metropole entsteht eine Stadt unter der Stadt. Mit Einkaufspassagen, Museen, Sauna, Kirche, Kartbahn und Schwimmbad. Eine

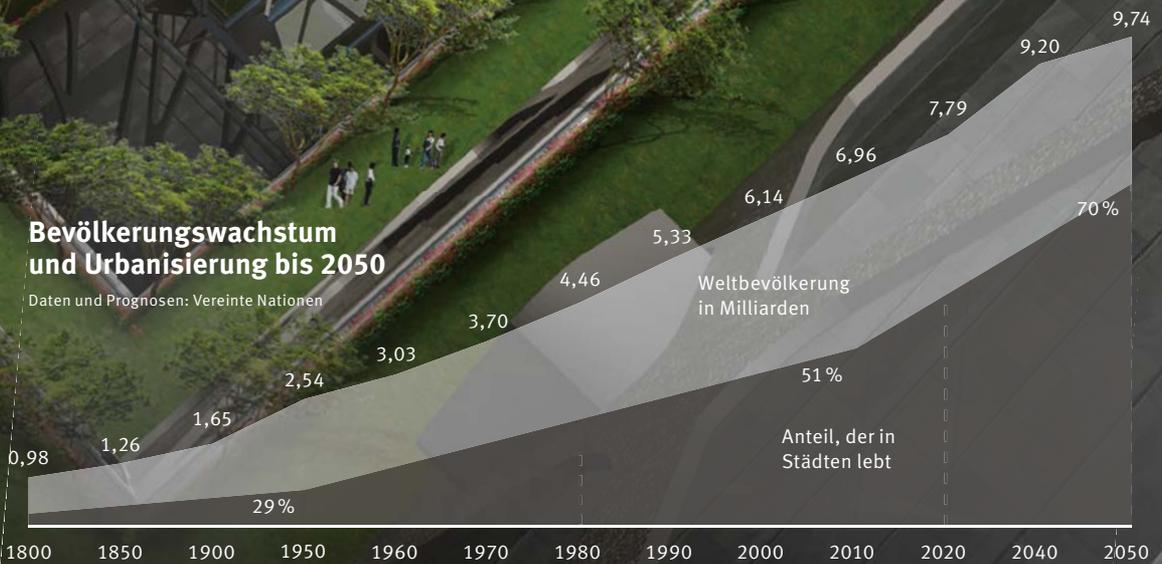
Sportarena und Radwege sollen folgen. Helsinki Underground ist heute schon 13 Quadratkilometer groß, so viel wie 2.000 Fußballfelder! Auch andere Städte bauen immer mehr nach unten: Atlanta in den USA, Montreal und Toronto in Kanada, Osaka in Japan sowie Hongkong. Ein Gedankenspiel in Mexiko-Stadt sieht einen in die Erde gebauten Earthscraper vor (siehe Foto). Diese auf dem Kopf stehende Pyramide soll mit viel Glas Sonnenlicht bis in 300 Meter Tiefe ermöglichen. In Russland träumen Planer seit Jahren von der Eco-City 2020: In einer 500 Meter tiefen ausgedienten Diamantmine nahe der sibirischen Stadt Mirny sollen 100.000 Menschen leben. Während Mexiko-Stadt sein Stadtbild nicht mit Wolkenkratzern zubauen möchte, ist die russische Variante eine Trutzburg gegen heiße Sommer (40 Grad) und eiskalte Winter (minus 70 Grad). In 500 Metern Tiefe herrschen das ganze Jahr über gleichbleibende 20 Grad – Wohlfühlen garantiert.

» Die Schwärmerei für die Natur kommt von der Unbewohnbarkeit der Städte

Bertolt Brecht, deutscher Dramatiker

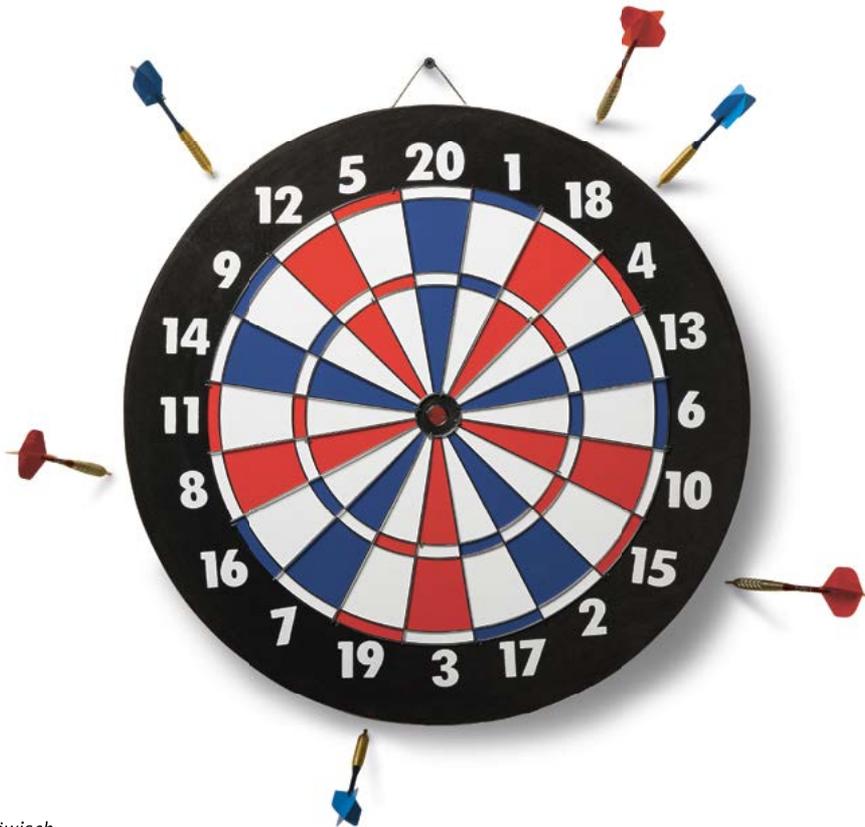
Bevölkerungswachstum und Urbanisierung bis 2050

Daten und Prognosen: Vereinte Nationen



Genial daneben

Die Geschichtsbücher der Technik sind voll von missverstandenen Erfindungen. Nicht alle waren schlecht, manche einfach nur zur falschen Zeit am falschen Markt.



Von Roland Löwisch

Erfinder sind wie Lottospieler. Sie hoffen unermüdlich auf den Jackpot, auch wenn die Wahrscheinlichkeit gegen sie spricht. „Mindestens 85 Prozent der Entwicklungszeit, die auf Produkte verwandt wird, verläuft im Nichts“, sagt einer, der es wissen muss: Professor Reinhold Bauer, Leiter der Abteilung Wirkungsgeschichte der Technik am Historischen Institut der Uni Stuttgart. Lieblingsthema: die Geschichte des innovatorischen Scheiterns. „Innovation“ definiert er mit „erstmalige wirtschaftliche Verwertung einer neuen Problemlösung, wobei es sich um einen Prozess oder um ein Produkt handeln kann“. Erfolg misst er

dabei daran, „dass es gelungen ist, die Entwicklungskosten wieder einzuspielen“. Bauer hat fünf Gründe des Scheiterns extrahiert: „Technische Probleme, überlegene Konkurrenz, Fehleinschätzung potenzieller Nutzer, zu radikale Neuheit und/oder ein instabiles Entwicklungsumfeld.“

Normalerweise bekommt die Öffentlichkeit natürlich nicht mit, welche Erfindungen für die Katz sind – wohl kaum ein Unternehmen öffnet sein meist übervolles Archiv des Scheiterns. Bei Produkten und Ideen, die den Marktstart tatsächlich versucht haben, liegt der Fall anders. Wir haben hier ein paar beispielhaft ausgewählt.



1927

startete AT&T erste Gehversuche mit der Bildtelefonie. Bei einer Bildauflösung von 50 Zeilen konnten sich die Gesprächspartner aber nur schemenhaft erkennen.

AT&T Picturephone

Sieh mal an

Das Picturephone von AT&T ist ein auch von Technik-Historiker Reinhold Bauer gern aufgeführtes Beispiel einer guten, aber dennoch gescheiterten Idee. Oder besser gesagt: zunächst gescheiterten Idee. Denn heute ist Bildtelefonie dank Skype, Facetime oder Zoom so selbstverständlich wie Fernsehen. Der Traum, sich beim Telefonieren in die Augen schauen zu können, ist schon in frühen Science-Fiction-Filmen essenziell. Der amerikanische Telekommunikationsmulti AT&T macht daraus 1964 Realität: mit dem Picturephone. Sowohl die Fachwelt als auch das Publikum sind begeistert – verspricht die Novität doch Ersatz für aufwendige Reisen, um sich von Angesicht zu Angesicht unterhalten zu können. Aber nicht nur das: **AT&T denkt schon damals an die Übermittlung von Unterrichtsinhalten, Werbung, Börsenkursen oder Wetterberichten. Selbst Flüge soll man irgendwann über die Wunderbox buchen können.** Doch dazu kommt es nicht. Nicht wegen der Technik, die funktioniert erstaunlich gut. Aber der Service ist schlicht zu teuer. In den 1964 von AT&T aufgestellten Picturephone-Zellen kosten die ersten **drei Gesprächsminuten horrende 27 US-Dollar.** Ganze 71 Verbindungen kommen in den ersten sechs Monaten zustande. 1970 werden die Zellen nach einem Jahr kompletter Kundenignoranz abgebaut. Auch ein Anlauf mit Privatanschlüssen scheitert an den Kosten. 160 US-Dollar Monatsgebühr (nach heutiger Kaufkraft fast 1.000 Dollar) will sich nur eine versprengte Zahl Technik-Geeks leisten. Selbst eine Halbierung des Preises lässt den Kundenkreis kaum wachsen. 1973 zieht AT&T endgültig den Stecker.

Ford Edsel

Enttäuschung inklusive

Wie man ein Produkt am besten nicht in den Markt einführt, zeigt die Ford Motor Company 1957 mit dem Edsel. Um GM mit seinen vielen Marken etwas entgegenzusetzen, will Ford mit Edsel eine Nebenmarke für gehobeneren Ansprüche etablieren. Zehn Jahre wird, koste es, was es wolle, entwickelt, und heraus kommt: **ein ganz und gar durchschnittliches Auto.** Die Kundschaft, die mit Tiefeninterviews und Psychotests bei einer nie zuvor dagewesenen Marktforschungskampagne ausgelotet wird, ist enttäuscht. Wo ist der lautstark angepriesene „technologische Durchbruch“? „Das Auto, das es so noch nicht gab“ bringt als größte Neuerung eine elektrisch zu öffnende Motorhaube und selbstnachstellende Bremsen mit. Bei einer eigenen Edsel-Show von CBS trällern Bing Crosby, Frank Sinatra und Louis Armstrong das Hohelied von der glänzenden Zukunft, aber auch sie können den Wagen nicht vor dem Abgrund bewahren. Neben zu hohen Erwartungen, die bei den Kunden geweckt wurden, sorgt die weltweite Rezession 1958 für das Ende des Marketinggags. **Das missglückte Design,** besonders der viele prüde Amerikaner an weibliche Geschlechtsteile erinnernde Kühlergrill, tut ein Übriges. Der Wagen – benannt nach Henry Fords Sohn Edsel, der 1943 an Magenkrebs starb – gilt als größter Automobil-Flop ever.



110.847

Edsel produziert Ford von September 1957 bis November 1959, dann hat der Schrecken ein Ende. Bis zu 500.000 Stück sollten es mal werden – pro Jahr, wohlgermerkt.

250 Mio. \$

setzt Ford mit dem Edsel in den Sand. Das entspricht nach heutigem Wert umgerechnet 2,4 Mrd. US-Dollar.

Segway

Ins Aus gekreiselt

Er sollte nicht weniger als das Transportwesen revolutionieren: **der Ein-Personen-Stand-up-Roller Segway**, den Erfinder Dean Kamen 2001 auf den Markt bringt. Beim Elektro-Vehikel (38 km Reichweite, 20 km/h Spitze) steht der „Pilot“ auf einer Plattform zwischen den von je einem Motor angetriebenen Rädern, hält sich an einer Lenkstange fest und kann dank Gyroskopen eigentlich nicht umfallen (nur Ex-US-Präsident George W. Bush soll es gelungen sein). Neigungssensoren lassen den Segway stets in die Richtung fahren, die der Fahrer wünscht. Gas geben und Bremsen erfolgt ausschließlich durch Gewichtsverlagerung nach vorne oder hinten. Alles kinderleicht und durchaus Spaßig. **Nur ist der Spaß zu teuer** (in Europa rund 8.000 Euro plus 1.400 Euro für einen Ersatzakku), **die Einsatzmöglichkeiten gegenüber einem viel günstigeren E-Bike sind eingeschränkt**. Aus den erhofften 100.000 Stück pro Jahr werden insgesamt nur 140.000 Stück bis zum Produktionsende im Sommer 2020.

100.000

und mehr Kilometer spulten einige Segway ab. Die Standfestigkeit sorgte dafür, dass Kunden, die einen Segway hatten, nie Ersatz brauchten. Gut für sie, schlecht fürs Geschäft.

2009

verunfallt Firmenchef Jimi Heselden mit einem Segway tödlich – keine gute Werbung.



Video 2000 und Betamax

Systemkampf

In den 1970er-Jahren bringen Videorekorder TV-Konsumenten die Unabhängigkeit von festen Fernsehzeiten. Erstmals kann man seine Lieblingssendung aufzeichnen und schauen, wann und so oft man will.

Vorrangig drei Systeme buhlen um die Kundengunst: Betamax (Sony), Video 2000 (Philips, Grundig) und VHS (JVC, Sharp, Panasonic etc.). Dass am Ende das System mit der schlechtesten Bildqualität obsiegt, nämlich VHS, erstaunt, hat aber Gründe. Betamax bietet Top-Bildqualität, die aber auf Kosten der Laufzeit geht. 60 Aufnahmeminuten pro Kassette sind praxisuntauglich. Video 2000 kann inklusive Kassettdrehung sogar 16 Stunden aufzeichnen.

Die Bildqualität ist auch gut. Doch die Technik ist teuer und nie wirklich ausgereift. Außerdem verweigert Philips wie auch Sony dem umsatzträchtigen Pornomarkt eine Nutzungslizenz. So macht VHS das Rennen bei den Videotheken und gewinnt – obwohl technisch unterlegen – letztlich den Kampf der Systeme.

1979

stellten Philips und Sony die Compact Disc vor. Die Videomarkt-Konkurrenten hatten aus ihrer dortigen Schlappe gelernt und machten beim Tonträger gemeinsame Sache. Die CD wurde ein großer Erfolg, verdrängte Kassette sowie Schallplatte und eroberte sogar den Computerbereich. Heute ist die CD aber selbst ein Nischenprodukt, 2019 wurde sogar wieder mehr Geld mit LPs als mit CDs verdient. Fast 90 Prozent des Musik- und Videomarkts werden heute durch Streamingdienste bedient. VHS und CD beweisen: Innovation ist vergänglich.

45. Geburtstag

feierte die erste und heute älteste Videothek der Welt im Sommer 2020. Der „Film-Shop“ in Kassel wirkt wie aus der Zeit gefallen. Um das Relikt am Leben zu halten, wurde sogar ein Verein gegründet.

36 Menschen

sterben im Jahr 1937, als das 245 Meter lange Luftschiff Hindenburg nach erfolgreicher Atlantiküberquerung beim Landemanöver in Lakehurst/USA in Flammen aufgeht. Die Katastrophe wird live im Radio übertragen. Der Todesstoß für den Luftschiff-Liniendienst, dessen Ende aber durch die aufkommende Passagierfliegerei ohnehin schon nah war.

2024

soll mit dem britischen Airlander das nächste große Luftschiffprojekt in Serie gehen. 2016 absolvierte ein 1:1-Prototyp erste Testflüge. Ob diese „großartige britische Innovation“ tatsächlich ein Erfolg wird, muss sich zeigen.

Cargolifter

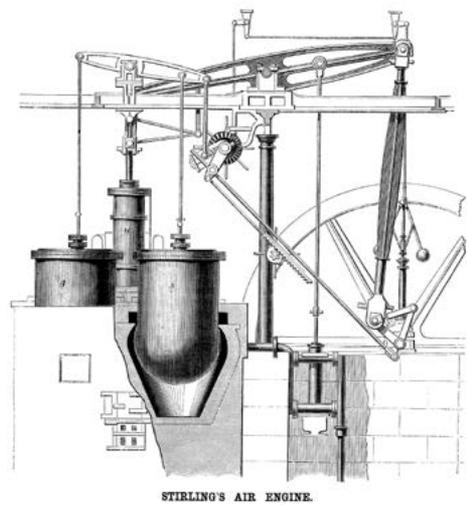
Luftschiffschloss

Die Historie der Luftfahrt ist voller Abenteuer – und leider auch voller Abstürze. Einer der größten ist der von Cargolifter. Der Plan: Ein riesiges Luftschiff soll sperrige Lasten von bis zu 160 Tonnen von Kontinent zu Kontinent transportieren. Dafür wird im September 1996 die Cargolifter AG gegründet. **Gebaut werden soll das 260 Meter lange und 82 Meter hohe Monster namens CL 160** in einer neuen Werfthalle auf einem ehemaligen sowjetischen Militärflugplatz im brandenburgischen Nichts. Ein ostdeutsches Leuchtturmprojekt im ersten Nachwende-Jahrzehnt. Dass Fachleute früh an der Machbarkeit eines solchen Transportgerätes zweifeln, will bei der Euphorie kaum jemand hören. Im Mai 2000 geht Cargolifter an die Börse, hofft auf eine **Beteiligung von Airbus**. Doch der **Flugzeugbauer lehnt dankend ab** – zwei Jahre später ist Cargolifter insolvent. Was ist geblieben? Ein Badeparadies in der 360 Meter langen, 210 Meter breiten und 107 Meter hohen ehemaligen Werfthalle.

Stirlingmotor

Anders Gas geben

1816 erfindet Robert Stirling den nach ihm benannten Stirlingmotor (Abbildung r.). Das Prinzip: Ein Arbeitsgas (Luft, Helium oder Wasserstoff) wird in einem Zylinder erhitzt und expandiert, um anschließend in einem zweiten Zylinder gekühlt und komprimiert zu werden. Der durch das pendelnde Gas in dem geschlossenen System stets veränderte Druck treibt Kolben an, die mechanische Arbeit übernehmen. Die Vorteile der kontinuierlichen äußeren Verbrennung: extrem geräuscharme Arbeit und sehr emissionsarm. Immer wieder wird der Stirlingmotor auch als Autoantrieb ins Spiel gebracht. Doch die großen Autobauer winken stets ab, zuletzt 1989, als die US-Firma Mechanical Technology Inc. einen serienreifen Pkw-Stirling präsentiert. **Die Abkehr von jahrzehntelang bewährten Motorkonzepten ist zu risikobehaftet, die vermeintlichen Vorteile (Verbrauch, Emissionen, Geräusch) zu klein.** Zumal diese Vorteile dank Katalysator-Technik und hochmoderner TDI-Dieselmotoren weiter schwinden. Denn mit diesen Technologien können die Autobauer strenger werdende Abgasvorschriften ohne einen tiefgreifenden Konzeptwechsel erfüllen. Und sie müssen sich auch nicht den Kopf zerbrechen über einen konstruktionsbedingten



STIRLING'S AIR ENGINE.

Nachteil des Stirlingmotors: Er hat eine Anfahrschwäche, verlangt für einen guten Wirkungsgrad nach konstanten Drehzahlen. Abseits des Autos aber lebt der Stirlingmotor. Zum Beispiel bei der Umwandlung von Solarenergie (die zur Erhitzung des Arbeitsgases genutzt wird) in mechanische Energie, in Blockheizkraftwerken (Abwärmenutzung) oder in U-Booten sowie in der Raumfahrt.

» Der Pkw-Stirling ist ein gutes Beispiel dafür, dass auch ein technisch gelungenes Produkt nicht zwangsläufig Zugang zum Markt erhält

Professor Reinhold Bauer, Technik-Historiker



Propellerauto

Eine runde Sache

Was fliegt, muss zuerst fahren, um Tempo aufzunehmen. Warum also nicht nur fahren mit den Hilfsmitteln eines Flugzeugs? Beim Propellerantrieb wirkt der Motor nicht auf die Räder, sondern auf eine Luftschraube. Getriebe,

Kupplung und Kardanwelle entfallen, das Fahrzeug ist deswegen sehr leicht. Marcel Leyat ist der Erste, der diesen Gedanken in die Tat umsetzt. Der Franzose baut 1913 das dreirädrige Hélicycle. Ab 1919 legt er den vierrädrigen Hélica in Kleinserie auf. 1927 schafft sein Hélica Monthéry den Rekord von 171 km/h. Aber auch der Hélicron von 1932 (Foto oben) bringt nicht den Durchbruch der Technologie. **Die Nachteile des Propellerantriebs überwiegen:** Wegen fehlendem Anlasser muss die Luftschraube samt Motor über einen Seilzug angeworfen werden, bevor der Fahrer einsteigen kann. Es ist höllisch laut, gefährlich für alle Fußgänger und Tiere, Komfort gibt es auch nicht – alle Passagiere sitzen mitten im Luftstrom. Zudem ist Rückwärtsfahren unmöglich.

1.500 u/min

drehen die Rotoren sogenannter Gegenwind-Fahrzeuge. Und das ohne Motor, allein durch Windkraft. Die Drehbewegung des Propellers treibt die Hinterachse der Leichtbaumobile beim Racing Aeolus im niederländischen Den Helder an. Das zuletzt siegreiche Fahrzeug münzte die Windenergie so effizient um, dass es fast 15 Prozent schneller war als der Wind, der ihm entgegenblies.



Flettner-Rotor

Vom Winde verweht



Der Herr links ist Anton Flettner. In den 1920er-Jahren rüstet er zwei Schiffe mit einem neuartigen Windantrieb aus, den nach ihm benannten Flettner-Rotoren. Die aufrecht stehenden Zylinder auf dem Deck werden durch einen Elektromotor in Drehung versetzt. **Die dort eingesetzte**

Energie wird durch Wind vervielfacht. Stichwort Magnus-Effekt: Bläst der Wind gegen den rotierenden Zylinder, wird die Luft auf der einen Zylinderseite mitgerissen und fließt schneller. Auf der anderen Seite, wo die Oberfläche dem Wind entgegenläuft, wird sie abgebremst und strömt langsamer. Dadurch entsteht – wie bei einem Flugzeugflügel – auf der einen Seite Unterdruck, auf der anderen Überdruck. **Die Folge: kräftiger Schub, zehnmals stärker als bei klassischen Segeln.** Zwar sind Flettners Schiffe ein paar Jahre lang auf den Weltmeeren unterwegs, dann setzt sich allerdings Öl als Treibstoff durch – es ist billig zu haben. Somit geht die Technik unter. Bis vor ein paar Jahren: Die Firma Enercon stellt 2010 das E-Ship 1 (unten) mit Flettner-Säulenantrieb vor. Vier Aluminiumrotoren unterstützen den Schiffsmotor. Seit 2014 setzt die finnische Firma Norsepower Leichtbau-Rotoren auf mehreren Schiffen ein. Die Kosten sollen sich nach vier bis acht Jahren amortisieren. Nachteil der Flettner-Idee: Ausgerechnet die riesigen Containerschiffe, bei denen der Einsatz energetisch besonders sinnvoll wäre, können sie nicht nutzen. Grund: kein Platz an Deck.

90 kW

Strom für die Elektromotoren multiplizieren sich in den Leichtbau-Flettner-Rotoren von Norsepower bei guten Windverhältnissen laut Betreiber zu einem Equivalent von 3 MW konventioneller Antriebskraft.



Fazit

Die Liste der gescheiterten Erfindungen ließe sich beliebig verlängern – Reinhold Bauer nennt zum Beispiel das Riesenwindrad Growian, den Schnellen Brüter, den Wankelmotor oder den Transrapid. Es gibt aber auch aktuelle Beispiele. Bauer: „Tendenziell depressiv machen mich futuristische Anachronismen wie der Volocopter, mit denen meines Erachtens überholte Individualverkehrs-Leitbilder (Flugauto) in die Zukunft der Mobilität fortgeschrieben werden, für die wir eigentlich andere, nachhaltigere Lösungen bräuchten.“ Wie dem auch sei – eines ist laut Bauer sicher: „Scheitern – und nicht der Erfolg – ist der Regelfall bei technischen Innovationen.“



Der Autor

Zwar nicht technisch, aber klassisch ist Autor **Roland Löwisch** auch schon gescheitert: Bei der ersten Diplomarbeit in BWL, die der betreuende Professor als „zu journalistisch“ ablehnte. Schöner kann Scheitern gar nicht sein, wenn man Redakteur werden will ...

Innovation ist Trumpf!

Mit einer genialen Idee zum Weltkonzern. 1950 revolutioniert Georg Schaeffler mit der Verbesserung des Nadellagers die Technikwelt. Über die Jahrzehnte entwickelt der Zulieferer, der seinen Namen trägt, immer neue Technologien, die Autos zuverlässiger und effizienter machen. Spielen Sie mit uns das Schaeffler-Innovationsquartett!

1950

Käfiggeführtes Nadellager



Ende der 1940er-Jahre beginnt Georg Schaeffler mit der Entwicklung des revolutionären käfiggeführten Nadellagers. 1950 wurden die kompakten, leichten und zuverlässigen Lager zum Patent angemeldet und kurz danach im **Auto Union DKW F89** verwendet. Es folgen Mercedes-Benz, Adler und weitere Serienaufträge. Auch der avantgardistische Citroën DS (1955) wird dank der drehzahlfesten Schaeffler-Innovation autobahntauglich.



1964

Tellerfederkupplung

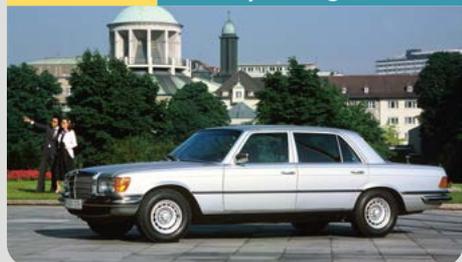


In den 1960er-Jahren werden die Fahrzeuge immer leistungsstärker. Das macht die übliche Schraubenfederkupplung aufgrund ihrer hohen Pedalkräfte unkomfortabel. 1964 schließen Schaeffler und VW einen Vertrag über die Lieferung der zeitgemäßerer Tellerfederkupplung für den **VW 1600**. Schnell fährt die Produktion auf 25.000 Stück pro Monat hoch.



1975

Hydraulischer Ventilspielausgleich



Als einer der ersten Hersteller in Europa liefert Schaeffler hydraulische Ventilspielausgleichselemente in Großserie. Durch deren Verwendung wird ab 1975 die geräusch- und verschleißarme sowie wartungsfreie Arbeitsweise des Ventiltriebs im V8-Motor des **Mercedes 450 SEL** sichergestellt. Schnell entwickelt sich diese Technik zum Standard.



1985 Zweimassenschwungrad



Im Hause der Schaeffler-Marke LuK wird Anfang der 1980er-Jahre das Zweimassenschwungrad erfunden. Das neuartige Dämpfungselement kommt erstmals 1985 im **BMW 525e** zum Einsatz und sorgt prompt für Furore. Die Innovation ermöglicht den Siegeszug der Turbodiesel, die in den 1980er-Jahren die Torsionsfedern in den Kupplungsscheiben an ihre Grenzen bringen. Die produzierte Stückzahl liegt aktuell bei 120 Millionen.



1986 Hydraulischer Kettenspanner



Mit dem **Porsche 959** stellt die Sportwagenschmiede 1986 das Optimum des technisch Machbaren auf die vier angetriebenen Räder mit Reifendruck-Kontrolle. Unter anderem mit an Bord des über 300 km/h schnellen Supersportwagens sind hydraulische Kettenspanner. Eine Schaeffler-Erfindung, über die sich Porsche-Fahrer auch im 911 freuen.



1995 Generatorfreilauf



Als Systemlieferant entwickelt und fertigt Schaeffler Spann- und Umlenkrollen, hydraulische und mechanische Riemenspannsysteme sowie Generatorentkopplungen. Im **Audi A4** kommt 1995 der Generatorfreilauf zum Einsatz und sorgt unter anderem für eine Reduzierung der Drehungleichförmigkeiten im Riemetrieb. Daraus resultiert höherer Laufkomfort, verbessertes Geräuschverhalten und eine längere Lebensdauer aller Komponenten.



1999 Stufenloses Automatikgetriebe



Schaeffler und Audi stellen 1999 ein innovatives stufenloses Automatikgetriebe vor – Multitronic oder CVT (Continuously Variable Transmission) genannt. Vorteil: Das Getriebe variiert die Übersetzung – ruckfrei, ohne Zugkraftunterbrechung – und optimiert damit den Beschleunigungsvorgang. Das erste in Serie hergestellte Drei-Liter-Modell **VW Lupo 3L** verdankt seinen Mini-Verbrauch auch dem CVT.



1999 Variable Ventilsteuerung



Mit der variablen Ventilsteuerung VarioCam Plus setzt der **Porsche Turbo** der erstmals wassergekühlten Modellreihe 996 ab 1999 neue Maßstäbe in Sachen Effizienz und Leistungsfähigkeit. Mit dieser von Schaeffler zugelieferten Technologie lässt sich die Motorcharakteristik an die jeweilige Fahrsituation anpassen. Später wird VarioCam Plus auch in anderen Modellen der Baureihe eingesetzt.



2004 Schaltbarer Rollenstößel



Als der **Chrysler 300C** im Jahr 2004 auf die Straße kommt, beweist Schaeffler einmal mehr seine Kompetenz im Bereich der variablen Ventiltriebe. Für die Zylinderabschaltung des hubraumgewaltigen Achtzylinders kommt ein schaltbarer Rollenstößel zum Einsatz. Durch die Umschaltung zwischen Voll- und Nullhub trägt er dazu bei, Kraftstoffverbrauch und Abgasemissionen zu reduzieren.



2008 Trockene und nasse Doppelkupplungen



Fahren ohne Zugkraftunterbrechung: Das ermöglichen trockene und nasse Doppelkupplungen von Schaeffler (LuK). Mit der Technologie lässt sich das Drehmoment des Motors ohne Unterbrechung an die Räder und somit auf die Straße übertragen. Die trockene Doppelkupplung feiert 2008 im **VW Touran** und im VW Golf Premiere. Die Getriebetechnologie findet auch in Volkswagens Hightech-Fahrzeug XL1 Verwendung.



2009 Elektrohydraulisches Ventilsteuerungssystem



Mit der Serieneinführung des weltweit ersten vollvariablen elektrohydraulischen Ventilsteuerungssystems UniAir schafft Schaeffler 2009 neue Möglichkeiten für die Entwicklung umweltfreundlicher und zugleich dynamischer Motorentechnologien. Premiere feiert UniAir im **Alfa MiTo**. Bis heute hat sich das System mehr als eine Million Mal verkauft.



2015 Mechatronischer Wankstabilisator



Mit dem mechatronischen Wankstabilisator schlägt Schaeffler ein neues Kapitel in der Fahrwerktechnik auf. 2015 erfolgt die Markteinführung im **Bentley Bentayga**. Damit ist die Innovation die weltweit erste 48-Volt-Anwendung im Fahrwerksbereich eines Serienautos. Die hochdynamische und präzise Regelung ermöglicht ein perfekt abgestimmtes Fahrzeug mit maximaler Spreizung zwischen Komfort und Sportlichkeit.



2018 E-Achse



Elektromobilität ist einer der Innovationstreiber für Schaeffler. Komponenten wie Getriebe für elektrische Achssysteme, etwa für den **Audi e-tron**, fertigt der Zulieferer längst in Großserie. Diese können allein eingesetzt werden oder einen bestehenden Vorder- oder Hinterachs- zu einem vollwertigen Allradantrieb erweitern. Die spezielle Drehmomentverteilung zwischen rechtem und linkem Rad erhöht Sicherheit, Fahrdynamik und Fahrkomfort spürbar.



2019 Space Drive



Im Rahmen des 24h-Rennens auf dem Nürburgring präsentiert Schaeffler Paravan einen **Audi R8 LMS** mit der Steer-by-Wire-Technologie Space Drive – den ersten Rennwagen ohne Lenksäule. Weitere Rennautos und -einsätze folgen. Die dort gesammelten Erfahrungen unterstützen die Entwicklung des aus der Behindertenmobilität kommenden Systems. Space Drive ist eine Schlüsseltechnologie für automatisiertes und vernetztes Fahren.



2020 XTRONIC XCU



Der in Kooperation zwischen Schaeffler, ABT und VW Nutzfahrzeuge elektrisierte **VW T6.1** ist mit der XTRONIC Control Unit (XCU) ausgerüstet. In der XCU sind Sicherheits-, Überwachungs-, Bedien- und Komfortfunktionen in nur einem System vereint. Außerdem vernetzt die XCU alle Fahrassistenzsysteme, erhebt und vereinheitlicht alle relevanten Fahrzeug- und Systemdaten. Damit legt die XCU die technische Grundlage für autonomes Fahren.



Von Spielern und Helfern

Automat, Roboter, Humanoid, Android, Cobot – egal, welche Namen die künstlichen Entertainer und Arbeiter bekamen und was sich dahinter verbirgt, die Grundlagen dieser innovationsreichen Erfolgsgeschichte wurden bereits vor rund 3.000 Jahren gelegt.



Von Roland Löwisch

Es wird wohl niemand intervenieren bei der Behauptung, dass Roboter nur deshalb existieren, weil Homo sapiens von Natur aus unterhaltungssüchtig und arbeitsscheu ist. Oder um es für uns freundlicher zu formulieren: nach maximaler Effizienz strebt. Die Bestätigung finden wir schon in der Sagenwelt. Zum Beispiel in der griechischen Mythologie: Dort soll der Gott Hephaistos sich Werkstattgehilfen und Wächter gebaut haben. Vulcanus, der römische Gott des Feuers, stellte gar Sklavenmädchen aus Gold her. In der jüdischen Literatur taucht der Golem auf. Ein mit Lehm und Buchstabenmystik zum Leben erweckter Gigant, der seinem Erschaffer

dient und ihn beschützt, ohne aber selbstständig handeln oder sprechen zu können.

Der Drang des Menschen, ein künstliches Abbild seiner selbst als nützliche Arbeitskraft zu erschaffen, ist also verblüffend alt. Die ersten echten Automaten waren allerdings weitaus weniger universell einsetzbare Helfer. Als erste bekannte mechanisch arbeitende und einem Humanoiden ähnliche Figur gilt die singende und tanzende Puppe des Yan Chi aus Holz und Leder im 10. Jahrhundert vor Christi Geburt. Zeitgenössischen Schriften zufolge muss sie sehr echt gewirkt haben: „Der König starrte die

Gestalt erstaunt an. Sie ging mit schnellen Schritten und bewegte ihren Kopf auf und ab, sodass jeder sie für einen lebenden Menschen gehalten hätte.“

Aristoteles (384–322 v.Chr.) dachte wie immer weiter – er glaubte, dass Automaten die Sklaverei abschaffen könnten: „Wenn jedes Werkzeug auf Geheiß, oder auch vorausahnend, das ihm zukommende Werk verrichten könnte, so bedürfte es weder für den Werkmeister der Gehilfen noch für die Herren der Sklaven.“

Zumindest einen kleinen Schritt in diese Richtung ging auch Philon von Byzanz im 3. Jahrhundert vor Christus mit seinem „automatischen Dienstmädchen“. Die mechanische Dame konnte, gesteuert mit Druck, Unterdruck und Gewichtsveränderung, einen Wein/Wasser-Mix einschenken. 60 n.Chr. soll verschiedenen Quellen zufolge Heron von Alexandria den ersten programmierbaren



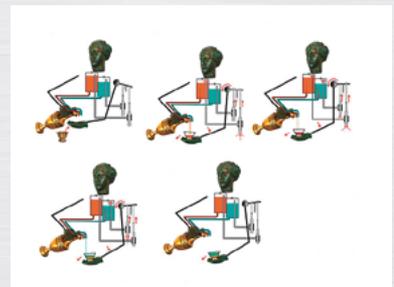
Roboter erschaffen haben. Der Ingenieur und Autor zahlreicher antiker Innovations-Fibeln wie Dioptra, Pneumatika oder Automata, konstruiert zur Unterhaltung des Publikums im Amphitheater einen Wagen mit einem Sandmotor als Antriebskraft. Führerlos konnte das Fahrzeug die Richtung ändern und sich entlang eines vorprogrammierten Parcours bewegen. Dieser primitive Mechanismus ist einer modernen binären Computersprache sehr ähnlich; altmodische Lochkarten funktionierten nach genau dem gleichen Prinzip. Ein mechanisches Kabinettstückchen ist auch das von Philon von Byzanz ersonnene und von Heron weiterentwickelte vollautomatisch vorgetragene Theaterstück. Spielzeit der antiken und binär gesteuerten



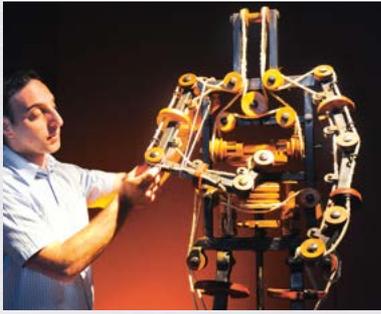
1000 v. Chr.

Lass mal andere machen ... eine Idee, die schon in vielen altertümlichen Sagen und Mythologien **in Form von künstlich erschaffenen Kreaturen** aufgegriffen wird, die sich Götter unterstützend zur Seite stellen – so wie Roboter heute dem Menschen helfen. Oben ist eine Darstellung des Golem gezeigt, ein aus der jüdischen Mythologie stammender Koloss, der seinem Erschaffer mit gewaltigen Kräften dienen und ihn schützen soll.

3. Jh. v. Chr.



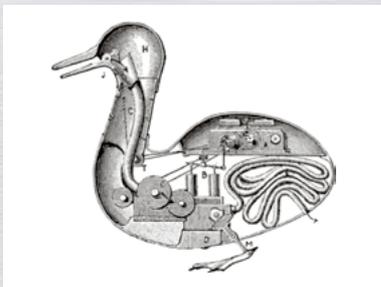
Das „automatische Dienstmädchen“ des Philon von Byzanz **konnte ein Wein/Wasser-Gemisch einschenken**. Dazu musste man ihr einfach einen Becher in die freie Hand stellen. Dessen Gewicht setzte den Mechanismus in Betrieb. Wenn der Becher voll war, stoppte der Vorgang ebenfalls gewichtsgesteuert automatisch.



um 1500

Das Universalgenie Leonardo da Vinci (1452–1519) entwarf Dutzende automatisch arbeitende Maschinen, darunter einen **Ritterroboter**. Diese Skizzen gelten als erster historischer Beleg eines Humanoiden. 2002 erweckte NASA-Roboterexperte Mark Rosheim da Vincis Entwurf anhand der Zeichnungen und mit Materialien aus damaliger Zeit zum Leben. Dieses Modell wurde bereits mehrfach ausgestellt (Foto).

1740



Jacques de Vaucanson (1709–1782) war ein französischer Ingenieur. Er träumte davon, einen möglichst akkurat funktionierenden künstlichen Menschen zu erschaffen. Es blieb ein Traum. Sein mechanischer Flötenspieler trug über eine mechanische Stiftwalze mit zwei Bewegungsrichtungen aber immerhin ein Repertoire von zwölf Liedern vor. **Noch lebensechter war Vaucansons mechanische Ente mit mehr als 400 beweglichen Einzelteilen.** Aber auch sie war letztlich eine Spielerei. Deutlich bahnbrechender war der weltweit erste vollautomatische Webstuhl, den der Franzose 1745 vorstellte.



Animation: immerhin fast zehn Minuten.

Echte frühe Robotik findet sich aber erst bei dem arabischen Ingenieur al-Dschazarī im 12. Jahrhundert n. Chr. Er entwarf humanoide und programmierbare Automaten. Möglicherweise ließ sich Leonardo da Vinci von diesem frühen Menschen 2.0 inspirieren: Er schuf mit der Zeichnung eines Ritterroboters den ersten geschichtlich belegten Humanoiden – der hätte theoretisch verschiedene Bewegungen ausführen können wie Kiefer bewegen, aufrichten und winken. Hilfreich dabei waren sicher da Vincis anatomische Studien des menschlichen Körpers.

Frankenstein lässt grüßen

Bei der Erschaffung künstlicher Menschen melden sich zu jener Zeit auch die Alchemisten zu Wort. Der Schweizer Naturforscher Paracelsus zum Beispiel beschrieb 1538, wie er einen „Homunculus“ erschafft: mit Pferdemit und Männersperma, welches man im Kolben erwärme, und zwar „auf 40 Tage oder so lang, bis er lebendig werde und sich bewege und rege ...“. Bei guter Fütterung „wird ein recht lebendig menschlich Kind daraus mit allen glitmaßen ...“. Frankenstein's Monster lässt grüßen – auch wenn das erst ab 1888 die Leser gruselte.

Weniger erschreckend, dafür umso realistischer geriet die Roboter-Ente des Spielzeugmeisters Jacques de Vaucanson im Jahr 1740. Die konnte mit den Flügeln schlagen, schnattern, Wasser trinken und nach Körnern picken und diese sogar über einen Gummidarm wieder ausscheiden. Als erster realer humanoider Roboter moderner Bauart gilt ein Soldat mit einer Trompete, der 1810 von Friedrich Kaufmann in Dresden hergestellt wurde. Auch er war eher von unterhaltsamem statt nützlichem Wert. Gleiches gilt für den japanischen Druckluft-Humanoiden Gakutensoku (1927) oder den mit E-Motoren und Magneten bewegten und ferngesteuerten Aluminiummann Eric (1928). 1939 betrat Elektro die Welt. Das Riesengerät (2,1 Meter hoch, 120 Kilo schwer) konnte sogar sprechen – 700 Worte, die von einem Plattenspieler kamen.

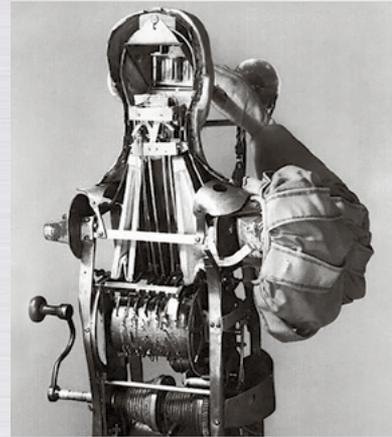
All diese Maschinen waren zwar mechanische Meisterstücke ihrer Zeit, aber von der in vielen Geschichten über die Jahrhunderte hinweg immer wieder auftauchenden Idee einer „klugen Maschine“ waren sie so weit weg wie der Schachroboter von Wolfgang von Kempelen anno 1783 – in Kempelens Wunderapparat steckte keine künstliche Intelligenz, sondern ein kleiner Mensch.

Von der Schildkröte zum Akkordarbeiter

Erst nach dem zweiten Weltkrieg erlebte die Robotik einen rasanten Aufstieg – einerseits durch Konrad Zuses ersten Computer im Jahr 1938, andererseits durch die Erfindung des Transistors 1947. Die ersten elektronischen autonomen Roboter mit komplexem Verhalten baute William Gray Walter ab 1948. Seine Geschöpfe Elmer und Elsie waren allerdings so langsam, dass sie als „Schildkröten“ bekannt wurden.

Die heute typischen Knickarmroboter in der Industrie basieren alle auf Erfindungen von George Devol und Joseph Engelberger. Sie entwickelten und bauten 1954 mit Unimate den ersten elektronischen Industrieroboter. Laut Engelberger waren Servomechanismen, binäre Logik und Festkörperphysik die wichtigsten Werkzeuge für die Entwicklung von Robotern nach dem Zweiten Weltkrieg. Unimate landete übrigens 1961 – als erster Industrieroboter weltweit – bei GM im Werk Trenton in der Fertigung, um heiße Metallteile von einer Druckgussmaschine zu heben und zu stapeln.

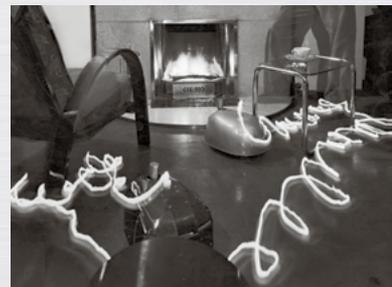
Von nun an ging es schnell: Die ersten hydraulisch bewegten Roboter tauchten 1960 auf. Das Stanford Research Institute stellte 1970 den ersten autonomen mobilen Roboter Shakey auf die Beine. Der „Zittrige“ konnte durch Bildverarbeitung sogar selbstständig navigieren. Japanische Forscher begannen 1973 an der Waeda-Uni in Tokio mit der Entwicklung ihres humanoiden Roboters Wabot 1. Der deutsche Roboterpionier KUKA baute mit Famulus den weltweit ersten Industrieroboter mit sechs elektromechanisch angetriebenen Achsen. 1974 stellte die schwedische Firma Asea den ersten vollständig elektrisch angetriebenen Roboter IRb6 vor – erstmals programmiert dank Mikrocomputer. 1984 spielte Wabot 2 groß auf – der Roboter konnte dank zehn Fingern und zwei Füßen Orgel spielen, Musik lesen und eine Person begleiten.



1810

Der Trompeter des Dresdner Instrumentenbauers Friedrich Kaufmann (1785–1865) gilt als **erster realer humanoider Roboter**. Und er hatte menschlichen Trompetern sogar etwas voraus: Die Maschine konnte Doppelklänge von gleicher Stärke und hoher Reinheit erzeugen, oder, wie es ein Zeitgenosse schrieb, „von wahrhaft himmlischer Harmonie“.

1948



In den Robotern Elmer und Elsie von William Gray Walter (1910–1977) steuerten **licht- und berührungsempfindliche Sensoren wie Nervenzellen** einen motorischen Antrieb. So konnten die schildkrötenähnlichen Maschinen tatsächlich ihren Weg um Hindernisse herum finden und gelten daher als erste elektronische autonome Roboter.

2014



Die japanische Firma Softbank präsentierte im Sommer 2014 Pepper, den nach eigenen Angaben **ersten persönlichen, zu Emotionen fähigen Roboter der Welt**. Heute sind weit über 10.000 der knopfäugigen Humanoiden weltweit im Einsatz. Die interaktiven Helfer sind auf dem Weg zum Massenprodukt.

Autobauer Honda widmete sich ab 1986 dem Roboterbau. 2004 gipfelte die Forschung im humanoiden Roboter Asimo, der als erster Roboter den menschlichen Gang kopierte. Überhaupt liebt Japan Humanoide. 2014 kam der „emotionale Roboter“ Pepper auf den Markt und wurde seitdem über 10.000-mal verkauft. Längst ist es in Japan selbstverständlich, dass die elektromechanischen Abbilder echte Menschen in Kaufhäusern und Hotels begrüßen und bedienen. Auch in der Krankenpflege sind humanoide Roboter etabliert. Andere Länder folgen dem Trend aus Japan. Rund um den Globus gehen Humanoide mit dem Menschen auf Tuchfühlung – und machen dabei auch auf emotionaler Ebene gewaltige Entwicklungsschritte.

Roboter produzieren sich selbst

Eine entscheidende Schwelle der Roboter-Evolution ist erreicht, wenn sich die Maschinen selbst entwickeln und bauen. Längst sind sie auf dem Weg dorthin. Schon im Jahr 2006 enthüllte die Cornell University ihren Starfish, einen vierbeinigen Roboter, der sich selbst modellieren konnte und sich

nach einem Schaden das Gehen neu lehrte. Mit wachsender Intelligenz beschleunigt sich diese Entwicklung, die von vielen als Dystopie empfunden wird. In diesem Zusammenhang rücken Bereiche wie Robotikrecht und Robotikethik immer mehr in den Vordergrund.



Die Zeit drängt, sich mit solchen Themen zu befassen, denn schon heute sind Roboter aus unserer Welt nicht mehr wegzudenken. Bis 2022 werden weltweit allein rund zwei Millionen Industrieroboter installiert sein. Hinzu kommen Jahr für Jahr Millionen von Servicerobotern, die Rasen mähen, Staub saugen, Alte pflegen oder, oder, oder. 2016 erbaute der Maurer-Roboter Hadrian X in zwei Tagen sogar ein ganzes Einfamilienhaus. Stein auf Stein, frei nach Aristoteles: „Wenn jedes Werkzeug auf Geheiß, oder auch vorausahnend, das ihm zukommende Werk verrichten könnte ...“

Spielerisches Ziel von Forschern ist es übrigens, bis 2050 eine Fußballmannschaft aus autonomen zweibeinigen Robotern zu entwickeln, die gegen den Fußball-Weltmeister antreten kann. Handfester ist die Perfektionierung des menschlichen Körpers zum Beispiel durch mechanische Teile oder hochauflösende Sensorik, mit den Zielen, schneller zu gehen, höher zu springen, besser zu hören, besser zu sehen. Das gipfelt in Ideen, dass robotisch erweiterte menschliche Körper den Post-Menschen darstellen. Der dann vielleicht sogar das Weltall besiedeln kann. So weit hat selbst der visionäre Aristoteles nicht gedacht.



Der Autor

Für die Geschichte über die Historie der Roboter ist Autor **Roland Löwisch** (nicht im Bild) prädestiniert. Denn er fühlt sich selbst wie einer – seitdem ein

Hund im Haushalt regiert. Ein Herrchen ist nämlich nichts anderes als ein Helfer und Entertainer in jeder Lage, der zu funktionieren hat ...

Dynamische Bewegung

Mehr Produktivität, mehr Verfügbarkeit, mehr Prozesssicherheit – die Anforderungen aus den Reihen der produzierenden Industrie wachsen. Um diese zu erfüllen, setzt die Robotik auf Leichtbauroboter (LBR) und kollaborative Roboter (Cobots): agile, vernetzte und hochpräzise arbeitende Helfer für Handling- und Montageprozesse mit Nutzlasten zwischen drei und 15 Kilogramm. Das Downsizing der Roboter betrifft auch deren Gelenke und stellt Zulieferer wie Schaeffler vor neue Herausforderungen.

Die Roboter-Hersteller verlangen in erster Linie steifere und kleinere Gelenke mit konstanter, möglichst geringer Reibung. Ebenso sind torsionssteifere Getriebe mit hohen Nennmomenten und kippsteifere Lagerungen gefragt. Die Lebensdauer und Verschleißfestigkeit der Komponenten sollen dabei nicht vernachlässigt werden. Zwei Neuentwicklungen der Schaeffler-Ingenieure rücken dabei in den Fokus:

Das Schrägnadellager XZU



Das innovative Schrägnadellager hat gegenüber den bisher für die Gelenkarmlagerung eingesetzten Kreuzrollenlagern eine erhöhte Anzahl tragender Wälzkörper – bei gleichbleibender Baugröße. Der Kunde kann für seine Anwendung kleinere Lagergrößen wählen, spart dadurch Bauraum und Gewicht. Es ergeben sich

insgesamt neue Möglichkeiten in der Entwicklung von LBRs und Cobots. Für den Anwender entstehen immer weitere Einsatzbereiche. Durch die X-Anordnung der Nadeln in zwei Laufbahnen erhöht sich die Steifigkeit im Vergleich zu Kreuzrollenlagern je nach Baugröße um mindestens 30 Prozent. Durch das Führen der Wälzkörper in Käfigen und die Anordnung in zwei statt in nur einer Laufbahn hat das XZU außerdem eine um 20 Prozent reduzierte Reibung. Das Ergebnis: eine höhere Genauigkeit in der Bewegung und weniger Nachschwingen bei Anfahren der End-



position. Insgesamt sind weniger Regelprozesse notwendig, und höhere Geschwindigkeiten können realisiert werden. Der Produktionsablauf wird in der Folge wesentlich effizienter.

Das Präzisionsgetriebe DuraWave

Schaeffler bietet für Robotergerlenke einbaufertige Untersetzungsgetriebe, auch als „Speed Reducer“ bezeichnet, in Silk-Hat-Ausführung an. Durch das Funktionsprinzip des Wellgetriebes erhält man hohe Untersetzungen und daher entsprechend hohe Drehmomente bei einer verhältnismäßig leichten Bauweise. Das Präzisionsgetriebe von Schaeffler zeichnet sich durch Spielfreiheit, Positioniergenauigkeit, Kompaktheit und Beständigkeit beziehungsweise eine hohe Lebensdauer aus. Gerade die hohe Lebensdauer der Getriebe ist bei Robotern, die zuverlässig und möglichst ohne Stillstandszeiten arbeiten müssen, ein entscheidendes Merkmal. Je nach Baugröße bietet Schaeffler Untersetzungen von 50:1 bis 150:1 an. Die daraus resultierenden Drehmomente werden durch die robuste Bauweise und die Kombination des Getriebes mit dem steifen Schrägnadellager XZU sicher und präzise übertragen. Daraus resultiert, dass der Roboter dynamisch, genau und ohne hohe Nachschwingeffekte in die Endposition gefahren werden und sehr effizient arbeiten kann. Sortier-, Handhabungs- und Montagearbeiten können in kurzer Zeit genau ausgeführt werden.



Geniestreich – von gestern bis übermorgen

Vor 70 Jahren reichte Dr.-Ing. E. h. Georg Schaeffler das käfiggeführte Nadellager als Patent ein und revolutionierte so die Lagerungstechnologie – bis heute.

Von Stefan Pajung

Vor 70 Jahren revolutionierte Dr.-Ing. E. h. Georg Schaeffler die Lagerungstechnologie. Die Idee: den Nadeln im Nadellager mittels Käfig mehr Führung zu verleihen. Im Februar 1950 starteten die ersten Versuche. Die Ergebnisse überzeugten, die Bauteile waren extrem verschleiß- und reibungsarm. Im September 1950 wurde das Patent angemeldet, kurze Zeit später konnten die ersten Serienaufträge gewonnen werden. „Mit dieser Erfindung hat mein Vater die Grundlage für das rasante Wachstum unseres Unternehmens gelegt. Das käfiggeführte Nadellager ist eine der wichtigsten Innovationen unserer Unternehmensgeschichte als Automobil- und Industrielieferer“, sagt Georg F. W. Schaeffler, Familiengesellschafter und Aufsichtsratsvorsitzender. „Denn die Entwicklung dieses Produktes zeigt eindrucksvoll, was uns auszeichnet: Wir haben beim käfiggeführten Nadellager sämtliche Synergien genutzt, um mit diesem innovativen Produkt alle relevanten Zielmärkte zu bedienen und echten Kundennutzen zu generieren – sowohl in der Automobil- als auch in der Industriebranche.“

Höhere Drehzahlen, geringere Reibung

Mit der Erfindung behob Georg Schaeffler gravierende Nachteile der früher üblichen

vollnadeligen Lager: Die langen Nadelrollen neigten zum Schränken und damit zum Blockieren. Zudem entstand viel Reibung zwischen den sich gegenläufig drehenden Nadelrollen. Das käfiggeführte Nadellager erlaubte höhere Drehzahlen bei geringerer Reibung. Insbesondere für die Entwicklung kleiner, leistungsfähiger und kostengünstiger Automobile leistete das Nadellager einen unschätzbaren Beitrag. Auch im Maschinen- und Anlagenbau, in Bau- und Landmaschinen sowie in der Fördertechnik kamen Nadellager nach und nach zum Einsatz.

Auch in Zukunft unverzichtbar

In der E-Mobilität sind Nadellager für die Funktion zahlreicher elektrifizierter Getriebe unverzichtbar. Ein Anwendungsbeispiel ist etwa das seit 2018 für den Audi e-tron produzierte Schaeffler-E-Achsgetriebe. Auch in der Industrie können bei den immer stärker nachgefragten Leichtbaurobotern durch den Einsatz von Nadellagern die Gelenkstellen mittels Downsizing leicht und kompakt ausgeführt werden. Neuestes Beispiel ist das Schrägnadellager XZU von Schaeffler, das sowohl als Gelenkarmlager in Leichtbaurobotern und Cobots als auch als Hauptlagerung in Präzisionsgetrieben für Untersetzungsgetriebe in Robotergelenken eingesetzt wird. „Auch in Zukunft werden sich Dinge

» Auch in Zukunft werden sich Dinge mechanisch bewegen. In deren Zentrum befindet sich das käfiggeführte Nadellager – ein perfektes Bauteil!

Andreas Schick,
Schaeffler-Vorstand Produktion



Urahn und Enkel: Nachbildung des ersten käfiggeführten Nadellagers von 1950 (links) und das moderne Schrägnadellager XZU für Leichtbauroboter



» Das käfiggeführte Nadellager ist eine unserer wichtigsten Innovationen

Georg F. W. Schaeffler,
Aufsichtsratsvorsitzender der
Schaeffler AG und Gesellschafter
der Schaeffler Gruppe

mechanisch bewegen. In deren Zentrum befindet sich das käfiggeführte Nadellager – ein perfektes Bauteil! Es ist kosteneffizient und nutzt den Raum ideal“, sagt Andreas Schick, Produktionsvorstand bei Schaeffler.

Technologische Entwicklung

Was mit einer genialen Idee von Georg Schaeffler begann, ist im Laufe von 70 Jahren hinsichtlich Leistungsfähigkeit und Typenvielfalt von Schaeffler-Ingenieuren kontinuierlich weiterentwickelt worden. Im Vergleich zu einem Massiv-Nadellager aus den 50er-Jahren hat sich bei gleichen Abmessungen die Lebensdauer um das Fünfzehnfache und die statische Tragfähigkeit um das Dreifache erhöht. Die durch den Nadelkranz enorm verbesserte Leistungsdichte bietet erhebliche Downsizing-Potenziale für energie- und ressourcenschonendere Anwendungen. Auch die Typenvielfalt wuchs stetig:

Heute umfasst das Schaeffler-Nadellagerportfolio mehr als 15.000 Varianten für die unterschiedlichsten Anforderungen. Die Länge der Drähte zur Produktion der jährlich 60 Milliarden Nadelrollen würde ausreichen, sie 18-mal um den Äquator zu wickeln. Jeden Tag werden fast 170 Millionen Nadelrollen daraus produziert. 100 Milliarden Nadellager wurden bei Schaeffler seit der Patentanmeldung 1950 produziert.

Jetzt-Zeit

Leben mit dem Fortschritt

**» Geben Sie mir sechs
Stunden Zeit, um einen Baum
zu fällen, und ich werde
die ersten vier Stunden
damit verbringen, die Axt zu
schärfen**

Abraham Lincoln



Er rollt und rollt und rollt

Reibung bremst. Wer wüsste das besser als Lager-spezialist Schaeffler. Gewicht und Luftwiderstand hemmen den Vorwärtsdrang ebenfalls. Die Erbauer des Schienenfahrzeugs Eximus IV haben an vielen Stellschrauben gedreht, um ihr Projekt mit maximaler Mühelosigkeit und Effizienz anzutreiben. Das Ergebnis ist mehr als erstaunlich: Brauchte die erste Eximus-Version 2016 noch 0,84 Wattstunden

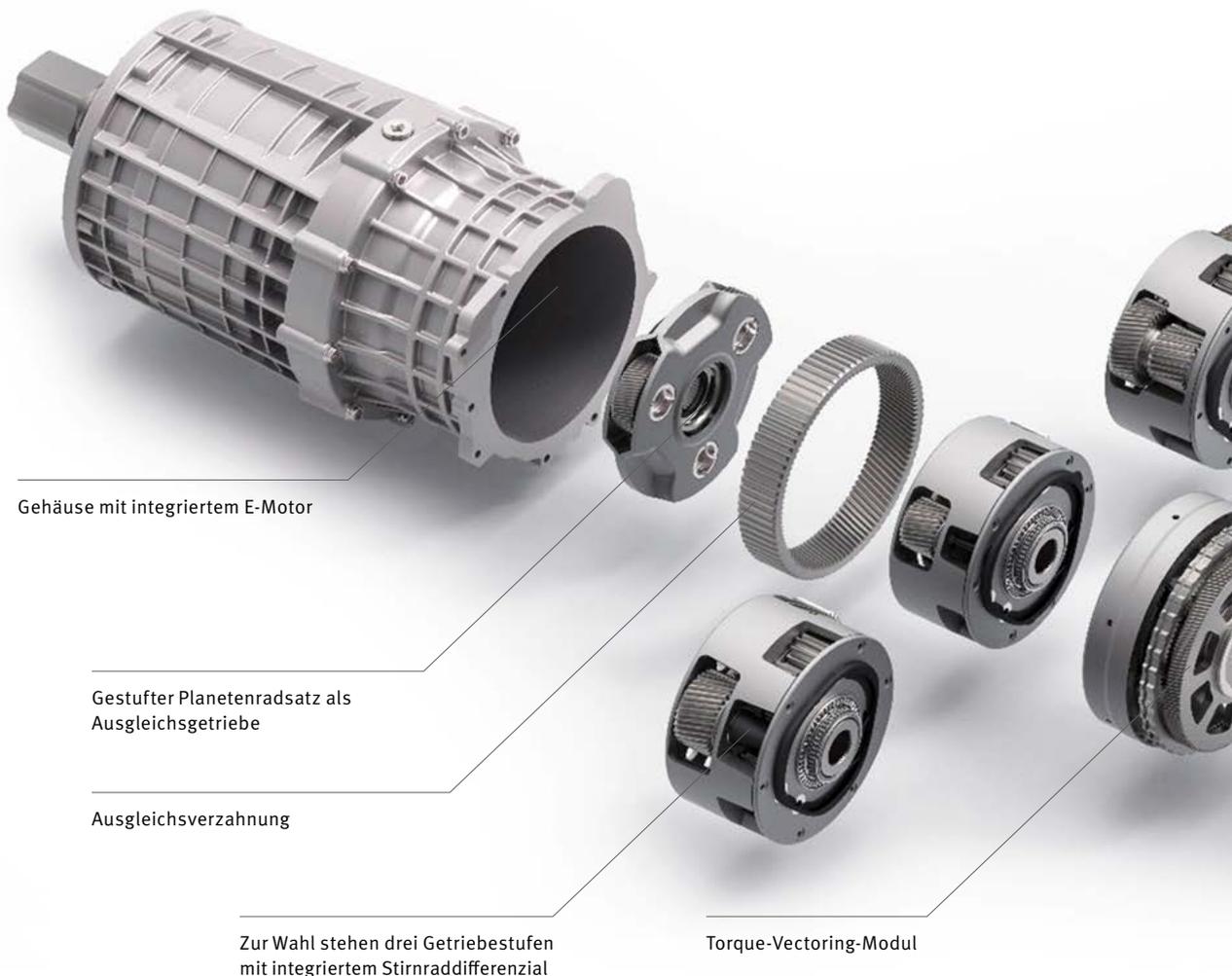
elektrischer Energie, um eine Person einen Kilometer weit zu transportieren, reichen dem aktuellen Eximus IV 0,517 Wattstunden – neuer Effizienz-Weltrekord. Wie wenig das ist, erschließt sich spätestens, wenn der Wert in „Benzin“ umgerechnet wird: Mit dem Energiegehalt aus einem Liter Super könnte der Eximus IV rechnerisch mehr als 16.000 Kilometer weit rollen und rollen und rollen.



Quelle: Umweltbundesamt

Für alles eine innovative Lösung

Der Umbruch in der Antriebstechnologie schreitet rasant voran. Hybride oder rein elektrische Systeme ergänzen oder ersetzen konventionelle Antriebe. Basierend auf jahrzehntelanger Expertise entwickelte Schaeffler einen modularen E-Achsen-Baukasten, der ein großes, universelles Produktportfolio ermöglicht.



Gehäuse mit integriertem E-Motor

Gestuftes Planetenradsatz als Ausgleichsgetriebe

Ausgleichsverzahnung

Zur Wahl stehen drei Getriebestufen mit integriertem Stirnraddifferenzial

Torque-Vectoring-Modul

Von Stefan Pajung

Mit dem E-Achsen-Baukasten ermöglicht Schaeffler seinen Partnern in der Automobilindustrie, ihre Plattformen allen Marktanforderungen anzupassen – dank hoher vertikaler Integration, Modularität und Skalierbarkeit.

Dank des modularen E-Achsen-Konfigurators können effiziente, kompakte und hoch integrierte Systeme mit hoher Leistungsdichte sowohl für 48-Volt-Hybrid- als auch für 400- und 800-Volt-Technologie in kurzer Zeit entwickelt werden. Die Performance-Bandbreite reicht von 15 kW bis über 300 kW. Sowohl achsparallele als auch koaxiale Anordnungen sind realisierbar.

Mit exzellenter Fertigungskompetenz und hoher Flexibilität in der Entwicklung sind neuartige Lösungen in kürzester Zeit marktreif. Und das über die gesamte Produkt-Pyramide – von Wickelprozessen über Komponenten wie E-Motoren oder Kupplungen bis hin zu komplexen 3in1-E-Achs- und Hybridsystemen – inklusive Leistungselektronik und Software.



Besuchen Sie den virtuellen Messestand „Powertrain & Energy“ und erfahren Sie mehr über Antriebstechnologien von Schaeffler

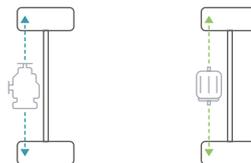


Antriebsstrategien

Schaeffler hat für jede Antriebsform die passende Lösung im Programm

Strategie 1

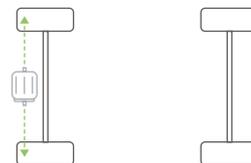
Ein Verbrennungsmotor + eine E-Achse



Der Verbrennungsmotor treibt eine Achse an, der E-Motor die jeweils andere. E-Antriebe von Schaeffler sind für beide Anordnungen in diversen Leistungsstufen konfigurierbar.

Strategie 2

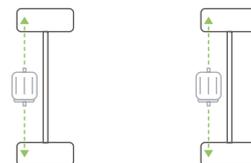
Eine E-Achse



Reiner Elektroantrieb – gespeist durch Batterie oder Brennstoffzelle. Auch hier kann der E-Antrieb wahlweise an der Vorder- oder an der Hinterachse montiert werden.

Strategie 3

Zwei E-Achsen



Reiner Elektroantrieb, aber mit jeweils einem Elektromotor an der Vorder- und einem an der Hinterachse – für mehr Dynamik und Effizienz.

Beispiel für eine E-Achse: 3in1-E-Achssystem in koaxialer Anordnung mit integrierter Leistungselektronik



Grenzenlos

Grenzen sind da, um verschoben zu werden. So wie es technische Innovationen immer wieder mit den Grenzen des Machbaren tun. Janis McDavid freut's. Denn nur Hightech erlaubt ihm seine mobile Freiheit. Ob mit dem eigenen Transporter oder wie kürzlich im 334-PS-Rennwagen. Das Besondere: Der junge Mann kam ohne Arme und Beine zur Welt.

Von Björn Carstens

Dieses eine Wochenende Ende Oktober 2020 bleibt Janis McDavid wohl ewig in Erinnerung. Wie er in den extra angefertigten, feuerfesten Rennanzug schlüpft, den Helm überstreift und in den BMW-Boliden hüpf, um mit 200 km/h in der Spitze über den Hockenheimring zu rasen. Durch die legendäre Parabolika, ohne Hände am Lenkrad – wie auch? Stattdessen klemmt ein Joystick unter seiner Achsel. Sein Motto: grenzenlos denken. „Schon als Kind habe ich davon geträumt, coole Sportwagen zu fahren“, erzählt der Endzwanziger. Dieser Traum sei nun in einem BMW M3 in Erfüllung gegangen. Doch wie bewegt ein Mensch ohne Gliedmaßen ein Rennauto?



In einem speziell angepassten Sitz hat Janis McDavid den nötigen Halt im BMW M3. Mit dem Joystick unter der linken Achsel steuert er den Hightech-Renner

Dass scheinbar Unmögliches möglich wird, verdankt McDavid der Drive-by-Wire-Technologie Space Drive, mit der die Paravan GmbH seit fast 20 Jahren schwerstbehinderten Menschen selbstständiges Autofahren ermöglicht – seit 2018 im Joint Venture mit Schaeffler. Beim Space-Drive-System ersetzen Kabel die althergebrachten mechanischen Verbindungen. Lenken, bremsen und beschleunigen funktioniert über elektrische Impulse. Drei sich gegenseitig überwachende Steuerchips sorgen dafür, dass das System abgesichert ist. Innovator dieser Technologie ist Roland Arnold, Gründer und Geschäftsführer von Paravan: „Wenn ich sehe, dass Janis jetzt auch auf der Rennstrecke fährt, ist das unglaublich. Diese Technologie wird in der Zukunft eine ganz zentrale Rolle bei der Entwicklung zukünftiger Fahrzeugkonzepte spielen und jedem zugutekommen.“ Insbesondere für das autonome Fahren gilt Space Drive als Schlüsseltechnologie.

320.000 Kilometer Freiheit

Der Traum vom Autofahren spielt in McDavids Leben seit jeher eine große Rolle. Selbst zu entscheiden, wohin und wann er fährt, bedeutet für ihn ultimative Freiheit. Seit zehn Jahren ist er nunmehr mit seinem von Paravan umgebauten Mercedes Sprinter unterwegs. 320.000 Kilometer unfallfrei. Über eine Laderampe steuert er den Hightech-Rollstuhl, ebenfalls aus dem Hause Paravan, ins Heck und hüpf nach vorn auf den Sitz. Genauso wie den Rennwagen bedient er auch seinen Kleinbus mit einem 4-Wege-Joystick. Nach hinten bedeutet beschleunigen, nach vorne bremsen, links und rechts



Janis McDavid und sein Paravan PR 50

Steuerung Mit einem Joystick gibt McDavid die Richtung vor. Nach hinten bedeutet beschleunigen, nach vorne bremsen. Andere Funktionen bedient er mit einem Pad auf Höhe des rechten Arms

Liftfunktion Die beste Hilfe im Alltag, um auf Augenhöhe mit seinen Mitmenschen zu kommunizieren

Branding Der Rollstuhl (Paravan PR 50) trägt die gleiche Startnummer wie der BMW-Rennwagen: die 49. Am 4. September hat McDavid Geburtstag

Antrieb Zwei leistungsstarke 300-Watt-Motoren bringen ihn überallhin. Wahlweise mit 6 oder 10 km/h. Die Akkus haben eine Reichweite von ca. 30 km und laden sich beim Bergabfahren auf

ist Lenken. „Den Rest erledige ich über einen Multifunktionsknopf auf Höhe meines rechten Arms“, sagt McDavid. Den Blinker setzen zum Beispiel. Technologie, die bewegt. Im wahrsten Wortsinn. Im Herbst 2019 entstand dann die Idee, diese Technologie in einem echten Racer zu verbauen. Roland Arnold zeigte McDavid sein jüngstes Projekt, einen Audi R8 LMS GT3, den ersten Sportwagen weltweit, der ganz ohne mechanische Verbindung zwischen Lenkeinheit und Lenkgetriebe auskommt – vom Deutschen Motor Sport Bund zugelassen. Warum nicht mal diese Technologie mit einem 4-Wege-Joystick auf der Rennstrecke testen? Keine Frage für Janis McDavid, dass er die fahrerische Herausforderung annimmt. „Das erste Mal die 200-km/h-Schallmauer zu durchbrechen, war ein Megagefühl.

Mein Fahrlehrer meinte zu mir: Hey, Junge, nicht auf den Tacho fokussieren, schau auf die Straße!“, schmunzelt er.

Space Drive behauptet sich immer mehr im Rennsport. Im Jahr 2020 kam die Schaeffler-Technologie bereits in fünf Boliden bei verschiedenen Sprintrennen und Testfahrten zum Einsatz, ab 2023 – so der Plan – dann auch in der neuen DTM. McDavid wird die Entwicklung genau verfolgen. Seine Premiere in einem Racer ist schon mal geglückt: „Wer hätte das gedacht, dass man nicht mal Arme und Beine braucht, um mit einem Rennwagen zu fahren.“ Ja, wer hätte das gedacht! Der Beweis: Dank Innovationen werden Grenzen neu definiert.

Tausendsassa Wasserstoff

Speichermedium, Antriebsenergie, Kohlenstoffersatz bei Industrieanwendungen: Wasserstoff wird so einiges zugetraut. Der Schaeffler-Wasserstoff-Experte Dr. Stefan Gossens macht den Trendcheck.

Von Oliver Jesgulke und Volker Paulun



Die drei Tanks des neuen Toyota Mirai fassen 5,6 kg Wasserstoff. WLTP-Reichweite: 650 km. Beim Vorgänger waren es 500 km. Ebenfalls ein großer Fortschritt gegenüber dem Vorgänger: Die Bauzeit eines einzelnen Brennstoffzellen-Stacks reduzierte sich von 15 Minuten auf wenige Sekunden

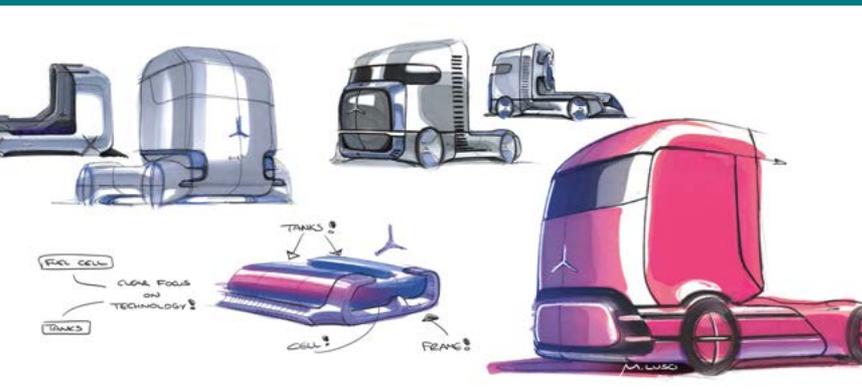
H₂ im Pkw

Schöner PR-Erfolg von Toyota: Der japanische Autobauer schenkte dem Papst einen zum „Papamobil“ umgebauten Mirai. Das sorgte für positive Schlagzeilen und ließ den Heiligen Vater in den exklusiven Club der Wasserstoffauto-Fahrer aufsteigen. Denn auch 40 Jahre nachdem das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) den ersten Wasserstoff-Pkw Europas präsentierte (einen modifizierten 5er-BMW), ist die Fahrzeuggattung ein Nischenprodukt. Dabei spricht einiges für den Einsatz von grünem Wasserstoff im Auto: vor allem die hohen Reichweiten, das schnelle Nachtanken und natürlich die Emissionen. Im Idealfall bleibt nur Wasser als Hinterlassenschaft zurück. Ein dünnes

Tankstellennetz (in ganz Europa sind es laut dem europäischen Automobilverband ACEA derzeit 140 Stationen, davon 76 in Deutschland), ein Modellangebot, das sich an einer Hand abzählen lässt, und vor allem die hohen Fahrzeugpreise, die fast doppelt so hoch sind wie bei einem vergleichbaren Verbrennerfahrzeug, verhindern bislang eine nennenswerte Verbreitung. Toyota ist zuversichtlich, dass sich das sukzessive ändert. Entstanden von der ersten Mirai-Generation in fünf Jahren 11.000 mehr oder weniger handgefertigte Exemplare, sollen es vom Nachfolger 30.000 Exemplare in Serienfertigung sein – pro Jahr. Konkurrent Hyundai plant bis 2025 den Verkauf von 110.000 Brennstoffzellenfahrzeugen, das wäre jedes sechste seiner E-Fahrzeuge.



Dr. Stefan Gossens, Leiter des Innovationsprogramms Energiespeicher und Wandler bei Schaeffler: „Technologisch zeigen Toyota, Hyundai und Honda einen beeindruckenden Reifegrad. Beim Preis noch nicht. Die aktuell angetretenen Hersteller erzielen keinen Gewinn, sichern sich aber einen Vorsprung gegenüber der Konkurrenz. Wenn die Fahrzeugpreise sinken, was sie zum Beispiel von der ersten zur zweiten Mirai-Generation um fast 20 Prozent getan haben, und das Tankstellennetz ausgebaut wird, könnte es durchaus sein, dass sich ein Markt für Wasserstoff-Pkw entwickelt.“



Wie viele Lkw-Hersteller setzt auch Daimler Trucks bei der Elektrifizierung seiner Fahrzeuge vom urbanen Verteiler- bis hin zum internationalen Fernverkehr auf die Brennstoffzelle. Die Skizzen oben zeigen Entwürfe des GenH2-Konzeptfahrzeugs. Geplanter Serienstart: Mitte des Jahrzehnts. Angepeilte Reichweite: 1.000 km

H₂ im Nutzfahrzeug

Im Nutzfahrzeuggestrich ist der Wasserstoff als Antriebsquelle bereits gut etabliert. Weltweit haben beispielsweise 50.000 Flurförderzeuge eine Brennstoffzelle an Bord. Bei Anbietern wie Linde, Jungheinrich, Toyota und Still sind die meisten Stapler in einer Wasserstoffvariante bestellbar und viele große Unternehmen stellen nach und nach ihre Intralogistik-

Flotten um – Stichwort CO₂-freie Produktion. Das Branchennetzwerk Clean Intralogistics Net (CIN) unterstützt diese Entwicklung. Mit dabei: Schaeffler. Zusammen mit anderen Partnerfirmen treibt CIN die Marktaktivierung und Marktentwicklung der Brennstoffzelle in der Intralogistik voran. Mit 77 Produktionswerken ist Schaeffler zudem potenzieller Anwender von brennstoffzellenbetriebenen Flurförderzeugen. Die Mitglieder bilden die ganze Wertschöpfungskette ab, von Herstellern von Flurförderzeugen und Brennstoffzellen über Zulieferer von Komponenten und Gaslieferanten bis hin zu den Anwendern der Technologie. Auch im Lkw-Bereich gibt es aktuell viel Bewegung Richtung Wasserstoff. So gut wie jeder Hersteller arbeitet an Modellen, erste Prototypen sind im Flotteneinsatz. Volvo und Mercedes haben jüngst ein Joint Venture für die Serienproduktion von Brennstoffzellen gegründet. Vorteil des Nutzfahrzeugs gegenüber dem Pkw: Einsatzzeiten und Routen sind vorgeplant, das dünne Tankstellennetz fällt daher nicht so ins Gewicht. Und dadurch, dass Nutzfahrzeuge im Normalfall permanent bewegt werden, ist auch der Betrieb eines Verbrennungsmotors mit flüssigem Wasserstoff denkbar. Der Nachteil, dass sich dieser bei längeren Standzeiten verflüchtigt, fällt hier deutlich weniger ins Gewicht als beim Pkw, wo längere Standzeiten nicht selten sind. Geradezu perfekt eignet sich die Brennstoffzellentechnik für den Einsatz in Müllwagen. Der Clou dabei: Grüner Wasserstoff für deren Antrieb kann aus biogenen Abfällen direkt in den Müllverbrennungsanlagen gewonnen werden. Die Firma Faun will 2021 in die Serienproduktion eines solchen Müllwagens einsteigen. Der verfügt über einen Hybridantrieb, bei dem eine Brennstoffzelle als Range Extender für den batterieelektrischen Antrieb dient.



Dr. Stefan Gossens: „Hohe Leistung, große Reichweiten, schnelles Tanken und gegenüber Batterien ein geringeres Gewicht: Im Nutzfahrzeug kann der Wasserstoff seine Stärken noch besser ausspielen als im Pkw. Mittlerweile Zehntausende Gabelstapler haben gezeigt, dass die Technik auch für den massenhaften Praxiseinsatz tauglich ist. Ein vermehrter Einsatz von Wasserstoff-Lkw würde auch Bewegung in den H₂-Tankstellenausbau bringen. Hyundai hat errechnet, dass sich eine solche Anlage bereits durch das regelmäßige Tanken von 15 Lkw rentieren würde.“



34 Gramm

gasförmiger Wasserstoff reichen, um das 2015 von Linde vorgestellte Brennstoffzellen-Fahrrad 100 Kilometer weit zu bringen. Danach wäre der Tank in sechs Minuten wieder voll. Die französische Firma Pragma Industries hat 2019 in Las Vegas auf der CES mit dem Alpha 2.0 ebenfalls ein Wasserstoff-Bike vorgestellt, das hauptsächlich von Flottenbetreibern eingesetzt werden soll. Auch im Motorradbereich sind erste Prototypen unterwegs. Schaeffler-Experte Dr. Stefan Gossens hält den H₂-Zweiradmarkt aber für eine absolute Nische. Sein Fazit: „Hier ist für Wasserstoff nichts zu holen.“



ZEROe ist ein Airbus-Konzeptflugzeug. Beim Nurflügler sorgen zwei Hybrid-Wasserstoff-Turbofan-Triebwerke für Schub. Die Flüssigwasserstoff-Speichertanks sind unter den Flügeln untergebracht

2017

startete der 30-Meter-Katamaran Energy Observer zu einer sechsjährigen Forschungsreise über die Weltmeere. Für Energieautarkie sorgt eine Brennstoffzelle. Der benötigte Wasserstoff kommt von einem bordeigenen Elektrolyseur, der seinerseits von den Solarzellen an Deck mit Strom versorgt wird.



H₂ im Schienen-, Luft- und Seeverkehr

Seit 20 Jahren arbeitet die Bahnbranche an Wasserstoffzügen, aber erst seit zwei Jahren ist das erste Serienfahrzeug in den Niederlanden, Deutschland und der Schweiz im Einsatz: der Coradia iLint des französischen Anbieters Alstom. Brennstoffzellen-Züge können Dieselloks auf Strecken ersetzen, die sich für eine Elektrifizierung nicht anbieten. Auch auf See könnte die Brennstoffzelle den Diesel ersetzen. Erste Fähren mit der Technologie sollen 2021 in Betrieb gehen. Die größte

von ihnen misst über 80 Meter. Der schwedisch-schweizerische Konzern ABB arbeitet an einer Brennstoffzellen-Pufferbatterie-Lösung im mittleren zweistelligen Megawatt-Bereich, die sogar auf Ozeanriesen eingesetzt werden kann. Die Reederei DFDS will für ein Linienschiff auf der Route Oslo–Frederikshavn–Kopenhagen einen 23-MW-Brennstoffzellen-Antrieb entwickeln. Den grünen Wasserstoff dafür soll ein Großelektrolyseur im Großraum Kopenhagen liefern, der seinen Strom aus einem nahen Windpark bezieht. Im Bereich Luftfahrt rollt der Wasserstoff ebenfalls Richtung Take-off. Im Herbst verkündete Airbus, dass man 2035 einen H₂-Jet der Luft haben will. Der Wasserstoff wird dabei entweder in einer Gasturbine verbrannt und/oder in einer Brennstoffzelle zu Strom für E-Motoren umgewandelt. Die größte Herausforderung: Ein Wasserstofftank müsste für eine vergleichbare Reichweite viermal so voluminös sein wie der von Kerosin. Das begrenzt den Einsatz der neuen Technologie auf Kurz- und Mittelstrecken bis 3.700 Kilometer. Für die Langstrecke wird an wasserstoffbasierten Synfuels gearbeitet, die das bislang genutzte Kerosin ersetzen sollen.



Dr. Stefan Gossens: „Gesetzliche Vorgaben zwingen Hersteller und Betreiber auch hier Richtung CO₂-freier oder zumindest deutlich -reduzierter Mobilität. Bei der Bahn hat sich die Brennstoffzelle als schnell umsetzbare Alternative zum Dieselmotor schon gut bewährt. Ob wir aber tatsächlich in absehbarer Zukunft Brennstoffzellen haben werden, die die gewaltigen Schiffsdiesel ersetzen können, sehe ich aktuell noch nicht. Bei Fähren oder kleineren Schiffen ist das aber schon sehr realistisch. Beim Flugverkehr hoffe ich vor allem, dass er Bewegung in die Industrialisierung von Synfuels unter Verwendung von grünem Wasserstoff bringt, die dann auch in anderen Bereichen eingesetzt werden können.“

84 %

Wirkungsgrad bei der Herstellung von grünem Wasserstoff erreicht der weltweit größte Hochtemperatur-Elektrolyseur (HTE) GrInHy2.0, der im Hüttenwerk der Salzgitter Flachstahl GmbH im Einsatz ist. Bei hohen Temperaturen (rund 850 Grad) verbessert sich die Reaktionskinetik des Elektrolyse-Prozesses, der Stromverbrauch sinkt. HTEs sind dort besonders effizient, wo Abwärme aus anderen Prozessen zugeführt werden kann.

H₂ in der Industrie

Schon heute ist Wasserstoff ein wichtiger Rohstoff für die Industrie. Er wird nicht nur zur Raffination von Rohöl zu Kerosin, Benzin oder Diesel oder zur Herstellung von Düngemitteln und chemischen Produkten verwendet, sondern auch bei der Eisen- und Stahlerzeugung. Allerdings wird dafür heute meist sogenannter grauer Wasserstoff genutzt (siehe auch Kasten übernächste Seite), bei dessen Herstellung CO₂ in die Atmosphäre gelangt. Mit dem Wechsel auf grünen, also CO₂-neutral erzeugten Wasserstoff wird dies verhindert. In Raffinerien können Elektrolyseure beispielsweise vorhandene Abwärme nutzen, um H₂-Moleküle aus Wasser abzuspalten. In der Primärstahlerzeugung kann grüner Wasserstoff anstatt Kohle und Erdgas für die CO₂-neutrale Direktreduktion von Eisenerz zu Rohstahl eingesetzt werden. Auch hier kann Abwärme bei der Wasserstoff-Erstellung kostensenkend genutzt werden. In der chemischen Industrie ist H₂ eine wichtige Komponente für die Herstellung von Ammoniak oder Methanol und wird bei vielen Polymeren mitverarbeitet. Der Wechsel von grauem auf grünen Wasserstoff würde die CO₂-Emissionen im Chemiesektor massiv senken.



Pro Tonne Rohstahl werden durchschnittlich 1,34 Tonnen CO₂ erzeugt. Damit verursacht die Stahlindustrie rund ein Drittel aller CO₂-Emissionen innerhalb des Industriesektors – entsprechend klimafreundlich ist der Einsatz von grünem Wasserstoff in diesem Bereich



Dr. Stefan Gossens: „Wasserstoff aus Ökostrom ist für die Industrie nahezu die einzige Möglichkeit, klimaneutral zu wirtschaften. Hier braucht es jedoch gewaltige Investitionen. Vielversprechende Großelektrolyseure kommen jetzt auf den Markt, bringen aber einen enormen Energiehunger mit. Wir reden hier über viele Gigawatt, um die Industrie klimaneutral zu gestalten.“

H₂ produzieren, speichern und transportieren

Wasserstoff kann nur dann das Klima nachhaltig entlasten, wenn er grün, also mit erneuerbaren Energien produziert wird. Die Energiekette mit grünem Wasserstoff besteht aus folgenden Stufen: Mit Strom aus erneuerbaren Energien wird Wasserstoff emissionsfrei durch Elektrolyse gewonnen, der dann an gleicher oder anderer Stelle für die Energiebereitstellung etwa durch eine Brennstoffzelle oder in Produktionsprozessen verwendet wird. Die Quellen für den benötigten Ökostrom (Wind, Sonne, Wasser) liegen im großen Stil nicht nur in Europa, Nordamerika und Asien, also dort, wo die Energie größtenteils verbraucht wird, sondern unter anderem in Afrika, Südamerika, Australien oder dem Mittleren Osten. Wasserstoff kann in solchen energie günstigen Regionen in großer Menge erzeugt und dann regional wie global transportiert werden. Je weiter der Ort der Erzeugung entfernt ist, desto wichtiger der Transport. Als stoffliche Energieträger hat Wasserstoff gegenüber Strom die Vorteile, dass er sich besser über längere Zeiträume und in größeren Mengen speichern und flexibler transportieren lässt, z. B. mit Schiffen. Allerdings ist sein Transport deutlich komplizierter als der von Erdgas oder Öl, denn Wasserstoff hat die geringste Atommasse aller Elemente und ist daher das flüchtigste Gas überhaupt. Seine geringe Dichte hat auch zur Folge, dass Wasserstoff im unkomprimierten Zustand viel Volumen braucht: 33 Kilogramm H₂ würden einen Ballon mit 13 Meter Durchmesser füllen. Verschiedene physikalische und stoffliche Verfahren sind zum Transport und Speichern möglich. Zu den physikalischen zählen die Druckspeicherung (zwischen

350 und 700 bar), die Verflüssigung bei minus 253 Grad, eine Kombination aus Verflüssigung und Druck (Cold- und Cryo-compressed Hydrogen, CcH₂) oder Abkühlung bis zum Schmelzpunkt (-259 Grad), bei der Wasserstoff eine Geleeartige Konsistenz mit nochmals gesteigerter Energiedichte annimmt. Der Energieaufwand dieser Verfahren liegt aktuell zwischen 9 und knapp über 30 Prozent der im Wasserstoff enthaltenen Energie, theoretisch erreichbar sind 4 bis 10 Prozent. Bei der stofflichen Speicherung wird Wasserstoff an Trägermaterialien angekettet und später wieder abgespalten. Die meisten, ebenfalls energieaufwendigen Verfahren befinden sich in der Entwicklung. Dazu zählen metallische Hybridspeicher, die wegen des hohen Gewichts eher für den stationären Einsatz prädestiniert sind. Am Anfang ihrer Entwicklung sind mikroporöse Adsorptionsmaterialien, die in Pulverform hohe volumetrische Speicherdichten erreichen können. Die dritte, am weitesten entwickelte Variante sind flüssige organische Wasserstoffträgermedien (LOHC). Das durch den zugesetzten Wasserstoff hydrierte Gemisch besitzt dem Dieselmotortreibstoff vergleichbare physikalisch-chemische Eigenschaften und kann entsprechend gelagert und transportiert werden. Es gibt Bestrebungen, solche LOHC direkt in einer Brennstoffzelle umzuwandeln. Auf diese Weise könnte daraus direkt im Fahrzeug Antriebsstrom generiert werden. Wird dem mit Ökostrom erzeugtem Wasserstoff Kohlendioxid zugeführt, entsteht Methan (Power-to-gas-Verfahren). Das Methan lässt sich wiederum in bestehende Erdgasnetze einspeisen und verteilen. So kann der Emissionsausstoß des CO₂-intensiven Wärmesektors ohne große Infrastrukturkosten deutlich reduziert werden.



Dr. Stefan Gossens: „Generell müssen wir, um das immense Potenzial des Wasserstoffs für eine globale Energiewende zu nutzen, die Industrialisierung vorantreiben und eine komplett neue Industrie aufbauen – mit neuen Technologien, Produktionsanlagen und Lieferketten. Mit unseren Kernkompetenzen in Material-, Umformungs- und Oberflächentechnologie kann Schaeffler einen wesentlichen Beitrag für die effiziente Großserienfertigung von Schlüsselkomponenten wie Elektrolyseure und Brennstoffzellen beitragen.“

1.250 Kubikmeter flüssigen Wasserstoff transportiert die 116 Meter lange Suiso Frontier, das weltweit erste Tankschiff für diesen Energieträger. Um den Wasserstoff zu verflüssigen, wird er auf minus 253 Grad heruntergekühlt. Dabei schrumpft das Volumen auf ein Acht Hundertstel gegenüber dem gasförmigen Zustand. Gelagert wird das flüssige H₂ in doppelwandigen Vakuumentanks





Grüner Wasserstoff – also der, der mithilfe regenerativer Energie erzeugt wird – wird die Emissionen in einer Vielzahl von Anwendungen wie Stahl- und Betonproduktion, Raffinerien, dezentralisierter Wärme- und Stromerzeugung sowie Mobilität senken

H₂-Farbenlehre

Eigentlich ist Wasserstoff ein farbloses Gas. Er kommt dennoch in den buntesten Farben daher. Wasserstoff ist heute grün, blau, türkis. Denn je nachdem, woraus H₂ gewonnen wird und woher der Strom kommt, gibt es die Farbetikette:

Grüner Wasserstoff wird durch Elektrolyse von Wasser hergestellt. Dabei kommt der Strom aus erneuerbaren Energiequellen wie Sonne, Wind oder Wasserkraft.

Grauer Wasserstoff hingegen wird aus fossilen Brennstoffen gewonnen. In der Regel wird Erdgas unter Hitze in Wasserstoff und CO₂ umgewandelt – auch bekannt als Dampfreformierung. Nachteil: Das entstandene CO₂ geht in die Atmosphäre. Nachteil II: Bei der Produktion einer Tonne Wasserstoff entstehen rund zehn Tonnen CO₂.

Blauer Wasserstoff entsteht ebenfalls aus Erdgas. Allerdings wird das CO₂ als fester oder gasförmiger Kohlenstoff dauerhaft in tiefen geologischen Schichten an Land oder im Meeresuntergrund gespeichert. Vorteil des sogenannten Carbon Capture and Storage (CCS): Das Kohlenstoffdioxid gelangt dadurch nicht in die Atmosphäre. Blau gilt als Brückentechnologie zu grünem Wasserstoff. Die Methoden dafür sind aber umstritten. Kritiker befürchten gewaltige Umweltrisiken.

Türkiser Wasserstoff ist eine Mischung aus blauem und grünem und wird über die thermische Spaltung von Methan hergestellt. Anders als bei blauem Wasserstoff entsteht mittels der Methanpyrolyse erst gar kein gasförmiges CO₂, sondern Kohlenstoff oder Kohlenstoffverbindungen. Hier ist auch wieder entscheidend, ob beim Verfahren Ökostrom zum Einsatz kommt. Fazit: Nur die Produktion von grünem Wasserstoff stellt letztendlich ein ökologisch gesehen sauberes Verfahren zur Herstellung von Wasserstoff dar.



Dr. Stefan Gossens: „Es ist unwahrscheinlich, dass wir die ganze grüne Energie dort erzeugen können, wo sie gebraucht wird. Um Importe kommen wir und andere EU-Länder nicht herum. Wir müssen daher auf internationale Kooperationen setzen.“

DNA sichtbar gemacht

Pioniergeist und Innovationskraft prägen Schaeffler – heute genauso wie vor 70 Jahren. Mit der neuen Kampagne „We pioneer motion“ rückt der Konzern seine über Generationen aufgebauten und kontinuierlich erweiterten Kernkompetenzen in den Fokus.





» Mit dieser Kampagne wollen wir sichtbar machen, wofür wir stehen, und klarmachen, dass Schaeffler ein starkes Unternehmen ist. Ein Unternehmen mit einer starken Marke. Einer Marke, die den Unterschied macht

Klaus Rosenfeld,
Vorstandsvorsitzender der Schaeffler AG

Von Volker Paulun

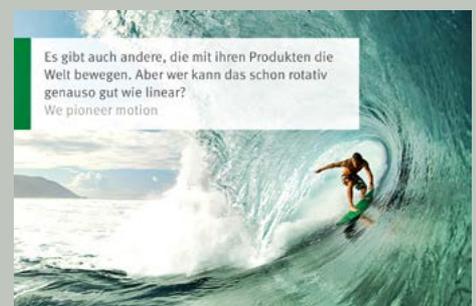
Seit der Erfindung des käfiggeführten Nadellagers durch Firmengründer Dr.-Ing. E. h. Georg Schaeffler haben sich die Welt und das Unternehmen Schaeffler stark verändert – und immer wieder neu erfunden. Doch geblieben ist immer eines: das Thema Bewegung. „Wir waren schon immer ein Unternehmen, das technologischen Fortschritt vorangetrieben hat, und das werden wir auch bleiben“, sagt Klaus Rosenfeld, der Vorstandsvorsitzende der Schaeffler AG. „Mit dieser Kampagne wollen wir sichtbar machen, wofür wir stehen, und klarmachen, dass Schaeffler ein starkes Unternehmen ist. Ein Unternehmen mit einer starken Marke. Einer Marke, die den Unterschied macht.“

Im Mittelpunkt der Kampagne steht der Gedanke „Green makes the difference“, der auf symbolische Weise aufzeigt, dass Schaeffler ein Vorreiter in Sachen Bewegung ist. Auf dieser Basis enthält die Kampagne Motive, die den Betrachter überraschen und inspirieren und den Pioniergeist von Schaeffler zeigen sollen.

Nadja Lemke, die für die Kampagne verantwortliche Marketingleiterin von Schaeffler, umreißt die Ziele der Kampagne: „Wichtig ist, dass wir unsere Marke auf die nächste kommunikative Ebene heben. Auf diese Weise bündeln wir die Botschaften der Marke Schaeffler und sorgen so für eine noch klarere Positionierung für die Zukunft.“

Schaeffler richtet sich mit seiner Botschaft nicht nur an bestehende und neu zu gewinnende Kunden, ein ganz wichtiger Aspekt der Kampagne ist es auch, Schaeffler als attraktiven, zukunftsgerichteten Arbeitgeber für potenzielle Mitarbeitende zu positionieren.

Nicht jedes Motiv assoziiert der Betrachter sofort mit Schaeffler. Aber das Denken „out of the Box“ hat schon Firmengründer Georg Schaeffler erfolgreich vorgelebt



Ausblick

Technik für morgen

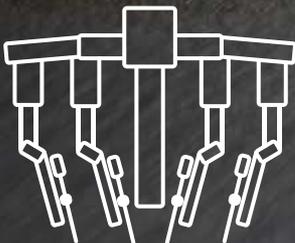


» *Jede gute Gabe und jedes vollkommene Geschenk kommt von oben herab*

Jakobus 1 Vers 17

Hightech in der Medizin

Zahlen und Fakten



» **4.200**

Einheiten des roboter-assistierten **Operationssystems Da Vinci** werden weltweit bereits eingesetzt.



19

Gramm schwer und 3,7 x 4,1 x 0,6 Millimeter klein – der MicroPort CRM Teo, der **kleinste Herzschrittmacher** der Welt, ist wahrlich ein Winzling.

36,1



Milliarden US-Dollar soll 2035 der **Umsatz durch KI** im Gesundheitswesen betragen, 2018 waren es noch 2,5 Milliarden.

6



statt 9 Arbeitsschritte braucht man bei der **Herstellung von Hörgeräten** durch 3D-Druck.



Fliegende Hilfe

Innovation und Hightech spielen in der Medizin eine immer größere Rolle – so auch beim Transport. Denn das Potenzial für eine Verbesserung der medizinischen Versorgung ist groß. Um diese zu erreichen, setzen immer mehr Projekte auf den Einsatz von Drohnen. Wie bei Medifly in Hamburg. Seit dem Premierenflug Anfang 2020 werden im Stadtgebiet der Elbmetropole medizinische Gewebeproben durch Drohnen zwischen Krankenhäusern transportiert. Das Ziel: eine deutliche Zeitersparnis gegenüber Blaulichttransporten durch den Stadtverkehr.

Ein weiteres Drohnenprojekt gibt es in Kenia und Ruanda. Dort werden durch das Start-up Zipline Blutproben, Impfstoffe oder Medikamente zu schwer erreichbaren Krankenhäusern geflogen. Die autonom fliegenden Drohnen haben eine Reichweite von bis zu 110 Kilometern und können bis zu 1,8 Kilogramm Last transportieren, die per Fallschirm über dem Ziel abgeworfen werden. Zipline plant, die Drohnen zukünftig auch in den USA zu testen, wo in ländlichen Regionen immer mehr Notfall-Krankenhäuser geschlossen werden und die Lebenserwartung bereits zurückgeht.

Weichenstellung Zukunft



Europa hat das engmaschigste Schienennetz der Welt. Aber wenn die Bahn mit dem Flugzeug im transkontinentalen Personenverkehr ernsthaft konkurrieren möchte, braucht es einen Innovationsschub. Ein Seitenblick nach Fernost lohnt sich.

Von Volker Paulun

China kleckert nicht, es klotzt. Im Falle der Bahn ein 35.000 Kilometer langes Hochgeschwindigkeitsbahnnetz quer durchs Land. Und das ebenfalls im Highspeed-Modus. Planungsbeginn war 2004. 2008 rollten die ersten Schnellzüge. 2020 ist China Weltspitze und legt weiter nach. Bis 2035 sollen 13.000 zusätzliche Gleiskilometer verlegt werden. Zahlen und Dimensionen, bei denen einem schon beim Lesen schwindelig wird.

Natürlich kann man den Flächenstaat China und den europäischen Staatenverbund schwer miteinander vergleichen, weder politisch noch geografisch. Auch die finanziellen Möglichkeiten sind andere: Das Reich der Mitte lässt sich die Expansion seiner China State Railway Group oder kurz CR Unsummen kosten. Mit 650 Milliarden Euro steht CR in der Kreide. Griechenlands Staatsverschuldung ist nur halb so hoch. Für Transportminister Li Xiaopeng sind solche Zahlen kein Grund auf die Bremse zu treten. Im Gegenteil. „Die Verkehrsinfrastruktur treibt das Wirtschaftswachstum an und bildet die Grundlage für eine komfortablere Gesellschaft“, rechnet er dagegen.

Auch für die Industriesparte von Schaeffler ist der chinesische Bahnmarkt ein Wachstumsmotor. Im August unterzeichnete der Konzern eine Kooperationsvereinbarung mit der China Academy of Railway Sciences (CARS). Durch diese Zusammenarbeit will Schaeffler seine Bahnprodukte noch besser an den chinesischen Markt anpassen und Marktanteile ausbauen. Die Vereinbarung beinhaltet die Gründung eines Joint Ventures zwischen Schaeffler und CARS für die Entwicklung von Bahnlagern, die Wiederaufbereitung und Montage von Radsatzlagern oder auch die Entwicklung und Herstellung von Zustandsüberwachungssystemen für Fahrwerke.



Schon heute lässt das Ergebnis des Wetttrüstens auf der Schiene europäische Bahnfernreisende neidisch Richtung China blicken. Die 1.200 Kilometer lange Strecke zwischen der Hauptstadt Peking und der Wirtschaftsmetropole Shanghai legt der Superzug Fuxing in knapp vier Stunden zurück. Eine wichtige Schallgrenze: Denn diverse Umfragen unter Reisenden haben ergeben, dass die Bahn besonders dann gegenüber dem Flugzeug punkten kann, wenn die Reisedauer unter vier Stunden bleibt.

Zugreisen schneller als fliegen

Mutterland der Idee Highspeedzug ist Chinas Nachbar Japan. Der Inselstaat eröffnete das Geschwindigkeitswetttrüsten auf der Schiene 1964: Pünktlich zur Eröffnung der Olympischen Sommerspiele in Tokio zischte der erste Shinkansen über die Gleise nach Osaka. In den folgenden fast 60 Jahren wurde das System Schnellbahn Schritt für Schritt perfektioniert. Innovationsschübe bei Bremsen und Neigetechnik ließen die Tachonadel kontinuierlich höher klettern. Entsprechend reduzierte sich die Fahrzeit für die 500-Kilometer-Distanz von einst vier Stunden auf aktuell 2:22 Stunden. Das Ziel der Bahningenieure: zwei Stunden.

Schon heute ist das Netz des Shinkansen dem Flugverkehr auf vielen Strecken überlegen: durch schnelle Verbindungen, hohe Taktzahlen, günstige Preise und durch eine extrem hohe Pünktlichkeit und Zuverlässigkeit. Die große japanische Bahngesellschaft JR-East gibt 50 Sekunden als durchschnittliche Verspätung an. Ohne die in Japan nicht seltenen Verspätungen durch Naturkatastrophen wie Erdbeben und Taifune läge die Zahl nahe null.

Auch Europa kann schnell

Allen voran mit Deutschland (ICE), Frankreich (TGV) und Spanien (AVE) schickt auch Europa einige Highspeed-Schwergewichte ins Rennen. Schon vor 30 Jahren knackte der ICE die 400 km/h Marke. Sein Problem: Es gibt zu wenige Strecken, auf denen er sein Tempo-Potenzial voll ausspielen kann. Das liegt auch daran, dass sich die Deutsche Bahn zu Beginn des ICE-Projekts dafür entschieden hat, ihren Passagieren eine möglichst kurze Anreise zum nächsten ICE-Bahnhof zu beschern. Entsprechend hoch ist die Zahl der Stopps. Und selbst wenn der ICE in einer Stadt nicht hält, muss er bei der Durchfahrt das Tempo drosseln.



Japans Highspeed-Zug JR-Maglev: 2037 soll er mit über 500 km/h von Tokio nach Osaka „fliegen“. Fahrzeit 67 Minuten. Wer will da noch in einen Jet steigen?



Der Thalys-Hochgeschwindigkeitszug verbindet 17 Städte in Westeuropa. Topspeed: 300 km/h

Der französische TGV hingegen brettert bevorzugt mit Vollgas durch die Lande. Seine Trassen wurden so gelegt, dass sie einen Bogen um Städte machen, in denen nicht gehalten wird. Das bringt Tempo, erschwert aber den Zustieg. Für beide Strategien gibt es Argumente. Die Vorteile des TGV sind an der Uhr ablesbar. Der schnelle Franzose schafft die 765 Kilometer von Paris nach Marseille nonstop in etwas mehr als drei Stunden. Der ICE braucht für die fast gleich lange Strecke von Hamburg nach München (780 Kilometer) mit einem halben Dutzend Zwischenstopps Minimum 5:35 Stunden, meist eine Stunde länger. Damit reißt er die wichtige Vier-Stunden-Marke deutlich und hat es entsprechend schwer, gegen die Verlockungen des Fliegens anzukämpfen. Anders auf der neu gebauten Hochgeschwindigkeitsstrecke Berlin–München. Für die 623 Kilometer dort braucht der ICE knapp vier Stunden. Das ist zwar 1,5 Stunden länger als der spanische AVE für die 621 Kilometer zwischen Madrid und Barcelona, hat aber noch die magische Vier vorn stehen. Das zahlt sich aus: Laut Bahn hat die neue Verbindung im ersten Betriebsjahr 2018 eine Million Reisende aus dem Pkw und 1,2 Millionen aus dem Flugzeug in den Zug geholt und ist damit zum beliebtesten Verkehrsmittel auf der Strecke geworden. Auch der zeitraubende Zwischenstopp in Nürnberg zahlt sich aus: Eurowings strich die Flugverbindung aus der Frankenmetropole nach Berlin aus dem Streckenplan – die Bahn hatte zu viele Passagiere abspenstig gemacht.

Mit einem weiteren Prestigeprojekt will Deutschland den Bahnverkehr attraktiver machen: mit der Wiederbelebung des 1987 eingestellten Trans-Europ-Express, kurz TEE. „Ein solches TEE-Netz für Hochgeschwindigkeits- und Nachtzugangebote

Digital koppeln

Kaum zu glauben, aber wahr: Bis heute nutzen europäische Bahngesellschaften im Güterverkehr und bei klassischen Waggonzügen unisono die 1861 eingeführten Schraubkupplungen (oberes Bild), die von den Arbeitern manuell verbunden werden. Anschließend müssen Wagenreihungen in Listen eingetragen werden – natürlich auch manuell. Das soll sich ändern – mit einer automatisierten Digital-Kupplung (unten). Der Bahnverband Allianz pro Schiene begrüßt den Vorstoß aus dem Bundesverkehrsministerium. „Die Digitale Automatische Kupplung kann dem klimafreundlichen Schienenverkehr in Europa den lang ersehnten Schub geben“, sagt Geschäftsführer Dirk Flege. Zieljahr des auf mehrere Jahre angesetzten europaweiten Systemwechsels: 2030. Prognostizierte Kosten: rund zehn Milliarden Euro, die sich Staaten und Bahnbetreiber teilen sollen.





Hydrail

ist der Oberbegriff für Züge, die Wasserstoff als Antriebsenergie nutzen. Anbieter Alstom hat den weltweit ersten „H-Zug“ 2018 in Betrieb genommen. Wettbewerber Siemens (Foto) will 2024 folgen. Wasserstofftriebwagen sollen langfristig Dieselloks ersetzen.

kann bis 2025 stehen, wir müssen den Einstieg jetzt schaffen“, drückt Deutschlands Verkehrsminister Andreas Scheuer verbal aufs Tempo. Taten müssen folgen, denn der Innovationsbedarf für einen TEE 2.0 ist ebenso groß wie der Investitionsbedarf. EU-weit gibt es unterschiedliche Strom- und Zugsicherungssysteme sowie Vertriebs- und Tarifgestaltungen. Ganz zu schweigen von fehlenden Hochgeschwindigkeitsstrecken gerade im Osten und Südosten des Kontinents. Auch wichtige Infrastrukturprojekte wie Stuttgart 21, die Fehmarnbeltquerung samt Bahnanschluss im Hinterland, die Deutschland mit Skandinavien verbindet, oder der für den Verkehr nach Süden wichtige Brennerbasistunnel warten noch auf die Fertigstellung. Und sie verschlingen Milliarden.

Mit dem Thalys zwischen Paris und Brüssel, dem Eurostar, der in 2:14 Stunden von Paris nach London rast, und dem immer enger zusammenwachsenden Hochgeschwindigkeitsnetz der Nachbarländer Spanien und Frankreich gibt es bereits funktionierende bilaterale Beispiele. Weitreichendere Linien wie Paris–Warschau oder Amsterdam–Rom könnten kurzfristig umgesetzt werden und ein bequemes interurbanes Reisen ohne Umsteigen ermöglichen. Andere Verbindungen wie Stockholm–München oder auch Paris–Budapest erfordern hingegen größere Infrastrukturmaßnahmen. Aber selbst wenn alle Magistralen stehen, alle Systeme reibungslos laufen und Durchschnittstempi von über 200 km/h erreicht werden: Transkontinentalfahrten über mehrere Ländergrenzen hinweg

bleiben zeitaufwendig – und kostenintensiv. Daher dämpfen Kritiker die Erwartungen an einen wiederbelebten TEE. Gegen den steuerlich wenig belasteten Flugverkehr hätten nicht subventionierte Zugfernverbindungen kaum eine Chance im Preiskampf, sagt beispielsweise Walter von Andrian, Chefredakteur der Eisenbahn Revue.

Dem Faktor Zeit könnte man auf Langstrecken mit mehr als acht Stunden Fahrzeit durch den Einsatz von Nachtzügen den Schrecken nehmen. Die Österreichische ÖBB und die Schweizer SBB haben bereits Pläne für den Aufbau eines europaweiten Nachtzugstreckennetzes vorgestellt. Auch dieses wird nicht ohne massive Subventionen auskommen. Den TEE muss man sich leisten wollen, so wie China sich sein attraktives, aber unwirtschaftliches Hochgeschwindigkeitsnetz leistet. Aktuell schreiben zwei Drittel der 18 CR-Strecken rote Zahlen.

Airlines wollen auf die Schiene

Dass die Bahn als schnelles Massentransportmittel auch vor dem Hintergrund des Klimawandels immer unverzichtbarer wird, haben auch Fluggesellschaften erkannt. Im Februar beschlossen der Luftfahrt-Dachverband IATA und die internationale Bahnorganisation UIC, Standards zu erarbeiten, um die Verknüpfung von Flügen und Zugfahrten einfacher zu gestalten. „Wir werden ein Produkt entwickeln, um nach London zu fliegen und zurück den Zug zu nehmen“, nennt KLM-Manager Boet Kreiken ein Beispiel im Fachmagazin „Aero Telegraph“. Langfristig könne er sich vorstellen, dass



Die Hyperloop-Idee kommt in Fahrt: Das US-Unternehmen Virgin absolvierte im Herbst die erste bemannte Testfahrt über 500 Meter. Das Korea Railroad Research Institute durchbrach mit einem 1:17-Modell erstmals die 1.000-km/h-Marke

Fluggesellschaften kurze Distanzen komplett mit Zügen bedienen.

Vielleicht werden es Hyperloop-Kapseln sein. Diese Highspeed-Züge sollen im Jet-Tempo mit bis zu 1.000 km/h durch Vakuum-Röhren rasen. Erste bemannte Fahrversuche haben begonnen. Kritiker der Technologie bleiben aber skeptisch. China und Japan pushen hingegen die in Deutschland geborene Innovation der Magnetschwebbahn. So soll der JR-Maglev ab 2027 die japanische Hauptstadt Tokio mit Nagoya verbinden. Mit einem Tempocchnitt von weit über 500 km/h braucht der Zug für die 286 Kilometer Strecke 40 Minuten. Bis 2037 soll der Ausbau bis Osaka erfolgen. Angepeilte Fahrzeit 67 Minuten – halb so viel wie aktuell mit dem Shinkansen. Bon voyage!

3 Fragen an ...

Dr. Michael Holzapfel,
Leiter Branchenmanagement Bahn bei Schaeffler



Welche großen technischen Herausforderungen kommen auf die Bahn zu?

Auf die Schiene wird wesentlich mehr Verkehr zukommen. In Deutschland zum Beispiel politisch angestrebt 100 Prozent mehr Personen- und 25 Prozent mehr Güterverkehr. Erwartungsgemäß wird die Zahl der Schienenfahrzeuge nicht proportional mitwachsen. Also müssen die Bestandszüge intensiver und länger genutzt werden. Auch die Antriebsleistung wird steigen, um eine höhere Taktung und Ausladung zu erzielen. Für uns als Komponentenhersteller hat das zur Folge, dass wir Produkte anbieten müssen, die noch langlebiger sind, einen noch intensiveren Betrieb erlauben,

noch längere Wartungsintervalle haben und oben-drein noch kompakter sind, weil man mehr Platz für Fahrgäste oder Ladung haben will. Bei diesem Anforderungsprofil wird ein Wälzlager schnell zum Hightech-Produkt.

Wie will Schaeffler den wachsenden Anforderungen gerecht werden?

Mit unserem Wissen um Materialien, Umformung und Oberflächenbearbeitung wollen wir die Entwicklung weiter vorantreiben. Auch dort, wo wir bereits einen Wettbewerbsvorsprung haben. Ein Beispiel: Für Eisenerz-Züge in Australien liefern wir Wälzlager, die eine Achslast von 45 bis 50 Tonnen ermöglichen. Das ist doppelt so viel, wie aktuell in Europa gefordert ist. Aber in Australien sind diese Dimensionen wichtig, um die Züge wirtschaftlich betreiben zu können.

Schaeffler setzt auch bei der Bahn immer mehr auf mechatronische und digitale Angebote – weil Sie das Ende des Wälzlagers kommen sehen?

Überhaupt nicht. Produkte wie unsere Condition-Monitoring-Lösungen oder auch der Radsatz-Generator sind ein zusätzliches Angebot für unsere Kunden, das diese auch sehr gut annehmen. Aber so lange Züge auf der Schiene fahren, wird es Wälzlager geben. Selbst ein Hyperloop stellt in seiner Vakuum-Röhre Kontakt für die Spurführung her und braucht daher Wälzlager.

Lernen für eine komplexe Welt

Eine innovationsgetriebene Welt verändert unser aller Leben, das bringt viele Chancen und wenige Risiken mit sich. Fünf Bereiche, auf die sich Bildung und Ausbildung konzentrieren sollten, um die Menschen auf die neue digitale Wissensgesellschaft vorzubereiten.

Von Christian Heinrich

Was heißt es heute, gebildet zu sein? „Wir leben in einer Welt, in der die Dinge, die leicht zu unterrichten und zu testen sind, auch leicht digitalisiert und automatisiert werden können“, schreibt Prof. Andreas Schleicher, Direktor des Instituts für Bildung und Kompetenzen der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD), im OECD Lernkompass 2030. In der digitalen Wissensgesellschaft helfen uns Computer, Programme und Algorithmen, das Wissen zu verwalten, auszulagern, miteinander zu verknüpfen und anzuwenden.

Das ist nicht weniger als eine Revolution. Denn damit nimmt der Mensch eine neue Rolle ein: Die des verantwortungsvollen Entscheiders und Impulsgebers, der den Computer als mächtiges Werkzeug benutzt oder gar mit einer künstlichen Intelligenz auf Augenhöhe zusammenarbeitet. Diese neue Rolle verändert auch den Bildungsbegriff: „Erfolg in der Bildung heißt heute nicht nur Sprache, Mathematik oder Geschichte, sondern ebenso Identität, Handlungsfähigkeit und Sinnhaftigkeit“, schreibt Schleicher. Entscheidend sei, dass wir diejenigen Qualitäten finden und verfeinern, die einzigartig für Menschen sind. So ergänzten sich die Fähigkeiten



mit denen der Computer und sie stünden nicht in Konkurrenz zueinander. Und die Menschen sind vorbereitet auf Arbeitsplätze, Anwendungen und Alltagsdinge, die heute noch gar nicht existieren.

Vor allem die folgenden fünf teilweise aufeinander aufbauenden und einander ergänzenden Fertigkeiten sollten kultiviert werden, um die Menschen, vom Kleinkind zum Senior, auf die neue digitale Wissensgesellschaft vorzubereiten:

1. Selbstreflektiertes Lernen

Wir können mit dem Smartphone via Internet auf das gesamte Weltwissen zugreifen. Wir können uns am Computer selbst vermeintlich langweilige Dinge in Form eines abwechslungsreichen Erlebnisses aneignen – und dabei auch noch das Tempo selbst bestimmen. Die Digitalisierung bringt uns, wenn man so will, die große Freiheit. Auch beim Lernen. Doch die große Freiheit kann auch zum Problem werden. Wer abschweift, wer nicht weiß, wohin er will und wie er dorthin gelangt, droht im Meer der Möglichkeiten unterzugehen. „Deshalb ist selbstreflektiertes Lernen heute einer der Schlüssel zur Bildung“, sagt Prof. Christian Stamov Roßnagel, Lernforscher an der Jacobs University Bremen.

Selbstreflektiertes Lernen umfasst vor allem zwei Dinge. Erstens: sich vor dem Lernen zwei, drei konkrete Punkte notieren, was man mithilfe des Gelernten können will – ein solches handlungsorientiertes Lernen ist oft nachhaltiger als ein wissensorientiertes Lernen. Zweitens: sich während des Weges und am Lernziel selbst kontrollieren, ob man mit dem Stoff tatsächlich „arbeiten“ kann. „Das ist weit weniger selbstverständlich, als es sich anhört“, sagt Stamov Roßnagel. Er arbeitet mit großen Unternehmen zusammen und sieht immer wieder, dass damit Menschen jeden Alters Probleme haben. „Wir versuchen dann, die Menschen in der Fortbildung zu unterstützen. Ein bewährter Selbsttest: Kann ich diese Lektion in drei Sätzen zusammenfassen? Und: die häufig sehr verdichteten Kernaussagen des Lernstoffs konkretisieren. Ein Beispiel: „Riemtriebe halten sehr hohen Belastungen stand“ als Kernaussage. Hier wären Selbsttestfragen je nach Lernziel: In welchen Einsatzbereichen treten solche Belastungen auf? Wie messe ich die Belastungshöhe? „Die Grundlage für reflektiertes Lernen wird aber idealerweise schon im Unterricht in der Schule gelegt“, sagt Stamov Roßnagel.

2. Empathie

In einer strukturell unausgeglichene Welt bringt Vielfalt immer auch Unterschiede mit sich, die trennend wirken. Die Digitalisierung kann dies verschärfen: „Heutzutage sortieren uns die Algorithmen der sozialen Medien in Gruppen von Gleichgesinnten. Sie schaffen virtuelle Blasen, die unsere eigenen Ansichten verstärken und uns von divergierenden Perspektiven isolieren; sie homogenisieren Meinungen und polarisieren unsere Gesellschaften“, schreibt OECD-Experte Schleicher. Eine Schlüsselkompetenz, um dies zu verhindern, ist Empathie, also die Fähigkeit, sich in andere hineinzusetzen.

Empathie ist aber mehr als ein gesellschaftlicher Brückenbauer. Ob im Job, zu Hause oder in der Gemeinschaft, ob als Wissenschaftler, Bankdirektor, Arbeiter oder Künstler – wir benötigen dieses Verständnis für andere, um situativ agieren und kooperieren zu können. Und gerade weil wir Menschen auf unbestimmte Zeit empathischer sind als Maschinen, werden Kompetenzen in diesem Bereich immer wichtiger am Arbeitsmarkt. Empathie ist aber nicht nur Bildungsziel, sie ist auch eine Schlüsselkompetenz für den Erklärenden. Denn die Fähigkeit zur Perspektivenübernahme ist die Grundvoraussetzung, die wir benötigen, um anderen Menschen Dinge zu erklären und sie anleiten zu können.

3. Auf integrierende Weise denken lernen

Gleichheit oder Freiheit? Unabhängigkeit oder Solidarität? Effizienz oder demokratische Prozesse? Innovation oder Beständigkeit? Solche Spannungsfelder gewinnen in einer stark vernetzten Welt noch mehr an Bedeutung. Die zunehmende Komplexität sorgt dafür, dass sich dabei auch Dilemmata häufen. Umso wichtiger ist es, integrierend denken zu können und Wege zu finden, um das „oder“ in Gegensatz-Paaren durch ein „und“ zu ersetzen.

Der Weg, um diese Kompetenz von Lehrseite zu vermitteln und auf der Lernseite zu erlangen, liegt darin, Komplexität und Vielschichtigkeit und deren Wirkungsweisen bewusst zu behandeln. So können holistische Systeme bereits in der Schule aktiv erarbeitet werden, etwa die Verknüpfung von Wasser, Energie und Nahrungsmitteln. Wenn die Schüler hier nach verschiedenen Möglichkeiten für Veränderungen suchen und die jeweiligen Auswirkungen diskutieren und durchdenken, „schulen sie

ihre Fähigkeit, erfolgreich mit der Verschiedenartigkeit von Lösungen und mit Mehrdeutigkeiten umzugehen“, heißt es dazu im OECD Lernkompass 2030.

4. Fähigkeit zum aktiven Handeln

Die Dinge zu verstehen ist der erste wesentliche Schritt. Sie zu beeinflussen und zu verändern ist der zweite Schritt. Dass Lernende dies tun oder es zumindest versuchen, ist nicht selbstverständlich. Es braucht eine entsprechende Kompetenz. Im OECD Lernkompass 2030 wird diese Fähigkeit „Student Agency“ genannt: „Es geht darum, selbstbestimmt zu handeln, anstatt von anderen bestimmt zu werden; die eigene Umwelt zu gestalten, anstatt sie als gegeben hinzunehmen, verantwortungsvoll zu entscheiden und zu wählen, anstatt Entscheidungen von anderen hinzunehmen“, heißt es im Lernkompass.

Der Weg dorthin beginnt schon im Kleinkindalter: Wenn ein Kind erfährt, dass seine Handlungen dem Umfeld nicht egal sind, sondern dass es damit etwas bewirken kann, entwickelt es ein Gefühl der Selbstwirksamkeit – die Basis für die spätere Student Agency. In der Schulzeit kann dies weiter

ausgebaut werden durch das eigenständige Erarbeiten und Setzen von Schwerpunkten. Auch Mitbestimmung und demokratische Prozesse in der Schule können förderlich sein: Schüler, die den Schulgarten mitgestalten, lernen dadurch aktives Handeln, das ihnen später in Beruf und Alltag zugutekommt.

Auch Lernforscher Stamov Roßnagel von der Jacobs University Bremen sieht Selbstmanagementfähigkeiten als ein primäres Bildungsziel an – über alle Altersgruppen hinweg. Bei seinen Studierenden fördert er vor allem die Fähigkeit, evidenzbasierte Entscheidungen zu fällen und auf dieser Basis Probleme zu lösen, Entscheidungen zu fällen und neue Ansätze zu entwickeln – Fähigkeiten, die später im Beruf gefragt sind, unabhängig von Position oder Branche. Das beste Mittel dafür sei es, die Studierenden ab dem ersten Semester aktiv in die Forschung und die forschungsgestützte Beratung einzubinden, sagt der Professor.

5. Ethik als Entscheidungskompass

Wer entscheidet, wer handelt, der kann etwas bewegen – in verschiedene Richtungen. Deshalb

Beispiele für zukünftige Berufsfelder und passende Bildungsschwerpunkte

aus dem OECD Lernkompass 2030

Beruf	Beschreibung	Beispiele für Skills	Beispiele für Wissen	Beispiele für Haltungen und Werte
Robotik-Ingenieure und -Ingenieurinnen	Forschung, Design, Entwicklung oder Test von Roboteranwendungen	Kritisches Denken, Lösung komplexer Probleme, Analysen zur Qualitätskontrolle	Ingenieurwesen und Technik, Robotik, Design	Erkundungsdrang, Präzision, Beobachtung
Biostatistiker und -statistikerinnen	Entwicklung und Anwendung von biostatistischer Theorie und von Methoden zum Studium der Lebenswissenschaften	Induktives Denken, sprachlicher Ausdruck, mathematisches Denken	Mathematik, englische Sprache, Aus- und Weiterbildung	Projekt-/Programmmanagement, Realisierung, Wissensdurst
Brennstoffzellen-Ingenieure und -Ingenieurinnen	Bewertung, Modifikation oder Konstruktion von Brennstoffzellenkomponenten oder -systemen für den Transport, für stationäre oder portable Anwendungen	Analytisches und kritisches Denken	Physik, Mathematik, Chemie	Konzentration, Zuverlässigkeit, Feedback
Vertriebsmitarbeitende und Begutachtende für Solaranlagen	Kontakt zu neuen oder bestehenden Kunden, um deren Bedarf an Solartechnik zu ermitteln, Systeme oder Anlagen vorzuschlagen oder die Kosten zu schätzen	Aktives Zuhören, Überzeugungskraft, soziale Auffassungsgabe	Vertrieb und Marketing, Ingenieurwesen und Technik, Kundenservice und persönlicher Kontakt	Verantwortlichkeit, Konzentration, Ergebnisorientierung
Videospiel-Entwickler und -Entwicklerinnen	Design von Videospielen; Ausarbeitung von innovativen Spielmechanismen, Handlungssträngen und Spielcharakteren; Erstellung und Pflege der Dokumentation	Programmierung, kritisches Denken, komplexe Problemlösungen	Design, Kommunikation und Medien, Psychologie	Wissbegierde, Verspieltheit, Leidenschaft



übernimmt man beim Handeln immer auch Verantwortung. Diese Verantwortung für das eigene Handeln zu übernehmen sollte unmittelbar zum Handeln dazugehören. Im OECD Lernkompass 2030 heißt es dazu: „Verantwortungsübernahme verlangt einen starken moralischen Kompass, Kontrollüberzeugung und persönliche Integrität, sodass Entscheidungen auf der Grundlage davon getroffen werden, ob die daraus resultierenden Handlungen zum allgemeinen Nutzen anderer führen.“

Um dies zu schaffen, muss man sich vor und nach dem Handeln kritische Fragen stellen, aus denen man für die Zukunft lernt: Was soll ich tun? War es

richtig, das zu tun? Wo liegen die Grenzen? Wenn ich die Konsequenzen meines Handelns nachträglich bedenke, hätte ich es so oder anders machen sollen? Dies sollten alle Teile des Bildungssystems versuchen zu vermitteln und zu fördern: Eltern wie Erzieher, Lehrer wie Dozenten.



Der Autor

Christian Heinrich beschäftigt sich seit mehr als einem Jahrzehnt bei der Wochenzeitung Die Zeit mit Bildungsthemen. Seit 2014 betrifft das Thema

ihn auch ganz persönlich: Damals kamen seine Zwillinge zur Welt. Die letzte Entscheidung, die er in Bezug auf ihre Bildung treffen musste, liegt nur wenige Monate zurück: Vorschule oder Kita-Brückenjahr. Er hat sich für Vorschule entschieden.

3 Fragen an ...

... **Paul Seren,**
Ausbildungsleiter Schaeffler Deutschland



Industrie 4.0, Digitalisierung, die Arbeitswelt verändert sich immer schneller. Unternehmen sind aufgefordert, ihre Ausbildung anzupassen. Worauf kommt es an?

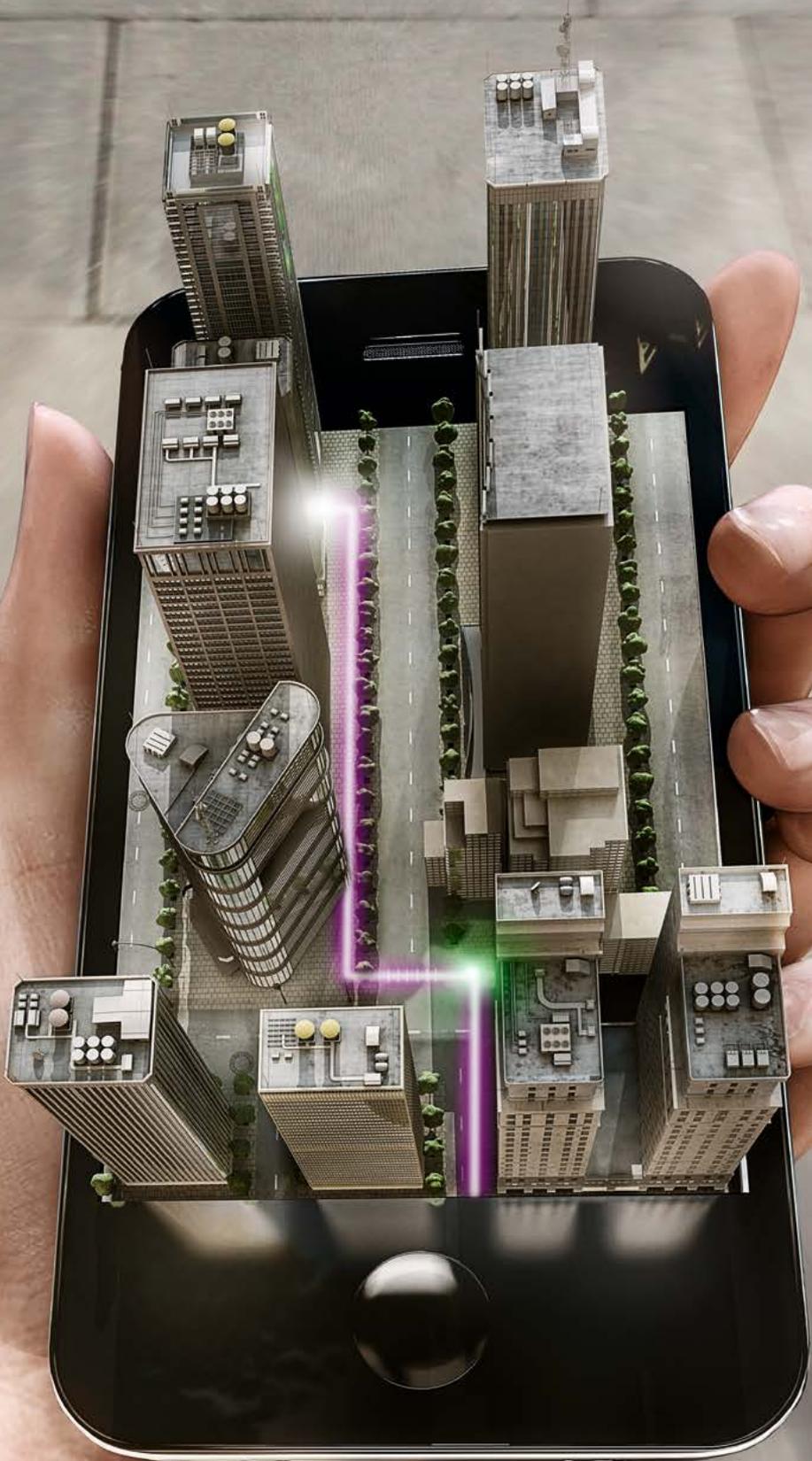
Industrie 4.0 bedeutet, dass alles miteinander vernetzt ist – nicht nur die Maschinen, sondern insbesondere die Mitarbeitenden. So entsteht auch die Erwartungshaltung an neue Mitarbeitende, dass sie über den Tellerrand hinausblicken können und vor allem auch wollen. Schaeffler ermutigt daher Auszubildende und Studierende, flexibel zu denken. Sie sollten die Bereitschaft mitbringen, Veränderungen managen zu können, um heute antrainierte Dinge morgen über den Haufen zu schmeißen, um etwas ganz Neues zu lernen. Das gilt übrigens auch für Ausbilder, die immer wieder in Hinblick auf die persönliche Veränderungsbereitschaft durch Schulungen sensibilisiert werden müssen.

Unter diesen Voraussetzungen: Wie passt Schaeffler seine Ausbildungsinhalte an, um mit dem technologischen Fortschritt mitzuhalten?

Schon seit vier Jahren kann jeder Auszubildende in Deutschland – egal, ob in einem gewerblich/technischen oder einem kaufmännischen Beruf – während seiner Lehrzeit einen funktionsfähigen 3D-Drucker bauen. Mit allem, was dazugehört. Networking ist dabei ein wichtiges Thema. Der angehende Mechatroniker kommuniziert mit dem Industriekaufmann, der Software-Entwickler mit dem Industriemechaniker. Standortübergreifend. So werden neben der Förderung der ausbildungsbegleitenden Teamarbeit weitere versteckte Potenziale erkennbar. Diese Form der Ausbildung bei Schaeffler ist mittlerweile auch schon erfolgreich in den USA und Osteuropa angelaufen, bald soll sie auch nach China exportiert werden.

Mit welchen weiteren Innovationen will Schaeffler Auszubildende fit machen für die Zukunft?

Virtual Reality und Augmented Reality werden zentrale Instrumente in der Ausbildung werden. Virtuelle Schweißsimulatoren sind schon länger im Einsatz, der ganze Bereich hat aber mehr Potenzial – vor allem in der Fertigung. So lässt sich die Handhabung sowie das Bestücken und Reparieren von Maschinen virtuell trainieren. Eine wichtige Innovation auch unter dem Gesichtspunkt, dass wir wohl noch länger auf die Einhaltung der Abstände achten müssen.



Schöne neue Bauwelt

Die digitale Transformation verändert die Bauwelt und hilft, Zeit, Kosten sowie natürliche Ressourcen einzusparen. Noch ist vieles Vision. Doch schon jetzt lässt sich effiziente Energieversorgung vorab simulieren. Roboter können mauern sowie Holz passgenau zuschneiden und verbinden. Schalungen kommen aus dem 3D-Drucker und die nötigen Daten aus einem digitalen Zwilling. Erwartet uns eine völlig neue Bauwelt?

Von Robert Schütz

Gerne orientiert man sich an der Automobil- und Maschinenbauindustrie, wenn von der Produktion 4.0 die Rede ist. Auch hier ist alles im digitalen Modell hinterlegt, und das Zusammenspiel des digitalen Zeichnens und Konstruierens (CAD) mit der digitalen Produktion funktioniert perfekt. Menschen trifft man immer seltener in den Fabrikhallen. Roboter bewegen sich zackig und punktgenau durch den digital vernetzten Raum. Und das Material, das von selbstfahrenden Staplern aus den Hochregalen entnommen wird, bewegt sich eigenständig auf selbstfahrenden Paletten, geleitet von Induktionsschleifen – zur rechten Zeit, exakt zum rechten Ort. Willkommen in der Fabrik 4.0. Und auf der Baustelle? Auch hier schreitet die digitale Transformation mit großen Schritten voran. Nicht nur GPS-gesteuerte Vermessungsgeräte und selbstständig arbeitende Baumaschinen gehören längst zur Ausrüstung. Vor allem ein Begriff gewinnt an Bedeutung: Building Information Modeling, kurz BIM.

Die Planungsmethode BIM

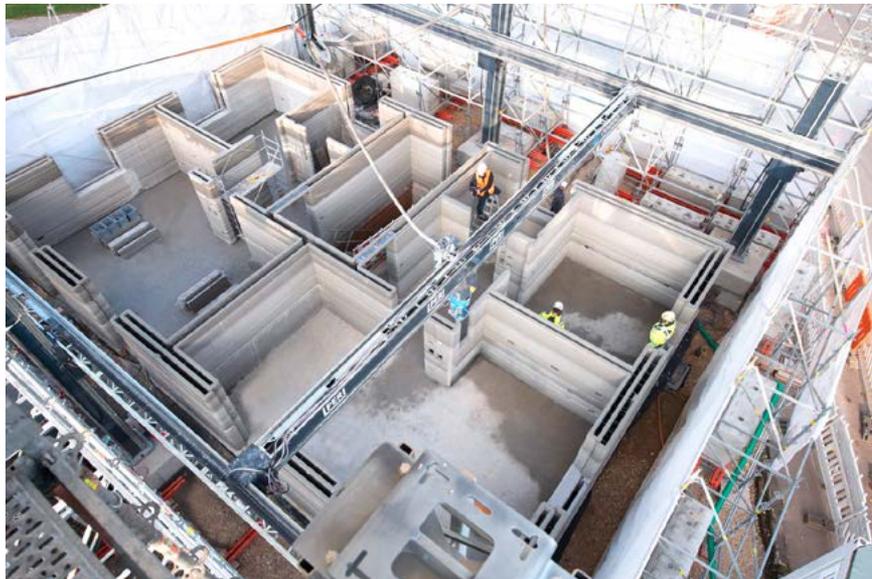
Doch was ist eigentlich BIM? Das Building Information Modeling ist keine spezielle Software, sondern beschreibt das perfekte Zusammenspiel

unterschiedlicher Softwarelösungen und Datenbanksysteme. So wie jedes Gewerk eigene Werkzeuge nutzt, so unterschiedlich sind auch die Softwareanwendungen, die bei den Planungs- und Entwicklungs-, Beschaffungs-, Bau- und Nutzungsprozessen im Einsatz sind. BIM ist wie eine digitale Maschinerie, die diese Prozesse sortiert und vernetzt. Wichtige Voraussetzung: Alle Daten müssen in dem einheitlichen IFC-Standard (Industry Foundation Classes) vorliegen.

Noch ist das Building Information Modeling am Anfang seiner Entwicklung, sorgt aber schon jetzt für gesteigerte Termin- und Budgettreue. Denn BIM, und das ist der entscheidende Fortschritt gegenüber CAD, stellt nicht nur dreidimensionale Räume digital dar, auch die Parameter Zeit und Kosten werden als vierte und fünfte Dimension berechnet. Kein Wunder, dass BIM in vielen Ländern bei öffentlichen Ausschreibungen jetzt sogar zur Pflicht wird.

Weiterentwicklungen sollen BIM so weit bringen, dass eine eigene vernetzte virtuelle Welt entsteht: ein digitaler Zwilling des gesamten Bauprojekts. Zu dieser neuen Bauwelt gehören dann, wenn der Plan aufgeht, auch das Internet der Dinge (IoT) und

Hausbau im
3D-Druck-Verfahren –
noch vor wenigen
Jahren praxisferne
Utopie, heute Realität



cyberphysische Systeme einschließlich Maschinensteuerung, Sensorik und Echtzeitmonitoring.

Bei aller Digitalisierung und Vernetzung: BIM kann und soll das persönliche Gespräch sowie ein gemeinsames Verständnis für die einheitliche Aufbau- und Ablauforganisation nicht ersetzen. Die Hard- und Software sowie Datenbanken dienen hier lediglich als nötige Infrastruktur und ermöglichen allen am Bau Beteiligten in jeder Planungsphase den direkten Zugriff auf die relevanten Informationen. Klempner und Fliesenleger können Daten abgleichen und wenn nötig zusätzlich mit Malern und Elektrikern austauschen. Der Kran für die Fahrstuhlmontage fällt aus? Eine Warnmeldung an alle betroffenen Gewerke geht in Echtzeit raus. Im Idealfall wird Plan B, der den Ausfallschaden minimiert, gleich mitgeschickt.

Von Planung bis Abbruch

BIM begleitet den gesamten Lebenszyklus einer Immobilie, von der ersten Planung über Bau und Nutzung bis hin zum möglichen Rückbau inklusive umweltgerechter Entsorgung. Diese kann dann wiederum schon bei der Planung berücksichtigt werden – und der Kreis schließt sich.

In der Bauphase können über sogenannte BIM-2Field-Anwendungen Baumaschinen gesteuert werden. Ein zunehmend wichtiger Faktor. Denn wie Fabriken werden auch Baustellen immer moderner. Schon heute gibt es autonom fahrende Maschinen, die Materialien just in time auf der Baustelle

verteilen. Drohnen helfen beim Vermessen und Kontrollieren. Der Nachfolger des Mauer-Roboters Hadrian X soll statt 200 bereits 1.000 Ziegel pro Stunde zusammenfügen können. Und in Deutschland stellte im Herbst ein riesiger 3D-Drucker vor Ort ein dreistöckiges Wohnhaus mit dem Maßen 12,5 mal 15 mal 7,5 Meter in die Landschaft. Und das mit atemberaubender Geschwindigkeit. Pro Stunde werden 10 Tonnen eines Spezialzements verarbeitet.

Ende Oktober 2020 präsentierte der Baumaschinenanbieter Hilti erstmals seinen semi-autonomen mobilen Baustellenroboter für Deckenbohrungen. Der sogenannte Jaibot ist selbstständig in der Lage, sich in Innenräumen akkurat auszurichten, Löcher zu bohren und diese anschließend für die verschiedenen Gewerke zu markieren. Dabei setzt das autarke und einfach zu handhabende System keine Expertenkenntnisse voraus. Auch bei Hilti ist man sich sicher, dass digital geplante Bauprojekte und ihre Umsetzung mithilfe von BIM-fähigen Roboterlösungen einen deutlichen Produktivitätsgewinn versprechen. Außerdem können Roboterlösungen den Fachkräftemangel abfedern.

Perfekt planen, Ressourcen sparen

Nicht nur die Steuerungsdaten für solche High-tech-Maschinen kann der digitale Zwilling liefern. Auch klassische Baumaschinen wie Bagger, Dozer oder Straßenfertiger verfügen längst über 3D-Maschinensteuerungen, die mit Daten aus dem digitalen BIM- und Geländemodell gefüttert werden.

Komplette Tiefbaumodelle werden dem Maschinisten über ein Display dargestellt und ermöglichen ein schnelleres und präziseres Arbeiten.

Schauen vor dem Bauen

Ein weiterer großer Vorteil des digitalen Zwillings: Noch vor dem ersten Spatenstich kann der Bauherr sein Projekt virtuell begehen. Dank VR-Brille sogar extrem realitätsnah. Wunsch und Wirklichkeit können so bereits in der Planungsphase abgeglichen werden. Teure Korrekturen während der Bauphase sind dadurch eigentlich ausgeschlossen. Und selbst wenn sich der Bauherr doch noch eine Änderung wünschen sollte, informiert BIM alle betroffenen Gewerke parallel und warnt gegebenenfalls vor möglichen Problemen, die die Planänderung hervorrufen könnte. Zusätzlich können Materialbestellungen automatisch angepasst

und dokumentiert werden, bis hin zur kleinsten Unterlegscheibe.

Eine durch BIM optimierte Logistik senkt aber nicht nur Kosten und Bauzeit. Sie trägt auch dazu bei, die sogenannte graue Energie zu reduzieren, also jene, die für Herstellung, Lagerung, Transport, Verarbeitung und Entsorgung von Baustoffen benötigt wird.

Auch der gesamte spätere Gebäudebetrieb wird durch eine digital vernetzte Planung stark vereinfacht und günstiger. Der Fachmann spricht hier von BIM2FM, wobei FM für Facility Management steht. Hierzu muss man wissen: Nicht die Planungs- und Bauphase verschlingt das meiste Geld. Auf die Lebensdauer gerechnet, besteht das größte Einsparpotenzial in der Nutzungsphase. Daher werden bereits in der Planungsphase sämtliche Parameter



Beste Lage(r)

Seit 75 Jahren vertrauen Ingenieure im Baugewerbe weltweit auf Gleitlager und Beratungskompetenz von Schaeffler. Hydraulikzylinder zum Bewegen von Baumaschinen, Mahlwalzen in Zementmühlen, Stranggussanlagen in Stahlwerken, Pendelknickgelenke für optimale Lenkbarkeit in Walzenzügen, Zugtüren und -drehgestelle, Rolltreppen und Gepäckbänder am Flughafen – sie alle benötigen Gleitlager.

In Bauwerken werden Gleitlager an besonders sensiblen

Schnittstellen eingesetzt, wie beispielsweise im Glastach des Hauptbahnhofs Berlin. Die Dachkonstruktion überspannt circa 300 Meter Bahnsteig. In den Gitterbindern sind unzählige Gelenklager und Bolzensysteme von Schaeffler verbaut. Sie sorgen für den notwendigen Längenausgleich der Stahlkonstruktion unter Einwirkung äußerer Einflüsse, insbesondere durch Wind.

Auf nur zwei Lagern von Schaeffler lastet das Gewicht der Dachkonstruktion des Wembley-Stadions: Die Lager tragen

jeweils 7.500 Tonnen Gewicht und sind auf eine Lebensdauer von 100 Jahren ausgelegt.



Im Dach des Berliner Hauptbahnhofs sind Gelenklager und Bolzensysteme von Schaeffler im Einsatz

» Die Digitalisierung bringt eine neue Baukultur. Für den Architekten ist es ein Paradigmenwechsel

Matthias Kohler,
Professor für Architektur und
Digitale Fabrikation ETH Zürich



Ein industrieller Roboter (In situ Fabricator) erstellt eine 3D-Gitterstruktur, die mit einem Beton ausgefüllt wird, der über spezielle Fließigenschaften verfügt

wie Dämmeigenschaften, Heizleistungen und Belüftungsdaten sowie die spätere Raumtemperatur und die Energiekosten zu unterschiedlichen Tages- und Jahreszeiten im Voraus berechnet. Das digitale BIM-Gebäudemodell wird so noch vor Baubeginn zur echtzeitbasierten Steuer-, Mess- und Regelzentrale, die den gesamten Lebenszyklus technisch und wirtschaftlich optimiert. Auch hier ein Beispiel: Architekten können den digitalen Zwilling noch vor Baubeginn drehen und auf dem Grundstück hin und her bewegen, verschiedene Standorte im Zeitraffer durch die vier Jahreszeiten hinweg simulieren, um so unter anderem die energetisch beste Ausrichtung und Gestaltung zu ermitteln.

Ganz neue Möglichkeiten

Auch an der Technischen Hochschule Zürich beschäftigt man sich intensiv mit neuesten Digital-Anwendungen. Der Professor für Architektur und Digitale Fabrikation Matthias Kohler erklärt: „Die Digitalisierung bringt eine neue Baukultur. Für den Architekten ist es ein Paradigmenwechsel.“ An der ETH Zürich, die hier wichtige Impulse liefert, arbeiten Forschende von acht Professuren mit Branchenexperten und Planungsfachleuten zusammen. Sie erforschen und testen, wie die digitale Fabrikation das Entwerfen und Bauen verändern kann. Ziele sind die Gestaltungsflexibilität, der sparsame Materialeinsatz, die Zeit- und Kosteneffizienz sowie eine verbesserte Qualitätskontrolle. Ein Beispiel für eine solche digitale Fabrikation ist eine s-förmige Wand mit der sogenannten Mesh-Mould-Technologie (siehe auch Foto links). Die neue Bautechnologie vereint die Funktionen Bewehrung und Formgebung in einem von Robotern gefertigten Stahlgitter. Dadurch können beliebig geformte Stahlbetonstrukturen ohne aufwendige Schalungen kosteneffizient und nachhaltig hergestellt werden. Auf diese digital fabrizierte Wand wurde eine funktional integrierte Geschosdecke mit einer ungewöhnlich komplexen Form aufgelegt. Die Deckenschalung wurde im 3D-Druck-Verfahren hergestellt. Alle Daten des Konstrukts stammen auch hier aus einem BIM-Modell.

Den Daten-Irrgarten sortieren

Damit sich die Nutzer in den viele Terabyte großen Datenräumen eines BIM-Modells nicht verlaufen, werden die Gesamtinformationen und komplexen Bilder in Schichten (Layers) aufgeteilt, in denen



Digital geplant, additiv gefertigt: Die geschwungenen Deckenelemente, die in einer im 3D-Druck gefertigten Schalung gegossen wurden, werden auf der Baustelle zusammengefügt

die für die jeweiligen Gewerke relevanten Daten hinterlegt sind. Den Statiker zum Beispiel interessieren nur die Daten, welche die Konstruktion betreffen, und der Fassadenplaner wird sich nur mit der äußeren Gebäudehülle beschäftigen. Jedes verwendete, geplante oder mögliche Bauteil wird in einer BIM-kompatiblen Datenbank hinterlegt. Wichtig sind neben den klassischen Maßen Fakten über das Material, beispielsweise die Wärmeleitfähigkeit sowie Brennbarkeit. Selbst die Bezugsquelle lässt sich später noch ermitteln, indem man das entsprechende Detail einfach nur anklickt. Doch auch der Abstand und die Beziehung zu benachbarten Bauteilen werden erfasst.

Noch sind viele der beschriebenen BIM-Möglichkeiten Vision. Doch als Henry Ford das Fließband einführte, gehörte er ebenfalls zu den Visionären. Niemand wollte glauben, dass man die Herstellung von komplexen Werken oder Produkten in einzelne, monotone Handgriffe zerlegen kann. Dabei war das nur der Anfang der fortschreitenden Industrialisierung und Automatisierung. Der Autor Aldous Huxley beginnt sein Werk „Schöne neue Welt“ mit den Worten „Utopien erscheinen

oft realisierbarer als je zuvor“. Die Bauindustrie folgt dieser These mehr denn je. Die digitale Planungsmethode BIM sowie innovative Produktionstechniken schaffen völlig neue Möglichkeiten der Gestaltung, die gleichzeitig schneller und günstiger realisierbar sind. Vielleicht wird anspruchsvolles Wohnen in komplexer Architektur bald für jedermann erschwinglich. Das wäre ein echter Fortschritt. Die Chancen stehen gut. Willkommen in der neuen Bauwelt.



Der Autor

Robert Schütz ist Fachjournalist für Architektur sowie Digitales Bauen und zudem Geschäftsführer von Bautalk. Das Redaktionsbüro mit Sitz in Frankfurt a. M. ist spezialisiert

auf die Bereiche Architektur und Bauwesen. Seine Lieblingsgebäude: das berühmte Privathaus Fallingwater von Frank Lloyd Wright und die Casa Gilardi in Mexico City, das 1976 fertiggestellte letzte Haus von Luis Barragán.

Mit der Kraft des Windes

Seit Jahrtausenden arbeitet der Wind für den Menschen: Er mahlt Korn oder pumpt Wasser. Treibt Schiffe übers Meer oder Ballone und Segelflugzeuge in ungekannte Höhen. Zukünftig wird Wind ein immer mächtigerer Mitstreiter im Kampf gegen den Klimawandel – dank ständiger technologischer Innovation.



Von Daniel Hautmann

107 Meter. So lang ist ein einziges Rotorblatt der leistungsstärksten Windkraftanlage der Welt. Sind alle drei Flügel montiert, malen sie einen Kreis mit 220 Meter Durchmesser in den Himmel. Um die Dimensionen einzuordnen: Das größte Riesenrad der Welt, der High Roller in Las Vegas, ist „nur“ 167 Meter hoch.

Das Rekordwindrad Haliade X vom US-Hersteller General Electric (GE) wird gerade im Hafen von Rotterdam getestet. Es erreicht eine Gesamthöhe von 260 Metern und ist damit nur unwesentlich kleiner als der Eiffelturm. Am beeindruckendsten aber ist seine Nennleistung: zwölf Megawatt. Vor nicht allzu langer Zeit wurden derartige Giganten ins Reich der Fabelwesen verwiesen, heute sind sie Realität – und noch lange nicht das Ende der Evolution. Andere Hersteller haben bereits 15-Megawatt-Maschinen angekündigt. Laut GE liefert die Haliade X Strom für bis zu 16.000 Haushalte und es genügen drei Rotorumdrehungen, um die Batterie eines Tesla Model 3 aufzuladen – womit der Wagen mehr als 500 Kilometer weit kommt.

Klar, dass solche Riesen nur auf hoher See, fernab der Küsten, installiert werden. Dort stören sie niemanden. Offshore ist auch die Windausbeute besser. Windräder auf See liefern mehr

Offshore-Doppelpack

Das Rendsburger Unternehmen Aerodyn setzt **zwei Windräder auf einen Schwimmer**. Die Doppelung senkt laut Hersteller die Kosten und steigert die Leistung. Die schwimmende Konstruktion ermöglicht den Einsatz in tiefen Gewässern. Nezy² heißt die Anlage. Die Türme der beiden Windräder stehen 90 Grad auseinander, was an eine Astgabel erinnert. Die beiden Rotoren, die sich selbstständig zum Wind ausrichten, rotieren gegenläufig und werden so gesteuert, dass sie sich nicht in die Quere kommen. Dieses Drehkonzept verhindert zum einen Windschatten unter den Zwillingen, zum anderen stabilisiert es den Schwimmer. Wann die erste Zwillinganlage in See sticht, ist allerdings noch offen. Ein 18 Meter hoher Prototyp im Maßstab 1:10 wurde im Herbst auf dem Greifswalder Bodden getestet und hat sich selbst bei Orkanstärke als seefest erwiesen. **China hat schon Interesse bekundet, eine 1:1-Variante mit 180 Metern Höhe in den Probetrieb zu nehmen.** Die soll dann sogar 20 Meter hohen Wellen trotzen können. Im Meeresboden verankerte Stahlseile halten die Anlage in Position.





Holz, unterschiedlich gedacht: Der schwedische Anbieter Modvion (o.) setzt auf vorgefertigte und selbsttragende Formmodule. Beim deutschen Timber Tower (r.) wuchs – ebenfalls in Modulbauweise – ein Holzgestell in die Höhe, das im Nachhinein verkleidet wurde



Volllaststunden als an Land: Während es onshore pro Jahr rund 2.000 sind, sind es auf See bis zu 4.500 Stunden mit Maximal-Output. Der vermeintliche Größenwahn hat einen logischen Hintergrund. Je größer die Anlagen, desto mehr Strom liefern sie – und desto einfacher wird die Logistikkette: „Größere Anlagen haben gewaltige Vorteile“, sagt Windkraftspezialist Manfred Lührs vom Beratungsunternehmen 8.2. „Mit ihnen werden die Standorte optimal ausgenutzt.“

Schwimmende Anlagen

Epizentrum der Offshore-Windindustrie ist mit aktuell rund 22 installierten Gigawatt Nennleistung Europa (inklusive UK). Genau gesagt: die Nordsee. Kein Wunder. Hier ist das Wasser seicht und der Strombedarf hoch. Wobei seicht rund 40 Meter bedeutet. Für die Offshore-Windkraft ist das ideal. Hier können große Stahlfundamente auf den

Holz trifft Wind

Ehe Windkraftanlagen regenerativen Strom liefern, gehen sie erst mal in die Klima-Miesen: Durch die Errichtung der gewaltigen Masten und Fundamente aus Beton und Stahl werden je nach Größe 2.000 und mehr Tonnen Klimagase emittiert. Durch den Einsatz von Holz, das beim Wachsen CO₂ bindet (immerhin eine Tonne pro Kubikmeter) können Windkraftanlagen klimaneutral errichtet werden. Und der Werkstoff Holz bietet weitere Vorteile:

- Die modulare Bauweise und das Material macht die **Türme leichter**. Der Aufbau der Module setzt keine besondere Beschaffenheit der Zuwegung voraus. Die Module werden vor Ort zusammengesetzt. Aufwendige Schwertransporte entfallen.
- Der Holzturm ermüdet nicht so schnell und kennt **keine Korrosion**.
- Der **Rückbau von Anlagen aus Holz ist weitaus einfacher** als bei Anlagen aus Beton oder Stahl. Beim sachgemäßen Verbrennen ausgedienter Anlagenteile entsteht dann keine zusätzliche Belastung, die Energie kann sinnvoll genutzt werden.
- Nabenhöhen von **bis zu 200 Metern** sind auch mit dem Naturbaustoff möglich.
- Holz eignet sich auch als Material **für Fundamente und Rotorblätter**.

Trotz dieser Vorzüge konnte Holz die Vormachtstellung von Stahl und Beton bei Großwindanlagen noch nicht aufbrechen, da diese Baustoffe mit großer Prozesstiefe im Markt etabliert sind. Die 1,5-Megawatt-Anlage des deutschen Anbieters Timber Tower, die 2012 bei Hannover in Betrieb ging, blieb trotz angekündigter Folgebauten bislang ein Pilotprojekt. In Schweden hat der Anbieter Modvion einen ersten Prototyp aus vorgefertigten Leimholzmodulen im April 2020 in Betrieb genommen. Ab 2022 sollen erste, bis zu 150 Meter hohe Projekte für schwedische Energiekonzerne umgesetzt werden. Modvion geht davon aus, dass Windenergietürme aus Holz nicht nur klimafreundlicher, sondern auch deutlich kostengünstiger gebaut werden könnten als solche aus Stahl. Holz arbeitet – auch noch am Durchbruch in der Windenergie.

Segel setzen

90 Prozent des Welthandels werden auf dem Seeweg abgewickelt. Entsprechend groß ist das **Potenzial, durch die Revitalisierung von Frachtseglern Emissionen zu reduzieren**. Die geplante Oceanbird (Abbildung) kommt zwar langsamer voran als aktuelle Motorschiffe, aber dafür um 90 Prozent CO₂-ärmer. Während die Oceanbird auf metallene Teleskopsegel setzt, gibt es andere Ideen mit riesigen Kite-Segeln oder segelförmigen Hochbaurümpfen. Gleichzeitig wird nach windgünstigen Schifffahrtsrouten gesucht.



Grund gestellt oder sogenannte Monopiles, gigantische Stahlröhren, in den Meeresgrund getrieben werden und den Anlagen so Halt geben.

So seicht wie die Nordsee sind andere Meere aber nur an ganz wenigen Stellen: Fast überall auf der Welt ist das Wasser zu tief für große Stative, die Windräder tragen. Rund 80 Prozent der weltweiten Windressourcen liegen über Gewässern, die mindestens 60 Meter tief sind. Doch es gibt eine Lösung für dieses tiefgründige Problem: schwimmende Windräder.

Weltweit werden bereits Dutzende Prototypen getestet, teils bis zu acht Megawatt stark. In Europa, Asien und den USA sind kommerzielle Projekte im Gigawattbereich geplant. Bis zum Ende des Jahrzehnts könnten laut dem Global Offshore Wind Report weltweit Schwimmwindräder mit zusammen 6,2 Gigawatt gebaut werden. Das entspricht der Leistung von rund acht Kohlekraftwerken.

Europäische Staaten pushen die Technologie. „Europas Westküste und das Mittelmeer sind tiefe Gewässer mit guten Windbedingungen, nahe an großen Verbrauchern“, sagt Kimon Argyriadis vom Beratungsunternehmen DNV GL. Zudem sei Europa schon bei der bodenbasierten Offshore-Windkraft der Technologietreiber gewesen – das Geschäft mit den schwimmenden Maschinen wolle man sich nicht nehmen lassen. Kein Wunder: Fachleute gehen davon aus, dass sich die Technologie zum Standard entwickeln wird, mit sagenhaft günstigen Kilowattstundenpreisen von nur wenigen Cent. Ein solches europäisches Projekt ist der doppelrotorige Schwimmer Nezy² des Rendsburger Unternehmens Aerodyn (siehe Randspalte Seite 83). Klaus Ulrich Drechsel, Offshore-Experte vom Energieunternehmen EnBW, das sich bei Nezy² eingekauft hat, sieht großes Potenzial in solchen Anlagen, weil sie sich praktisch in Küstenregionen aller Weltmeere einsetzen ließen, auch solchen, die steil abfallen und schnell große Tiefen erreichen.

Flexibel bleiben

Die enormen Rotordurchmesser moderner Windenergieanlagen von 200 und mehr Meter führen dazu, dass Rotorblätter in einer Umdrehung stark variierenden Windgeschwindigkeiten vor allem an den Blattspitzen ausgesetzt sind. **Eine Steuerung, die dieses Phänomen berücksichtigt, kann nicht nur den Stromertrag einer Turbine verbessern, sondern auch Ermüdungsschäden durch Blattwinkelfehlstellungen vermeiden.**

Bislang wurde bei Turbinen in der Regel eine Steuerung genutzt, die alle Blattwinkel gleichzeitig an die Gegebenheiten anpasst, wodurch der Energieertrag deutlich absinken kann. Bei modernen Großanlagen setzt sich immer mehr eine individuelle Blattverstellung durch. Potenzielle Vorteile: gesteigerte Energieausbeute, reduzierte Ermüdungserscheinungen, niedrigere Schallemissionen und ein besseres Strömungsfeld hinter dem Rotor.



Höhenwinde abgreifen

Das Potenzial der Schwimmer lässt sich noch in die Höhe treiben. Denn weiter oben weht der Wind stärker und stetiger. Daher werden moderne Windkraftanlagen auf möglichst hohen Türmen montiert. Die können aber nicht beliebig hoch gebaut werden. Also müssen andere Ideen her. Eine davon ist die Flugwindkraft (siehe Randspalte rechts). Solche Maschinen sehen ganz anders aus als die gewohnten Dreiflügler. Genau wie Kinderdrachen hängen auch die Flugwindkraftwerke an der Leine und klettern hoch in den Himmel. Die Leinen sind allerdings bis zu 600 Meter lang – und müssen irrsinnige Kräfte aushalten. Die Kommerzialisierung der Flugwindkraft ist zwar noch weit entfernt, dennoch überzeugen die Vorteile. Da ist vor allem ihr geringer Materialbedarf. Sie brauchen keinen Turm und keine elendslangen Flügel, auch das Fundament kann leichtfüßiger ausfallen. Das Beste aber ist: Dank der höheren Ausbeute könnten zwei Megawatt starke Höhenwindkraftwerke auf größere Jahresstromerträge kommen als drei Megawatt starke konventionelle Windräder. Fort Felker, Direktor des Höhenwindkraft-Pioniers Makani, führt genau dieses Argument an, wenn er die Flugwindkraft promotet: „Die Technologie ermöglicht es, mit leistungsschwächeren Anlagen mehr Energie zu ernten.“

Hoch im Wind

Zwar sind bereits zahlreiche Flugwindkraft-Systeme in der Luft, doch genau genommen sind es allesamt noch Prototypen. **Die genutzten Technologien unterscheiden sich zum Teil gravierend.** Zwei grundlegende Ansätze zeigen sich: Das eine Lager bringt den Generator in die Luft und erzeugt den Strom im Flug. Über spezielle Halteseile, die gleichzeitig den Strom transportieren, wird er dann zur Erde geleitet. Das andere Lager favorisiert die Stromerzeugung am Boden. Steigt der Kite oder Flügel in die Höhe, spult er ein Seil ab, das wiederum einen Generator antreibt und dabei Strom generiert. Das Prinzip wird auch Jojo genannt, da der Flügel immer wieder eingeholt wird – und in dieser Phase keine Energie erzeugt. Meister der Lüfte ist das US-Unternehmen Makani, das jahrelang von Google unterstützt wurde. Derzeit halten die Amerikaner mit ihrem Fluggerät M600 einen 26 Meter langen Carbonfaserflügel am Seil. **Acht an der Tragfläche montierte Generatoren erzeugen im Idealfall, also bei genügend Wind, stolze 600 Kilowatt.**



In Höhenwinden ernten Anbieter wie hier Makani mit an sich leistungsschwächeren Anlagen bis zu 50 Prozent mehr Energie

Energie für grünen Wasserstoff

All die Windräder, ganz gleich ob an Land stehend, auf See schwimmend oder gar durch die Lüfte fliegend, könnten Unmengen an grünem Strom liefern. Der könnte all die elektrisch betriebenen Fahrzeuge aufladen oder per Elektrolyse den heiß begehrten grünen Wasserstoff produzieren, der in der Stahl- und Zementindustrie eingesetzt oder in Brennstoffzellen zurückverstromt werden kann. So könnte die Windkraft die Dekarbonisierung des Planeten beflügeln. Wind als Energielieferant ist jedenfalls mehr als genug vorhanden. Fachleute rechnen vor, dass 18 Terawatt installierter Leistung genügen, um den Weltprimärenergiebedarf zu decken – Platz wäre für 400 Terawatt.

Windenergie in der Mobilität

Neben dem Energiesektor gibt es weitere Branchen, die die Kraft des Windes nutzen können. Und das nicht zwingend umgewandelt in Strom. Der Seehandel zum Beispiel. Genauso die Luftfahrt. Frachter auf See bewegen rund 90 Prozent aller Waren, die wir konsumieren – von der Alufolie fürs Pausenbrot über Chemikalien für die Industrie bis zur Zahnbürste. Und was früher ging, geht auch heute noch: Segeln. Rund um den Erdball wehen verlässliche Winde. Und so stechen immer mehr Frachter in See, die den Wind als Antriebskraft nutzen oder sich zumindest von seiner Kraft unterstützen lassen. Manche setzen dabei auf spezielle Segel wie das Dyna-Rigg oder Zugsegelssysteme wie das SkySail. Aus dem geplanten 200 Meter langen Autotransporter Oceanbird wachsen fünf bis zu 80 Meter hohe Fügelsegel heraus. CO₂-Einsparpotenzial der Oceanbird durch die Nutzung von Windkraft: 90 Prozent. Andere setzen auf das über 100 Jahre alte Flettner-Prinzip (siehe auch Seite 37) um Kraftstoff zu sparen. Statt Segel sorgen dabei



Klare Kante

Rotorblätter bestehen aus faserverstärktem Polyester- oder Epoxidharz. Besonders an den Flügelspitzen ist die Rotationsgeschwindigkeit sehr hoch (70–80 m/s). Prallt dort Regen auf, oder – noch extremer – Hagel, vervielfacht sich die Wucht. Die Folge: Oberflächen werden angegriffen. Dadurch erhöht sich der Reibungswiderstand, die Effizienz der Anlage sinkt. Oder noch schlimmer: Wasser dringt in die Blätter ein. Wenn dann Blitze einschlagen, was in solchen freistehenden Hochbauten nicht selten passiert, kann das eingelagerte Wasser aufkochen und die überdehnte Außenhaut zum Platzen bringen. Selbst wenn es so weit nicht kommt, verändern die Wassereinlagerungen die Gewichtsverteilung. Die dadurch verursachten **Unwuchten und Vibrationen belasten Getriebe sowie Lager und verkürzen so die Lebensdauer der gesamten Anlage**. Ein Lösungsansatz: Die norwegische Forschungsorganisation SINTEF experimentierte erfolgreich mit unterschiedlichen **Nanopartikeln wie Kohlenstoffnanoröhrchen oder Partikeln aus Siliziumdioxid**, um Beschichtungen resistenter gegen den Aufprall von Niederschlägen zu machen.

Horizontal statt vertikal

In einem Versuchsfeld im westdeutschen Grevenbroich dreht sich eine **Vertikalmaschine und wandelt Windenergie in elektrischen Strom um**. Das Prinzip der Vertikalachser ist steinalt. Etwa 1.700 Jahre v. Chr. stellten die Perser erste Mühlen mit flach rotierenden Flügeln auf. Der neuzeitliche Nachfahre ist natürlich deutlich leistungsstärker – und höher. 750 kW Nennleistung stehen bei einer Bauhöhe von 105 Metern zu Buche. Dennoch: Moderne Anlagen mit aufrechten Propellern und ähnlicher Nabenhöhe liefern etwa 30 Prozent mehr Leistung ab. Der große Vorteil der Vertikalachser: **Sie sind dreimal leiser** als herkömmliche Anlagen und können so näher an Wohngebiete heranrücken, ohne gegen gesetzliche Regelungen zu verstoßen.



gewaltige Zylinder für den Vortrieb, die durch Wind in Rotation gebracht werden.

Auf Leewellen in die Stratosphäre surfen

Auch die kommerzielle Luftfahrt könnte ihre Emissionen drastisch senken, indem sie den Wind effizient nutzt. Segelflieger sind Meister darin – und gelten seit Langem als Wegweiser, sowohl was Flugmanöver angeht als auch Materialien. Rekordpiloten gleiten mehr als 3.000 Kilometer weit und 23 Kilometer hoch – ohne einen Tropfen Sprit zu verbrennen. Sie nutzen gigantische Leewellen, die sich bei starkem Wind über Gebirgen bilden. Das wollen die Piloten in den großen Airlinern auch – und lernen daher von den Seglern.

Selbst Rennwagen aus der Hightech-Faser Carbon und mit ausgetüfteltem Hybridantrieb nutzen die unbändige Kraft des Windes, um auf Touren zu kommen. Sogenannte Gegenwindfahrzeuge sehen aus wie fahrende Windturbinen und fahren direkt in den Wind. Kurioserweise fahren sie dabei

schneller, als selbiger bläst. Es ist die Maxime des Wettkampfes Racing Aeolus, der seit 2008 alljährlich auf einem Deich im Norden der Niederlande ausgetragen wird und an dem Teams aus aller Welt mit ihren selbst entwickelten und gebauten Rennwagen teilnehmen: Der Wind ist ihr Treibstoff.



Der Autor

Der freie Wissenschaftsjournalist **Daniel Hautmann** hat dem Wind gleich ein ganzes Buch gewidmet: „Windkraft neu gedacht – erstaunliche Beispiele

für die Nutzung einer unerschöpflichen Ressource“ handelt nicht nur von Windkraftanlagen, die Strom erzeugen, sondern von vielen weiteren Ideen, die zeigen, wie der Mensch die Kraft des Windes für sich arbeiten lassen kann – ohne die Atmosphäre mit Klimaschadgasen zu belasten.

3 Fragen an ...

**... Rudolf Walter, Leiter Geschäftsbereich
Windkraft bei Schaeffler.**



Windkraft spielt schon heute eine entscheidende Rolle beim globalen Energiewandel. Wird sich der Stellenwert Ihrer Meinung nach künftig noch erhöhen?

Ja, der globale Energiewandel ist ohne Windkraft nicht denkbar. Der Anteil am Energiemix wird perspektivisch weiter wachsen. Beispiel China, schon jetzt der größte Markt für Windenergie weltweit:

Wie dort der Ausbau beschleunigt wird, um bis 2060 eine Klimaneutralität zu erreichen, ist der Wahnsinn. In den nächsten fünf Jahren sollen im Schnitt pro Jahr neue Anlagen mit einer Leistung von insgesamt 50 Gigawatt installiert werden, in den Jahren danach sogar noch mehr. Das ist mehr als eine Verdopplung der aktuellen Wachstumsrate von 20 Gigawatt pro Jahr. Das ist natürlich auch für die Industriesparte von Schaeffler eine interessante Perspektive.

Mit welchen Innovationen will Schaeffler die Effizienz von Windkraftanlagen weiter erhöhen?

Unter anderem wenden wir spezielle Verfahren an, um größere Lagerlösungen robuster zu machen, die dann mehr Leistung und in der Folge niedrigere Stromgestehungskosten erzielen können. Wir verwenden daher zum Beispiel ein Induktivhärteverfahren, um Lager größer als 2,50 Meter Außendurchmesser wirtschaftlicher produzieren zu können.

In puncto vorausschauende Instandhaltung möchte Schaeffler in Kürze mit einer weiteren Innovation aufwarten. Welche ist das genau?

Das stimmt. Wir haben Verfahren entwickelt, um zum einen den Wassergehalt im Öl permanent zu messen sowie die Strombeaufschlagung eines Lagers erkennen und zurückmelden zu können. Beides sind Warnhinweise für sogenannte White Etching Cracks, also strukturelle Veränderungen unterhalb der Oberfläche bei Lagern. So können wir kostenintensive Ausfälle eines Lagers reduzieren. Derzeit befinden wir uns im Prototypen-Betrieb. Der Plan ist, im nächsten Jahr in Serie zu gehen.



Impressum

Herausgeber

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

Kommunikation Schaeffler

Thorsten Möllmann
(Leiter Kommunikation & Public Affairs Schaeffler Gruppe)
Martin Mai
(Leiter Newsroom, Chefredaktion Schaeffler Gruppe)

Redaktionsleitung

Volker Paulun,
Stefan Pajung (Stv.)

Koordination

Carina Chowanek,
Gina Fernandez

Druckvorstufe

Julien Gradtke,
Anke von Lübken

Druck

Hofmann Druck Nürnberg GmbH & Co. KG

Autoren

Björn Carstens, Daniel Hautmann, Christian Heinrich, Olaf Jansen, Oliver Jesgulke, Roland Löwisch, Carsten Paulun, Robert Schütz, Dr. Lorenz Steinke

Fotos/Illustrationen

Titel: Getty; S. 3: Schaeffler; S. 4/5: Getty, Forgemind Archmedia, Delsbo Electric, Medifly; S. 6/7: Getty; S. 8: Getty; S. 9: Getty, Johannes Plenio (unsplash.com); S. 10: Samsung, Schaeffler; S. 11: shanghaiako (twitter), Getty (2); S. 12–15: Getty, privat, Schaeffler (3); S. 16–21: Walt Disney; S. 22: iStock; S. 23: Dean Mouhtaropoulos/Getty; S. 24: SAP; S. 25: Dreamstime, Witters/DFL; S. 26: iStock, Luna Rossa; S. 27: Harry KH/Team; S. 28: iStock, DTM; S. 29: HYRAZE League; S. 30/31: Forgemind Archmedia; S. 32/33: Getty (2), Ford; S. 34: Josep Lago/Getty, Wikimedia; S. 35: Graham Barclay/Getty; S. 36: gemeinfrei, Lane Motor Museum, Racing Aeolus; S. 37: Getty, Norsepower, privat; S. 38: Lothar Spurzem, Georg Sander/Flickr, Daimler AG; S. 39: BMW, Porsche, Rudolf Stricker, VW; S. 40: Hersteller; S. 41: Bentley, Audi, Schaeffler Paravan, ABT Sportsline; S. 42: Martin Poole/Getty; S. 43: iStock, gemeinfrei;

S. 44: Getty, Michal Beitz/Pixabay, gemeinfrei; S. 45: gemeinfrei, Getty; S. 46: Getty, Kostka Rubika/Pixabay, privat; S. 48/49: Schaeffler; S. 50/51: Delsbo Electric; S. 52/53: Schaeffler; S. 54/55: Schaeffler Paravan; S. 56–61: Hersteller (8), Getty (2); S. 62/63: Schaeffler; S. 64/65: Medifly; S. 66/67: Ivelin Ivanov, Getty; S. 68: JR East; S. 69: Philippe Huguen/Getty; Oliver Lang/Deutsche Bahn AG, Falk2/Wikimedia; S. 70: Siemens; S. 71: Hyperloop, Schaeffler; S. 72–75: Getty (2), privat (2); S. 76: Miguel Navarro/Getty; S. 78: Peri; S. 79: Schaeffler (2); S. 80/81: NEST (2), privat; S. 82–89: Getty (2), Hersteller (5), privat, Schaeffler; S. 90: Schaeffler

© 2020 Alle Rechte vorbehalten Nachdruck nur mit Genehmigung

tomorrow Alle bisher erschienenen Ausgaben



01/2015
Mobilität
für morgen



02/2015
Produktivität



03/2015
Unterwegs



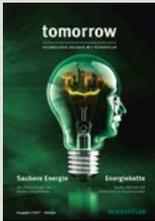
01/2016
Innovationen



02/2016
Nachhaltigkeit



03/2016
Digitalisierung



01/2017
Energie



02/2017
Bewegung



03/2017
Maschinen



01/2018
Transformation



02/2018
Urbanisierung



03/2018
Beschleunigung



01/2019
Herausforderungen



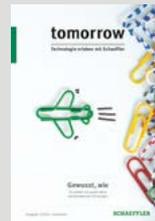
02/2019
Holismus



03/2019
Arbeit



01/2020
Chancen



02/2020
Innovation

tomorrow wurde ausgezeichnet



Special Mention
„Communications
Design Editorial“



best of
content marketing
Silber 2017

Silber
Sonderpreis
„Internationale
Kommunikation“



german
brand
award
2017
special

Special Mention
„Herausragende
Markenführung“



Award of Excellence
Titel (2/2017)
und Titelstory
„Stromführend“



Gold Winner
„Websites:
Customer Magazine“



Award of Distinction
„Cover Design, Overall
Design, Corporate
Communications,
Copy/Writing“



Gold Winner
„Websites,
Feature Categories,
Best Copy/Writing“



Gold Winner
„General Website,
Categories-
Magazine“



Silber
„Writing:
Magazines Overall“



Grand Winner
„Magazine“



Web-Welten

Mehr zum Erfolgsfaktor
Innovation finden Sie auf
unserer Homepage
schaeffler.com



FSC

www.fsc.org

MIX

Papier aus ver-
antwortungsvollen
Quellen

FSC® C022647