tomorrow

Technologie erleben mit Schaeffler

Effizient haushalten

Nur wer mit Ressourcen sparsam umgeht,
erreicht nachhaltig sein Ziel

Ausgabe 2/2021 · Effizienz

SCHAEFFLER

Ef|fi|zienz, die; - [ɛfiˈt͡si̯ɛnt͡s]

[1] Verhältnis zwischen Leistung und Erfolg beziehungsweise Einsatz (Kosten) und Gewinn (Ertrag).

[2] Energieeffizienz ist das Maß für den Energieaufwand zur Erreichung eines festgelegten Nutzens. Die Energieeffizienz ist umso höher, je geringer die Energieverluste für das Erreichen des jeweiligen Nutzens sind.

Quelle 1: Effizienz. Version vom 26. Februar 2021. Wiktionary, das freie Wörterbuch. Abgerufen am 9. August 2021, 14:35 von https://de.wiktionary.org/w/index.php?title=Effizienz&oldid=8402622

Quelle 2: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Abgerufen am 9. August 2021, 17:15 von https://www.bmu.de/themen/klima-energie/energieeffizienz/was-bedeutet-energieeffizienz/#c9569

tomorrow wurde ausgezeichnet

Special Mention
„Communications Design Editorial“

Silber
Sonderpreis „Internationale Kommunikation“

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“

Liebe Leserin, lieber Leser,

willkommen in der neuen Ausgabe unseres Technologiemagazins „tomorrow“, in der wir den Begriff „Effizienz“ in den Mittelpunkt gestellt haben. Effizienz zu verbessern – also ein Ziel möglichst ressourcenschonend zu erreichen – ist seit über 70 Jahren eine Triebfeder unseres Unternehmens. Das 1949 von unserem Firmengründer Dr.-Ing. E. h. Georg Schaeffler erfundene käfiggeführte Nadellager ist so ein Effizienz-Verbesserer. Und das gleich mehrfach: Die Entwicklung des Nadelkäfigs erlaubte wesentlich höhere Drehzahlen bei geringerer Reibung und Verschleiß. Ingenieure konnten so andere Lagerbauformen durch käfiggeführte Nadellager ersetzen und die Leistungsfähigkeit ihrer Anwendungen deutlich verbessern. Wie wir heute im Jahr 2021 und in Zukunft mit immer neuen Lagerinnovationen Transformationsprozesse beschleunigen wollen und was hauchdünne und multifunktionale Oberflächen damit zu tun haben, erfahren Sie ab Seite 68.

Ein aussagekräftiger Indikator, um Effizienz zu messen, ist der Wirkungsgrad. Der einer Glühbirne liegt bei wenig erhellenden fünf Prozent – zurecht verschwinden sie daher aus unseren Lampen. Gerade vor dem Hintergrund des Klimawandels sind solche Energiefresser wenig zeitgemäß. Unsere jüngst vorgestellte Leistungselektronik für 800-Volt-Antriebsstränge erzielt in definierten Lastbereichen einen fast perfekten Wirkungsgrad von über 99 Prozent. Damit helfen wir, die ohnehin schon gute Gesamteffizienz von E-Autos weiter zu steigern. Viele weitere Innovationen von Schaeffler aus dem Bereich E-Mobilität, die dasselbe Ziel haben, stellen wir Ihnen ab Seite 18 vor.

Um dem Klimawandel wirklich etwas entgegenzusetzen, reicht es aber nicht, einzelne Produkte oder Handlungen zu betrachten und zu optimieren, wir müssen immer auch die Wirkketten drumherum in unsere Überlegungen mit einbeziehen. Wie können wir Stahl, einen der Hauptwerkstoffe der Welt, „grün“ produzieren, wie können wir Häuser nicht nur CO_2-neutral bewohnen, sondern auch bauen und wie können wir Energie gewinnen oder bequem reisen, ohne die Umwelt weiter zu belasten? Auf den kommenden Seiten finden Sie viele Konzepte, Ideen, aber auch schon einsatzbereite Lösungen, auch aus unserem Haus, die helfen können, die drängenden Herausforderungen unserer Zeit zu meistern. Und egal, welche Innovation es ist: Effizienz ist der Schlüssel in eine nachhaltige Zukunft.

Effizienz hat die Gegenwart stets schnelllebiger gemacht und das Tor zur Zukunft aufgestoßen. In 80 Tagen um die Welt – vor 150 Jahren Science Fiction aus der Feder von Jules Verne – ist heute touristisches Bummeltempo. Aber vor allem lässt Effizienz als wirkungsvoller Kostensenker viele Menschen am technologischen Fortschritt teilhaben. Bestes Beispiel: das Mobiltelefon. Einst Luxusgut für die Oberschicht, heute leistungsfähiges und in Massen produziertes Kommunikationsmittel für alle Gesellschaftsschichten.

Und, liebe Leserinnen und Leser, passend zum aktuellen Schwerpunktthema wird „tomorrow“ Sie zukünftig noch effizienter informieren. Ergänzend zum gedruckten und vielfach ausgezeichneten Magazin horchen wir mit schaeffler-tomorrow.de künftig noch aktueller am Puls des technischen Fortschritts. Analog und Digital effizient vereint. Viel Spaß beim Kennenlernen der neuen „tomorrow“-Welten wünscht

Klaus Rosenfeld
Vorsitzender des Vorstands

In Motion

Mobilität der Zukunft 6

Ich regel das 8

Weniger Energieverbrauch, größere Reichweiten – so steigert Schaeffler mit smartem Thermomanagement die Effizienz von E-Autos

Air Green 12

Mit innovativen Antrieben und Treibstoffen will die Luftfahrtindustrie in eine emissionsärmere Zukunft starten

Was ihr Volt 18

Ob Hybrid oder vollelektrisch, ob 48 oder 800 Volt, im modularen Antriebsbaukasten von Schaeffler findet sich für jedes E-Auto die passende Lösung

Weniger Mecha, mehr tronic 24

Die wachsende Vielfalt und Komplexität der Antriebsstränge stellt freie Werkstätten vor neue Herausforderungen

Digital

Die Welt der Bits & Bytes 26

Das Mega-Web 28

Ein Netzwerk aus Quantencomputern wäre nicht nur epochal leistungsfähiger als das Internet, sondern auch absolut sicher

Digitaler Durchblick 32

Ich sehe was, was du auch siehst: Mixed-Reality-Anwendungen beschleunigen Prozesse und erleichtern die Remote-Kommunikation

1 Terabyte pro Sekunde 34

8.000-mal schneller als 5G: Ab 2030 soll das 6G-Netz die Tür zu einem neuen Kommunikationskosmos aufstoßen

Think Green

Nachhaltige Innovationen 38

Afrika blüht auf 40

Milliarden Pflanzen für Millionen Jobs: Die Great Green Wall quer durch den Kontinent ist das größte Renaturierungsprojekt der Welt

Ins Netz gegangen 44

Wie etwas aus dem Meer fischen, das man nicht sieht? Mit cleveren „Fangmethoden“ für Mikroplastik und Nanopartikel

Stromverteiler 46

Manche Länder produzieren mehr nachhaltige Energie, als sie brauchen. Neue Technologien helfen, Überschüsse effizient zu verteilen

Das große Ganze entscheidet 52

Nur wenn ein E-Auto nachhaltig produziert wird und sauberen Strom tankt, kann es wirklich CO_2-neutral werden

Schlauer bauen 58

Mit nachwachsenden Rohstoffen und neuen Ideen will der Bausektor seinen tiefen CO_2-Fußabdruck einebnen

Effizienz-Könige 62

Reibungsoptimierte Gegenwindfahrzeuge fahren schneller in den Wind hinein, als er ihnen entgegenbläst

Engineering

Produkte, Prozesse & Produktion 66

Tiefgründige Oberflächen 68

Fast ein Viertel des Energieverbrauchs geht durch Reibung verloren. Zeit, das zu ändern – mit neuen Oberflächen-Technologien

Saubere Schlote 74

Eine moderne Welt ohne Stahl ist kaum denkbar – Stahl ohne CO_2-Emissionen schon. Das sind die Technologien für den Wandel

Die Zukunft beackern 78

Die Landwirtschaft ernährt die Welt – dafür braucht sie immer bessere, vor allem effizientere Maschinen

Fliegende Sternwarte 84

Der wichtigste Passagier an Bord des SOFIA genannten Jumbo-Jets ist ein Weltraumteleskop

Future Life

Leben mit dem Fortschritt 86

Fahren ohne Fahrer 88

Rund um den Globus erobern führerlose Service-Fahrzeuge ihren Platz in der Mobilität – und ebnen der Technologie den Weg ins Auto

Wie am Schnürchen 94

An der Küste Saudi-Arabiens soll eine 170 Kilometer lange City entstehen, deren Stadtteile eine urbane Perlenkette bilden

Fähre trifft Flugzeug 98

Wassergleiter sollen als neues interurbanes Verkehrsmittel auf einem Luftpolster energieeffizient übers Meer flitzen

Smarter leben 102

Zeit ist ein knappes Gut – umso wichtiger ist es, sie effizient zu nutzen. Mit diesen Tricks schaffen Sie sich Freiräume in Job und Freizeit

Impressum 106

In Motion

Die Mobilität von morgen hat viele Facetten, aber vor allem muss sie nachhaltig, effizient und nutzerfreundlich sein.

Flug im Zug

Der Hyperloop hat es noch nicht in die reale Verkehrswelt geschafft, da rast schon eine noch extremere Idee heran: das vom dänischen Think-Tank Manyone ersonnene Magnetbahn-Konzept Aeroslider. **Der 250 Meter lange Zug soll 800 km/h schnell sein** – ohne eigenen Antrieb an Bord. Für Vortrieb sorgen Magnetringe, die auf 20 Meter hohen Pylonen in der Landschaft thronen. Durch die zischt der Aeroslider berührungslos – ohne Schienen, Röhren oder andere physische Stabilisatoren. Einen besondere Kniff gibt es aber: Der **Rumpf des Luftgleiters soll mit Helium gefüllt werden,** damit das „Geschoss“ leichter wird. Ob der Zug je von Moskau nach Shanghai in 12 Stunden schießt, wie gedacht, wird sich zeigen. Aber gern zitieren wir an dieser Stelle Albert Einstein: „Wenn eine Idee am Anfang nicht absurd klingt, dann gibt es keine Hoffnung für sie.“

Inklusion trifft Motorsport

Schaeffler Paravan hat für das Inklusionsprojekt „United in Dreams“ E-Karts mit der Drive-by-Wire-Technologie Space Drive behindertengerecht umgebaut. Gesteuert wird das agile E-Kart mit verschiedenen Eingabegeräten, je nach Beschwerdebild: Der Fahrer kann das für den Slalom-Kartsport konzipierte Elektromobil per 2- oder 4-Wege-Joystick steuern, mit einem Gas-Brems-Schieber oder mit einer Force-Feedback-Lenkeinheit. Mit einem solchen Kart können sich Menschen mit körperlichen Einschränkungen **ohne Lenkrad und Pedalerie im sportlichen Wettbewerb mit Gegnern ohne Handicap messen.** Vorgestellt wurde das Projekt, bei dem sich auch der Deutsche Motor Sport Bund, der Verein x4in (Experience for Innovation) und die Aktion Mensch engagieren, auf großer Bühne beim Formel-E-Finale in Berlin.

„Wenn irgendwer lieber in der Vergangenheit leben will, dann kennt er sich mit Geschichte nicht besonders gut aus“

Elon Musk,
Unternehmer und Mobilitätsvisionär

18 Tage

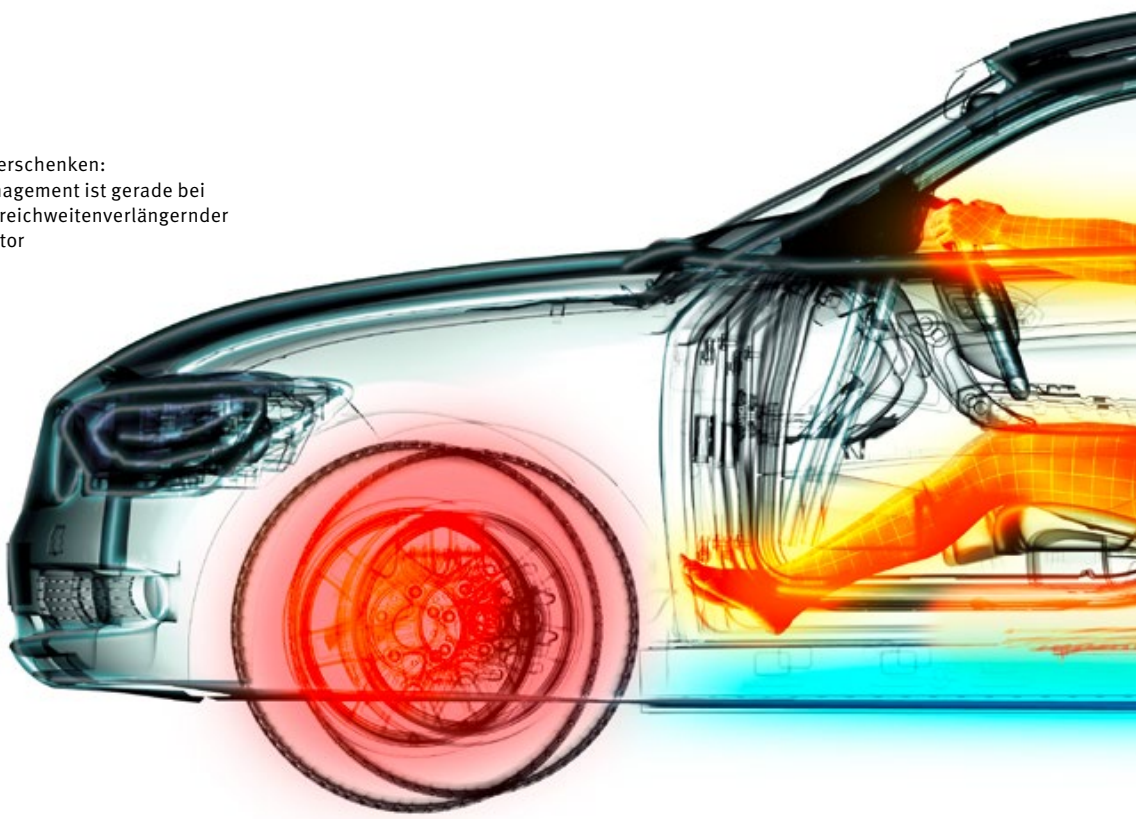
brauchte **der erste Direktzug** auf der 10.000 Kilometer langen Strecke zwischen der an Shanghai angrenzenden chinesischen Provinz Anhui und dem deutschen Nordseehafen JadeWeserPort. Damit erwies sich der transkontinentale Schienenweg als **doppelt so schnell wie der Seeweg.** Allerdings fanden auf dem Zug 100 Container Platz, auf großen Schiffen sind es über 20.000.

Tschüss Formel E, hallo E-DTM

Das Gründungsmitglied Schaeffler hat sich aus der Formel E verabschiedet. Zwei Titelgewinne und 47 Trophäen – darunter ein Sieg von Lucas di Grassi beim Finalwochenende in Berlin – belegen das überaus erfolgreiche Engagement als Technologiepartner. **Das Team Audi Sport ABT Schaeffler ist die bislang erfolgreichste Mannschaft der innovativen Serie.** Dem elektrischen Motorsport bleibt Schaeffler aber treu: **Der Automobil- und Industriezulieferer entwickelt nun das Antriebssystem für die zukünftig vollelektrische DTM.** Das Know-how aus dem Motorsport wird dabei weiterhin direkt in die Entwicklung innovativer Serienlösungen im Bereich E-Mobilität übertragen.

Wärme, wem Wärme gebührt

Frostige Füße, heißer E-Motor und die Batterie irgendwo dazwischen: Die Temperaturregelung an Bord eines Elektroautos ist eine komplexe und sensible Angelegenheit. So funktioniert das effiziente Multitasking eines optimalen Thermomanagements.



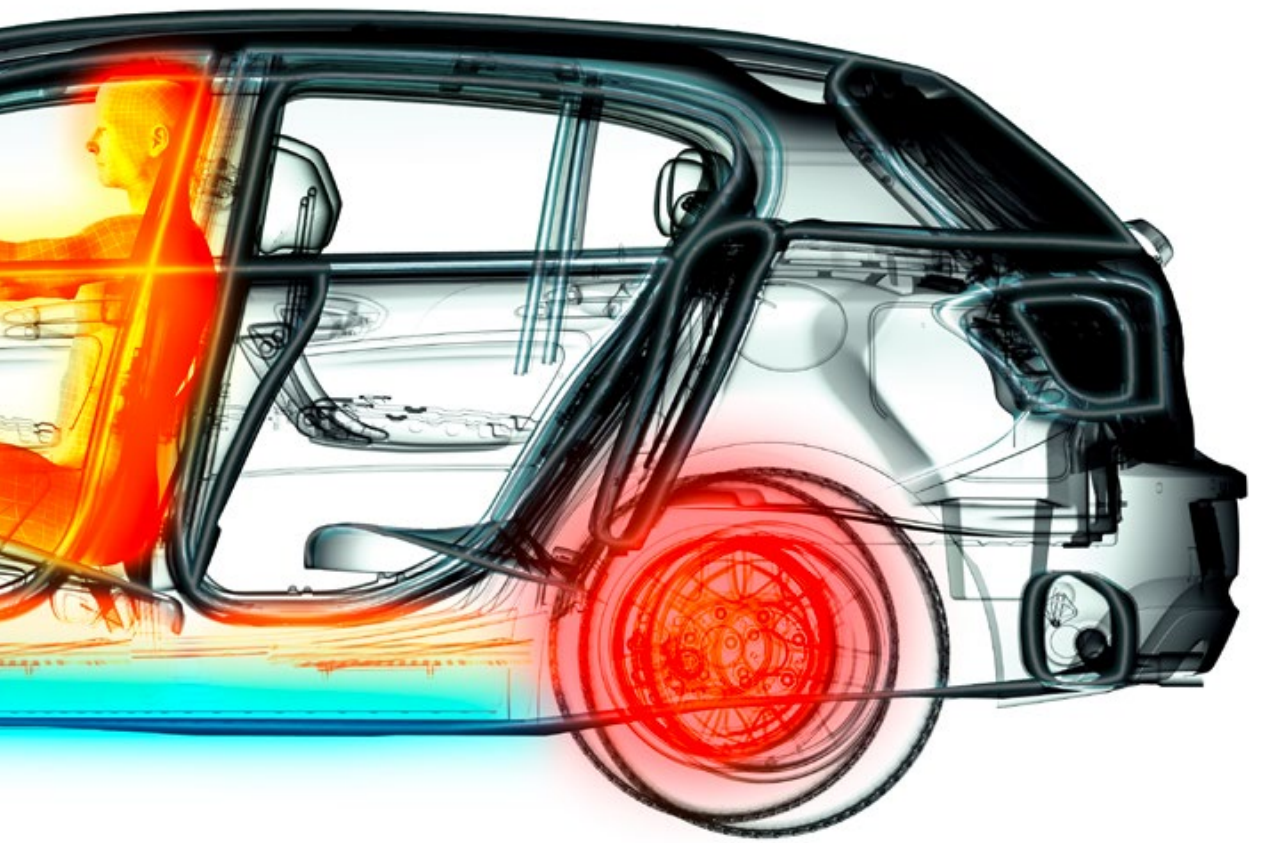
Kein Grad verschenken: Thermomanagement ist gerade bei E-Autos ein reichweitenverlängernder Effizienzfaktor

Von Volker Paulun

Irgendwie haben wir uns daran gewöhnt: Den Temperaturregler unseres Autos auf 20 Grad stellen, den Rest übernimmt die Klimaautomatik. Egal ob draußen eisiger Winter herrscht oder subtropische Schwüle – im Innenraum bleibt es angenehm. In vielen Autos können sich Fahrer und Beifahrer sogar unterschiedliche Gradzahlen einstellen – ganz nach individuellem Empfinden. Doch nicht nur die Insassen haben ihre individuelle Wohlfühltemperatur. Auch die Technik agiert am effizientesten in einem speziellen Temperaturfenster. Bei zu großen Abweichungen drohen sogar Schäden. Da die optimalen Temperaturfenster je nach Baugruppe sehr unterschiedlich sein können, gilt es, Wärmeenergie geschickt zu verteilen oder zu speichern. Ein Job für das Thermomanagement.

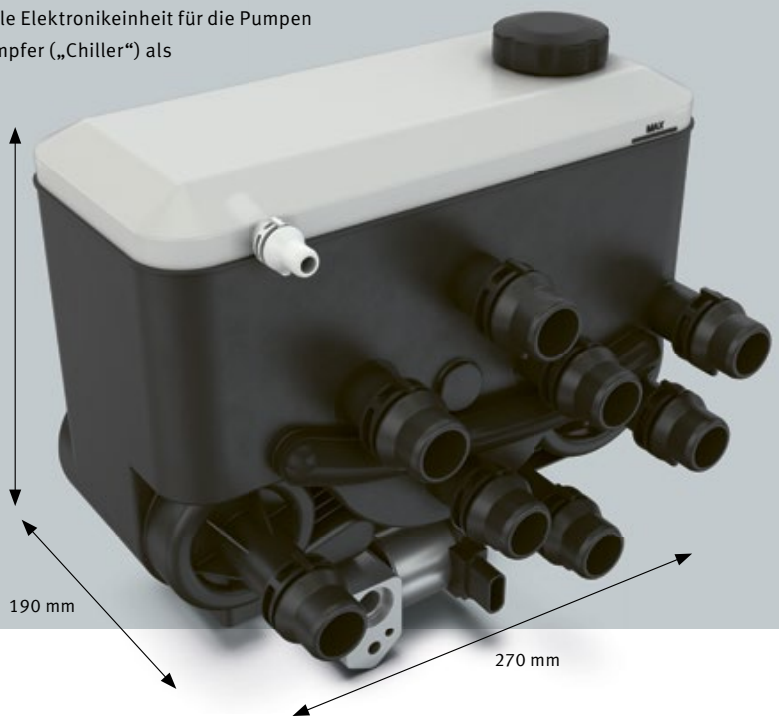
Mit dem ersten Thermomanagementmodul für die Anwendung in einem ottomotorischen Antriebsstrang ist Schaeffler seit 2011 in Serie, und zwar im 1,8-l-TFSI-Motor von Audi. Allein durch den Einsatz dieser Schaeffler-Technologie konnten die CO_2-Emissionen der entsprechend ausgerüsteten Fahrzeuge um bis zu vier Prozent gesenkt werden. Seitdem wird das System ständig weiterentwickelt, vor allem um den deutlich komplexeren Anforderungen elektrifizierter Antriebe gerecht zu werden.

Aktuelle Hybridfahrzeuge verfügen über bis zu drei auf unterschiedlichen Temperaturniveaus arbeitende Kühlkreisläufe: für den Verbrennungsmotor, den Elektroantrieb samt Leistungselektronik und die Batterie. Gleichwohl sind diese Kreisläufe über Wärmetauscher miteinander verbunden. Die einzelnen Komponenten sind nicht mehr auf feste Rollen als Wärmesenken und -quellen festgelegt, sondern können diese Rollen durchaus wechseln. Die gestiegene Komplexität erforderte auch einen Wechsel von einem zentralen auf ein dezentrales Thermomanagement bei elektrifizierten Antriebssträngen.



Das Thermomanagementsystem von Schaeffler

Effizientes Heizen, besonders in Verbindung mit einer Wärmepumpe, ist für den Innenraum und die Batterie eines Elektroautos bei Kaltstarts ausschlaggebend, hohe Kühlleistungen sind bei heißen Außentemperaturen und beim Schnellladen entscheidend. Das neue integrierte Thermomanagementsystem von Schaeffler verschaltet als zentrale Regeleinheit die Kreisläufe für Kühl- und Kältemittel. Außerdem nutzt es die Abwärme aus dem elektrischen Antrieb effizient zur Optimierung der Energiebilanz. Das Thermomanagementsystem integriert zwei elektrische Wasserpumpen, die zentrale Elektronikeinheit für die Pumpen und Ventile sowie Sensorik und Verdampfer („Chiller“) als Kältekreisschnittstelle. Die kompakte Bauweise verringert den Raumbedarf im Vergleich zu herkömmlichen, nicht integrierten Systemen um bis zu 60 Prozent. Gleichzeitig legt das neue Thermomanagementsystem von Schaeffler mit der hydraulisch optimierten Auslegung den Grundstein für die hohe Gesamteffizienz.



Thermomanagement bei E-Autos nochmals wichtiger

Da die reichlich vorhandene Abwärme des Verbrennungsmotors als ergiebige Wärmequelle bei rein elektrischen Fahrzeugen wegfällt, ist eine Optimierung des energetischen Haushalts noch entscheidender. Das Ziel der Entwicklungsingenieure ist es, eine maximale Schnittmenge aus hoher Effizienz des Antriebsstrangs sowie Sicherstellung von Komfortfunktionen und optimalem Bauteilschutz zu erreichen – mithilfe eines ausgeklügelten Thermomanagements.

Das damit dirigierte Zusammenspiel der Kühl- und Kältekreisläufe ist im E-Auto umso wichtiger, da es einen signifikant höheren Anteil an der gesamten Fahrzeugeffizienz hat als bei einem Verbrenner oder Hybrid. Bei eisigen Wintertagen und -nächten, um ein besonders herausforderndes Thema anzusprechen, verbraucht die Heizung in einem E-Auto ähnlich viel Energie, um im Innenraum eine angenehme Temperatur zu erzeugen, wie das Fahrzeug für den Vortrieb an sich. Je effizienter die Heizung ohnehin vorhandene Abwärme anderer Aggregate nutzen kann, desto höher ist die Reichweite. Alles, was an zusätzlichen Gradzahlen benötigt wird, liefert eine reversible Wärmepumpe im Kältekreislauf. Sie kann die von der Antriebsbatterie abgezweigte elektrische Energie immerhin bis zu verfünffachen und je nach Bedarf nicht nur zum Heizen, sondern auch zum Kühlen nutzen.

Batterie schwächelt bei Fieber und Unterkühlung

Im Gegensatz zum konventionell angetriebenen Auto, bei dem der Verbrennungsmotor zentrales Element im Antriebsstrang ist, rückt beim E-Auto die Batterie in den Fokus – auch des

„Die hohe Fertigungs- und Technologiekompetenz von Schaeffler über alle Komponenten elektrischer Antriebssysteme ist ein Schlüssel für technisch führende und zugleich wirtschaftliche Produkte“

Dr. Jochen Schröder,
Leiter des Unternehmensbereichs E-Mobilität bei Schaeffler

Thermomanagements. Der Stromspeicher mit seinen flüssigen Elektrolyten ist sehr temperatursensibel und hat daher meist einen eigenen Kühlkreislauf. Jeder kennt es von seinem Handy: Bei Kälte geht die Akkuleistung in die Knie, weil sich der Innenwiderstand erhöht. Gleiches gilt beim E-Auto, dessen Energiespeicher im Grunde nichts anderes ist als ein Handy-Akku XXL. Die reduzierte nutzbare Kapazität ist aber nur ein Problem. Hohe Ladeströme bei niedrigen Temperaturen unter null Grad können den Akku schädigen, weil die Gefahr besteht, dass die Lithium-Ionen – statt sich wie beim Laden erwünscht in die Anode einzulagern – metallisches Lithium bilden. Plating heißt der gefürchtete Vorgang, der zu Kurzschlüssen oder gar Bränden führen kann. Ein vorausschauendes Thermomanagement bringt den Energiespeicher daher vor dem Ladevorgang in ein „gesundes“ Temperaturfenster.

Das ideale Temperaturfenster eines Lithium-Ionen-Akkus liegt bei 20 bis 40 Grad. Wird der Stromspeicher heißer, verliert er nicht nur Energie, er altert auch. Da ein normaler Kühlkreislauf bei hohen Außentemperaturen schnell überfordert ist, lässt sich ein Kältekreislauf mit Wärmepumpe zuschalten, der nach dem gleichen Prinzip wie bei der Klimaanlage für den Innenraum arbeitet. Das hohe Gewicht einer Antriebsbatterie von mehreren 100 Kilogramm erschwert es, ein optimales Temperaturfenster zu erreichen. Eine umfangreiche Vernetzung des Thermomanagements mit der Fahrzeugsteuerung hilft hier, mögliche Belastungen frühzeitig zu erkennen und entsprechend zu reagieren. Lässt sich der Fahrer beispielsweise per GPS zu einer Schnellladesäule navigieren, kann das System den Akku bereits im Vorfeld in den idealen Temperaturbereich bringen, um die maximale Ladeleistung aufnehmen zu können. Auf je mehr Daten die prädiktive Regelung zurückgreifen kann, desto wirksamer kann sie agieren. Eine entsprechende Rechenleistung wird daher zu einer immer wichtigeren Säule eines effizienten Thermomanagements.

Auch E-Motor braucht Kühlung

Auch wenn die Verlustleistung eines Elektromotors deutlich geringer ist als bei einer Verbrennungsmaschine, wird auch er heiß – durch Reibung und Stromfluss. Wird er zu heiß, kann es zu Schäden zum Beispiel an der Wickelung kommen. Fast alle elektrischen Antriebsmotoren werden daher mittlerweile mit Flüssigkeiten gekühlt. Gleiches gilt für die Leistungselektronik, die den komplexen Stromfluss eines E-Autos steuert. Der vom Thermomanagement regulierte Kühlkreislauf führt diese Wärmeenergie ab und leitet sie zu der Stelle im Fahrzeug, wo sie benötigt wird.

Das Thermomanagement von Schaeffler steuert das komplexe Zusammenspiel aus Kälte- und Kühlkreislauf über ein hochintegriertes Kühlungsmodul bestehend aus Pumpen, Ventilen, dem Kühlmittelbehälter mit eigener Steuerung, ergänzt durch dezentrale, smarte Ventile, die zentral koordiniert werden. Anhand der herrschenden Temperaturen und des Betriebszustands des Fahrzeugs steuert die zentrale Elektronik die Aktuatoren und Pumpen – und so kontinuierlich die Ströme der Wärmeenergie. Man versteht, warum Jochen Schröder, Leiter der E-Mobilität bei Schaeffler, sagt: „Das Wärmemanagement ist der heimliche Star, wenn es darum geht, Fahrzeuge noch effizienter und verbraucherfreundlicher zu machen.“

Die Zukunft des Fliegens

Fliegen nach der Pandemie? Ja, aber nur energieeffizienter und nachhaltiger als bisher, so die Devise von Politik und Luftfahrtbranche. Dafür gibt es jetzt interessante Ansätze.

Von Andreas Spaeth

Die Rumpfform des Flying V ist energieeffizient (–20 % gegenüber einem vergleichbaren Airbus A350) und bietet viel Platz für raumfüllende Wasserstofftanks

Fliegen, aber grüner, so muss die Zukunft der Luftfahrt aussehen. Die bisherige Klimabilanz des Verkehrsmittels Flugzeug lässt keine andere Wahl. Darüber herrscht Einigkeit zwischen Airline-Chefs und Politikern. Die Luftfahrtindustrie hat sich verpflichtet, ihre Netto-CO_2-Emissionen bis 2050 gegenüber dem Vergleichsjahr 2005 zu halbieren. Wissenschaftler sagen, 2050 sei zu spät und drängen auf einen Wandel bis 2030. Nach einer Studie unter Beteiligung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) vom September 2020, die den bisher umfassendsten Einblick zu den Auswirkungen des Luftverkehrs auf das Klima liefert, beträgt der Anteil dieses Verkehrsmittels an der menschengemachten Klimaerwärmung 3,5 Prozent.

Davon entfällt nur ein Drittel auf CO_2-Emissionen, die die bisher wichtigste Messgröße für den Umwelteffekt der Fliegerei bilden. Zwei Drittel der Klimawirkung von Flugzeugen aber entfallen auf andere Effekte. Emissionen von Stickoxiden (NO_x) in Flughöhen unterhalb von 12.000 Meter Höhe fördern eine unerwünschte Ozon-Bildung. Unerwünscht, weil Ozon in diesen Luftschichten kein UV-Blocker ist, sondern wie CO_2 als Treibhausgas wirkt. Emittierte Rußpartikel wiederum tragen je nach Witterung als Kondensationskeime zur Wolkenbildung bei (u. a. in Form der bekannten Kondensstreifen). Diese Wolken reflektieren Wärmeabstrahlungen von der Erde und tragen so ebenfalls zur Klimaerwärmung bei.

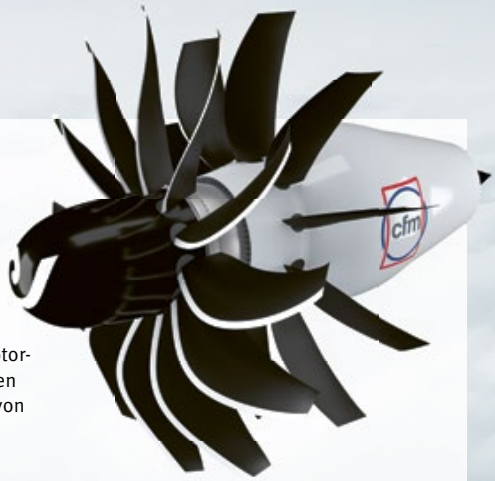
Dazu, wie Flugzeuge und ihre Antriebe in Zukunft umweltverträglicher werden können und welche nachhaltigeren Energien dafür genutzt werden könnten, stellen wir interessante Ideen vor.

Effizienter unterwegs im Nurflügler

Um effizienter zu fliegen, müssen auch äußerlich neue Formen für Flugzeuge untersucht werden. Flying V (Bild unten) heißt ein Konzept in V-Form, das praktisch nur aus einem Flügel besteht, an dem die Technische Universität Delft in den Niederlanden arbeitet, unterstützt von KLM und Airbus. „Wenn diese Konfiguration tatsächlich zum nächsten Langstreckenflugzeug wird, dann ist das der revolutionärste Wandel, den wir in der Luftfahrt seit der Einführung des Düsenantriebs gesehen haben“, sagt Projektleiter Roelof Vos. Bereits 2014 hob erstmals ein Modell des Nurflüglers zu Flugtests ab. Seitdem hat die TU Delft das Flugzeug weiterentwickelt und startete im Juli 2020 das fliegende V im Maßstab 1:5, Spannweite gut drei Meter, 22 Kilo schwer. Ganz bewusst wurden bei diesem Design die Hürden nicht zu hoch gelegt, das Original wird etwas kleiner als der Airbus A350, heute eines der modernsten und effizientesten Verkehrsflugzeuge. Flying V kann bestehende Flughäfen nutzen und dabei die gleiche Zahl an Passagieren und Fracht wie die A350 befördern – bei 20 Prozent weniger Spritverbrauch. „Und die kommen allein vom Rumpf, vielleicht können wir durch Verbesserungen der Triebwerkstechnologie weitere Effizienzgewinne erzielen“, hofft Vos. Mögliche Zukunftsantriebe wären Wasserstoff-Lösungen über Brennstoffzellen oder als E-Fuel. Wasserstoff benötigt riesige Tanks, die sich in konventionellen Jets kaum unterbringen ließen. „Das wäre im äußeren Bereich der Tragflächen des Flying V aber viel besser möglich als in den dünnen heutigen Flügeln,“ weiß der Professor aus Delft.

Effizienz durch offene Schaufelkränze

Eine neue Jet-Generation muss mindestens 20 Prozent effizienter sein als die vorherige. Das geht nur mit radikal verändertem Antrieb, etwa den erstmals bereits Mitte der 1980er-Jahre vorgestellten Open-Rotor-Triebwerken. Zwei offenliegende, gegeneinander rotierende Kränze von schwertförmigen Triebwerksschaufeln sahen damals spektakulär aus, brachten aber viele Probleme mit sich, von Lärm bis zu Vibrationen. Fast dreieinhalb Jahrzehnte später könnte aus dem Nachfolgemodell nun der große Wurf werden, der als Antrieb eines für etwa 2030 zu erwartenden Nachfolgers der Airbus A320neo-Familie bereitstünde. Unter dem Namen RISE stellte Hersteller CFM Mitte 2021 einen neuen Open-Rotor-Antrieb vor, der mit nur einem rotierenden Kranz aus Carbonfaser-Schaufeln auskommt. Die offene Architektur eliminiert die gesamte Struktur um den Schaufelkranz herum – und damit viel Gewicht und Widerstand – und kann so die optimale Schubwirkung erzielen. Auch schrumpfte der Durchmesser des nicht durch ein Gehäuse ummantelten Triebwerks auf knapp vier Meter, was dem Ausmaß heutiger Turbofan-Antriebe inklusive Gehäuse etwa beim A320neo oder der Boeing 737 MAX entspricht. Entscheidend ist, dass RISE mit allen Arten von Treibstoff läuft, bis zu 100 Prozent nachhaltigem Flugsprit oder auch Wasserstoff. Das RISE-Triebwerk soll den Verbrauch um 20 Prozent senken, und das, so der Hersteller, sei nur eine Komponente der gesamten Effizienz des Konzepts. Mit ergänzenden Modifikationen am Flugzeug ließe sich die Effizienz bis 2035 auf 30 Prozent gegenüber heutigen Modellen steigern.



Fit für heute, morgen und übermorgen: Solche Open-Rotor-Triebwerke laufen mit allen Arten von Treibstoffen

„Grüner“ Sprit als Brücke in die Zukunft

Um das Fliegen umweltfreundlicher zu machen, müssen andere Energiequellen her, derzeit stehen nachhaltige Flugtreibstoffe (Sustainable Aviation Fuel – SAF) im Fokus. Da der Anbau von Biomasse zur Konkurrenz mit dem Nahrungsmittelanbau führen kann, beschränkt sich die Herstellung auf die Verwertung etwa von Nahrungs- und Holzabfällen oder gebrauchtem Speiseöl, um nachhaltig zu sein. Daher ist die zu erzeugende Menge an Biokerosin naturgemäß begrenzt. Im Vor-Coronajahr 2018 wurden weltweit rund 15 Millionen Liter Biokerosin hergestellt – weniger als 0,1 Prozent der in der Fliegerei benötigten Treibstoffmenge. Für größere Mengen setzen Pilotprojekte bereits auf die sogenannte Methanol-to-Synfuels-Synthese. Allerdings sind heute für die Erzeugung einer Kilowattstunde synthetischen, strombasierten Treibstoffs im Power-to-Liquid (PtL)-Verfahren noch zwei Kilowattstunden Strom nötig. Um die Tagesration eines Airbus A350 an synthetischem Kerosin zu decken, wären laut Berechnungen der HAW Hamburg 52 Großwindräder mit je 4,6 Megawatt Nennleistung erforderlich. Aber: Ein ausschließlich damit fliegendes Flugzeug wäre CO_2-neutral unterwegs, weil es nur vorher der Atmosphäre entzogenes CO_2 wieder emittiert. Bislang wird synthetisches Kerosin lediglich in geringem Anteil herkömmlichen Brennstoffen beigemischt. Um seinen Anteil zu steigern, versuchen es viele Länder mit vorgeschriebenen Mindestquoten für die Menge an beizumischendem SAF, Deutschland plant 0,5 Prozent ab 2026 und zwei Prozent ab 2030, Neste Oil, einer der größten Hersteller, hält fünf Prozent Anteil bis 2025 und zehn Prozent bis 2030 für realistisch in Europa.

„Seit Anbeginn der Luftfahrt waren Ingenieure bestrebt, die Effizienz und die Sicherheit der Flugzeuge kontinuierlich zu verbessern. Nur dadurch konnten sie zu dem sichersten Massen-Verkehrsmittel unserer Zeit werden. Und die wenigsten werden wissen, dass ein voll besetzter Airbus A319neo pro Passagier nur noch zwei Liter Kerosin auf 100 Kilometer benötigt. Das nächste Ziel der Luftfahrtbranche heißt Null-Emission. Dieses Ziel lässt sich nur mit einem Technologie-Mix für die verschiedenen Anwendungen realisieren. Ich kann mir eine Welt vorstellen, in der Kurzstrecken in Regionalflugzeugen batterieelektrisch betrieben werden. Für Strecken bis 2.000 Kilometer ist Wasserstoff der passende Energieträger, der entweder CO_2-neutral direkt verbrannt wird oder über eine Brennstoffzelle elektrische Antriebe versorgt. Für die Langstrecke sehe ich in den nächsten Jahrzehnten keine Alternative zu den aus regenerativen Energien hergestellten synthetischen Kraftstoffen. Dadurch ergeben sich für Schaeffler Aerospace hervorragende Zukunftschancen. Die Luftfahrt hat ihre eigenen hohen Standards. Und wir sehen uns in der Lage, das bereits sehr gute Entwicklungs- und Serien-Know-how im Unternehmen für elektrische Antriebe auf diese Branche zu übertragen“

Armin Necker,
Geschäftsführer Schaeffler Aerospace

Der E-Flieger P-Volt soll ab 2026 rein elektrisch Kurzstrecken in Norwegen bedienen

Triebwerkspower aus der Steckdose

Elektroantriebe könnten in den nächsten Jahren schon marktreif sein – in Hybridflugzeugen mit bis zu 50 Sitzen für regionale Flüge auf Kurzstrecken. Das Start-up Heart Aerospace aus Schweden erhielt im Juli 2021 einen gewaltigen Schub durch den US-Giganten United Airlines, die bis zu 200 Stück des größten bisher in der Entwicklung befindlichen reinen Elektroflugzeugs ES-19 bestellten. Auch Finnair kooperiert mit Heart und hat sich bis zu 20 Exemplare des 19-Sitzers gesichert. Er soll bis zu 400 Kilometer weit fliegen können, danach müssen die Stromspeicher vor dem nächsten Flug wieder aufgeladen werden, was mit einem 1-Megawatt-Ladegerät am Boden etwa 40 Minuten dauern soll. Nach rund tausend Ladezyklen müssen die Akkus getauscht werden. Die allerersten Elektroflugzeuge für den Passagierverkehr könnten in Skandinavien schon Mitte des Jahrzehnts im Liniendienst stehen. In Norwegen haben sich die Regionalgesellschaft Widerøe, Triebwerksbauer Rolls-Royce und der italienische Flugzeughersteller Tecnam zusammengetan. Das Trio will bereits in etwa fünf Jahren mit der neunsitzigen P-Volt (Abb. o.) das erste Passagierflugzeug mit ausschließlich Elektroantrieb einsetzen. Das Hauptproblem elektrischen Antriebs bleibt die geringe Energiedichte der heutigen Batterien. 200 bis 250 Wh/kg sind das Maximum – während Kerosin eine Energiedichte von 12.000 Wh/kg erreicht.

Allerdings entwickelt sich die verfügbare Batterieeffizienz bei Lithium-Akkus um fünf bis acht Prozent pro Jahr weiter und die NASA erwartet, bis 2030 etwa eine Energiedichte von 350 Wh/kg zu erreichen, was ein 30-sitziges Elektroflugzeug für Kurzstrecken ermöglichen würde. Die Automobilindustrie arbeitet derweil an Festkörper-Akkus mit bis zu 400 Wh/kg, und es gibt sogar Pläne für Fahrzeugbatterien mit 1.000 Wh/kg. Bei Flugzeugen ist reiner Elektroantrieb allerdings auch mittelfristig nur für kleinere Propellerflugzeuge möglich. Bei größeren Regionaljets mit rund hundert Sitzen dagegen bieten sich Hybridlösungen an, Kombinationen von Elektromotoren und konventionellem Jet-Antrieb. Das verleiht den Flugzeugen eine beträchtlich größere Reichweite, gleichzeitig sparen vor allem bei Start und Landung zugeschaltete Elektromotoren Sprit, Emissionen und Lärm.

Die ES 19 von Heart Aerospace fliegt 19 Passagiere bis zu 400 Kilometer rein elektrisch. Finnair und United haben sich Kaufoptionen für den E-Cityhopper gesichert

Wirkt Wasserstoff Wunder?

Bis 2035 will Airbus das weltweit erste „emissionsfreie“ Verkehrsflugzeug herausbringen. Der Ankündigung widersprechen unabhängige Wissenschaftler. Null-Emissionen seien niemals möglich, sagt etwa Dieter Scholz, Professor an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW). Gleich drei verschiedene Entwürfe hat der Flugzeughersteller aus Toulouse vorgelegt – darunter ein eher konventionell aussehender Jet und ein Nurflügler –, von denen einer umgesetzt werden soll, vermutlich die Turboprop-Variante. Die Idee, Wasserstoff statt Kerosin als Energiequelle für Flugzeugtriebwerke zu nutzen, stellt eine echte Herausfordeurung dar. Bis heute fehlt es an alltagstauglichen und wirtschaftlich zu betreibenden Wasserstoff-Flugzeugkonzepten, auch die Infrastruktur für Lagerung und Betankung am Boden zu schaffen ist komplex. Wasserstoff ist nicht pflegeleicht: Er weist zwar gegenüber Kerosin die dreifach höhere Energiedichte auf, ein großer Vorzug gegenüber Batterien, und wiegt nur ein Drittel so viel, benötigt aber bis zu viermal mehr Volumen. Und Platz ist an Bord von Flugzeugen nun mal knapp. Außerdem, und das macht es besonders anspruchsvoll, ist Wasserstoff ein sogenannter kryogener Treibstoff: Ein Gas, das erst bei minus 253 °C flüssig und unter hohem Druck komprimiert für Antriebe nutzbar wird. Wasserstoff lässt sich auf verschiedene Arten für Flugzeuge nutzen: Zur direkten Verbrennung in umgerüsteten Gasturbinen, durch Brennstoffzellen umgewandelt in elektrische Energie – oder man produziert damit in Kombination mit CO_2 synthetisches Kerosin. Das Start-up Universal Hydrogen hat jetzt ein simples Kapsel-System für die Wasserstoff-Versorgung von Turboprop-Flugzeugen (Foto) entwickelt. Am Boden würden zwischen den Flügen zwei Meter lange Wasserstoff-Kapseln hinten im Flugzeug ausgetauscht, um im Flug via Brennstoffzelle Strom zu erzeugen, der die beiden Elektromotoren antreibt. Erste Airlines haben bereits bestellt und wollen ab 2025 vorhandene Flugzeuge wie die ATR-72 und die Dash-8 auf diese Weise so gut wie emissionsfrei betreiben.

Austauschen statt Nachtanken: Wasserstoffkapseln liefern Energie für Brennstoffzellen-Antriebe

Zwei große Fluggesellschaften haben sich bereits Optionen für den 2.100 km/h schnellen Concorde-Nachfolger Overture gesichert

Überschall, aber diesmal nachhaltig?

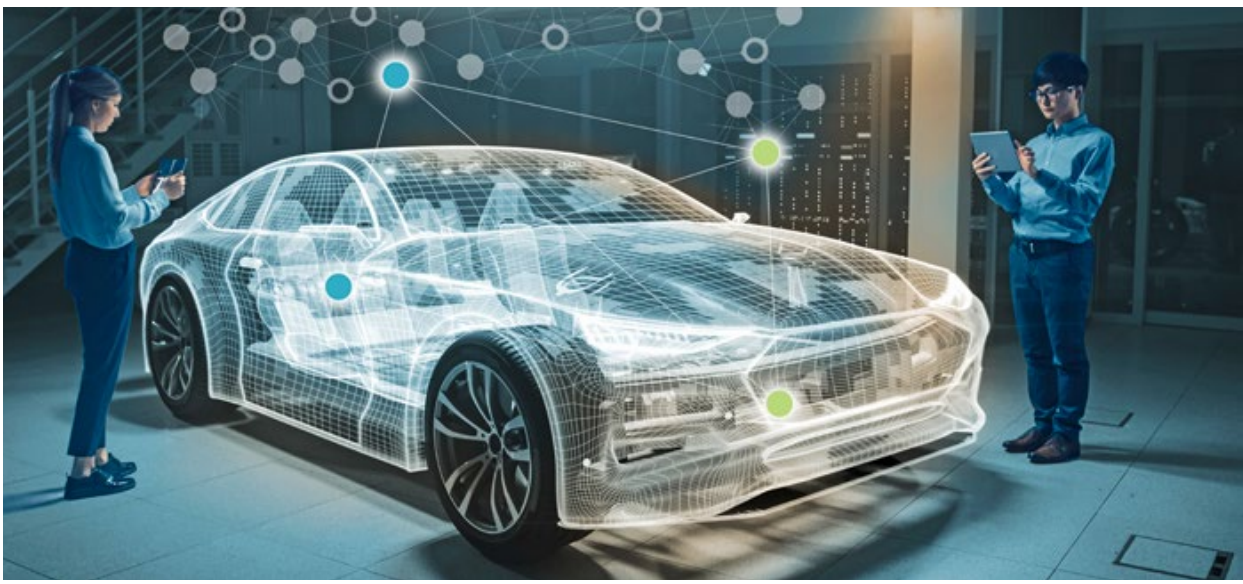
Seit dem Ende der Concorde 2003 gibt es keine Überschall-Passagierflüge mehr. In ihrem extremen Energiebedarf, dem unvermeidlichen Überschallknall und Emissionen in großer Höhe wären solche Flüge nicht mehr zeitgemäß. Trotzdem könnte es bald ein neues Überschall-Zeitalter geben: Boom Supersonic aus Denver will bis Ende des Jahrzehnts mit ihrer Overture als kleinerem Concorde-Nachfolger wieder Überschallflüge ermöglichen, und das nachhaltiger und mit vermindertem Knalleffekt. United Airlines, viertgrößte Fluggesellschaft der Welt, verkündete im Juni 2021 seine Absicht, 15 Overture zu erwerben, auch Japan Airlines hat bereits Optionen. Ab 2029 soll sie Passagiere mit 1,7-facher Schallgeschwindigkeit (2.100 km/h) befördern, deutlich langsamer als die Concorde, die Mach 2,02 (2.494 km/h) schaffte. Das neue Flugzeug würde mit 50 bis 60 Passagieren weniger Reisende fassen als die Concorde mit hundert Sitzen, allerdings pro Passagier drei bis fünfmal mehr CO_2 ausstoßen als ein Unterschallflug auf gleicher Route, und nach Schätzungen der unabhängigen Forscher des International Council on Clean Transportation (ICCT) fünf- bis siebenmal mehr Treibstoff je Passagier verbrauchen. So weit, so schlecht. Aber: Boom will Overture als erstes Verkehrsflugzeug überhaupt so auslegen, dass es zu 100 Prozent mit nachhaltigem, synthetischem Kraftstoff fliegen kann. Allerdings gibt es davon bisher viel zu wenig, allein die 15 Overture von United könnten gegen Ende des Jahrzehnts mehr als das Doppelte der Menge des nachhaltigen Flugtreibstoffs benötigen, der dann in der gesamten EU vorhanden sein wird, schätzt der ICCT.

Der Autor

Andreas Spaeth ist einer der bekanntesten deutschen und internationalen Luftfahrtjournalisten. Seit frühen Tagen luftfahrtbegeistert, empfand er es als großes Privileg, zwischen 1993 und 2003 achtmal beruflich mit der Concorde zu fliegen. Mit großem Interesse beobachtet er aktuell die scheinbare Renaissance des Überschallfliegens und fragt sich ernsthaft, ob er – diesmal in nachhaltigerer Form – in den nächsten zehn Jahren noch mal schneller als der Schall wird fliegen können.

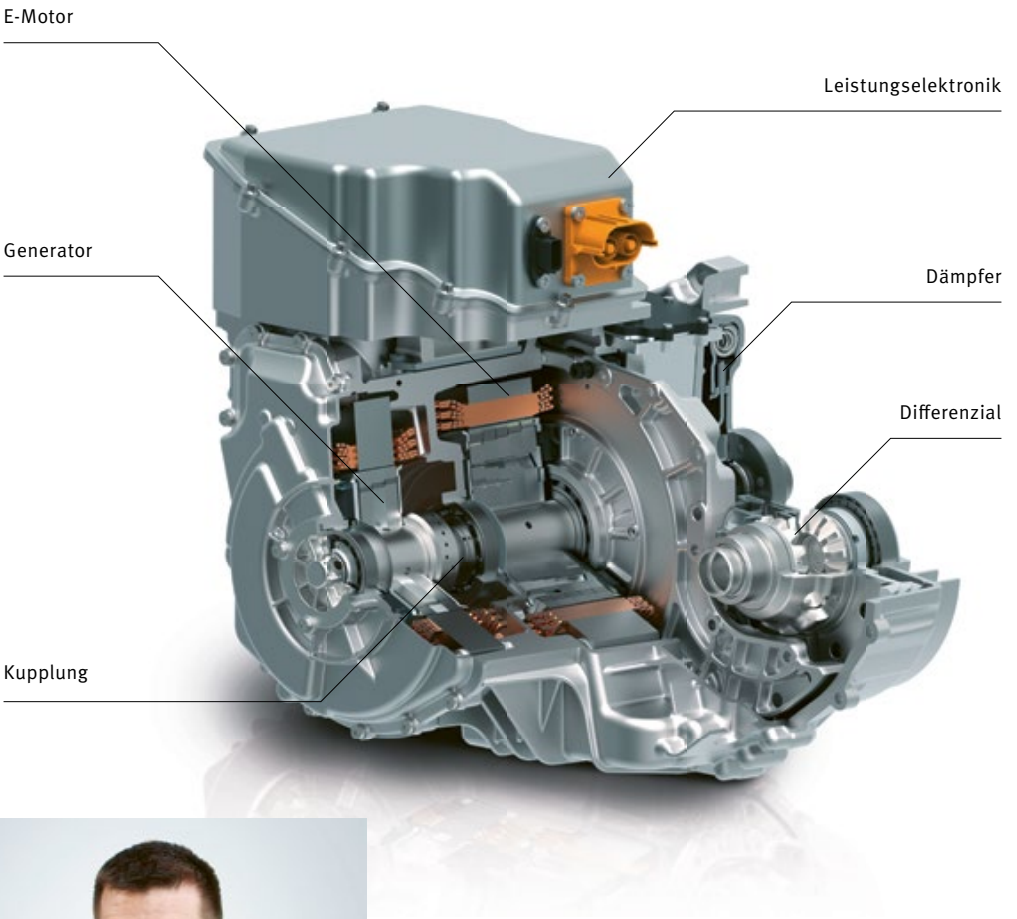
Skalierbar und individuell

So unterschiedlich der Fahrzeugmarkt, so verschieden die benötigten Antriebslösungen. Entsprechend breit gefächert ist der E-Baukasten von Schaeffler. Der Zulieferer offeriert den Automobilherstellern das gesamte Leistungsspektrum von 20 bis über 300 kW für Batteriespannungen zwischen 48 bis hin zu 800 Volt.



Von Volker Paulun

Nach nunmehr bereits zwei Jahrzehnten Forschungs- und Entwicklungsarbeit und der Gründung eines eigenen Unternehmensbereichs vor drei Jahren Anfang 2018 zeigt das konsequente Engagement von Schaeffler in der E-Mobilität deutliche Erfolge. Zahlreiche Lieferaufträge von Automobilherstellern über alle Elektrifizierungsgrade hinweg belegen, dass sich Schaeffler erfolgreich in der E-Mobilität etabliert hat. „Wir haben viel erreicht und sind weiter auf einem sehr guten Weg“, sagt Dr. Jochen Schröder, Leiter des Unternehmensbereichs E-Mobilität. „Mit unserem modularen Produktportfolio sind wir mittlerweile in der Lage, für jeden Kundenwunsch die maßgeschneiderte Serienlösung anzubieten.“ Weiterer Vorteil von Schaeffler als bevorzugter Ansprechpartner seiner Kunden: Der Konzern kann die gesamte Industrialisierung seiner Komponenten und Systeme lückenlos im Unternehmen abbilden. Alles kommt aus einer Hand. Hier ein paar Beispiele aus dem umfangeichen E-Mobilitäts-Baukasten von Schaeffler für umweltgerechte Fahrzeuge.



„Wir werden in Zukunft die elektrische bzw. nachhaltige Mobilität maßgeblich mitgestalten. Dafür entwickeln wir hochinnovative Lösungen – mit hoher vertikaler Integration, Modularität und Skalierbarkeit“

Dr. Jochen Schröder, Leiter des Unternehmensbereichs E-Mobilität

Dediziertes Hybridgetriebe

Dedizierte Hybridgetriebe – englisch „Dedicated Hybrid Transmissions“ (DHT) – sind **hochintegrierte Lösungen,** die ausschließlich für die Nutzung im Hybridauto entwickelt wurden (dediziert = für etwas bestimmt). Die E-Maschine wird dabei clever in ein vereinfachtes Getriebe integriert – das spart Bauraum sowie Gewicht und ist bei großen Stückzahlen auch kosteneffizient. Üblich sind **Leistungen zwischen 80 kW und 140 kW.** Je nach Betriebsmodus des Getriebes bzw. des Antriebsstrangs arbeiten die E-Maschinen des DHT in Kombination mit dem Verbrennungsmotor als zusätzliche Antriebskraft, oder sie erzeugen als Generator Strom. 2020 erhielt Schaeffler für dedizierte Hybridgetriebe einen Rekordauftrag und liefert ab 2025 eine gesamte Antriebseinheit mit zwei E-Motoren (Systemleistung 120 kW) und ins Getriebe integrierter Leistungselektronik.

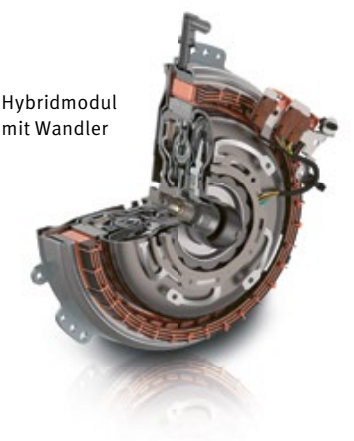
E-Motor
für ein
Hybridmodul

Hybridmodule

Die Hybridisierung klassischer Verbrennungsmotoren ist zumindest in einer Übergangszeit ein wesentlicher **Schlüssel zu einer effizienten, nachhaltigeren und bedarfsgerechten Mobilität.** Schaeffler erwartet für 2030 einen weltweiten Marktanteil von 40 Prozent von Pkw mit Hybridantrieb an allen Neuzulassungen. Für diese Fahrzeugkategorie bietet Schaeffler eine modulare Baukastenlösung mit leistungsstarken elektrischen Zusatzantrieben an, sogenannten Hybridmodulen. Als E-Maschinen kommen dort hocheffiziente permanentmagneterregte Synchron- sowie Asynchron-Motoren zum Einsatz. Das modulare Hybridsystem **ist flexibel und kann maßgeschneidert an verschiedene Getriebe und Motoren angepasst werden.** Zum Beispiel als Hybridmodul mit integriertem Drehmomentwandler oder als Hybridmodul mit Dreifachkupplung.

Hybridmodul,
48 Volt mit
Trennkupplung

Hybridmodul,
Hochvolt (HV)
mit Dreifachkupplung



Hybridmodul
mit Wandler

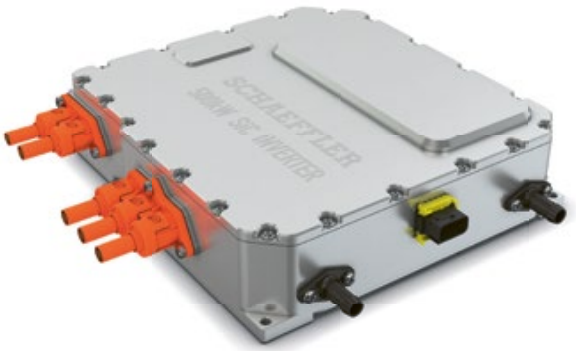
E-Achsgetriebe

Getriebe, achsparallel

Getriebe, koaxial

Seit 2017 sind E-Achsgetriebe von Schaeffler erfolgreich in Serie und sorgen für die **optimale Übersetzung und Kraftübertragung vom Elektromotor an die Räder.** Dabei ist die Bandbreite an Einsatzmöglichkeiten groß: Im Audi e-tron kommen E-Achsgetriebe von Schaeffler in unterschiedlicher Bauform (siehe Abbildungen) an beiden Achsen für einen Allradantrieb zum Einsatz. Und auch **beim Porsche Taycan sorgt ein hocheffizientes koaxiales E-Achsgetriebe von Schaeffler** für die richtige Übersetzung an der Vorderachse. Eine Innovation, die mittlerweile preisgekrönt ist: Für das koaxiale E-Achsgetriebe wurde Schaeffler 2020 mit dem renommierten PACE Award ausgezeichnet, der weltweit in der Branche als Maßstab für erfolgreiche Automotive-Projekte gilt.

Leistungselektronik



Die Leistungselektronik ist das Gehirn eines elektrischen oder elektrifizierten Antriebsstrangs und regelt als Hauptaufgabe mit dem sogenannten Inverter den Stromfluss zwischen Batterie und Motor (siehe auch Grafik nächste Seite). Und das in zwei Richtungen: Beim Vortrieb will der Motor mit genau der richtigen Spannung versorgt werden, beim Bremsen dreht sich die Flussrichtung um, der Motor rekuperiert Energie und lädt damit die Batterie. Dabei wandelt der Inverter Gleichspannung (Batterie) in Wechselspannung (Motor) oder umgekehrt um. Außerdem ist die Leistungselektronik der „Rückwärtsgang" eines E-Autos. Fürs Rückwärtsfahren dreht sie die Polung und damit die Drehrichtung des Elektromotors um. **Als Neuheit präsentiert Schaeffler jetzt eine eigene 800-Volt-Leistungselektronik** für Anwendungen in E-Achsen von leistungsstarken Fahrzeugen. Die skalierbare Lösung verträgt Dauerleistungen von bis zu 330 kW und kurzzeitige Spitzenleistungen von bis zu 500 kW – und das bei kleinen Gehäuseabmessungen. Der Einsatz spezieller Halbleiter („Wide-Bandgap Siliziumkarbid-Technologie") ermöglicht dabei in definierten Lastbereichen **Wirkungsgrade von über 99 Prozent.** Dies steigert die Gesamtreichweite von Elektrofahrzeugen merklich. Durch die 800-Volt-Spannungsklasse werden zudem deutlich höhere Ladegeschwindigkeiten erreicht als in der bislang weitverbreiteten 400-Volt-Spannungsklasse.

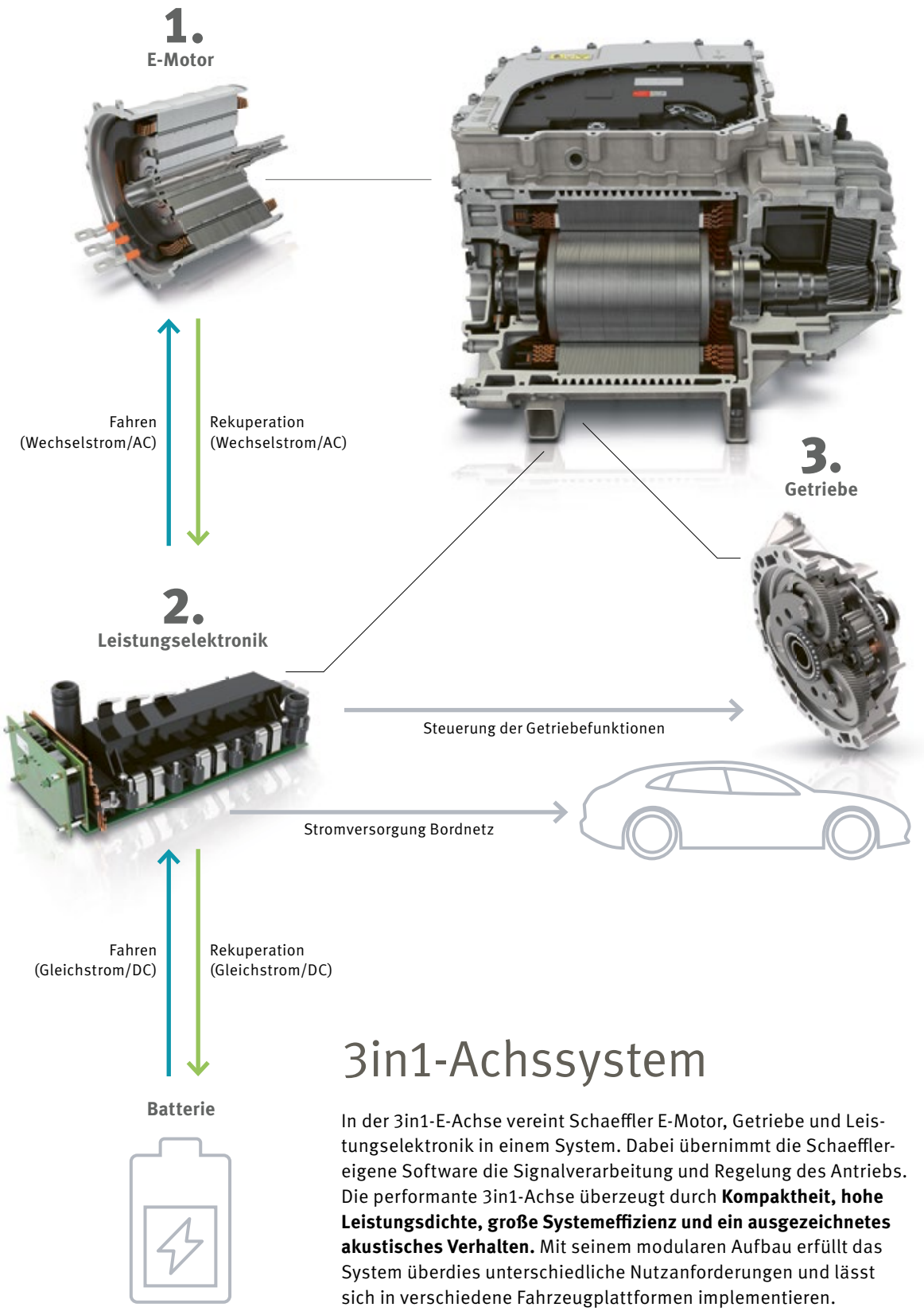
FUNKTIONEN

Modellbasierte Software-Plattform, kompatibel zu AUTOSAR-Standard. Zur flexiblen Integration von OEM-Software-Anteilen

Integrierte Ansteuerung des hydraulischen Aktorsystems mit elektrischer Ölpumpe, Ventilen und Sensoren

Umfassende Schutz- und Überwachungs-Funktionen mit Online-Thermomanagement und flexibler Leistungsanpassung

Modulationsverfahren mit variabler Schaltfrequenz für NVH- und Effizienz-Optimierung



3in1-Achssystem

In der 3in1-E-Achse vereint Schaeffler E-Motor, Getriebe und Leistungselektronik in einem System. Dabei übernimmt die Schaeffler-eigene Software die Signalverarbeitung und Regelung des Antriebs. Die performante 3in1-Achse überzeugt durch **Kompaktheit, hohe Leistungsdichte, große Systemeffizienz und ein ausgezeichnetes akustisches Verhalten.** Mit seinem modularen Aufbau erfüllt das System überdies unterschiedliche Nutzanforderungen und lässt sich in verschiedene Fahrzeugplattformen implementieren.

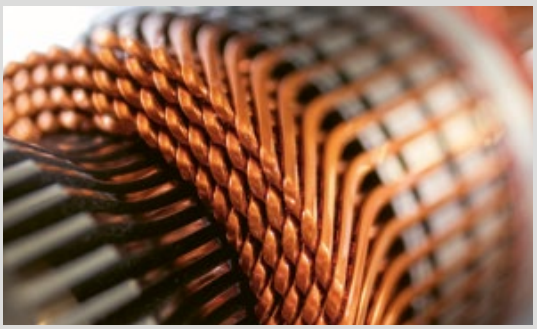
„Ob einzelne Komponente oder Komplettsystem, wir als Schaeffler wollen der bevorzugte Technologiepartner unserer Kunden sein“

Matthias Zink, CEO Automotive Technologies

Globale Fertigungskompetenz

Schaeffler bietet seinen Kunden jahrzehntelanges Know-how aus einer Hand und verfügt über ein global verknüpftes Fertigungsnetzwerk. Bei der Einrichtung der Produktionsanlagen greift Schaeffler auf die hohe Kompetenz eines eigenen Werkzeug- und Sondermaschinenbaus zurück. Eine enge Verzahnung zwischen Forschung und Entwicklung mit dem Prototypenbau und der Fertigung gewährleistet die nötige Agilität und Effizienz sämtlicher Prozesse. 2018 hat sich Schaeffler im Bereich Elektromotorenbau entscheidend verstärkt: durch den Zukauf von Elmotec Statomat, dem führenden Hersteller für den Bau von Elektromotoren in Großserie. Elmotec Statomat verfügt über einzigartige Kompetenz im Bereich der Wickeltechnologie und ist seit über 60 Jahren ein Technologieführer für Fertigungsmaschinen im Elektromotorenbau. Insbesondere die Technologie der Stabwellenwicklung wird für die Elektromobilität mit Blick auf Leistungsdichte, Wirkungsgrad und effiziente Großserienfertigung als zukünftig führend angesehen.

Verzahnung von Forschung, Entwicklung und Prototypenbau



Einzigartige Kompetenz in der Wickeltechnologie

Eigener Werkzeug- und Sondermaschinenbau

Global verknüpftes Fertigungsnetzwerk

Keep it simple

Convenience („Einfachheit“) – das ist der zentrale Begriff der Strategie, mit der die Schaeffler-Sparte Automotive Aftermarket die Zukunft des freien Teilehandels trotz wachsender Komplexität gestalten will. Das Ziel: Werkstätten und ihren Kunden das Leben leichter machen.

Von Jan Horst

Der unabhängige Ersatzteilmarkt befindet sich in einem tiefgreifenden Wandel. Digitalisierung und Elektromobilität sind auf dem Vormarsch. Eine wachsende Zahl von Reparaturen und Servicetätigkeiten erfordern besonderes Know-how oder gar Spezialwerkzeuge. Der Druck auf freie Werkstätten, profitabel und effizient zu arbeiten, wächst stetig. Der Schaeffler Automotive Aftermarket will hier unterstützen und hat es sich zum Ziel gemacht, Werkstätten und ihren Kunden das Leben leichter zu machen. Der zentrale Begriff der Strategie dahinter lautet „Convenience“ – also „Einfachheit“, der auf drei Anwendungsbereiche abzielt:

- **Customer Convenience** umschreibt den Anspruch, die Werkstatt und damit auch deren Kunden mit ihren Bedürfnissen in den Mittelpunkt zu stellen. Der Automotive Aftermarket will mit seinen Produkten und Serviceangeboten echten Mehrwert bieten. Beispielsweise indem sich die Schaeffler-Sparte gemeinsam mit der Datenplattform Caruso für den freien Zugang zu Fahrzeugdaten einsetzt und zusammen mit anderen Unternehmen das leicht in die Werkstattsysteme zu integrierende Online-Terminbuchungssystem Repdate an den Start gebracht hat.

- **Repair Convenience** bedeutet, stets das bestmögliche Angebot rund um eine Reparatur zu schnüren und über das Ersatzteil hinauszudenken. Denn oft reicht es nicht mehr, nur das offensichtlich verschlissene Teil zu tauschen. Vielmehr muss das gesamte System betrachtet werden, weil möglicherweise auch Teile verschleißen, die früher nicht im Fokus der Reparatur gestanden hätten. Genau deshalb beinhalten

53 %

der Werkstätten bevorzugen laut der REPXPERT Zukunfts-Umfrage 2021 unter freien Werkstätten den **direkten Kontakt** zu ihren Zulieferern, 19 % den Online-Kanal und 10 % die Hotline.

„Schaeffler ist ein weltweit führender Entwicklungspartner für die Erstausrüstung. Und unsere Sparte Automotive Aftermarket ist ein langjähriger und verlässlicher Impulsgeber für den freien Ersatzteilhandel und die freien Werkstätten. Wer, wenn nicht wir, sollte es schaffen, die richtigen Antworten auf wichtige Fragen rund um den Fahrzeugservice von morgen zu geben?“

Jens Schüler, President GKAM, Global Sales & Marketing Schaeffler Automotive Aftermarket

die Reparatursets von Schaeffler neben dem Ersatzteil alle nötigen Zubehörteile, Spezialwerkzeuge und Informationen für den fach- und systemgerechten Aus- und Einbau. Das ist ein großer Vorteil für die Werkstätten, denn sie können ihre Kunden mit nur einem Werkstattbesuch, dem sogenannten „Fixed First Visit“, zufriedenstellen. Schließlich erwartet der Kunde, dass das Problem bereits mit einem Termin behoben wird – und zwar nachhaltig, ohne Folgetermine.

- **Commercial Convenience** steht für den Anspruch des Automotive Aftermarket von Schaeffler, Werkstätten kommerziell erfolgreicher zu machen. Auch hier spielen die Reparatursets eine entscheidende Rolle: Sie generieren mehr Umsatz, weil sie mehr Teile enthalten – und das ganz im Sinne des Fahrzeugbesitzers, da auch er ein Interesse an einer Systemreparatur hat, die vorzeitigen Verschleiß oder gar Folgeschäden verhindert.

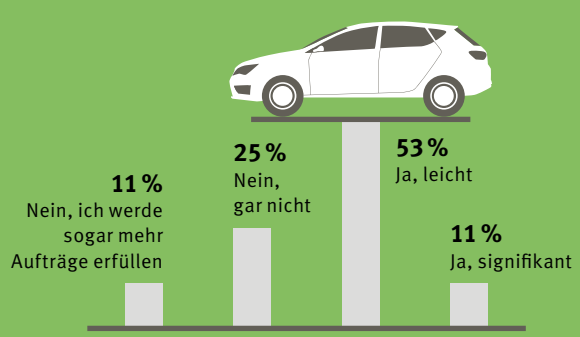
Gleichzeitig trägt Schaeffler dazu bei, dass das Geschäft mit E-Mobilität nicht an den freien Werkstätten vorübergeht. So behält das Unternehmen, während es seine E-Achsen und Hybridmodule für die Fahrzeughersteller auf der ganzen Welt entwickelt, den freien Teilehandel fest im Blick. Wenn E-Fahrzeuge für den freien Ersatzteilmarkt relevant werden, dann steht die Sparte Automotive Aftermarket mit einem darauf ausgerichteten Portfolio an Reparaturlösungen und Services zur Unterstützung der Werkstätten bereit. Lösungen, die es den Betrieben leicht machen, von der zunehmenden Verbreitung von E-Fahrzeugen zu profitieren und dieses neue Segment für sich zu erschließen. Für eine sichere und profitable Zukunft.

2020

hat Schaeffler begonnen, mit dem **Start-up Auteon,** das ein gleichnamiges Vergleichsportal betreibt, zusammenzuarbeiten. Dort können Werkstätten in kürzester Zeit Ersatzteile identifizieren, die Verfügbarkeit und den Preis bei ihren Handelspartnern vergleichen und eine Bestellung aufgeben.

Freie Werkstätten unter Druck

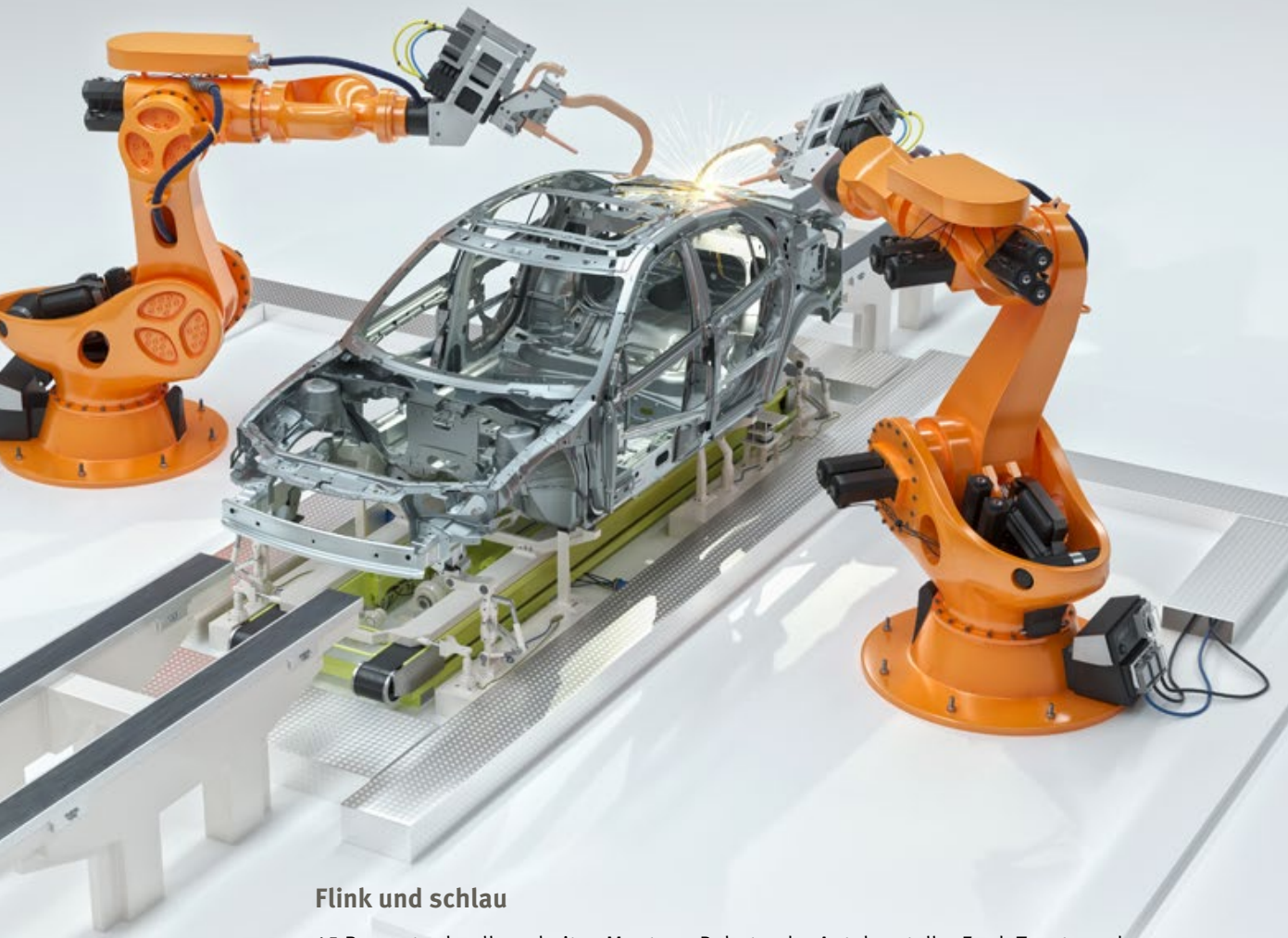
Führt eine zunehmende Komplexität von Reparaturen dazu, nicht mehr alle Kundenanforderungen erfüllen zu können?



Quelle: REPXPERT Zukunfts-Umfrage 2021

Digital

Künstliche Intelligenz, virtuelle Realitäten, Datenwirtschaft, Internet der Dinge – digitale Technologien sind der Turbo des technischen Fortschritts.



Flink und schlau

15 Prozent schneller arbeiten Montage-Roboter der Autohersteller Ford, Toyota und Nissan, die **ihre Arbeitsabläufe durch KI-Lernprozesse optimiert** haben. Hört sich nicht viel an, ist aber ein gewaltiger Effizienzgewinn in der Welt der Massenproduktion, in der um jeden Cent Marge gekämpft wird. Die Roboter werden dabei von einem Computer bei der Arbeit beobachtet, eine künstliche Intelligenz des Start-ups Symbio Robotics analysiert und optimiert ihre Bewegungen permanent. Forscher arbeiten bereits an weiteren Möglichkeiten, wie KI Robotern mehr Fähigkeiten verleihen kann, zum Beispiel störende Objekte, die sich auf Förderbändern bewegen, selbstständig als solche zu erkennen und zu greifen. Durch situative Adaptionsfähigkeiten werden Roboter nicht nur leistungsfähiger, sie sind auch universeller einsetzbar.

97,2 %

aller europäischen Handynutzer greifen auf das 4G-Netz zurück – Weltspitze. In Asien-Pazifik sind es 94,2 und in Amerika (Nord und Süd) 88,7 %. Schlusslicht ist Afrika mit 44,3 %. In ländlichen Gebieten liegt 3G dort mit 40 % sogar vorn.

Quelle: International Telecommunication Union 2020

Was in 60 Sekunden im Internet passiert

Mal eben schnell was googeln, einen Film anschauen, Urlaubsbilder posten oder eine Mail verschicken – **das Internet ist zu einer höchst effizienten und unverzichtbaren Datentauschbörse geworden.** Entsprechend viel ist dort los …

„Nicht mehr die Großen schlagen die Kleinen, sondern die Schnellen die Langsamen“

Eric Pearson, IT-Chef der International Hotel Group

Digital aufforsten

Trockenheit, Hitze und Schädlinge: Die Wälder der Welt sind bedroht. „Das Waldmanagement muss jetzt reagieren und dabei komplexe Abwägungen vollziehen“, sagt der Klimaforscher Dr. Joachim Fallmann vom Süddeutschen Klimabüro am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Welchen Baum wo Pflanzen und wann abholzen: Das **cloudbasierte System EDE 4.0**, das Experten verschiedenster Fachbereiche am KIT entwickelt haben, soll den Forstwirten mit einem interdisziplinären Datenfundus helfen, die optimale Entscheidung treffen zu können. Damit das System relevante Ergebnisse liefert, muss es aber zunächst Zusammenhänge und Muster erkennen. Dazu werden sehr viele Daten aus ganz unterschiedlichen Bereichen miteinander verschnitten. Das sind

etwa Daten zur mittelfristigen Klimaentwicklung, spezifische forstwissenschaftliche Daten oder Informationen zum Marktumfeld. Nicht zuletzt berücksichtigt das Assistenzsystem aber auch das lokale Wissen der Vor-Ort-Experten in den Forstrevieren. Ziel ist eine App, in der das Wissen bequem abgerufen und in nachhaltige Entscheidungen umgemünzt werden kann.

Quantensprung im Netz

Die Vernetzung von Quantencomputern soll nicht nur abhörsichere Leitungen schaffen, sondern vor allem auch die Rechenleistung der neuen Computergeneration schneller auf das Niveau für einen sinnvollen Einsatz in der Industrie bringen.

Von Denis Dilba

Dass Quantencomputer bestimmte Rechenprobleme weitaus schneller als herkömmliche Supercomputer lösen können, hat die internationale Forschergemeinschaft nun bereits zweimal nachgewiesen: 2019 legte Internetriese Google mit seinem auf 53 tiefkalten supraleitenden Qubits (siehe Infokasten) basierenden Quantenrechner Sycamore vor. Der für einen zuverlässigen Betrieb bis kurz vor den absoluten Nullpunkt von minus 273,135 °C gekühlte Mikrochip ermittelte in Rekordzeit, mit welcher Wahrscheinlichkeit die gekoppelten Qubits beim Auslesen bestimmte exotische Zahlenfolgen hervorbringen.

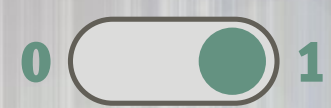
Gut ein Jahr nach Sycamore wurde ein weiterer Rechenrekord aufgestellt: Ende 2020 hat der Quantencomputer-Prototyp eines Forscherteams um Jian-Wei Pan von der University of Science and Technology of China in 200 Sekunden eine Rechenaufgabe gelöst, für die ein klassischer Computer 2,5 Milliarden Jahre benötigen würde – und damit ebenfalls die sogenannte Quantenüberlegenheit gezeigt.

Die Forschungsarbeit, über die Quantenforscher Pan im Fachmagazin „Science“ berichtet, halten unabhängige Beobachter für überzeugend: Jian-Wei Pan, ehemaliger Doktorand des österreichischen Quantenpioniers Anton Zeilinger, gilt seit Langem als führender Experte bei Experimenten mit Lichtteilchen, mit denen er auch den Quantenüberlegenheits-Nachweis führte. Wie IBM 2019 Googles Ergebnisse öffentlich hinterfragte, meldete auch Google Zweifel daran an, ob klassische Computer bei der Rechenaufgabe des chinesischen Teams wirklich so schlecht abschneiden. Es galt den Durchlauf von Photonen in einem hochkomplexen Labyrinth aus Strahlteilern, Spiegeln

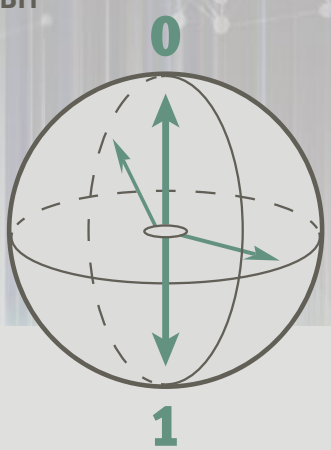
Die Kraft des Q

Heute gängige Computer arbeiten mit Bits, die nur zwei Zustände annehmen, dargestellt in den Ziffern 1 und 0. Prozessoren setzen die Zahlbefehle in Stromfluss um: Bei 1 fließt Strom, bei 0 nicht. Ähnlich funktionieren digitale Befehle per Licht z. B. beim Auslesen einer CD: 1 und 0 stehen dort für Licht an oder aus. Quantencomputer arbeiten dagegen mit Quantenbits oder kurz Qubits. Die können nicht nur 0 und 1, sondern auch beides gleichzeitig und theoretisch unendlich viele Bereiche dazwischen darstellen. Das macht die Rechner so schnell und sicher.

BIT vs. QUBIT



Ein **Bit** ist entweder im Zustand 0 **oder** 1



Ein **Qubit** kann gleichzeitig im Zustand 0 **und** 1 sein und in **unendlich vielen** weiteren Zuständen dazwischen

und Prismen vorherzusagen. Pans optische Apparatur nutzte dabei 76 Qubits – was mehr ist als die 53 von Google und damit wohl auch einer der Gründe für Googles leichte Pikiertheit.

Physikalische Limits für Quantencomputer

Aber trotz aller Fortschritte sind sowohl Google Sycamore als auch Pans Quantenrechner für praxisnahe Anwendungen wie die Berechnung von chemischen Strukturen in Medizin und Werkstoffwissenschaften, die Routenoptimierung für autonomes Fahren oder Portfolio-Analysen noch vollkommen ungeeignet. „Um wirklich sinnvolle Aufgaben mit einem Quantenrechner berechnen zu können, brauche ich in Richtung tausend, besser mehrere Tausend Qubits“, sagt Simon Baier, Quantenphysiker an der Universität Innsbruck. Das Problem: „Wenn man sich die Kryostaten der Quantencomputer von Google oder IBM anschaut und sieht, wie viele unzählige Kabel da schon reinlaufen, ist klar, dass irgendwann kein Platz mehr für noch mehr Kabel da ist.“ Anders

gesagt: Baier geht davon aus, dass man bei der Umsetzung eines Quantencomputers an physikalische Limits stößt, die deutlich vor der Marke von tausend Qubits erreicht werden. Lösen könnte das Problem die Vernetzung von einzelnen Quantencomputern zu einem Quanten-Rechencluster.

Baier, der in den letzten Jahren am niederländischen Quantenforschungszentrum QuTech tätig war, arbeitet an einer Technologie, die auch das künftig möglich machen soll: dem sogenannten Quanteninternet. Die Grundlagen zu einem solchen Netzwerk hat der Wissenschaftler in einer wegweisenden Arbeit zusammen mit ehemaligen QuTech-Kollegen im April dieses Jahres in „Science“ beschrieben. Das Team konnte im Labor drei separate Quantenprozessoren zum weltweit ersten Multi-Node-Quantennetzwerk verbinden. Bisher war es nur gelungen, zwei Quanten-Devices miteinander zu verknüpfen. Als Minimalversion des für so ein Netzwerk nötigen Quantenspeichers dienen Diamanten mit sogenannten Stickstoff-Fehlstellen; die Kommunikation zwischen diesen erledigen Photonen, die über Glasfaserkabel ausgetauscht werden.

In sieben Jahren zum Quanteninternet

Auch dieses erste rudimentäre Quantennetzwerk ist noch weit entfernt von einer praktischen Umsetzung – was auch nicht das Ziel der Arbeit war. Aber sie beweist, dass solche Netzwerke künftig umsetzbar sein werden. Die von ihnen gewählte Architektur sei erweiterbar, sagt Baier: „Im Prinzip könnten wir dem Netzwerk beliebig viele Knotenpunkte hinzufügen, quasi durch Copy-and-paste.“ Das Problem der Skalierbarkeit des Quanteninternets ist also gelöst. Trotzdem dürften noch mehrere Jahre bis zu einer einsatzfähigen Technologie vergehen. Um die Information über lange Distanzen transportieren zu können, ist noch viel Entwicklungsarbeit zu leisten. „Damit die Photonen aus dem Quantenspeicher die passende Wellenlänge haben, benötigt man einen Konvertierungsschritt zwischen Speicher und Glasfaser“, sagt Baier.

Offen ist auch noch die Frage, auf welcher Protokollsprache ein Quanteninternet basieren soll. Baier geht davon aus, dass diese Hürde noch vom laufenden und mit einer Milliarde Euro geförderten Quanten-Flaggschiffprojekt der EU genommen wird, also innerhalb der nächsten sieben Jahre. Dann werden Quantennetzwerke zur abhörsicheren Kommunikation für Banken und Behörden möglich und auch der Bau noch präziserer Teleskope oder Atomuhren sowie Quantencomputernetzwerke mit erhöhter Rechenleistung. Für Letzteres ist aber nicht zwingend das Quanteninternet nötig. Andreas Wallraff von der ETH Zürich arbeitet etwa daran, einzelne Quantencomputer-Kerne per fester „Quantenverbindung“ zu einer Art Cluster oder lokalem Netzwerk (LAN) zusammenzuschließen. Das Team des Forschers hat Anfang 2020 im Quantum Device Lab der ETH Zürich die mit fünf Metern bisher längste auf Mikrowellen basierende Quantenverbindung der Welt aufgebaut.

Das Oldschool-Web wird QUICker

Das Transmission Control Protocol, besser bekannt unter seinem Kürzel TCP, ist der Motor des Internets: Zusammen mit dem Hypertext Transfer Protocol (HTTP) organisiert TCP den Abruf von Webseiten. Da diese seit den ersten Tagen des Internets bis heute deutlich komplexer geworden sind, hat das schon in den 1970er-Jahren entwickelte TCP heute seine liebe Mühe beim Laden. Mit dem seit Mai dieses Jahres neu eingeführten Internetstandard QUIC soll sich das ändern. Das neue Transportprotokoll lässt anders als TCP parallele Datenströme zu und macht es zudem möglich, dass verlorene Datenpakete auch später nachgeliefert werden können. Für den Endanwender heißt das: komplexe Webseiten laden deutlich schneller. Zugleich haben die Entwickler bei dem ursprünglich von Google entworfenen QUIC die Verschlüsselung gleich mit eingebaut. Ungesicherte Verbindungen sind bei Quic per Design ausgeschlossen. Für Netzbetreiber, Netzwerkforscher und auch Strafverfolger oder Geheimdienste gibt es mit QUIC also bald weniger zu beobachten.

Es gibt noch viel zu entdecken: Quantenwissenschaftlerin Dr. Maika Takita im Quantum-Labor von IBM

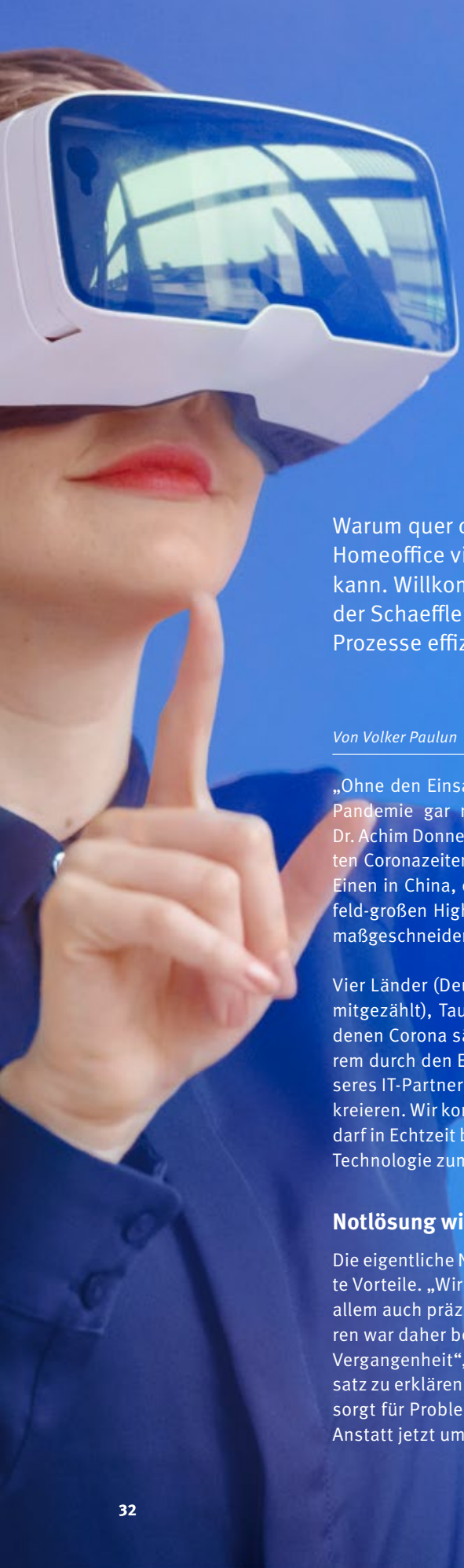
Schneller rechnen im Quanten-LAN

Die ETH-Physiker konnten nicht nur zeigen, dass ihre Quantenverbindung ausreichend abgekühlt werden kann – sie muss die gleiche tiefkalte Temperatur wie die Quantencomputerkerne haben – sondern auch, dass sich mit ihr tatsächlich Quanteninformation zuverlässig übertragen lässt. „Das ist schon ein Meilenstein für uns“, sagt Wallraff, „denn damit können wir zeigen, dass Quanten-LAN prinzipiell möglich sind.“ Da er wie Baier davon ausgeht, dass die Anzahl der Qubits eines einzelnen Quantencomputers in absehbarer Zeit nicht beliebig weit gesteigert werden kann, schätzt Wallraff, dass Quantencomputer in den nächsten 10 bis 20 Jahren auf solche Quantenverbindungen angewiesen sind. Sein Team hat bereits mit der Arbeit an längeren Quantenverbindungen begonnen: Für die aktuelle 30-Meter-Version wurde eigens ein Raum an der ETH hergerichtet.

IBM will das Platzproblem für die Qubits und ihre nötige Technik in den aktuellen tiefgekühlten Kryostaten auf eine andere Weise lösen: Superkühlschrank „Goldeneye“ soll die künftig immer komplizierter ausfallenden Quanten-Prozessoren auf Temperatur halten. Der rund drei Meter hohe und knapp zwei Meter breite Kühlgigant habe Platz für Prozessoren mit einer Million Qubits, schreibt Jay Gambetta, Vice President IBM Quantum, auf dem IBM-Forschungsblog. Bis 2030 wolle man mit „Goldeneye“ das Ziel des fehlerkorrigierten und programmierbaren Quantencomputers erreichen, so der IBM-Mann. Die ersten Machbarkeitsstudien für den Hightech-Kühlschrank seien bereits durchgeführt worden. Vernetze man diese Quantencomputer dann noch, entstehe ein sogenannter massenparalleler Quantencomputer, „der die Welt verändern kann“, so Gambetta.

Der Autor

Wissenschaftsautor **Denis Dilba** hat bei seiner Recherche zu Quantennetzwerken gelernt, dass die Umsetzung der Technologie noch komplizierter ist, als er sich vorgestellt hat – aber auch, dass Quantenforscher erstaunlicherweise immer wieder eine Möglichkeit finden, die damit einhergehenden Probleme zu umgehen.



Digital sieht man besser

Warum quer durch die Welt reisen, wenn man sich das Projekt im Homeoffice via Hightech-Brille sprichwörtlich vor Augen führen kann. Willkommen in der Augmented Reality (AR). Beispiele aus der Schaeffler-Welt zeigen, wie diese digital-visuelle Technologie Prozesse effizienter macht und auch die Qualität steigern kann.

Von Volker Paulun

„Ohne den Einsatz von Augmented Reality hätten wir das Projekt während der Pandemie gar nicht stemmen können“, ist sich Schaeffler-Qualitätsexperte Dr. Achim Donnermeyer sicher. Er und seine Kollegen mussten mitten in turbulenten Coronazeiten zwei Großlagerprüfstände für Schaeffler zum Einsatz bringen. Einen in China, einen in Rumänien. Entwickelt und gebaut hatte die Volleyballfeld-großen Hightech-Anlagen eine Spezialfirma in Israel. Einzelanfertigungen, maßgeschneidert für die hochgesteckten Anforderungen von Schaeffler.

Vier Länder (Deutschland als Standort von Donnermeyer und seinen Kollegen mitgezählt), Tausende Kilometer voneinander entfernt. Und das zu Zeiten, in denen Corona sämtlichen Reiseverkehr an die Kette gelegt hatte. „Unter anderem durch den Einsatz von sogenannten HoloLens-Brillen, dem AR-System unseres IT-Partners Microsoft, war es uns möglich, eine Art Vor-Ort-Szenarien zur kreieren. Wir konnten so nicht nur die Entstehung der Maschine in Israel bei Bedarf in Echtzeit begutachten, auch beim gesamten Abnahmeprozess kam diese Technologie zum Einsatz“, erklärt Donnermeyer.

Notlösung wird zum Musterbeispiel

Die eigentliche Notlösung entwickelte im Laufe des Herstellungsprozesses echte Vorteile. „Wir konnten bei Problemlösungen nicht nur schneller, sondern vor allem auch präziser reagieren. Die Liste der immer auftretenden Nachkorrekturen war daher beim Abnahmeprozess kürzer als bei ähnlichen Projekten in der Vergangenheit“, bilanziert der Schaeffler-Experte. Um so einen HoloLens-Einsatz zu erklären, nennt er ein Beispiel: „Nehmen wir an, ein bestimmtes Bauteil sorgt für Probleme. Das kann eine von Tausenden verbauten Schrauben sein. Anstatt jetzt umständlich zu beschreiben, welche Schraube exakt gemeint ist,

76,7 Mio.

professionelle **VR-Brillen** sollen 2024 weltweit verkauft werden, zehnmal so viele wie 2020. Der Markt für Virtual Reality wächst bis 2024 im Schnitt um 30 % pro Jahr, bei Augmented und Mixed Reality sogar um bis zu 57 %.

Prognose: Deloitte; Quelle: marketing-boerse.de

markieren wir die gemeinte Problemstelle am heimischen Bildschirm direkt im Livebild, das uns der Kollege, der Tausende Kilometer entfernt vor Ort an der Maschine arbeitet, via HoloLens überträgt. In Echtzeit bekommt er die Markierung dann ebenfalls eingeblendet und weiß exakt, wo er Hand anlegen muss. Solche Ad-hoc-Lösungen haben sich als extrem effizient und hilfreich herausgestellt, weil wir während des gesamten Entstehungsprozesses nachjustieren konnten." Bei der Einrichtung der Prüfstände in China und Rumänien spielte die HoloLens die oben genannten Stärken ebenfalls aus. Beide Anlagen konnten trotz Corona-Reisebeschränkungen fristgerecht in Betrieb genommen werden. „Allein ich habe zwei Wochen Vor-Ort-Einsatz durch die HoloLens eingespart, das ist natürlich auch ein Kostenpunkt", sagt Donnermeyer.

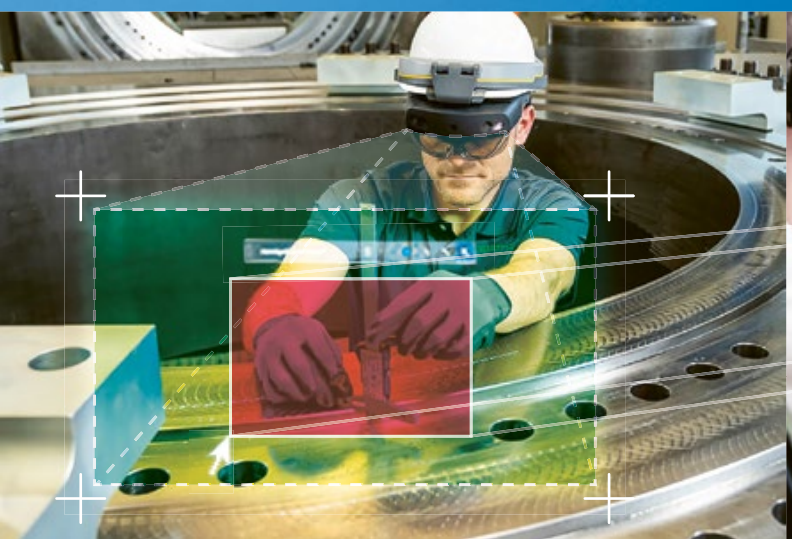
Rund um den Globus im Einsatz

Schaeffler setzt schon seit vielen Jahren und in verschiedensten Bereichen Augmented Reality ein. Mittlerweile ist fast jeder Standort mit HoloLens-Systemen ausgestattet. Der Automotive Aftermarket beispielsweise will solche virtuellen Animationen und interaktiven Elemente verstärkt nutzen, um Werkstattkunden auf der ganzen Welt via HoloLens die Handhabung von Reparatursätzen und Spezialwerkzeugen leicht verständlich zu erklären.

Die Industriesparte bietet ihren Kunden mit dem Schaeffler Virtual Fitter ebenfalls eine weltweit abrufbare, schnelle und effiziente Montageunterstützung durch Augmented Reality an. Dafür wird den Kunden im Bedarfsfall eine AR-Brille als Leihgerät zugeschickt. Diese tragen Mitarbeitende des Kunden bei der Maschinenüberprüfung, während der Schaeffler-Monteur über eine sichere Datenverbindung zugeschaltet wird. Die Live-Übertragung von Fotos und Videos liefert dem Schaeffler-Experten ein umfassendes Zustandsbild und er kann die Vor-Ort-Arbeiten mit seiner Expertise unterstützen. Durch die Projizierung ins Sichtfeld hat die ausführende Person dabei beide Hände frei zum Arbeiten.

Dieser Remote-Montageservice ist meist schneller verfügbar als Schaeffler-Experten vor Ort, die persönlich anreisen müssen. Dieser Zeitvorteil spart bares Geld, weil Kosten für Anfahrt, Personal und oft auch Stillstandzeiten von Maschinen reduziert werden. „In Summe sparen unsere Kunden durch das Remote-Angebot bis zu 50 Prozent der Kosten gegenüber einem Vor-Ort-Service. Zudem findet durch die Expertenanleitung auch ein Know-how-Transfer zum Kunden statt", sagt Reinhold Daft, Leiter Montageservices bei Schaeffler.

Schaeffler Virtual Fitter: Durch die via HoloLens aufgezeichneten und übertragenen Informationen kann der Schaeffler-Experte am heimischen Schreibtisch die Vor-Ort-Arbeiten durch audiovisuelle Hinweise unterstützen – in Echtzeit



Vollends vernetzt

Der Roll-out des 5G-Netzes ist mitten im Gange, da arbeiten Forscher, Unternehmen und Staaten schon an seinem Nachfolger. Die nächste Mobilfunkgeneration 6G soll noch höhere Datenraten und noch kürzere Verzögerungen bringen. Eine neue, effizientere Dimension im Zusammenspiel von Mensch und Maschine.

Von Björn Carstens

Milliarden Telefonate werden täglich geführt, rund um den Erdball – dieses eine aber, am 1. Juli 1991 im finnischen Hochsommer, als Kaarina Suonio, Vizebürgermeisterin von Tampere, irgendwo auf einer schmalen Landenge zwischen dem Näsijärvi- und dem Pyhäjärvi-See den Anruf ihres Premierministers Harri Holkeri entgegennahm, hat Telekommunikations-Geschichte geschrieben. Es war das erste Gespräch über ein kommerzielles, volldigitales Mobilfunknetz überhaupt – der Startschuss für eine Mobilkommunikations-Revolution. Den drögen Namen dafür, Global System for Mobile Communications oder kurz GSM, hat vermutlich so gut wie jeder schon mal gehört.

Allerdings: Die GSM-Entwickler fokussierten sich damals aufs Telefonieren und weniger auf die Datenübertragung per Funk. Über eine Datenrate von 9,6 Kbit/s brechen die Kids von heute in schallendes Gelächter aus. Fast zwölf Wochen auf den Download ihres Lieblingsfilms warten, das klingt wie digitale Steinzeit – und war es aus gegenwärtiger Sicht ja auch.

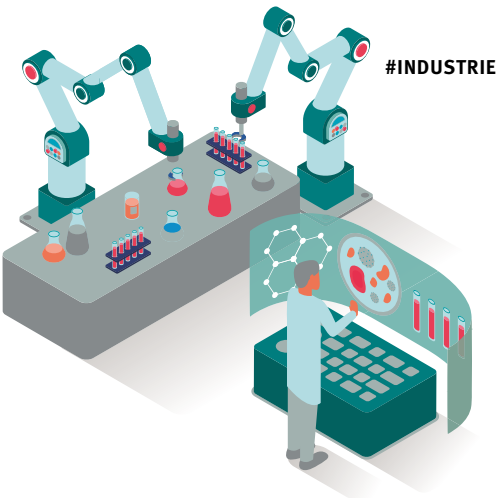
Mit jedem neuen Mobilfunkstandard nahm die Übertragungsrate jedoch Speed auf. Blieb der WAP-Technologie Ende der 1990er-Jahre der große Durchbruch noch verwehrt – scherzhaft stand WAP damals für „Wait And Pay“ – surfte der Handy-User dank UMTS (3G) seit 2004 mit 384 Kbit/s durchs Netz – eine Geschwindigkeit, mit der einige

heute noch unterwegs sind. Mit 4G, dem ersten drahtlosen Breitbandinternet, können Daten in der Theorie mit bis zu 1.000 Mbit/s hin und her geschickt werden. Bei 5G, dem neuesten Standard, geht es noch zehnmal schneller.

Ausfallsicherheit von 99.999999999 %

Seit 2019 eröffnen sich so ganz neue Möglichkeiten für die Industrieproduktion, für die Gesundheitsversorgung, in der autonomen Mobilität und der Landwirtschaft. 2020 waren weltweit schon mehr als 20 Milliarden Maschinen, Geräte oder sonstige Devices über das Internet of Things (IoT) ans Netz angeschlossen – viele davon per Mobilfunk. Und nun, derweil 5G gerade ausgerollt wird, da arbeiten Politik, Wirtschaft und Wissenschaft schon an der Einführung der nächsten Generation: 6G! Im nächsten Jahrzehnt soll es flächendeckend so weit sein.

Spitzenübertragungsraten von 1.000 Gigabit und eine Kommunikation in Echtzeit sind das Ziel. 50- bis 100-mal schneller als 5G. Eine allgegenwärtige Konnektivität mit Terabit-Speed. Eine mit einer visionären Ausfallsicherheit von *99,999999999* Prozent, so der Plan. Möglich wird das durch den Einsatz höherer Frequenzen von 100 bis 300 Gigahertz. Zum Vergleich: Bei 5G werden Frequenzen von 22 bis 60 Gigahertz genutzt. Ist 5G etwa schon wieder überholt, bevor es richtig eingeführt ist? „Nein“, sagt Professor Wolfgang Kellerer von der TU München, Leiter des 6G-Zukunftslabors Bayern, „5G spielt eine entscheidende Rolle für die Industrie 4.0 und das Internet of Things, es ermöglicht neue Dimensionen einer intelligenten Kommunikation von Maschinen untereinander. Allerdings: Die Entwicklung einer neuen Mobilfunkgenerationen dauert erfahrungsgemäß rund zehn Jahre. Damit wir Anfang der 2030er-Jahre einen großen Wurf haben, wollen wir in der Grundlagenforschung



Automatisierung und Fertigung

Anwendungen, die zwingend sicher funktionieren müssen, lassen sich mit 6G drahtlos realisieren. Dies gilt für **Cobots** oder **ferngesteuerte Kräne** genauso wie für diverse **Produktionsanlagen.** Maschinen und Logistikketten profitieren von der schnellen Datenübertragung.

Spezielle Lösungen

Hochauflösende Hologramme, die über das Smartphone ausgespielt werden, **erweiterte Realitäten (XR),** bei der sich reale und virtuelle Welten vermischen, und **digitale Zwillinge,** die reale Fahrzeuge oder Anlagen ohne zeitlichen oder räumlichen Verzug überwachen, werden sich mit 6G weiterentwickeln.

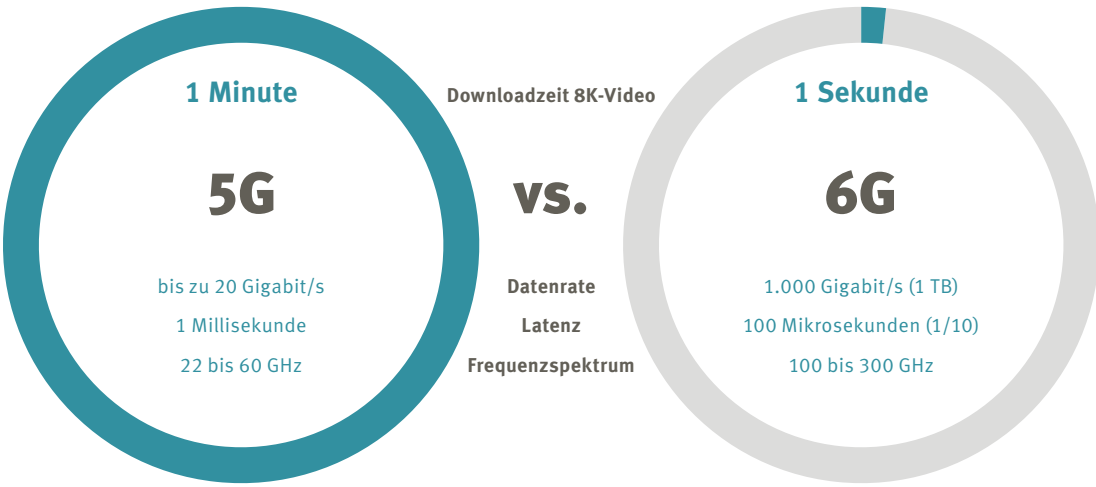
Autonomes Fahren

6G ermöglicht exakte Positionsbestimmungen von selbstfahrenden Autos und Nutzfahrzeugen sowie **Abstandsmessungen zu anderen Fahrzeugen, Personen oder Hindernissen in Echtzeit,** außerdem einen 360-Grad-Blick dank verschiedener Sensoren, die enorm viele Daten sammeln, die gleichzeitig geteilt werden müssen.

Medizin

Roboter führen dank 6G **Operationen** durch, die von Ärzten millimetergenau ferngesteuert werden. Per **ultrahochauflösenden Bildschirmen** oder **Mixed-Reality-Headsets** sehen sie mithilfe von 3D-Hologrammen genau, was im Körper geschieht. 6G soll auch **tragbare Mini-Sensoren** ermöglichen, die Vitalparameter von gesunden und kranken Personen ständig überwachen.

5G und 6G im Vergleich



die Weichen von Anfang an stellen. Bei 6G sollen nämlich der Mensch und seine Umgebung im Mittelpunkt stehen“, so Kellerer. Der Mensch im Mittelpunkt, wie ist das gemeint?

Sicherheit vor Schnelligkeit

Laut Kellerer wird der Mensch künftig im Alltag mit einer Vielzahl von Technologien selbstverständlich interagieren. Maschine und Mensch auf „Augenhöhe“ sozusagen, da komme es besonders auf eine hohe Zuverlässigkeit des Netzes an, sagt Kellerer. „Das ist wichtig für den Einsatz von Assistenzrobotern im Haushalt oder hochaufgelösten 3D-Karten in autonomen Fahrzeugen“, erläutert der Experte. Da die Datensignale dank 6G blitzschnell am Zielgerät sein werden, dürften vor allem auch zeitsensible Anwendungen der künstlichen Intelligenz besser möglich werden.

Entscheidend ist die Netzarchitektur. Am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) forschen sie ebenfalls daran. „Um möglichst viele Nutzer gleichzeitig zu bedienen und dabei möglichst große Datenmengen möglichst schnell zu übertragen, müssen die drahtlosen Netze der Zukunft aus zahlreichen kleinen Funkzellen bestehen“, erklärt Professor Christian Koos. Vorteil: Die Daten müssten keine großen Distanzen überwinden. „So lassen sich große Datenraten mit minimalem Energieaufwand und geringer elektromagnetischer Immission übertragen“, so Koos. Zwischen den einzelnen Zellen lassen sich Hunderte von Gigabits pro Sekunde auf einem Kanal übertragen.

Das Netz wird selbst zum Sensor

6G wird die erste Mobilfunkgeneration sein, bei der sich ganze Heerscharen von Sensoren miteinander vernetzen, z. B. in Robotern, Maschinen, Haushaltsgeräten und autonomen Fahrzeugen. Oder in Cobots, die mittels ausgeklügelter Sensortechnik mit Arbeitern interagieren können. Sie sind aus den Werkshallen dieser Welt nicht mehr wegzudenken. Noch geringere Reaktionszeiten ermöglichen künftig eine noch flexiblere Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine.

Dabei kann das Netz auch selbst zum Sensor werden, da anhand der Funksignale bestimmte Informationen gewonnen werden können, etwa ob sich ein Objekt zwischen Sender und Empfänger befindet. Noch viel sensibler, als es bei Google Maps schon heute funktioniert. Mithilfe künstlicher Intelligenz sollen diese Sensorinformationen dann ausgewertet werden, um so das 6G-Netz permanent zu optimieren, also zum richtigen Zeitpunkt an der richtigen Stelle die benötigte Leistung zur Verfügung zu stellen.

Schaeffler baut Testfelder auf

Auch Schaeffler bereitet sich auf die mannigfaltigen Möglichkeiten vor, für die mit der Einführung

„Bei 6G wird der Mensch im Mittelpunkt stehen“

**Prof. Wolfgang Kellerer,
Leiter des 6G-Zukunftslabors Bayern**

von 5G (und perspektivisch von 6G) die Grundlagen geschaffen werden. Erste Anwendungsfälle hat der Konzern bereits in seinem Werk im südkoreanischen Changwon in einer Versuchsumgebung aufgebaut – einen Betrieb von selbstfahrenden Robotern, Augmented Reality und Produktionsanlagen in einem werksinternen 5G-Netzwerk. „Die 5G-Technologie zeigt uns – vor allem sofern der Release 18 ab 2023 auf den Markt kommt – große Vorteile im Vergleich zum aktuellen WLAN-Standard WiFi6. So werden wir in der Lage sein, mit einem Gerät fahrerlose Transportsysteme zu in Echtzeit zu steuern und zu lokalisieren, damit spart man sich entsprechende Sensoren und deren Integrationsaufwand, ergo Kosten und Zeit“, verdeutlicht Christina Fischer vom Schaeffler Technology & Innovation Center in Herzogenaurach. Wichtig sei aber, dass die propagierten Eigenschaften des 5G-Release 18 auch zuträfen. Fischer: „Erst dann wird 5G seine gesamte Stärke entfalten können. Nämlich dann, wenn Latenzen von 1 Millisekunde in einer drahtlosen Datenübertragung möglich sind. Dann können wir auch sicherheitskritische und produktionskritische Sensordaten drahtlos übertragen.“

Alles in allem eine Herkulesaufgabe, sowohl die 5G- als auch die 6G-Versorgung, an der nicht nur Prof. Kellerer und sein Team arbeiten. Weltweit gibt es etliche 6G-Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten. China und Tesla-Gründer Elon Musk haben zu Testzwecken bereits die ersten 6G-Satelliten ins All geschossen. Der Bund stellt für die 6G-Forschung 700 Millionen Euro bis 2025 bereit. An der TU Dresden forschen sie schon an den weltweit schnellsten Mikrochips, die für 6G benötigt werden. Ebenso die Südkoreaner, die ein gigantisches Investitionsprogramm aufgelegt haben. Die Asiaten wollen 2028 mit 6G starten. Abwarten, wer am Ende das Rennen in einer hyper-vernetzten Welt machen wird.

Zukunftsvision Schaeffler-Werke 2030

- Geräte kommunizieren im Internet der Dinge mit cloudbasierten Systemen der künstlichen Intelligenz. Jede Maschine wird „intelligent“, auch ohne eigenen Hochleistungsrechner.
- Industrieroboter reagieren sicher und zuverlässig auf ihre Umwelt und agieren vollkommen selbständig (Advanced Robotics).
- Mit digitalen Zwillingen lassen sich echte Fertigungsprozesse in Echtzeit mit digitalen Abbildern analysieren.
- Eine Ende-zu-Ende-Kommunikation mit sehr geringen Latenzzeiten über verschiedene Netze hinweg ist garantiert.
- Eine hohe Energieeffizienz eines anpassungsfähigen, bedarfsgerechten Funknetzes ermöglicht eine nachhaltige Produktion.

Think Green

Der Klimawandel ist eine der großen Herausforderungen der Gegenwart – und der Zukunft. Neue Technologien helfen, mit unseren Ressourcen effizienter umzugehen.

Segelflieger

150 km/h oder umgerechnet 80 Knoten soll dieser Highspeed-Segler des Schweizer Bootsbauers SP80 erreichen. **Das wäre ein neuer Weltrekord.** Die aktuelle Bestmarke liegt bei 121 km/h (65 Kn), 2022 soll sie fallen. Mit einem Rennboot ganz ohne Motor und Emissionen. Für Vortrieb sorgt allein ein gewaltiger Lenkdrachen mit 20 Meter Spannweite. Das am anderen Ende der Leinen hängende Segelboot misst sieben Meter in der Länge, sechs Meter in der Breite und vermischt Designelemente von Katamaran, Flugzeug und Rennwagen. Der Rumpf ist komplett aus Carbon gefertigt, drückt sich durch Tragflächen (Foils) aus dem Wasser und entflieht so dessen Widerständen. Mit einem ähnlichen Kite-Segler greift auch das französische Syroco-Team nach dem Rekord. Wir werden sehen, wer seinen Drachen besser bändigen kann …

Tue Gutes mit CO_2

Großspeicher sind eine Schlüsseltechnologie in der Energiewende. Sie sollen Energie bunkern, wenn Sonne und Wind sich ins Zeug legen, und ihn in Form von Strom bei der sogenannten Dunkelflaute wieder ins Netz einspeisen. Die italienische Firma Energy Dome hat nun eine Technologie entwickelt, die auf **CO_2 als Speichermedium** zurückgreift. Das Gas ist in einer riesigen, flexiblen Blase gespeichert. Mit Überschussstrom betriebene Turbinen komprimieren das CO_2 in immer kleinere Volumina und verflüssigen es dabei. Die bei dieser Verdichtung entstehende Wärme wird zwischengespeichert und beim Entladevorgang genutzt, um das verflüssigte CO_2 wieder zu verdampfen. Das sich dabei wieder ausdehnende Gas strömt auf dem Weg zurück in die Blase erneut an Turbinen vorbei, die nun Strom erzeugen. Die Anlagen sind bis zu einer Speichergröße von 100 bis 200 MWh skalierbar. Ihr Wirkungsgrad soll bei 75 Prozent liegen. Die **Speicherkosten pro MWh kalkuliert Energy Dome mit 50 bis 60 US-Dollar,** was deutlich unter den 132 bis 245 US-Dollar bei vergleichbaren Anlagen mit Lithium-Ionen-Akkus liegen würde.

„Zukunft ist kein Schicksalsschlag, sondern die Folge der Entscheidungen, die wir heute treffen“

Franz Alt,
deutscher Journalist

4

Schichten aus dem 3D-Drucker bilden einen **Superkondensator aus biologisch abbaubaren Materialien,** der sich nach Gebrauch kompostieren lässt. Entwickelt haben ihn Forscher am Schweizer EMPA-Institut. Anwendungsgebiete sind beispielsweise One-Way-Sensoren in der Transportlogistik oder ähnliche Anwendungen im Internet der Dinge.

Aspirin als Pflanzenschutzmittel

Kann Aspirin helfen, Pflanzen widerstandsfähiger gegen Trockenheit, Hitze und Krankheitserreger zu machen? Bei Kulturgewächsen wie Tomaten zeigten sich bei Versuchen mit dem Aspirin-Grundstoff Acetylsalicylsäure **bereits erste positive Resultate.** Nun überzogen australische Forscher drei verschiedene Rasensorten bei einem Feldversuch mit einem sehr niedrig dosierten Acetylsalicylsäure-Gemisch. Das Ergebnis: Die behandelten Keimlinge zeigten **signifikant höhere Überlebens- und Wachstumsraten** als unbehandelte. Aspirin als Pflanzenschutz? Damit würde sich ein Kreis schließen, denn der darin enthaltene Wirkstoff ist die synthetische Form einer natürlichen Verbindung namens Salicylsäure, die in Weiden und anderen Pflanzen vorkommt.

Grün ist die Hoffnung

Das Ziel der „Great Green Wall“ ist mehr als ambitioniert: Durch die Anpflanzung von Milliarden Pflanzen quer durch Afrika soll ein grünes Weltwunder geschaffen werden – und neue Lebensperspektiven für Millionen Menschen. Jetzt sollen innovative Ideen und Technologien eine effiziente Umsetzung unterstützen.

Von Christel Trimborn

„50 Prozent der Bevölkerung in der Sahelzone sind unter 25 Jahre alt. Wir müssen ihnen Hoffnung geben“, mahnt Inna Modja, eine junge Musikerin und Aktivistin aus Mali. In einem Dokumentarfilm über das Projekt, produziert vom Oscar-nominierten Filmemacher Fernando Meirelles („City of God“, „Der ewige Gärtner“) reist Modja Tausende Kilometer entlang des geplanten Renaturierungsbandes quer durch Afrika. Es soll zum größten lebenden Strukturprojekt der Erde werden, dreimal größer als das australische Great-Barrier-Riff. Modja trifft auf ihrem Weg Menschen, die bereits am Wachsen der „Grünen Wand“ arbeiten. Wie zum Beispiel im Senegal: Am Ausgangspunkt ihrer Reise wurden seit 2008 mehr als 18 Millionen Bäume gepflanzt, überwiegend heimische Arten, die gut mit der Trockenheit zurechtkommen.

Auch auf den nächsten Stationen begegnet Modja Menschen, die mit viel Engagement und sichtlicher Begeisterung aktiv helfen wollen, ihre Region lebenswerter zu machen. Eine Region, die durch eine Dürre biblischen Ausmaßes in den 1970er- und 1980er-Jahren schweren Schaden genommen hat und aktuell durch den Klimawandel zusätzlich stark bedroht ist. Es sind Menschen wie die jungen Mädchen aus dem Norden Nigerias, die vor ein paar Jahren von der islamistischen Terrormiliz Boko Haram verschleppt wurden und heute von ihrem Waisenhaus aus die Grüne Wand mit aufbauen.

Gewaltiger CO_2-Speicher

Bis 2030 sollen durch das rund 8.000 Kilometer lange Baum- und Buschband – von Dakar im Westen bis Dschibuti im Osten – 100 Millionen Hektar derzeit unfruchtbares Land wieder aufgeforstet werden. Aber nicht nur das. Mit der Errichtung der Great Green Wall (GGW) wollen die elf teilnehmenden Staaten Senegal, Mauretanien, Mali, Burkina Faso, Niger, Nigeria, Tschad, Sudan, Äthiopien, Eritrea und Dschibuti sowie weitere Unterstützerländer und Organisationen auch Tausende Arbeitsplätze und Ernährungssicherheit schaffen und Armut bekämpfen. Außerdem soll der fertige Grüngürtel 350 Millionen Tonnen CO_2 speichern, fast die Hälfte des Jahresausstoßes von Deutschland.

Überhaupt: Renaturierungsprojekte wie die GGW, die Landschaften wieder fruchtbar machen, sind echte Nachhaltigkeits-Wunderwaffen und rund um den Globus im Entstehen. Sie decken nicht weniger als 15 der insgesamt 17 Nachhaltigkeitsziele der UN ab, allen voran das erste Ziel: Armutsbekämpfung. Mehr Wohlstand hilft Konflikte zu vermeiden und schafft Bleibe-Gründe für junge Menschen, was wiederum den anhaltenden Migrationskreislauf durchbricht. Spätestens hier wird deutlich, dass es sich bei der Great Green Wall nicht um ein regionales Umweltprojekt handelt, sondern um ein Anliegen, das die gesamte Weltgemeinschaft betrifft. Insgesamt 10 Millionen Jobs für die dortige Landbevölkerung soll der gigantische Grünstreifen dereinst erschaffen.

4 %

trägt Afrika zu den **globalen CO_2-Emissionen** bei, ist aber vom Klimawandel besonders betroffen.

12 Millionen Hektar Ackerland gehen jedes Jahr **durch Desertifikation weltweit verloren.** Das ist mehr als die gesamte Ackerfläche Deutschlands.

300 Jahre

kann es dauern, bis sich ein Zentimeter **fruchtbaren Bodens neu gebildet** hat.

Ein Projekt mit Stop-and-go

Als visionär, hoffnungsvoll, ehrgeizig und inspirierend wurde das Projekt in den vergangenen fast 15 Jahren seit seiner Gründung tituliert. Ein Blick auf die 2020 von der UN-Konvention zur Bekämpfung der Wüstenbildung (UNCCD) veröffentlichten Zahlen und Fakten zeigt, in welchen Regionen die größten Erfolge zu konstatieren sind. Aber auch, an welchen

100 Millionen Hektar Land sollen entlang der Great Green Wall fruchtbar gemacht werden und 10 Millionen Jobs entstehen

Stellen das Projekt hakt. Die guten Nachrichten zuerst: Allein in Äthiopien wurden laut UNCCD rund 5,5 Milliarden Setzlinge gezüchtet und gepflanzt, eine Million Hektar Land urbar gemacht, 220.000 Jobs generiert und über 60.000 Menschen in den Bereichen Nahrung, Energie und Biodiversität spezialisiert. In Eritrea, dessen gesamtes Staatsgebiet, immerhin ein Drittel der Fläche Deutschlands, zum Einzugsgebiet der GGW gehört, wurden 130 Millionen Setzlinge ausgepflanzt und über 65.000 Ackerflächen wiederbelebt. In Niger wiederum war man – neben anderen Erfolgen – besonders eifrig beim Eindämmen des Sahara-Vormarsches: über 80.000 Hektar Dünen wurden befestigt.

Mit Blick auf die 2007 formulierten Ziele ist jedoch unübersehbar, dass diese zum Teil noch in weiter Ferne liegen. Laut den Vereinten Nationen sind bislang erst 15 Prozent des GGW-Gesamtziels erreicht. Die Gründe dafür sind vielfältig und reichen von politischer Instabilität bis zu finanziellen Nöten.

Finanzspritzen aus aller Welt

Bei letzterem Problem ist aktuell Hilfe in Sicht. Anfang 2021 bekam das GGW-Projekt anlässlich des One Planet Summit for Biodiversity eine Finanzspritze in Höhe von 16 Milliarden US-Dollar (rund 13,5 Mrd. Euro) zugesagt. Diese Summe deckt immerhin rund 30 Prozent der von der UN geschätzten 31 bis 37 Milliarden US-Dollar ab, die noch benötigt werden, um die ehrgeizigen Ziele tatsächlich bis zum Jahr 2030 zu erreichen. Bereits während der UN-Klimakonferenz in Paris 2015 waren vier Milliarden US-Dollar (rund 3,35 Milliarden Euro) zugesagt worden. Ansonsten finanziert sich das Projekt unter anderem durch Unterstützung der Afrikanischen Union (AU), der Vereinten Nationen, der Weltbank, der EU und nicht zuletzt einzelner Staaten, allen voran Frankreich, das zu den offiziellen Partnern der Initiative gehört.

Viel Luft nach oben hat das Projekt Experten zufolge noch im Bereich innovativer Ideen – beziehungsweise deren Umsetzung. Das weiß auch Elvis Paul Tangem, Koordinator der Great-Green-Wall-Initiative in der AU-Kommission. „Die Zukunft der Großen Grünen Wand wird von der Innovationsfähigkeit des Projekts abhängen. Wir müssen in neue Bereiche vordringen“, sagt er. Dazu gehört nicht nur die stärkere Einbeziehung der indigenen Bevölkerung und der Umstieg auf erneuerbare Energien, sondern auch die Beschaffung zusätzlicher finanzieller Mittel aus dem Privatsektor sowie durch nationale Investoren.

Um das zu erreichen, wurden mit 1t.org und UpLink zwei handlungsorientierte Innovationsplattformen ins Boot geholt: Ihre im März 2021 ins Leben gerufene „Trillion Trees“-Kampagne für die Sahelzone will die Aktivitäten rund um den „grünen Mauerbau“ vorantreiben. Die Idee: Zwölf zuvor ausgewählte Start-ups bekommen in den kommenden Monaten die Chance, ihre Ideen zur Lösung verschiedener GGW-Probleme vorzustellen (siehe rechte Seite). Dabei geht es um Vorschläge für die Wiederherstellung der Landschaft ebenso wie um die Sicherung von Lebensgrundlagen, die Förderung der Ernährungssicherheit, die Bekämpfung der Wüstenbildung und die Schaffung wirtschaftlicher Chancen. Ein intensiver Austausch der zwölf Teilnehmer untereinander ist geplant, um voneinander zu lernen und gegebenenfalls zu kooperieren. Innovative Hilfe zur Selbsthilfe in nachhaltiger Form. Das entspricht auch einem Mantra von Inna Modja, das ihr auf der Reise entlang der zukünftigen Great Green Wall immer wieder in den Sinn kam: „Wir müssen den Mut haben, die Zukunft zu erfinden.“

Die Autorin

Die Recherche zu dem Thema Great Green Wall hat die freie Journalistin **Christel Trimborn** nachhaltig beeindruckt. Ihr imponiert der Optimismus und das tatkräftige Engagement der vielen Menschen, die sich beharrlich für die grüne Lebensader quer durch den afrikanischen Kontinent einsetzen.

12 innovative Wachstumsbeschleuniger

Die Great Green Wall gedeiht – aber nicht überall gleich gut. Die „Trillion Trees“-Kampagne will mit diesen Projekten die Entwicklung vorantreiben.

- **Forested Foods** will Wälder in Äthiopien nachhaltig und dennoch lukrativ nutzen. Gearbeitet wird entlang der gesamten Lieferkette, vom Anbau bis zur Verpackung.
- **GasLowCost** setzt bei der Energiegewinnung auf Biogas statt Holzkohle. Gewonnen wird es aus Schlachthofabfällen, Hausmüll und Kompost.
- **Green Aid – One Billion Trees for Africa** züchtet heimische Bäume in der gesamten Sahelregion. Dabei werden traditionelle Technologien für integrierte Agroforstpraktiken verwendet, eine Wertschöpfungskette für Nicht-Holz-Produkte entwickelt und Arbeitsplätze geschaffen.
- **Green AgroFarms von Tele Bere** fördert Agroforst- und Agrarökologie-Initiativen. Sie sollen als Katalysator für die Wiederherstellung der Landschaft sowie für Einkommens- und Ernährungssicherheit für Landfrauen und Jugendliche dienen.
- **Groupe de Réflexion et Développement Durable** arbeitet eng mit der Bevölkerung Malis zusammen, um nachhaltige Praktiken zur Waldbewirtschaftung wiederzubeleben und neue Wertschöpfungsketten zu entwickeln.
- **Labousitari** widmet sich in Niger dem Schutz lokaler Baumarten im Kampf gegen die Wüstenbildung und zum Aufbau von Tierfutter-Wertschöpfungsketten.
- **Landscape Restoration for Ecosystem Recovery** hat die nachhaltige Bewirtschaftung von Feuchtgebieten und Weideland in Verbindung mit nachhaltiger Agroforstwirtschaft in Niger in den Fokus genommen. Zudem stärkt und unterstützt die Initiative Afrikas am stärksten gefährdete indigene Völker.
- **ProNat,** ein von Frauen geführtes Sozialunternehmen in Niger, versorgt lokale und regionale Märkte mit einer gesunden und ausgewogenen Ernährung auf Basis von Bienenprodukten und natürlichen Ölen.
- **Sahara Sahel Foods** verarbeitet und vermarktet Lebensmittel aus heimischen Wildpflanzen. Damit werden Arbeitsplätze für Kleinbauern geschaffen, Lebensmittel entstigmatisiert und wieder in die Ernährung integriert.
- **SeriousShea** setzt sich für eine neuartige Wertschöpfungskette von Sheabutter ein. Die innovativ ausgestatteten Verarbeitungszentren sollen mit erneuerbarer Energie betrieben und die Logistik im Rahmen eines nachhaltigen Forstwirtschaftsmodells optimiert werden.
- **SoilWatch** wendet Remote-Technologien und KI-Prozesse an, um zuverlässige und kostengünstige Bodenkohlenstoffmessungen bereitzustellen und verifizierte CO_2-Kompensationsprojekte für regenerative Land- und Weidewirtschaft zu entwickeln.
- **Typha Alimentation Animale** produziert nachhaltiges Tierfutter unter anderem aus der sich invasiv ausbreitenden Pflanze Typha.

Auch bei der Great Green Wall steigern digitale Lösungen die Effizienz. Gleichwohl kommen dort auch sehr traditionelle Methoden zum Einsatz

Einfach anziehend

Mikroplastik – das winzige, riesige Problem in unseren Ozeanen. Weltweit forschen Wissenschaftler an Lösungen. Mit ersten Erfolgen. Effiziente Ansätze gibt es einige. Magnete, Gele oder Kunststoffe aus Pflanzenproteinen packen das Problem bei der Quelle.

Von Björn Carstens

Von Mikroplastik sollte mittlerweile jeder gehört haben. Jene mikroskopisch kleinen Kunststoffteilchen, an deren Oberfläche sich Giftstoffe binden und so in menschliche Organismen gelangen können. Es geht allerdings noch kleiner. Noch unsichtbarer. Stellen Sie sich Mikroplastik als einen Fußball vor und halten Sie einen Stecknadelkopf daneben. Nanoplastik ist ungefähr 1.000-mal kleiner als sein „großer Bruder“ Mikro. Kaum noch vorstellbar. Gängige Klärmethoden (Filtration, Oxidation) sind machtlos dagegen. Bald nicht mehr, sagt ein deutsches Forschungsteam.

Magnete sammeln Plastikklumpen ein

Wissenschaftler der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU), Kooperationspartner der Schaeffler AG aus dem benachbarten Herzogenaurach, haben gezeigt, wie Plastikpartikel verschiedener Sorten (Polyethylen, Polystyrol, Polyvinylchlorid, Teflon etc.) und Größen – also auch solche in Nano-Größe – aus dem Wasser entfernt werden können. Das Prinzip: Ungiftige, speziell beschichtete Eisenoxid-Nanopartikel, sogenannte SPIONs (superparamagnetic iron oxide nanoparticles), verklumpen wie eine Art Kleber mit dem Plastik zu größeren Agglomeraten, die dann durch den Eisenoxid-Anteil sehr einfach magnetisch eingesammelt werden können. „Smarter Rost“ nennt das Team um Professor Marcus Halik dieses verbundene Material. Eine effizientere Methode sei bislang nicht bekannt, so Halik.

Der Plan der Wissenschaftler: Noch bevor die Meere verschmutzt werden können, kommen die SPIONs zum Einsatz. In einem Container, durch den Flusswasser geleitet wird. Mit Dosier- und Mischanlage, Magnetabscheider und Analytik. Am besten direkt an einer Kläranlage, quasi als letzte Reinigungsinstanz zur freien Wild(wasser)bahn.

4.000 kg

Plastikabfall fischt das solarbetriebene Müllsammelschiff „Circular Explorer“ der Umweltschutzorganisation One Earth – One Ocean pro Tag aus dem Meer. Der Katamaran soll zunächst in der Ostsee umhertreibende Fischernetze einsammeln. 2022 soll das Schiff in die Bucht vor Manila (Philippinen) gebracht werden, um in einigen der weltweit am stärksten verschmutzten Gewässer den Kampf gegen den Plastikmüll aufzunehmen.

12 Mrd.

Tonnen akkumuliertes Plastikmüllvolumen in der Umwelt prognostizieren Wissenschaftler bis zum Jahr 2050.

15 %

des im Meer treibenden Mülls schwimmt an der Oberfläche.

„Unsere Innovation ist die einzige, die Plastikpartikel in Nano-Größe aus dem Wasser entfernen kann“

Professor Marcus Halik

Alternative Methoden ähnlich vielversprechend

Ähnlich funktioniert das Prinzip des Studenten Fionn Ferreira, des Gewinners der Google Science Fair 2019. Er hat mithilfe einer von der NASA erfundenen „magnetischen Flüssigkeit“ Mikrokunststoffe aus dem Wasser aufgenommen. Dieses sogenannte Ferrofluid fügt sich im Wasser mit Mikroplastik zusammen. Bei 1.000 Tests war die Methode zu 87 Prozent erfolgreich.

Das deutsche GreenTech-Start-up Wasser 3.0 setzt auf eine andere Strategie. Das verschmutzte Wasser wird mit ungiftigen Hybridkieselgelen versetzt, durch Umrühren verklumpen die winzigen Partikel zu einem popcornartigen Gebilde, schwimmen auf und können abgeschöpft und weiterverwertet werden. Erste Forschungsprojekte sollen eine sehr gute Eignung als Dämm- und Baumaterial zeigen.

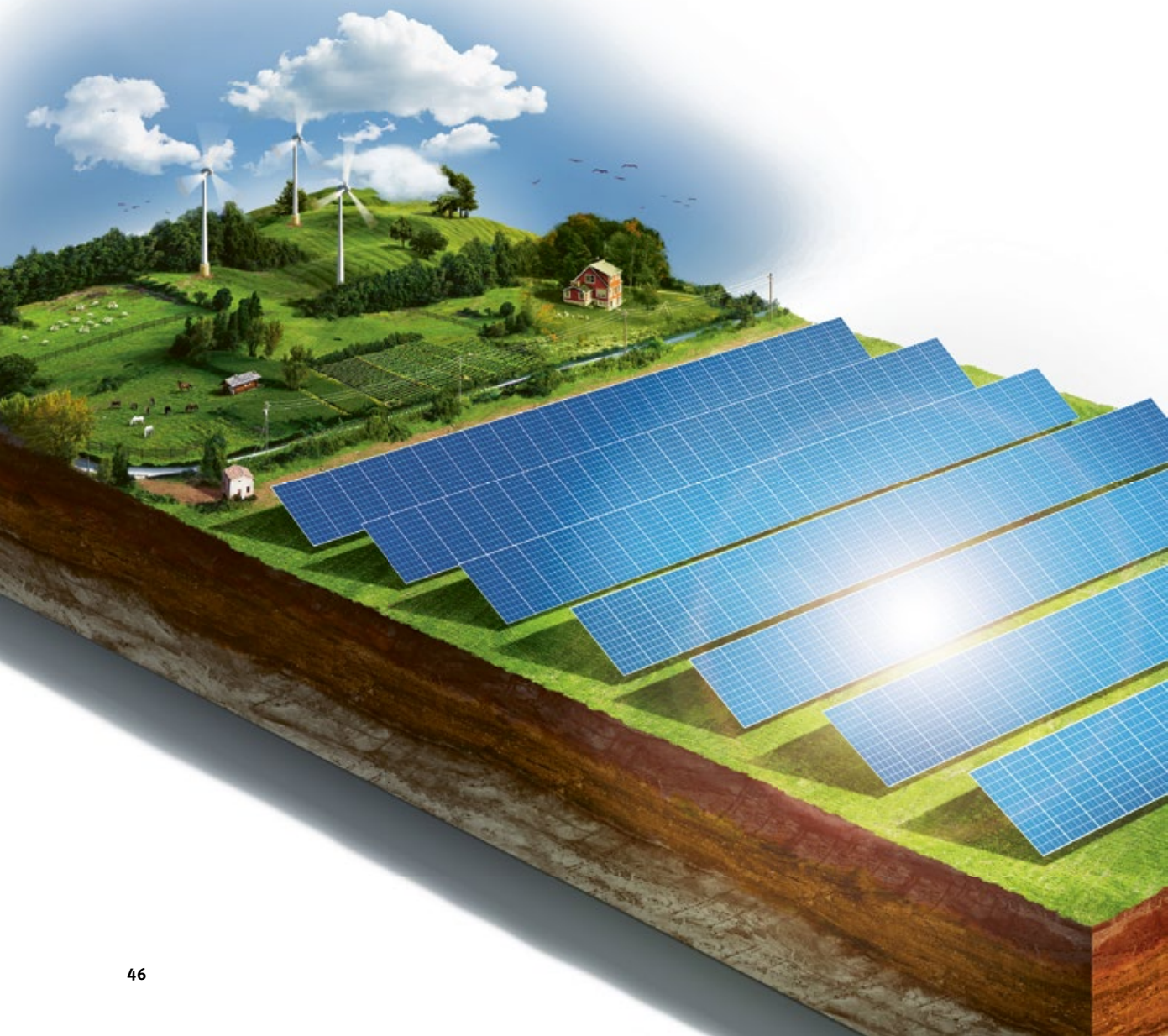
Biologisch abbaubare Kunststoffe

Eine alternative Idee ist es, den „ewig“ in der Natur überlebenden Kunststoff zu substituieren. Durch einen Kunststoff, der in wenigen Monaten biologisch abbaubar und recycelbar ist, wie ihn jüngst US-Wissenschaftler entwickelt haben. Ein Team in Yale zerlegte Holzpulver, ein typisches Abfallprodukt in Sägewerken, mithilfe eines Lösungsmittels in eine Aufschlämmung aus organischen Polymeren und Zellulose, die dann als Biokunststoff gegossen werden kann. Forscherkollegen aus Cambridge kreierten dagegen einen Kunststoff aus Pflanzenproteinen, indem sie Nanopartikel hinzufügten. So lässt sich die Struktur des Stoffs kontrollieren, um flexible Folien zu schaffen – ein Material, das auf molekularer Ebene wie Spinnenseide aussieht.

Allerdings: „Noch gibt es gar keinen großen Leidensdruck, das Mikroplastik-Problem massiv zu bekämpfen“, bedauert Professor Halik, „da für Mikroplastik im Wasser kein Grenzwert existiert.“ Angesichts der stetig wachsenden Menge und der unabschätzbaren Gefahren, die auf den Menschen lauern, sofern Plastikpartikel in die Blutbahn gelangen, ist zu erwarten, dass sich das in naher Zukunft ändern dürfte.

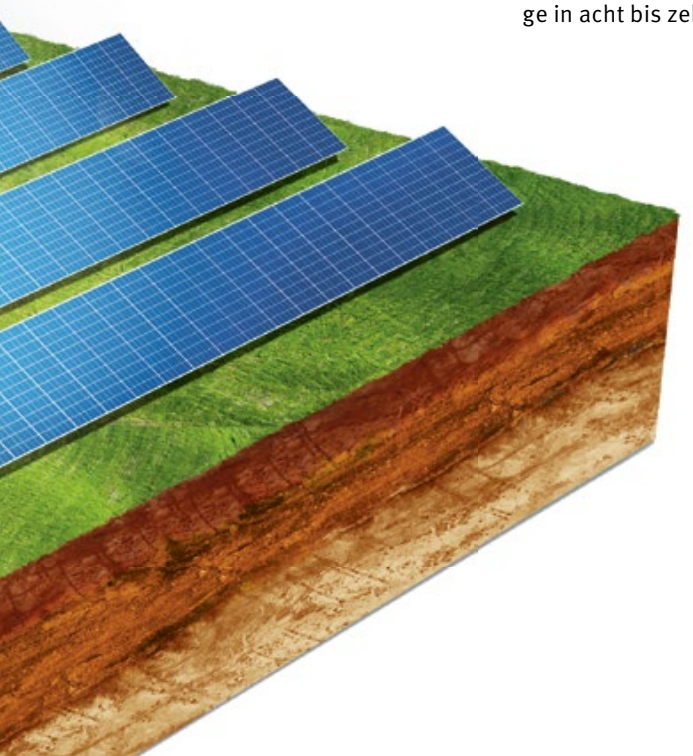
Saubere Energie satt

Wind- und Wasserkraft, Photovoltaik, Erdwärme – unser Planet bietet enormes Potenzial für erneuerbare Energien. Fünf Beispiele, wie man die natürlichen Batterien des Planeten im großen Maßstab anzapfen möchte.



Wasserstoff aus der Steppe

Mitten in den Steppengebieten von West- und Zentralkasachstan (viel Wind, heiße Sommer, sonnige Winter) will das deutsch-schwedische Unternehmen Svevind eine der größten Produktionsanlagen für grünen Wasserstoff aufbauen. Die Gesamtkapazität der dafür geplanten **Wind- und Solarparks liegt bei 45 Gigawatt (GW), was in etwa 45 Kohlekraftwerksmeilern entspricht.** Die Elektrolyseure zur Wasserstoffproduktion sollen eine Gesamtleistung von 30 GW bieten. Das reicht aus, um rund **drei Millionen Tonnen Wasserstoff pro Jahr** herzustellen. Dieser könnte etwa per Pipeline in die Märkte Europas und Asiens exportiert oder auch vor Ort zur Produktion von Ammoniak, Stahl oder Aluminium verwendet werden. Im Juni dieses Jahres hat Svevind eine Absichtserklärung mit einer Investitionsförderagentur aus Kasachstan unterschrieben, um das Projekt in Angriff zu nehmen. Läuft alles nach Plan, steht die gesamte Anlage in acht bis zehn Jahren.



100 Mal

könnten Wind- und Solarkraft den weltweiten Energieverbrauch laut dem britischen Thinktank Carbon Tracker decken. Wenn es gelingt, die Kraft der Natur effizient zu nutzen, sei es laut Carbon Tracker bereits Mitte der 2030er-Jahre möglich, **fossile Brennstoffe aus dem Elektrizitätssektor** und bis 2050 **aus der gesamten Energieversorgung zu verdrängen.**

Grüne Kraftstoffe aus Australien

Mit 50 GW Kapazität noch etwas größer als das gewaltige Kasachstan-Projekt soll der Western Green Energy Hub (WGEH) in Westaustralien ausfallen. Ziel ist auch hier die Produktion von grünem Wasserstoff, vor allem zur Weiterverarbeitung zu CO_2-neutralen Kraftstoffen. Das WGEH-Konsortium, zu dem auch die Morning Traditional Lands Aboriginal Corp. als Vertreter der indigenen Grundbesitzer zählt, rechnet mit einer Produktion von **3,5 Millionen Tonnen Wasserstoff pro Jahr.** Zum WGEH, der sich über ein Wüstenareal von 15.000 Quadratkilometern (viermal so groß wie Mallorca) erstreckt, gehört auch ein **Hafen, um den Wasserstoff per Schiff exportieren** zu können. Noch muss die Regierung von Westaustralien allerdings ihr Einverständnis zu dem Projekt geben – einem ähnlichen Projekt erteilte der Bundesstaat erst kürzlich eine Absage. Da der WGEH aber zum Teil an der Küste liegt und durchdachter in Bezug auf die Umwelt sein soll, rechnen die Macher mit einer Genehmigung.

Windstrom-Export via Kabel

Am konstantesten weht der Wind auf dem offenen Meer. Dänemark will die Offshore-Energiegewinnung nun auf die Spitze treiben und plant den Bau einer künstlichen Insel, an die 200 Windkraftanlagen mit einer Gesamtkapazität von zehn GW angeschlossen sind. **Perspektivisch sollen in der Nordsee bis 2050 rund 300 Gigawatt Offshore-Kapazität aufgebaut werden.** Das entspricht dem Stromverbrauch von 860 Millionen Menschen. Die Europäische Union mit derzeit 447 Millionen Einwohnern hätte somit allein aus Offshore-Windkraft genug Energie, um auch große Teile der Industrie zu versorgen. Verteilt werden soll der Strom mit sogenannten HGÜ-Kabeln (Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung). Das aktuell längste Seekabel der Welt, der 516 Kilometer lange „Nordlink“, verbindet Deutschland mit Norwegen. Im Oktober soll eine mit 720 Kilometern noch längere Leitung zwischen Norwegen und Großbritannien in Betrieb gehen. Sie hat eine Kapazität von 1,4 GW. Auch die Niederlande (über „NordNed“) und Dänemark (über die Skagerrak-Verbindung) haben sich mit Norwegen vernetzt. **Das Wasserkraft-Land soll nicht nur Strom liefern, sondern zur Ökostrom-Batterie-Europas werden.** Wann immer die Nordseewindparks in den Zulieferländern Überschussstrom produzieren, soll dieser über die bidirektional ausgelegten HGÜs zu norwegischen Pumpspeicherwerken fließen, die damit ihre Wasserreservoirs mit aktuell 84 TWh Speichervolumen füllen können. Dieses Volumen lässt sich perspektivisch deutlich steigern, denn viele der insgesamt etwa **1.250 norwegischen Wasserkraftwerke** sind aktuell noch ohne Pumpfunktion. Diese können mit relativ geringem Aufwand umgebaut werden, da sie die für Pumpspeicherwerke passenden Ober- und Untergewässer haben.

Norwegen ist ein Pionier in der Verstromung von Wasserkraft. Die hier gezeigte Anlage Vemork war bei ihrer Inbetriebnahme 1911 das größte Kraftwerk der Welt. Heute ist das Gebäude ein Museum, der Nachfolger liegt unterirdisch darunter

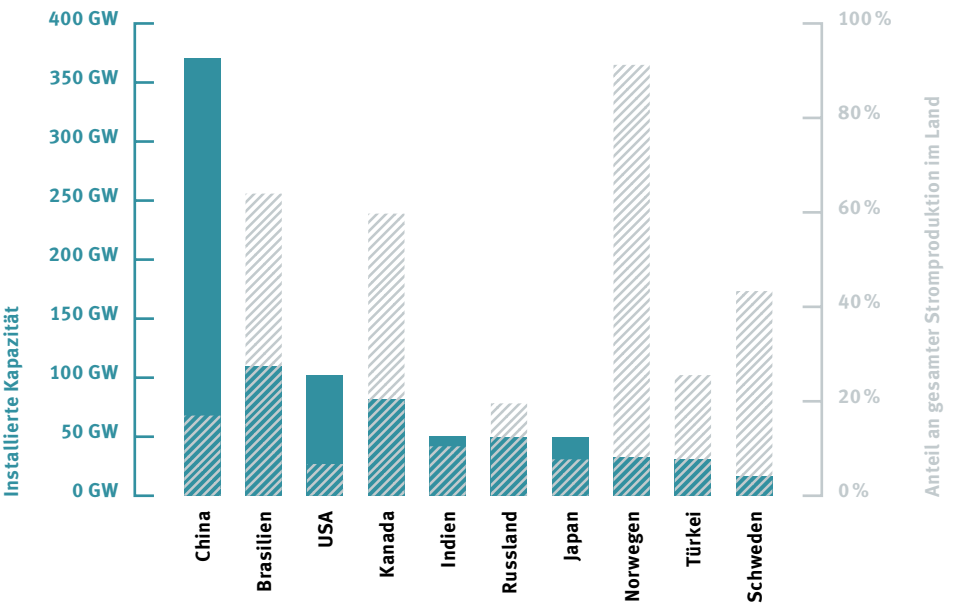
Schon heute ist der Inga-Staudamm das größte Wasserkraftwerk Afrikas, mit der geplanten Erweiterung wäre er Weltspitze

Strom aus Strömen

Mit 4.296,8 TWh, was einem Anteil von 16,02 Prozent an der weltweiten Stromerzeugung entspricht, war Wasserkraft 2020 laut der Statistical Review of World Energy 2021 des Energiekonzerns BP nach der Verstromung von Kohle und Erdgas und vor der Atomenergie **die drittbedeutendste Form der Stromproduktion.** Für die kommende Dekade gehen Prognosen von einem Anstieg der weltweiten installierten Leistung von Wasserkraftwerken von derzeit rund 1.300 auf 1.700 GW aus. Aktueller Hydroelektrik-Rekordhalter und gleichzeitig auch größtes Kraftwerk der Welt ist der Drei-Schluchten-Damm in China. Mit seinen 32 Turbinen erzeugt er 22,5 Gigawatt Leistung und versorgt rund 100 Millionen Menschen mit Strom. **Mit bis zu 44 GW fast doppelt so groß soll die Kapazität des Inga-III-Stauwerks am Kongo ausfallen.** Hier ist auch die Produktion von grünem Wasserstoff vorgesehen. Genau wie der Drei-Schluchten-Damm ist allerdings auch Inga III umstritten: Tausende Menschen müssten umgesiedelt werden, der Lebensraum zahlreicher Tier- und Pflanzenarten würde zerstört. Ob und wie das schon seit den 1990er-Jahren diskutierte Projekt umgesetzt wird, ist aktuell noch offen.

Die 10 größten Wasserkraft-Länder

Quelle: Statistical Review of World Energy 2021



Methanol aus Erdwärme

Einen besonders einfachen Zugang zu erneuerbarer Energie haben Regionen, in denen Erdwärme Grundwasser aufkocht. Der weltweit größte Geothermie-Kraftwerkskomplex The Geysers liegt rund 110 Kilometer nördlich von San Francisco. Auf einer Fläche von 120 Quadratkilometern verteilen sich 18 kleine Turbineneinheiten mit einer Kapazität von 1,5 GW. Die erzeugte Energie versorgt die kalifornischen Landkreise Sonoma, Mendocino und Lake per Kabel mit Elektrizität. Das **weltweit größte Geothermie-Einzelkraftwerk steht auf Island.** Es leistet 303 MW. Das Vulkaneiland deckt 90 Prozent seines Warm- und Heizwasserbedarfs und 26 Prozent des Strombedarfs über das bis zu 500 °C heiße Thermalwasser – das ist Weltspitze.

Island hat so viel Thermalwärme, dass damit Straßen der Hauptstadt Reykjavík, Bäder wie die „Blaue Lagune“ und sogar eine Badebucht beheizt werden

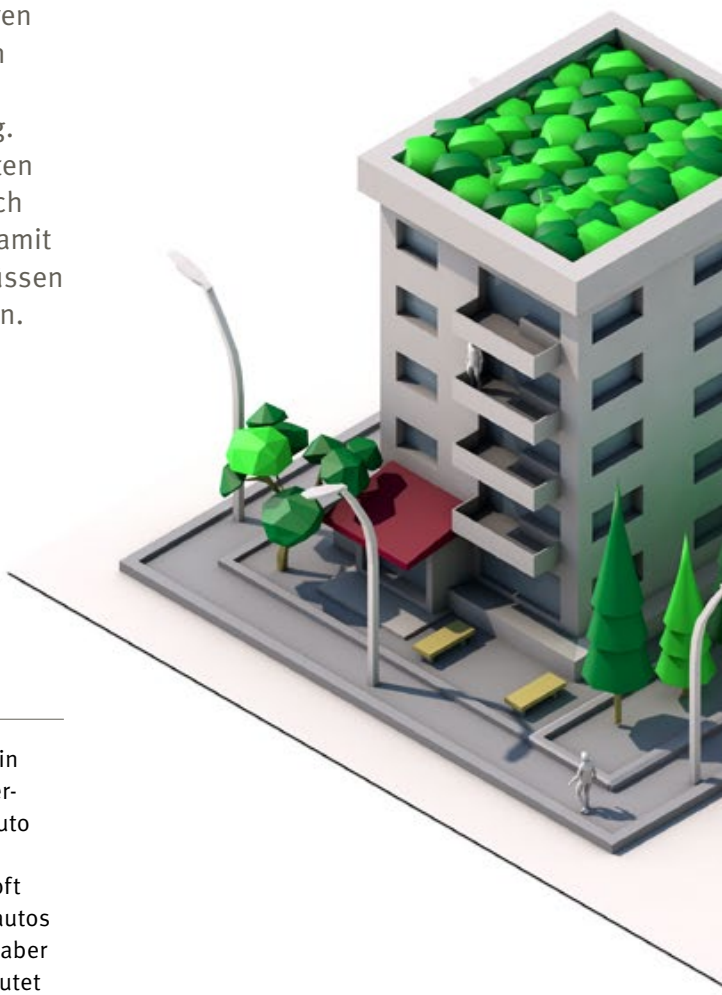
Im Zusammenspiel mit Wasserkraft produziert Island Strom im Überfluss. Da ein Export wegen der exponierten Lage der Insel bisher nicht möglich ist, siedelten sich energieintensive Industrien wie die Siliziummetall- und Aluminiumproduktion dort an. Jetzt will die isländische Energiegesellschaft HS Orka die **Erdwärme ihres Eilands für die Produktion von Wasserstoff nutzen, der zusammen mit CO_2 zu grünem Methanol weiterverarbeitet** werden soll. Geplant ist eine kleine 30-MW-Pilotanlage, in einem zweiten Schritt soll die Kapazität „wesentlich größer“ werden. Die Alkoholart Methanol ist leicht zu transportieren und vielfältig einsetzbar, zum Beispiel als Dieselalternative in Schiffen. Ein Exportschlager ist auch das isländische Know-how im Bereich der Geothermie. Denn überall, wo es tektonische Verschiebungen wie in Kalifornien oder Island gibt, ist die Hitze der Erde rentabel anzapfbar. Bei Experten hoch im Kurs stehen Länder wie Kenia (dort gibt es schon acht Geothermie-Kraftwerke), Indonesien, die Philippinen, Japan, aber auch europäische Regionen wie das Rhonetal in Frankreich. Ein weiterer Vorteil der Erdwärme gegenüber herkömmlichen Energiequellen wie Atom- und Kohlekraftwerken liegt in ihrer Dezentralität. **Gerade in Entwicklungsländern, die kein flächendeckendes Stromnetz haben, sei Geothermie daher überaus sinnvoll,** erklärte Stefan Dietrich vom Bundesverband Geothermie gegenüber der „Deutschen Welle“.

Der Autor

Die Vielzahl und Größe der geplanten Projekte zur Erschließung erneuerbarer Energien, auf die **Denis Dilba** bei seinen Recherchen gestoßen ist, lässt ihn hoffen, dass die Erderwärmung abgebremst werden kann. Der Wissenschaftsautor weiß aber auch, dass „geplant“ noch lange nicht umgesetzt ist.

Alle Zeichen auf Grün?

Der Strom? Muss aus erneuerbaren Quellen kommen. Die Produktion und die Materialien? Müssen so nachhaltig sein wie das Fahrzeug. Nur wenn Energie- und Lieferketten umweltfreundlich sind, ist es auch die Fahrt mit dem Elektroauto. Damit alle Zeichen auf Grün stehen, müssen viele Zahnräder ineinandergreifen.



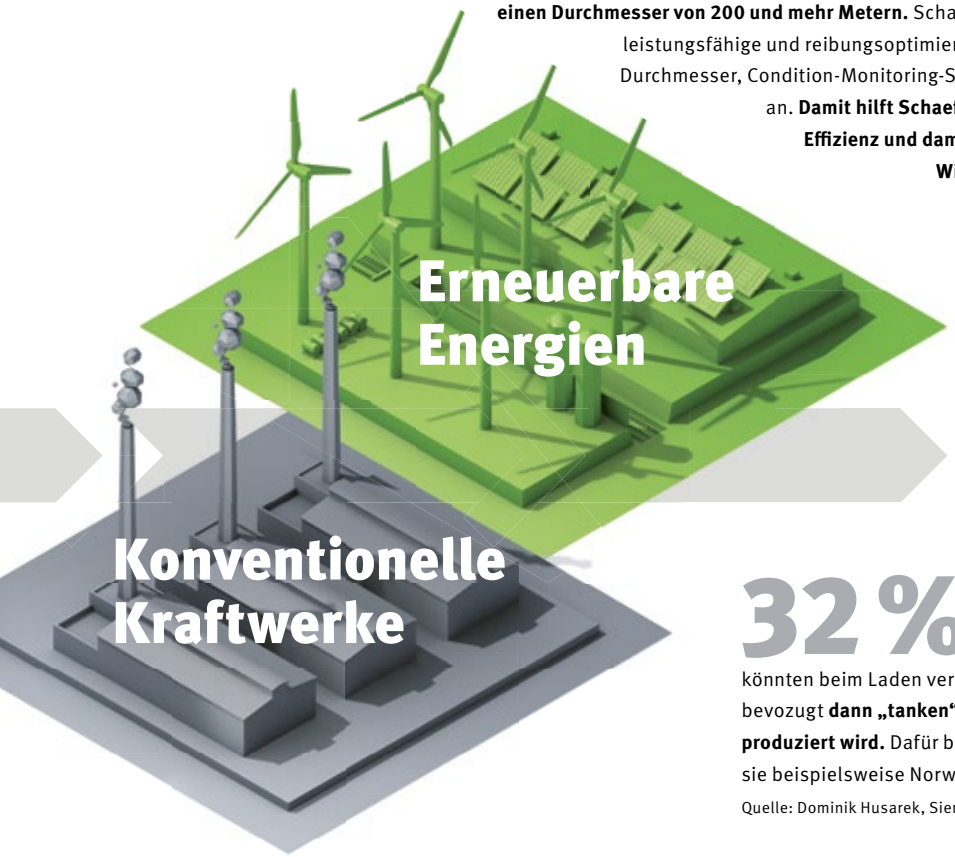
Von Björn Carstens und Volker Paulun

Entscheidet allein die Antriebsart, ob ein Auto CO_2-neutral ist oder nicht? Also Verbrenner gleich Dreckschleuder und E-Auto Prädikat ökologisch wertvoll. Richtig? Falsch? Oder liegt die Wahrheit wie so oft irgendwo in der Mitte? Fakt ist: Elektroautos stoßen beim Fahren keine Abgase aus, aber sie verbrauchen Energie. Und das bedeutet beim aktuellen Strommix in den meisten Ländern, dass die Abgase anderswo entstehen, bei Kohle- oder Gaskraftwerken zum Beispiel. Die Energiekette spielt eine entscheidende Rolle bei der Öko-Bewertung eines E-Autos. Und das nicht nur beim Fahren, sondern bereits bei der Produktion, denn hier schneidet das E-Auto schlechter ab als ein Verbrennerfahrzeug. Außerdem werden für E-Motor und Akku spezielle Rohstoffe benötigt, deren Förderung Umweltschäden anrichtet. Wir blicken auf den Innenseiten dieses Ausklappers auf Energie- und Lieferketten.

Ein Ziel, viele Faktoren

Damit die CO_2-Emissionen im Straßenverkehr wirklich signifikant sinken, muss sehr viel mehr passieren als der Wechsel vom Verbrennungsmotor zum E-Antrieb. Zahlen, Daten, Fakten entlang der Energie-, Liefer- und Produktionsketten.

3 Rotor-Umdrehungen einer 10-MW-Großwindanlage reichen, um den Akku eines Mittelklasse-E-Autos aufzuladen. Die **Rotoren dieser Riesen haben einen Durchmesser von 200 und mehr Metern.** Schaeffler bietet für Windanlagen leistungsfähige und reibungsoptimierte Lager mit bis zu 3,2 Meter Durchmesser, Condition-Monitoring-Syteme und Schmierlösungen an. **Damit hilft Schaeffler, die Zuverlässigkeit, die Effizienz und damit die Wirtschaftlichkeit von Windkraftanlagen zu steigern.**

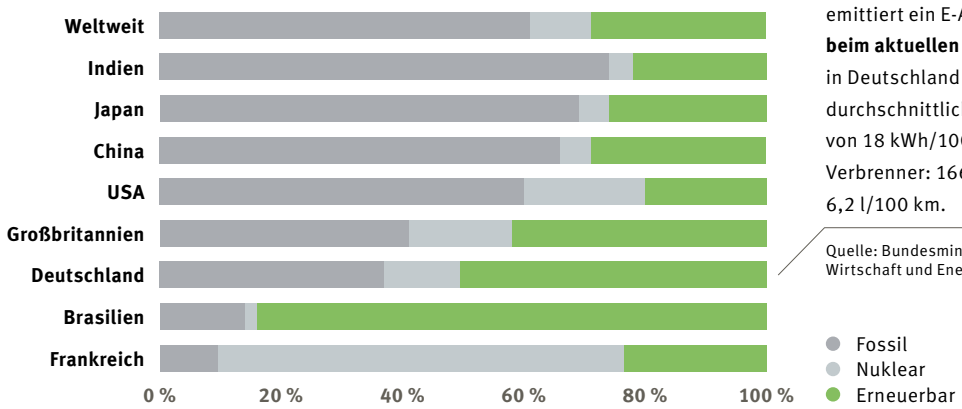


32 % weniger Emissionen könnten beim Laden verursacht werden, wenn E-Autos bevozugt **dann „tanken", wenn Grün-Strom im Überfluss produziert wird.** Dafür braucht es aber smarte Netze, wie sie beispielsweise Norwegen oder Schweden haben.

Quelle: Dominik Husarek, Siemens

Strommix

So wird der Strom auf der Welt produziert

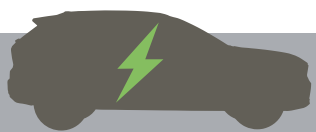


Quelle: bp Statistical Review of World Energy 2021

66 g CO_2/km emittiert ein E-Auto indirekt **beim aktuellen Strommix** in Deutschland bei einem durchschnittlichen Verbrauch von 18 kWh/100 km. Ein Verbrenner: 166 g CO_2/km bei 6,2 l/100 km.

Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Volvo hat die **CO_2-Fußabdrücke** des benzinbetriebenen Volvo XC40 und seines rein elektrischen Bruders über den kompletten Lebenszyklus inkl. 200.000 km Fahrstrecke verglichen und dabei interessante Zahlen ermittelt.

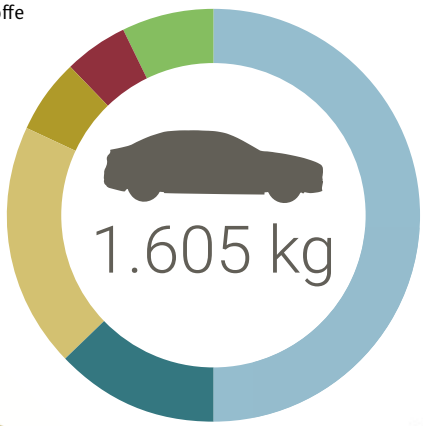


Woraus besteht ein Auto?

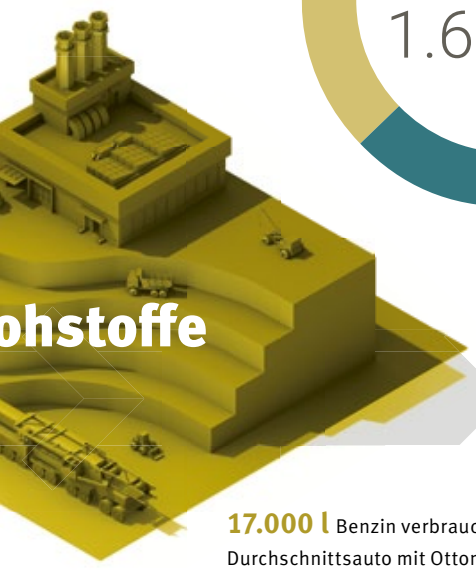
Am Beispiel Mittelklasse-Plug-in-Hybrid

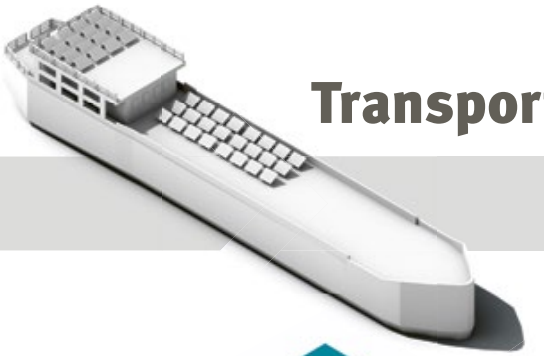
- 50 % Stahl-/Eisenwerkstoffe
- 13 % Leichtmetalle
- 19 % Polymerwerkstoffe
- 6 % Sonstige Metalle
- 5 % Betriebsstoffe
- 7 % Sonstige Werkstoffe

Quelle: Mercedes-Benz



8.500 Pkw können die weltgrößten Autotransporter der norwegischen Höegh-Reederei laden. Die Schiffe sind mit kraftstoffsparenden Technologien ausgestattet, welche die CO_2-Emissionen pro Pkw-äquivalente Einheit im **Vergleich zu Standard-Autotransportern um 50 % reduzieren.** 2021 schickte Höegh ein mit Biokraftstoff befeuertes Schiff auf Reisen. Dadurch wurden sogar 90 % weniger CO_2 ausgestoßen, die letzten 10 % kompensierte die Reederei. Für 2040 hat sich Höegh „null Emissionen“ zum Ziel gesetzt.

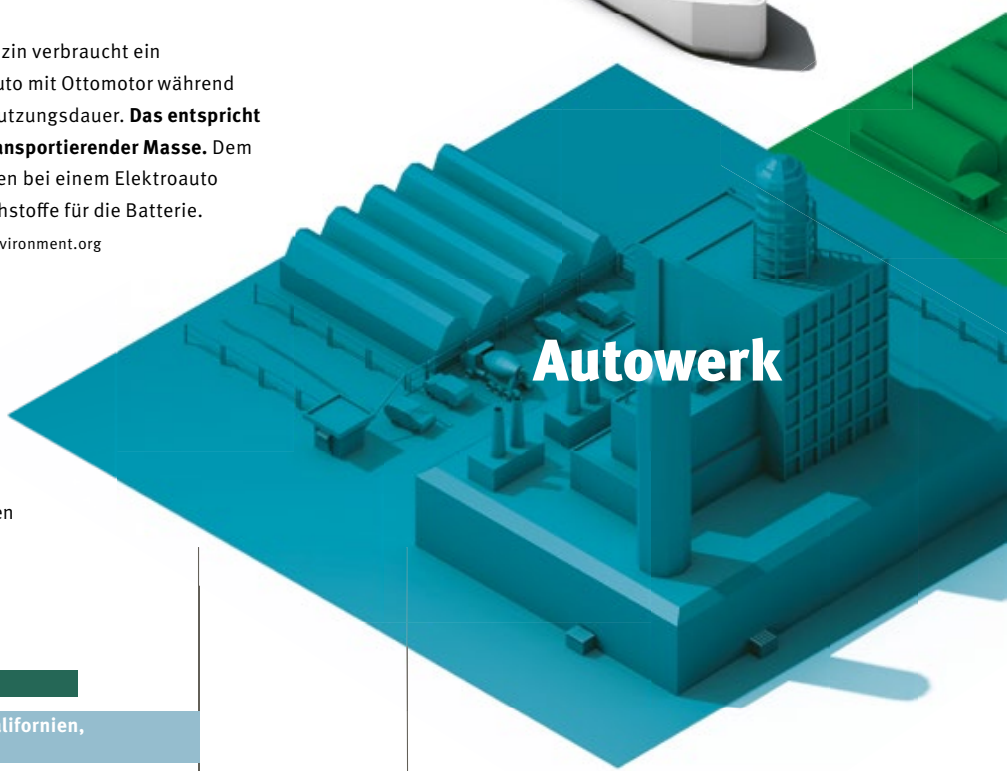




Transport

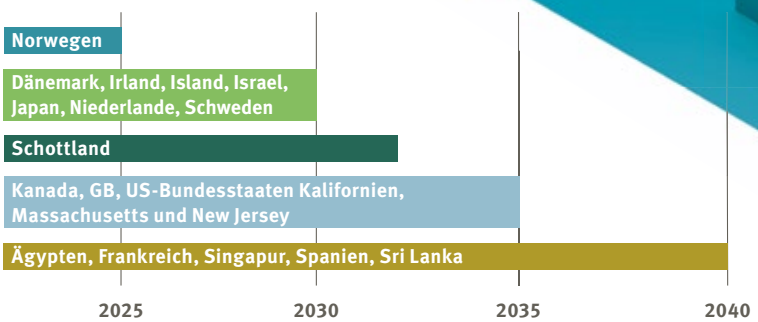
17.000 l Benzin verbraucht ein Durchschnittsauto mit Ottomotor während der gesamten Nutzungsdauer. **Das entspricht 12.500 kg zu transportierender Masse.** Dem gegenüber stehen bei einem Elektroauto 160 kg Metallrohstoffe für die Batterie.

Quelle: transportenvironment.org



Verkaufsverbote für Diesel- und Benzin-Pkw

Das planen einzelne Länder/Regionen



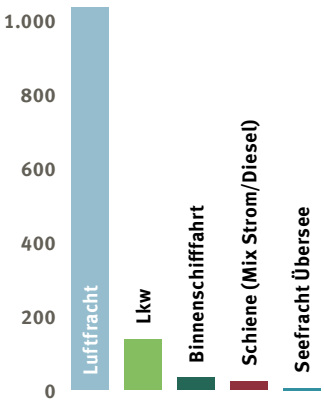
Quelle: theicct.org

% mehr CO_2 verursacht der E-Volvo gegenüber dem Verbrenner-Äquivalent bei der Produktion. **Hauptursache: die Batterie.**

47.000 km Fahrstrecke könnten reichen, den CO_2-Break-Even zu erreichen. Voraussetzung: Es wird **nur Ökostrom zum Nachladen** genutzt.

Transport-Emissionen

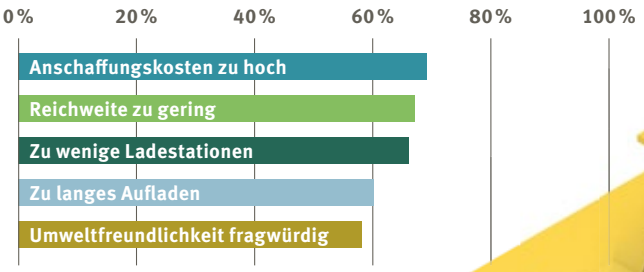
Gramm CO_2-Äquivalent per Tonnen-km



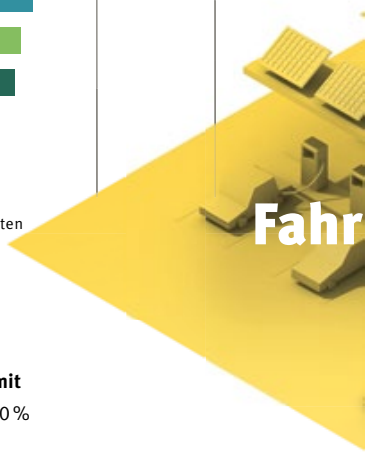
Quelle: Fraunhofer ISI und CE Delft, 2020

Vorbehalte gegen E-Autos

Umfrage in Deutschland unter Personen ab 16 Jahre



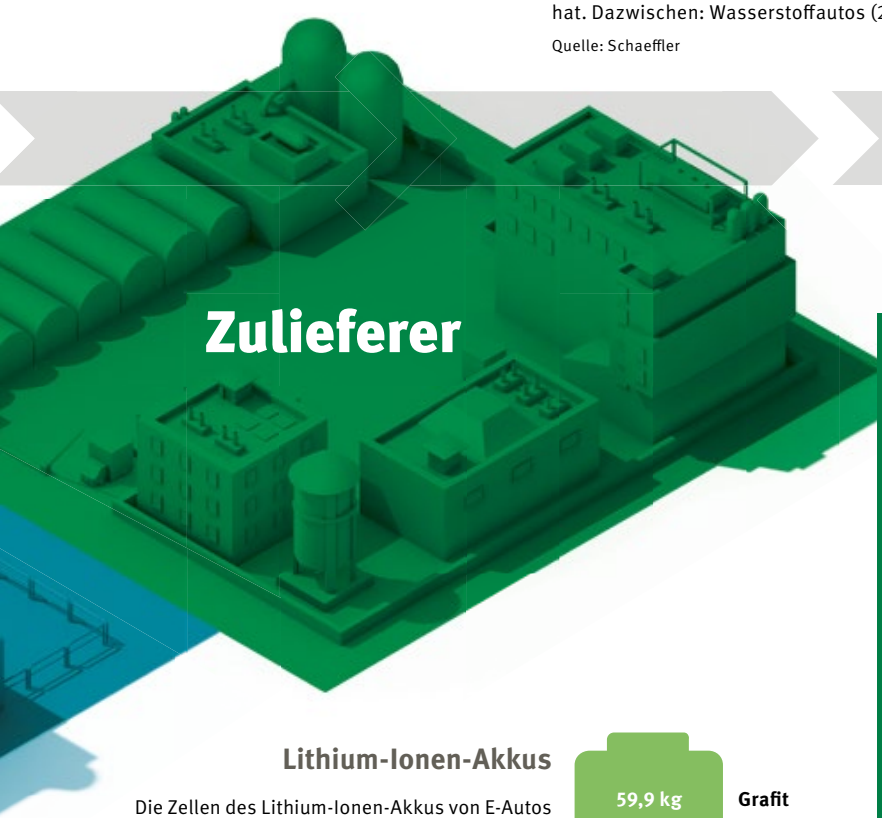
Quelle: Deutsche Akademie der Technikwissenschaften



64 %

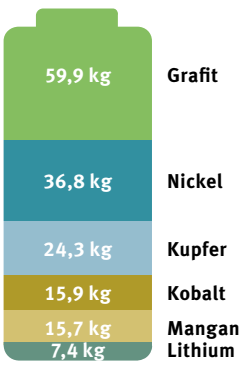
der für den Antrieb eingesetzten Energie bringen E-Autos auf die Straße – **dreimal mehr als ein Auto mit Verbrennungsmotor,** das einen Wirkungsgrad von 20 % hat. Dazwischen: Wasserstoffautos (27 %).

Quelle: Schaeffler



Lithium-Ionen-Akkus

Die Zellen des Lithium-Ionen-Akkus von E-Autos bestehen aus jeweils zwei Elektroden, einem Separator und Elektrolytflüssigkeit. Die Elektroden wiederum bestehen zum einen aus Grafit, zum anderen aus Lithium, Nickel, Mangan und Kobalt. **Ohne diese Rohstoffe sind elektrochemische Speicher mit vergleichbaren Eigenschaften aktuell nicht produzierbar.** Diese Mengen der Rohstoffe sind in einer 58 kwh-Batterie (385 kg) eines VW ID.3. verbaut. Als problembehaftet gelten vor allem Grafit, Kobalt und Lithium.



Schaeffler-Klimaziel: ab 2030 CO_2-neutral

Zulieferer wie Schaeffler leisten einen wichtigen Anteil auf dem Weg zu einer klimaneutralen Mobilität. Nicht nur mit energieeffizienten Produkten, sondern auch mit deren CO_2-neutraler Produktion. Schaeffler will diese 2030 weltweit erreichen. **Dafür nimmt das Unternehmen seine gesamte Wertschöpfungskette inkl. Rohstoffen, Verpackung und Logistik in den Blick** und widmet sich verstärkt dem Thema Kreislaufwirtschaft und erstellt Ökobilanzen (engl. Life Cycle Assessment, LCA). Damit können ökologische Auswirkungen einzelner Produkte über ihren gesamten Lebenszyklus transparent gemacht und Maßnahmen zur Verbesserung abgeleitet werden. Das Ziel zu erreichen ist weiter herausfordernd. Stand 2020 hat Schaeffler 26 Prozent des Weges zur klimaneutralen Produktion gemeistert. Unter anderem, indem das Unternehmen in Deutschland, Österreich, der Slowakei, Mexiko, Spanien und Großbritannien vollständig Grünstrom einkauft. Ab 2024 soll das an allen Standorten so sein.

84.000 km dauert es bis zum CO_2-Gleichstand, wenn mit dem EU-Strommix geladen wird.

146.000 km sind es mit dem globalen Strommix

Autoverkehr hat Nachholbedarf

Im Gegensatz zu Sektoren wie Industrie und Baugewerbe hat der Autoverkehr seit 1990 kein CO_2 eingespart. Im Gegenteil: Die CO_2-Emissionen haben zugenommen. Die EU steuert jetzt gegen. **Strengere Emissionsnormen für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge** sollen den Übergang zur emissionsfreien Mobilität beschleunigen. Die durchschnittlichen jährlichen Emissionen neuer Fahrzeuge müssen **ab 2030 um 55 % und ab 2035 um 100 % niedriger sein als 2021.** Im Ergebnis werden laut EU 2030 60 % aller Neuwagen emissionsfrei sein müssen und ab 2035 100 %.

zeugnutzung

rd. 18 %

würde der Strombedarf in Europa ansteigen, **wenn alle 325 Mio. Bestands-Pkw elektrisch unterwegs wären** und regelmäßig geladen würden.

Quelle: Eigene Hochrechnung

Recycling

92,9 %

der Teile oder Materialien eines Autos werden EU-weit **recycelt.**

Quelle: Eurostat 2020

Schreddern statt einschmelzen

Der VW-Konzern hat Ende Januar 2021 in Salzgitter eine Pilotanlage zum Recycling von Hochvolt-Batterien aus Elektroautos in Betrieb genommen. Statt des energieintensiven (über 1.000 °C) und nicht unproblematischen (bei der Verbrennung des Elektrolyten entstehen Fluorgase) Einschmelzens setzt VW auf **eine Kombination aus Schreddern und anschließendem chemischen Herauslösen der Wertstoffe.** In einem ersten Schritt sollen jährlich bis zu 1.500 Tonnen recycelt werden. „Später kann das System bei weiter optimierten Verfahren auf größere Mengen skaliert werden", sagt ein VW-Sprecher. Es geht beim Recycling vor allem um Elemente wie Lithium, Nickel, Kobalt, Mangan und Aluminium, aber auch um Kunststoffe. Als Ziel hat sich VW eine Recycling-Quote von 90 % gesetzt.

10–12 Jahre

kann eine ausgemusterte Antriebsbatterie, die dann noch 70–80 % Speicherkapazität hat, **ein zweites Leben („Second Life") führen,** z. B. in einem Gabelstabler oder als Speicher für eine Haussolaranlage.

Quelle: ADAC

58 Tonnen CO_2-Emissionen verursacht der Benzin-Volvo beim zugrunde gelegten Lebenszyklus inkl. Produktion. Bei der E-Version sind es bestenfalls 27 Tonnen und schlechtestenfalls 54 Tonnen.

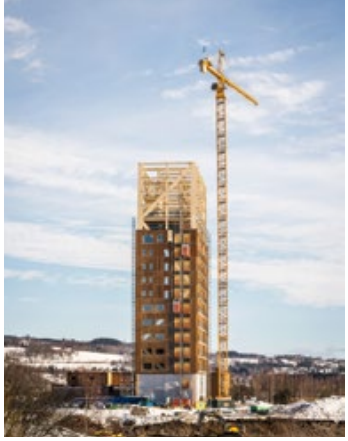
So wird Bob zum Ökobaumeister

Wenn wir den Klimaschutz ernsthaft betreiben wollen, müssen wir gewohnte Vorstellungen und etablierte Verfahren infrage stellen – auch beim Bauen. Denn Gebäude sollten nicht erst bei ihrer Nutzung Energieverbrauch und Emissionen senken, sondern bereits bei ihrer Erstellung.

Von Andreas Kühl

Lange hat sich die Bau- und Immobilienbranche auf die Reduzierung des Energieverbrauchs und der Emissionen in der Nutzungsphase der Gebäude fokussiert – was als weltweiter Energiefresser Nummer eins unverändert richtig ist (siehe Diagramm nächste Doppelseite). Doch es wird zunehmend wichtiger, sich ebenfalls mit dem Energieaufwand für den Bau und die dafür benötigten Materialien zu befassen. Um wirklich CO_2-neutral sein zu können, wird es sogar erforderlich sein, den gesamten Lebenszyklus von Gebäuden zu betrachten – vom Abbau der eingesetzten Ressourcen bis hin zum Rückbau und der Entsorgung der Baustoffe.

Diesen Energieaufwand für Herstellung, Transport, Lagerung und Entsorgung der eingesetzten Materialien bezeichnet man als „graue Energie". Abhängig von Materialien und gewähltem Effizienzstandard kann der Anteil der grauen Energie, die im Gebäude verbaut ist, bis zu einem Drittel der Gesamtenergie und -emissionen betragen, die



Holz kann nicht nur Hütte, sondern auch Hochhaus, wie der 85 Meter hohe Mjøsa Tower in Norwegen beweist

während der Nutzung anfallen. Laut der Internationalen Energie Agentur (IEA) gehen im Durchschnitt fünf Prozent des weltweiten Energiebedarfs und zehn Prozent der weltweiten CO_2-Emissionen auf das Konto des Bausektors. Auch die Entsorgung muss in den Blickpunkt gerückt werden. In Deutschland beispielsweise verursacht der Bausektor 53 Prozent des landesweiten Abfallaufkommens. Ein Teil davon ist Sondermüll, der nur unter (auch energetisch) großem Aufwand getrennt und wiederverwertet werden kann.

Diese Fakten geben einen Eindruck, welchen Einfluss der Bausektor auf den Verbrauch von Ressourcen, auf CO_2-Emissionen und die Entsorgung hat. Sie zeigen, warum es dringend notwendig ist, sich über alternative Baumaterialien mit einer besseren Klimabilanz Gedanken zu machen. Solche innovativen Lösungen gibt es bereits auf dem Markt. Zum Beispiel die Wiederentdeckung des Holzbaus.

Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen

Holz hat als Baustoff viele Vorteile. Es wächst nach, speichert CO_2 in der Wachstumsphase und gibt Sauerstoff ab. Besonders wichtig: Holz und auch Bambus sind in vielen Ländern regionale Baustoffe. Holz wird heute schon für große Projekte bis hin zu Hochhäusern eingesetzt und kann Beton oder Stahl ersetzen. 2019 wurden weltweit drei Wolkenkratzer fertiggestellt, die einen Holzanteil von mindestens 75 Prozent haben: das Dushan Shuisi Building in China (99,9 Meter hoch), der norwegische Mjøsa Tower (85,4 Meter) und das Wiener HoHo (84 Meter). Weitere, unter anderem ein 73-Meter-Schlacks in Amsterdam, sind in Bau oder Planung. Auch bei solchen Großbauten kommt kreuzweise verleimtes Holz, sogenanntes CLT (Cross Laminated Timber), zum Einsatz. Durch die zweiachsige Lastabtragung des CLT können damit erstellte Holzbauten sogar in erdbebengefährdeten Gebieten errichtet werden.

Generell hat Holz neben seiner CO_2-Freundlichkeit weitere Vorteile: Es ist leichter als Stahl und Beton und kann daher auch einfacher in vorgefertigten Elementen angeliefert werden. Außerdem verfügt es als von Natur aus schlechter Wärmeleiter über gute Dämmeigenschaften (übrigens genauso im Bereich der Akustik). Auch der Rückbau von Holzbauten ist weniger umweltbelastend als bei klassischen Gebäuden.

Für die Dämmung von Bauten lassen sich ebenfalls nachwachsende Rohstoffe einsetzen – zum Beispiel Holzfasern, Schafwolle, Seetang, Flachs, Hanf oder Stroh. Viele dieser Materialien wurden bereits vor Jahrhunderten als Baumaterial verwendet und erleben jetzt eine Renaissance. Aber wie beim Holz muss sich die Frage gestellt werden: Wachsen solche Rohstoffe schnell genug nach, um damit den enormen Materialbedarf der Branche zu decken? Oder zumindest in einem solchen Umfang, dass sich die Klimabilanz durch ihren Einsatz merklich verbessern kann? Aktuell ist der Holzmarkt weltweit leergefegt und die Preise sind in neue Rekordhöhen geschossen. Dennoch können die derzeit verfügbaren Potenziale der weltweiten Holzernte laut einer Studie des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung

Holz ist ein leichter Werkstoff und eignet sich hervorragend zum Modulbau, wie hier beim Wiener Hochhaus HoHo

Grüner bauen mit Grün

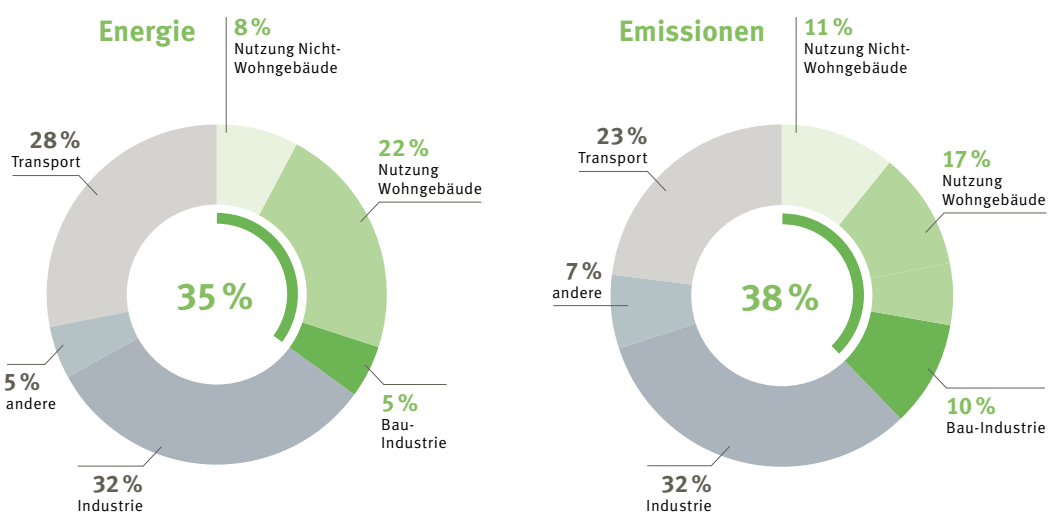
Durch die Begrünung der Fassade können die Innentemperaturen dieses Verwaltungsbaus in Wien selbst an heißen Tagen so kühl gehalten werden, dass 45 Klimageräte entsorgt werden konnten. Solch ein Fassadengrün reduziert Strahlungswärme im Sommer um bis zu 80 %. Im Winter geht die Wärmeabstrahlung nach außen um 20 % herunter. Weiterer Vorteil der nicht nur farblich grünen Dämmung: Sie entzieht der Luft ständig CO_2 und filtert Schadstoffe. Außerdem sorgt sie im Umfeld für ein angenehmeres Mikroklima und dämmt Schall.

(PIK) den Großteil des Bedarfs einer holzbasierten Bau-Wende decken, wenn der aktuelle Platzbedarf zugrunde gelegt wird.

Klimapositive Baustoffe

Die aus sechseckigen Kunststoffelementen bestehende Fassade der Audi-Niederlassung am Münchner Trudering ist mehr als eine schicke Hülle – sie ist ein CO_2-Speicher. Denn bei der Herstellung des Kunststoffes hat der Hersteller „Made of Air“ der Luft mehr CO_2 entzogen, als durch den Produktionsprozess entstanden ist. Grundlage solcher CO_2-negativer Materialien ist der thermo-chemische Prozess der Pyrolyse, bei dem organische Abfälle wie Sägemehl, Gras, Laub und Baumschnitt, aber auch Industrieabfälle bei sauerstofffreier Erhitzung (400–700 °C) aufgespalten werden. Dabei entstehen Biokohlenstoffe, die – zum Beispiel als Erdölersatz – als Basis für eine Vielzahl an Materialen auch im Bausektor dienen. Die Firma „carbonauten“, ein weiterer Pionier der CO_2-negativ-Technologie, will den – zwei weitere Vorteile – nicht brennbaren und sehr leichten Biokohlenstoff als Grundmaterial für Beton, Asphalt, Mauerwerke, Wandaufbauten, Rahmenprofile, Boden-, Wand- und Deckenplatten und sogar für thermosolare Dächer und Fassaden einsetzen. Laut „carbonauten“ speichert jede Tonne Biokohlenstoff

Der Anteil des Gebäudesektors am weltweiten Energieverbrauch und CO_2-Ausstoß



Quelle: Global Status Report for Buildings and Construction 2020

Granulat aus Biokohlenstoff speichert dreimal mehr CO_2-Äquivalent, als es wiegt, und kann in vielen Baumaterialien verwendet werden – wie bei den Fassadenelementen dieses Autohauses

3,3 Tonnen CO_2-Äquivalent. Das soll nicht der einzige Beweis seiner Nachhaltigkeit sein: Beide Anbieter betonen, dass das Herstellungsverfahren mehr Energie produziert, als es benötigt. Diese Überschüsse können in Fernwärme oder Ökostrom umgewandelt werden.

Zementfreier Beton

Das schwarze CO_2-Schaf der Baubranche ist die Zementherstellung. Sie allein soll für sieben bis acht Prozent der weltweiten CO_2-Emissionen verantwortlich sein. Bei der Herstellung von einer Tonne Zement werden rund 600 Kilogramm CO_2 in die Luft geblasen. Aber auch in diesem Bereich gibt es vielversprechende Innovationen.

Unter anderem den ebenfalls CO_2-negativen und zementfreien Baustoff „CarbiCrete“ des gleichnamigen kanadischen Start-ups. Dort ersetzt die bei der Stahlproduktion anfallende Schlacke als Mahlgut den Zement als Bindemittel. Der damit versehene Frischbeton wird in Formen für Hohlblocksteine gegossen und dort in einer Kohlendioxidatmosphäre gebrannt. Dabei wird mehr CO_2 gebunden, als bei der gesamten Fertigung freigesetzt wird. Weiterer Vorteil: Die Abbindezeit der Betonsteine verkürzt sich von 28 Tagen auf 24 Stunden. Noch ist das Verfahren in der Erprobung. Einem Praxiseinsatz könnte auch der Preis des speziellen Brennofens im Wege sein, der laut der „Deutschen Bauzeitung“ bei umgerechnet rund zwei Millionen Euro liegen soll.

Wissenschaftler vom Institute of Industrial Science der University of Tokyo haben eine Methode entwickelt, zementfreien Beton mithilfe von Alkohol als Bindemittel herzustellen. Um ein belastbares Endprodukt zu erhalten, haben die Forscher jahrelang systematisch das richtige Mischverhältnis von Sand, Alkohol, Katalysator und Dehydrierungsmittel ermittelt sowie die passenden Heiztemperaturen und Reaktionszeiten festgelegt. Weiterer großer Vorteil der Methode: Dort kann Wüstensand eingesetzt werden, der für herkömmliche Verfahren zu rund ist.

Dr. Gnanli Landrou, Professor für nachhaltiges Bauen an der ETH Zürich, hat eine chemische Mischung namens Oxacrete entwickelt. Sie verflüssigt Lehm, der dann statt Zement als Betonbindemittel eingesetzt werden kann. Da der Lehm bei den meisten Baustellen ohnehin als Aushub anfällt, soll mit dieser Technologie nicht nur die CO_2-Bilanz verbessert, sondern laut Landrou auch bis zu 20 Prozent Baukosten eingespart werden. Da freuen sich Baumeister, Bauherr und die Umwelt gleichermaßen.

Der Autor

Als Diplom-Ingenieur (FH) für Bauphysik beschäftigt sich **Andreas Kühl** seit vielen Jahren im Blog energynet.de engagiert mit energieeffizientem Bauen, erneuerbaren Energien, Nachhaltigkeit und Digitalisierung. Er ist freiberuflicher Texter für Unternehmen und Publikationen aus diesen Branchen.

Mit dem Wind gegen den Wind

Schneller als der Wind segeln, das ist kein Problem. Doch gegen den Wind? Das schafft nicht einmal die modernste Yacht der Welt. Auf der Straße aber ist das sehr wohl möglich. Den Beweis treten Teams aus aller Welt beim jährlich stattfindenden Aeolus-Race in den Niederlanden an, mit ihren selbstgebauten Gegenwindfahrzeugen.

Von Daniel Hautmann

Gerade so passt eine Hand zwischen Asphalt und Rennwagen. Der Spalt zeigt: Aerodynamik ist alles. Und Gewicht. 171,7 Kilogramm ist der weitgehend aus Kohlenstofffaser gefertigte Bolide leicht. Die vier Räder sind dünn wie bei einem Rennrad; am auffälligsten aber sind die beiden Rotoren über dem Cockpit. Die Flügel sind der Motor des Rennwagens – und der Wind ist der Treibstoff.

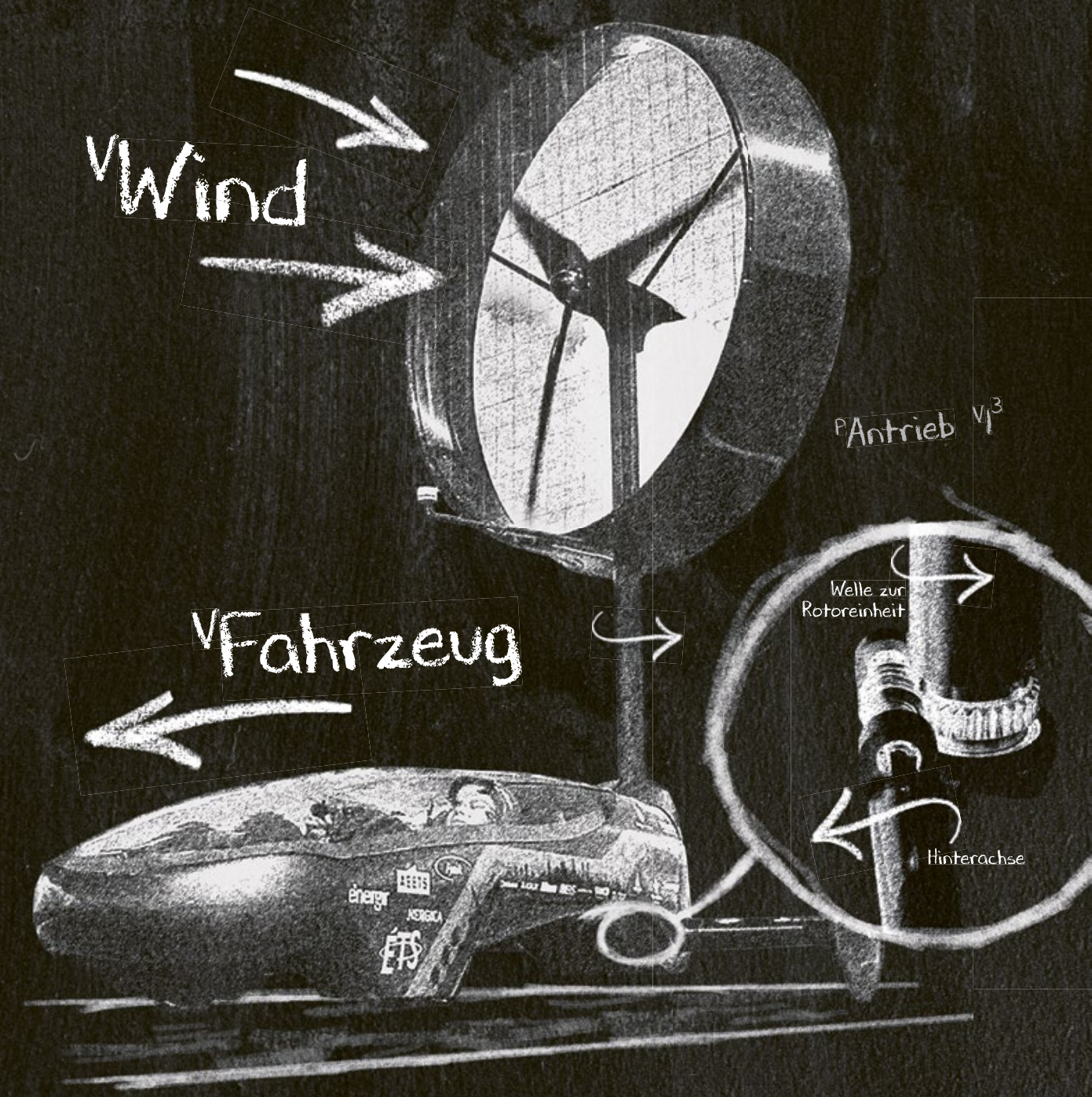
Willkommen beim Aeolus-Race, einem Rennen der besonderen Art. Hier stehen keine kreischenden Zwölfzylinder am Start, sondern sogenannte Gegenwindfahrzeuge. Im Prinzip sind es fahrende Windturbinen. Ausgetragen wird das Rennen im niederländischen Den Helder. Die Rennstrecke ist ein asphaltierter Deich, 500 Meter lang. Gut ein Dutzend universitäre Teams aus aller Welt nehmen teil. Ziel des Rennens ist es, schneller als der Wind zu fahren. Daher ist es schwer, die tatsächlichen Geschwindigkeiten anzugeben – sie hängen maßgeblich von der vorherrschenden Windgeschwindigkeit ab. Bei guten Bedingungen sind es 40 km/h. Das Besondere: Die Rennautos fahren direkt in den Wind und nicht mit ihm im Rücken. Der Clou: Je schneller das Fahrzeug fährt, desto stärker weht der scheinbare Wind, also die Summe aus wahrem und Fahrtwind – damit steigt die Antriebsleistung.

Effizienz führt zum Sieg

Wie es überhaupt möglich sein kann, gegen den Wind zu fahren, erklärt Michael Liebl: Die Summe aller Reibungen – angefangen bei den Rotorblättern über das Getriebe bis hin zu den Rädern – muss geringer sein als die aus dem Wind gewonnene Vortriebskraft. Liebl ist einer der drei Teamchefs des von Schaeffler unterstützten Rennstalls InVentus von der Universität Stuttgart, wo das „Ventomobil“ entwickelt und gebaut wurde.

Dass man überhaupt schneller fahren kann als der Wind bläst, war lange reine Theorie. Erst 2016 bewies das dänische Team DTU, dass es geht: Es erreichte mit seinem Gefährt 101,76 Prozent der damaligen Windgeschwindigkeit. 2017 übernahmen dann die Kanadier von Chinook ETS die Führung: 102,45 Prozent. Dasselbe Team schaffte 2019 stolze 113,97 Prozent – Weltrekord!

Mit bis zu 1.500 Umdrehungen pro Minute drehen sich die Flügel des Ventomobils. „Wir brauchen nicht einmal die Hälfte der Beschleunigungsstrecke, um unsere Zielgeschwindigkeit zu erreichen“,



113,97 % schneller als der Wind, der die einzige Antriebsenergie lieferte, fuhr der Weltrekordhalter beim Aeolus-Race 2019 – und das nicht etwa mit Rückenwind, sondern geradewegs in den Wind hinein. Aufgestellt hat die Bestmarke das kanadische Team Chinook ETS. Das heißt, das hocheffiziente Fahrzeug (Abbildung) würde bei 40 km/h Windgeschwidigkeit 45,588 km/h erreichen.

sagt Liebl. Neben der prozentualen Geschwindigkeit im Verhältnis zum Wind werden auch die Beschleunigung und die Innovationskraft bewertet.

Erfindergeist und Kreativität sind gefragt

Begonnen hat das Engagement der Stuttgarter 2007. Damals starteten zwei Studenten mit dem Bau des ersten Ventomobils. Es war ihre Abschlussarbeit. Das Fahrzeug bestand aus einem Kohlefaser-Chassis und einem Rotor, der die Räder direkt antrieb. Der Aufwand hat sich gelohnt: 2008 gewannen sie den Boysen-Preis für die beste Diplomarbeit im Bereich Umwelttechnik. „Ein Projekt wie InVentus stellt eine Herausforderung für die angehenden Ingenieurinnen und Ingenieure dar, weil dort das Theoriewissen, der Erfindergeist und Kreativität gefragt sind. Solche Fähigkeiten für den zukünftigen Beruf lernt man nicht im Hörsaal, sondern in der Praxis“, sagt Po Wen Cheng, Professor für Windenergie an der Universität Stuttgart.

Im Laufe der Jahre entwickelten die Schwaben drei verschiedene Fahrzeuge. Die neueste Generation ist ein Hybrid: Gleich zwei Rotoren fangen den Wind ein. Der eine liefert sein Drehmoment direkt an die Hinterräder, der andere treibt einen Generator an, der wiederum zwei Elektromotoren auf der Vorderachse speist. So gingen die Stuttgarter ans Maximum dessen, was an Rotorfläche erlaubt ist: vier Quadratmeter, wobei der maximale Rotordurchmesser zwei Meter nicht überschreiten darf. Der Hybrid-Ansatz ist zwar mit Umwandlungsverlusten verbunden, erleichtert aber die Kraftübertragung von den beiden Rotoren. Statt komplizierter Wellen und Getriebe braucht es für den elektrischen Teil des Antriebsstrangs nur ein Kabel.

Zum Sieg hat es bei der letzten Teilnahme im Jahr 2018 aber nicht gereicht. „Unsere eigens entwickelte Leistungselektronik ist erst kurz vor dem Rennen fertig geworden. Wir konnten sie nur auf Funktionalität, nicht aber auf ihren Wirkungsgrad hin testen“, sagt der damalige Teamchef Julian Fial. Deshalb sind die Stuttgarter nur mit dem mechanischen Antrieb gestartet und erreichten nur 95,6 Prozent der Windgeschwindigkeit. Da sie mit ihrem Hybridantrieb den Innovations-Award gewannen, landeten sie im Gesamtergebnis dennoch auf Platz zwei.

Das von Schaeffler unterstützte InVentus-Team der Universität Stuttgart schickt das „Ventomobil“ in die Gegenwind-Rennen. Die jüngste Generation hat vorne einen zweiten Rotor, der Strom für zwei kleine E-Motoren an der Vorderachse liefert

„Die Idee von Racing Aeolus ist es, Autos (Wind Powered Vehicles – WPV) zu entwickeln und zu bauen, die Energie aus dem Wind erzeugen können, während sie gegen den Wind fahren und mit anderen Teams aus der ganzen Welt konkurrieren. Es ist eine echte Herausforderung für die studentischen Teams. Standhaftigkeit, Kooperation, Ausdauer und Unerschrockenheit sind die Schlüsselwörter. Sie lernen den Umgang mit erneuerbarer Energie. Einige von ihnen sind wirklich motiviert und schaffen es, einen Job in diesem Bereich zu finden“

Hans Verhoef,
Vorsitzender des Rennens

2020 und 2021 fanden aufgrund der Covid-19-Pandemie keine Rennen statt. „Das Team war aber nicht untätig und hat die Zeit genutzt, einige Neuerungen und Verbesserungen zu entwerfen, welche zum Teil noch in das Fahrzeug integriert werden müssen“, sagt Co-Teamchef Liebl. Dazu gehören etwa eine neue Rotornabe mit Drehmomentenmessung, ein neuer Rotor mit Dreiblatt-Geometrie, ein neuer Antriebsstrang mitsamt neuer Lager vom Sponsor Schaeffler oder die neue aerodynamische Abdeckung des kompletten Hinterwagens auf Basis einer gewickelten Flachsfaser-Struktur.

Michael Liebl und seine Teamkollegen sind optimistisch, was das nächste Rennen angeht: „Da zeigen wir, was unser Hybridantrieb kann.“

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.

Wie im Auto: Leichtbau und aerodynamischer Feinschliff steigern die Effizienz des „Ventomobil“

Engineering

Mechanik, Elektronik und Digitalisierung bilden in einer sich stetig weiter automatisierenden Welt immer größere Synergien.

Mit Rad und Tat

Seine Entstehungsgeschichte und sein Erfinder sind bis heute unklar. Dennoch ist es **eine der weltweit wichtigsten Erfindungen** und erleichtert seit knapp 6.000 Jahren den Alltag der Menschen: das Rad. Denn mit seiner Hilfe konnte der Transport von Waren und Baustoffen, aber auch von Personen erheblich effizienter gestaltet werden. Als mögliche Inspirationsquelle gelten sich drehende Töpferscheiben. Um 3500 v. Chr. entstandene Bildtafeln aus Mesopotamien galten lange als älteste Beweise für die Verwendung rollender Fahrzeuge. Neuere Funde zeigen jedoch, dass zeitgleich bereits an vielen Orten Mitteleuropas wie Schleswig-Holstein oder Südpolen Wagen eingesetzt wurden. Seitdem hat sich das Rad von einer Steinscheibe über Holzspeichenräder bis zu rollwiderstandsarmen Rädern für E-Autos weiterentwickelt. Nicht alle mit Rädern ausgerüsteten Fahrzeuge haben sich jedoch durchgesetzt – wie das hier gezeigte Monobike.

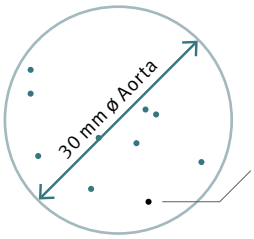
Brücke aus dem 3D-Drucker

Die Produkte, die per 3D-Druck erstellt werden können, werden immer komplexer. In Amsterdam wurde nun die erste **im additiven Verfahren hergestellte Fußgängerbrücke** eröffnet. Entworfen wurde das Bauwerk vom Imperial College London, die Produktion der 4,9 Tonnen schweren und zwölf Meter langen Überführung übernahm die niederländischen Firma MX3D. Der Druck dauerte sechs Monate. Für Sicherheit ist gesorgt: Sensoren überprüfen in Echtzeit die Stabilität.

„Pragmatismus ist nicht das Gegenteil von Perfektionismus, sondern der Weg dorthin“

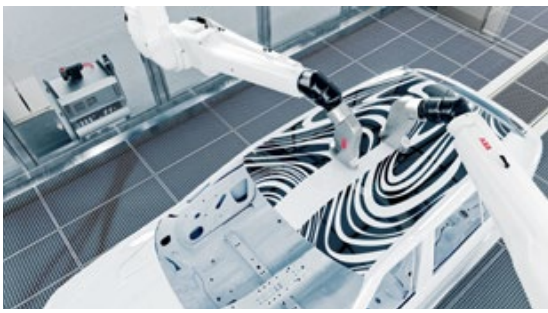
BioNTech-Co-Gründer Uğur Şahin

72 Mal wurde Schaeffler im Jahr 2020 von seinen Kunden für **höchste Qualität ausgezeichnet** – so oft wie nie zuvor. Für das Unternehmen ein großer Erfolg, denn es definiert sich neben Innovation, Fertigungsexzellenz und ausgeprägtem Systemverständnis über seine hohen Qualitätsstandards.



0,8 mm

messen die **kleinsten Roboter der Welt.** Zehn Jahre lang haben Prof. Dr. Oliver G. Schmidt und sein Team an der TU Chemnitz allein am chemischen Zwillings-„Düsenantrieb“ der Salzkorn-großen Einheiten getüftelt, die ferngesteuert in Flüssigkeiten schwimmen. Weitere Features: eine **Lichtquelle und ein kleiner Greifarm,** die beide kabellos mit Energie versorgt werden. Mögliche Einsatzgebiete: Biosensorik und Mikrooperationen direkt im Körper.



Modernes Lackieren

Individualität, Schnelligkeit und Nachhaltigkeit – diese Faktoren müssen sich bei der industriellen Autolackierung nicht ausschließen. Das PixelPaint-Verfahren von ABB soll **50 Prozent schneller als konventionelle Mehrfarb-Verfahren** sein, da aufwendige Maskierung und wiederholte Lackiervorgänge wegfallen. Außerdem reduziert das punktgenaue Arbeiten den Farbverbrauch deutlich. Das Geheimnis: die Non-Overspray-Technologie, die den Lack mithilfe eines Druckdüsenkopfes direkt auf die Zielfläche druckt, anstatt ihn mit einem Zerstäuber zu sprühen.

Weniger ist mehr

Wo Maschinen im Einsatz sind, entsteht Reibung. Mit ihr verbunden sind Reibungsverluste zulasten von Material und Effizienz. Experten schreiben diesen Verlusten rund ein Viertel des weltweiten Energiebedarfs zu. Grund genug, tiefer in dieses alles andere als oberflächliche Thema einzutauchen.

Von Volker Paulun & Alexander von Wegner

Schon früh hat die Menschheit das Phänomen Reibung mitsamt seinen Nebenwirkungen erkannt – und auch zu nutzen gewusst. Zum Beispiel, um mit Reibung Hitze zu erzeugen und ein Feuer zu entfachen. Aber oft war Reibung hinderlich. Der Wunsch, sie zu minimieren, machte daher schon unsere Vorfahren erfinderisch: Um beim Ziehen von Lasten die Anstrengungen zu mindern, ersannen Frühzeit-Tüftler schon in der Jungsteinzeit im fünften Jahrtausend vor Christus Rollbalken und Schlitten. Sie waren die Vorläufer des achsgeführten Rades. Die ersten Maschinen, bei denen Reibung entstand, waren Findelbohrer und Töpferscheiben Jahrtausende vor Christus. Vorchristliche Funde belegen, dass im alten Ägypten und im alten China bereits mit Schmiermitteln gearbeitet wurde, um Reibung zu minimieren.

Im Spätmittelalter stieg die Präzision der Beobachtungen in Sachen Reibung deutlich. Im

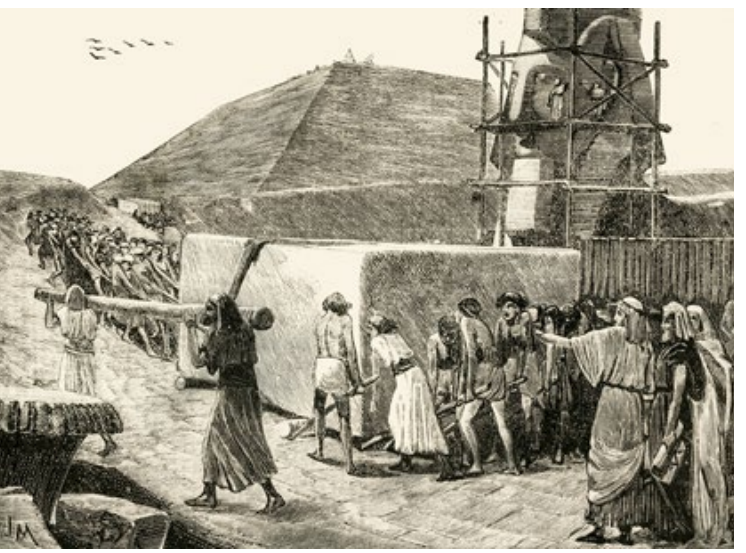
15. Jahrhundert sammelte Leonardo da Vinci erste wissenschaftliche Erkenntnisse zur Haftreibung, also der Kraft, die das Gleiten sich berührender Körper verhindert. Das Universalgenie vermaß für seine Beobachtungen die Winkel verschiedener schiefer Ebenen, auf denen Festkörper zu rutschen begannen. Ebenso ermittelte er die Kraft, die erforderlich ist, um einen Körper in der Horizontalen rutschen zu lassen: die Gleitreibung. Um den Kraftaufwand zu minimieren, platzierte da Vinci Kugeln zwischen zwei Platten und gilt als Erfinder des Kugellagers, das er reibungsminimierend auch gleich mit einer Käfigführung optimierte.

In der Folge beschrieben Naturwissenschaftler verschiedene Gesetzmäßigkeiten rund um die Reibung. So beschäftigte sich Sir Isaac Newton (1643–1727) mit der Adhäsions- oder auch Anhangskraft, die durch molekulare Wechselwirkungen der Grenzflächenschicht von Oberflächen entsteht. Diese Anhangskraft lässt beispielsweise eine Schutzfolie auf dem Handydisplay haften. Der Schweizer Leonhard Euler (1707–1783) wiederum definierte mit dem Reibkoeffizienten μ eine entscheidende Kennzahl. Sie beschreibt das Verhältnis der Reibungskraft zur Anpresskraft. Ebenfalls in dieser Epoche beschrieb Charles Augustin de Coulomb den Reibwiderstand rollender Räder proportional zur Last und umgekehrt proportional zum Radius: Je höher die Last, desto höher der Reibwiderstand und je größer das Rad, desto geringer die Reibung. Außerdem erarbeitete er die Unterschiede zwischen der statischen (Anregung des Gleitvorganges) und der dynamischen Reibkraft (Aufrechterhaltung des Gleitvorganges). Hierbei beobachtete Coulomb, dass die Reibkraft im Falle des Gleitens nahezu unabhängig von der Relativgeschwindigkeit des Reibpaares ist, anders als beispielsweise beim Luftwiderstand.

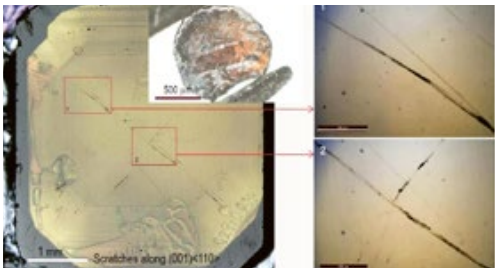
Reibung als eigenständige Wissenschaft

Auch wenn die Forschung bereits vor mehr als 500 Jahren begann, so entstand erst in den 1960er-Jahren dafür der wissenschaftliche Begriff der Tribologie. Der Name ist zurückzuführen auf das altgriechische „tribein“, ein Wort für reiben und abnutzen. Der Terminus des tribologischen Systems beschreibt die Interaktion von Oberflächen in relativer Bewegung zueinander, die der Erfüllung spezifischer technischer Funktionen dient. Das klingt ein wenig kompliziert – und ist in Wirklichkeit sogar hochkomplex. „Als Lehre von Reibung, Schmierung und Verschleiß ist Tribologie eine Querschnittstechnologie von volkswirtschaftlicher Bedeutung. Sie ermöglicht Energieeffizienz und Ressourcen-Schonung durch Minderung von Reibung und Verschleiß“, sagt Prof. Dr.-Ing. Tim Hosenfeldt, Leiter Zentrale Forschung und Innovation bei Schaeffler und Honorarprofessor an der Universität Erlangen-Nürnberg für Oberflächentechnik und Tribologie.

Ingenieure unterscheiden heute – je nach Kontaktzustand – folgende Reibungsbegriffe:



Schon lange vor Christi Geburt nutzte man Rollbalken, um Reibung zu reduzieren, wie hier die Ägypter beim Pyramidenbau. Als Erfinder des Kugellagers gilt Universalgenie Leonardo da Vinci. Hier ein Nachbau nach Originalzeichnungen (o. rechts im Bild)



Dieses Beweisfoto aus dem Mikroskop zeigt die Spuren, die AM-III in eine Diamant-Oberfläche geritzt hat

11.522,4

Vickershärte (HV) erreicht ein kohlenstoffbasiertes Glas, das Forscher jetzt an der Yanshan University in China entwickelt haben. Das AM-III genannte Material ist 30-mal härter als Nirostahl und kann sogar Diamanten ritzen (10.000 HV). Da AM-III überdies halbleitend ist, eignet es sich als leistungsfähige Silizium-Alternative im Bereich Photovoltaik.

Festkörperreibung, Grenzreibung, Mischreibung, Flüssigkeitsreibung und Gasreibung. Dabei betrachten die Wissenschaftler nicht nur die tribologischen Objekte, die aneinander reiben, also Grund- und Gegenkörper. Ebenso untersuchen sie die zwischen den Oberflächen wirkenden Elemente wie Schmiermittel, Partikel oder auch Luft. Auch das umgebende Medium, ob flüssig oder gasförmig, ist maßgeblich. Die Luftatmosphäre beispielsweise erzeugt chemische Wirkungen, die die Alterung von Schmierstoffen begünstigen. Auch sind Aspekte wie Viskosität und Alterung eines Schmierstoffes zu beobachten, der unter zu großer Belastung verdampft. Ferner beeinflussen Einsatzparameter das tribologische Verhalten: Art der Bewegung, Last, Geschwindigkeit, Temperatur und Dauer der Reibung. Hinzu kommen weitere Faktoren. Wissenschaftler untersuchen tribologische Phänomene auf makro-, mikro- und längst auch nanoskalierter Ebene.

Enormes Effizienzpotenzial

Wozu der ganze Forscher-Ehrgeiz? Schon in einer einzelnen Baugruppe – etwa im Automobil, bei Nutzfahrzeugen oder im Bahnverkehr – lassen sich signifikante Reibungsverluste messen. Wie gewaltig mag da die Gesamtwirkung aller Reibungsverluste sein, wenn solche Produkte tagtäglich weltweit in Hunderten von Millionen oder gar in Milliarden Einheiten zum Einsatz kommen? Eine ingenieurwissenschaftliche Studie hat diese Effekte 2017 errechnet. Die Zahlen sind beeindruckend: Demnach entfallen 23 Prozent des Weltenergieverbrauchs auf tribologische Kontakte, wobei 20 Prozent zur Überwindung der Reibung dienen und 3 Prozent zur Aufbereitung von Teilen und Ersatzteilen, die dabei abgenutzt werden. In absoluten Zahlen entsprechen diese

„Der Trend geht eindeutig zu individuell entwickelten multifunktionalen und sensorischen Schichten“

Prof. Dr.-Ing. Tim Hosenfeldt,
Leiter Forschung & Innovation und Zentrale Technologien bei Schaeffler

23 Prozent einem Wert von 119 Exajoule (EJ). Das sind 33.055 Milliarden Kilowattstunden (kWh), also fast exakt das Zehnfache des Primärenergieverbrauchs von Deutschland.

Diese unglaubliche Menge Energie erfordert hohe Investitionen, wird aufwendig erzeugt, belastet Umwelt und Klima – und geht am Ende durch Reibungsverluste verloren. Und der geringste Teil davon gewollt, beispielsweise durchs Bremsen. Kenneth Holmberg und Ali Erdemir, die wissenschaftlichen Autoren der oben genannten Studie, haben weitere Berechnungen angestellt. Mithilfe neuer Oberflächen, Materialien und Schmierlösungen ließen sich Reibung und Abnutzung langfristig um bis zu 40 Prozent minimieren. Das entspricht einem Verbesserungspotenzial in Höhe von 8,7 Prozent des globalen Primärenergiebedarfs. Ein Viertel dieser Einsparungen entfällt laut Studie auf den Transportsektor, ein Fünftel auf die Energiegewinnung. Beides Sektoren, in denen Schaeffler mit seinen Sparten Automotive und Industrie stark involviert ist. Auch diese Zahlen beeindrucken: Mit zukunftsweisenden tribologischen Technologien ließen sich laut der Studie längerfristig 3.140 Megatonnen CO_2 und 970 Milliarden Euro einsparen, so Holmberg und Erdemir.

„Oberflächentechnik ist eine der wichtigsten Schlüsseltechnologien“

Auch vor dem Hintergrund dieser Zahlen will Schaeffler als weltweit aktiver Automobil- und Industriezulieferer sein tribologisches Know-how einsetzen, um Reibung zu minimieren und damit Effizienz zu steigern sowie die Lebensdauer von Produkten durch Verschleiß- und Korrosionsschutz zu erhöhen. Bereits 2007 eröffnete der Konzern sein Kompetenzzentrum „Oberflächentechnik“ am Stammsitz in Herzogenaurach und baute die dortigen Entwicklungskapazitäten sukzessive aus. Die Motivation der dortigen Forscher und Entwickler ist hoch: Sie sagen, dass die Oberflächentechnik nicht weniger sei als eine der wichtigsten Schlüsseltechnologien in Industrieländern. Allein schon wegen der oben stehenden Zahlen eine durchaus plausibel klingende Annahme.

Schaeffler hat sich durch seine Kompetenzen in der Beschichtungstechnologie, den Grundlagen der Tribologie und der Nanotechnologie eine weltweite Führungsposition bei funktionalen Oberflächen und Beschichtungen erarbeitet. Längst geht es in diesem Bereich nicht mehr nur darum, mit innovativen Beschichtungsverfahren die Oberflächen hoch beanspruchter Wälzlager zum Beispiel in Windkraftanlagen oder Flugzeugtriebwerken zu optimieren. Vielmehr haben Beschichtungen von Schaeffler bereits den Weg in den Antriebsstrang von Fahrzeugen gefunden, beispielsweise im Ventiltrieb. Und auch Bipolarplatten von Brennstoffzellen und Elektrolyseure für die Nutzung und Herstellung von grünem Wasserstoff werden durch das tribologische Know-how des Automobil- und Industriezulieferers leistungsfähiger. Viele weitere Anwendungsbereiche zeichnen sich ab, dazu später mehr.

Vielfalt ist Trumpf: Um seinen Kunden individuelle Lösungen anbieten zu können, hat Schaeffler einen Beschichtungsbaukasten entwickelt. Dieser deckt die fünf Anforderungsschwerpunkte Korrosionsschutz, Verschleißschutz, Reibungsreduzierung, Stromisolation und Sensorik sowie jeweilige

Bis zu 80 Prozent weniger Trockenreibung gegenüber Stahl: Triondur-beschichtete Tonnenrollen in einem Pendelrollenlager von Schaeffler

5 wichtige Schwerpunkte in der tribologischen Forschung und Entwicklung im Bereich Dünnschichttechnik

- Innovative Beschichtungsverfahren und -prozesse
- Tribologische und korrosionsschützende Beschichtungen für Mobilität und Energie
- Beschichtungen für sensorische und bionische Anwendungen
- Beschichtungen für optische und elektronische Anwendungen
- Beschichtungen für Energiespeicher und -wandler

Schnittmengen ab. „Diese Oberflächenmodifikationen müssen für die jeweilige Anwendung ausgelegt werden und sollten bereits in der Konstruktionsphase des Systems berücksichtigt werden, sodass die Beschichtung unbedingt als wertvolles und für den bestmöglichen Erfolg notwendiges Konstruktionselement zu sehen ist“, sagt Prof. Tim Hosenfeldt, der Leiter des Kompetenzzentrums.

Eine Stärke von Schaeffler: die Transformation komplexer Nischenanwendungen zur Großserie mit entsprechenden Anforderungen wie erstklassige Reproduzierbarkeit, um strengen Qualitätsstandards zu genügen, und natürlich unter Berücksichtigung rigider Kostenanforderungen. Allein das hauchdünne Auftragen der hoch belastbaren Schichten ist eine Kunst für sich. Immerhin sprechen wir hier von hauchfeinen Schichtdicken, oft im Nanobereich. Umso erstaunlicher ist die Belastbarkeit: Schaeffler bietet sogenannte Triondur-Beschichtungen an, die bis zu 600 °C standhalten. Beim Härtegrad erreicht man aktuell Spitzenwerte von über 4.000 Vickershärte (HV). Zum Vergleich: Standard-Wälzlagerstahl kommt nicht über 700 HV und der Diamant als härtestes natürliches Mineral auf 10.000 HV.

Die Zukunft: Plasmabeschichtungen und multifunktionale Oberflächen

Neben elektrochemischen Verfahren (galvanisch), der Lackierung und dem thermischen Spritzen nehmen gerade bei multifunktionalen Dünnschichten auch bei Schaeffler die plasmaunterstützte chemische Gasphasenabscheidung, kurz PACVD (Plasma assisted Chemical Vapor Deposition), und die physikalische Abscheidung aus der Gasphase (PVD für Physical Vapor Deposition) immer wichtigere Rollen ein. Die Plasmaoberflächentechnik ist ein echtes Multitalent und dabei ein besonders umweltfreundliches Verfahren. Das Leistungsspektrum geht weit über die Bereiche Reibungsreduzierung und Verschleißschutz hinaus. Mit diesem Verfahren können beispielsweise Oberflächen gereinigt und aktiviert werden, damit Lacke und Klebstoffe besser darauf haften, oder Vereisungen verhindert werden. Außerdem ermöglicht es, Oberflächen zusätzliche optische, elektrische oder chemische Funktionen mit auf den Weg zu geben.

„Der Trend geht eindeutig zum Einsatz von passgenauen Schichtsystemen als Konstruktionselement mit multifunktionalen und mechatronischen Eigenschaften“, sagt Prof. Tim Hosenfeldt. Diese Zahl unterstreicht ebenfalls die Bedeutung und die Vielseitigkeit der tribologischen Plasmatechnologie: In 14 der durch das deutsche Bundesforschungsministerium identifizierten 17 Zukunftsfelder von Wasserstoffwirtschaft über Medizin- bis Biotechnik kommt Plasmatechnologie zum Einsatz.

PVD und PACVD haben nämlich einen entscheidenden Vorteil: Die Verfahren sind nicht nur bei Metallen anwendbar, sondern auch bei den meisten Polymeren und sogar bei vielen organischen Substanzen. Auch hochwirksame Membrane oder einzelne Fasern lassen sich mit Plasmatechnik behandeln, beispielsweise um Spezialgarne herzustellen. Das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM hat eine plasmapolymere Beschichtung für Gummi-Dichtelemente entwickelt. Dadurch sinken Reibung und Verschleiß solcher Dichtungen, die ein Austreten von Schmieröl verhindern. Schaeffler war an dem „Poseidon“ genannten Projekt als Partner beteiligt. Im Versuch konnten die Wissenschaftler dadurch auf einem Modellprüfstand die Reibung um 23 bis 55 Prozent verringern – abhängig vom verwendeten Öl und seinen Additiven. Bei voll additivierten Serienschmierfetten in Radlagern gelang es sogar, den Reibwert bei Laborversuchen um bis zu 71 Prozent zu senken.

99 %

des Universums ist Plasma. Die Sonne besteht ebenso aus Plasma wie alle Sterne. Aber auch Naturphänomene wie Polarlichter und Blitze sind Plasma. **Plasma ist neben fest, flüssig und gasförmig der vierte Aggregatzustand.** Führt man Gas eine ausreichende Menge Energie hinzu, entsteht ein Teilchengemisch aus Ionen, freien Elektronen und meist auch neutralen Atomen oder Molekülen – sogenanntes Plasma. Im Gegensatz zu Gasen ist ionisiertes Plasma leitfähig.

Gibt man den Beschichtungen sensorische Eigenschaften mit auf den Weg, können Experten während des Betriebs Verschleißverhalten ermitteln und analysieren, um Produkte zu verbessern. Oder noch besser: um direkt aktorisch einzugreifen, um Verschleiß zu vermeiden. Außerdem ermöglichen solche Daten es, Restlebensdauern zu berechnen. Dadurch können Laufzeiten und Wartungsintervalle optimiert werden, was Ressourcen schont. Gleichzeitig können ungeplante Ausfälle minimiert werden. Im Idealfall regenerieren Oberflächen ihren reibungsbedingten Substanzverlust von ganz allein. Auch an solchen verschleiß- und reibungsreduzierenden „Heilungsprozessen“ arbeiten Tribologen bereits. Die Themen Oberflächen und Reibung werden uns also auch in Zukunft erfinderisch machen – ganz so, wie es schon vor Tausenden von Jahren bei unseren Vorfahren war.

Stahl mit Grünstich

Er bestimmt weite Teile unseres Alltags: Autos, Gebäude, Windkraftanlagen, Brücken – undenkbar ohne den Werkstoff Stahl. Jedes Jahr werden rund zwei Milliarden Tonnen verarbeitet. Dementsprechend groß ist der CO_2-Fußabdruck des Sektors: Die Stahlproduktion ist für acht bis zehn Prozent der weltweiten Kohlendioxid-Emissionen verantwortlich. Zeit, etwas zu ändern: mit grünem Wasserstoff und neuen Technologieansätzen.

Von Oliver Jesgulke

Die Geschichte des Stahls ist etwas unübersichtlich und weicht von Quelle zu Quelle ab. Oft genannt wird das vorderasiatische Volk der Chalyber, das um 1800 v. Chr. den Stahlvorläufer Schmiedeeisen ersann und zum Waffenbau einsetzte. Die Chinesen entwickelten um 500 v. Chr. mannshohe Hochöfen, in denen sie Gusseisen herstellten. Bei beiden Methoden wurde dem Grundstoff Eisenerz durch Beimischung von Holzkohle Kohlenstoff zugeführt. Das Reduktionsmittel entreißt dem Eisenerz Sauerstoff und erzeugt so Roheisen – die Vorstufe zum Stahl. Diesen sollen indische Schmiede rund 400 v. Chr. erfunden haben. Sie mischten dem Eisenerz neben Holzkohle ein paar andere passende Zutaten bei (überliefert sind u. a. Glasscherben und grüne Blätter) und schmolzen es in Tiegeln ein. Die dabei entstandene Legierung namens Wootz mit einem Kohlenstoffanteil von 1,5 Prozent gilt als erster Stahl – und wurde zum Exportschlager. In Damaskus veredelten syrische Schmiede die Legierung aus dem Osten zu berühmten Damaszenerstahl-Schwertern. Nicht minder gefürchtet waren die Hieb- und Stichwaffen aus dem spanischen Toledo, die ebenfalls aus indischem Wootz geschmiedet wurden. Mit ihnen eroberten die Römer ein Weltreich.

Es dauerte fast 2.000 Jahre, bis die Stahlproduktion einen weiteren entscheidenen Schritt machte. Im England des 18. Jahrhunderts verwendeten „Eisenmänner“ geröstete Kohle statt Holzkohle und erhitzten ihr Eisengemisch nicht in Tiegeln, sondern in einem Schmelzofen. Die Stahlqualität der dabei entstandenen Blöcke war ein Quantensprung. Aber es ging noch besser, vor allem wurden die Anlagen, die Eisen in ihren glutheißen Öfen zu Stahl aufkochten, immer effizienter. Im 19. Jahrhundert wurde Stahl zum Massenprodukt.

Aktuell werden weltweit mehr als 2.500 genormte Sorten Stahl angeboten, alle davon überwiegend aus Roheisen und im Hochofen durch Einblasen von Kohlenstaub erzeugt. Für jede Tonne Stahl ist fast eine halbe Tonne Koks als Reduktionsmittel nötig. Das ist ein Bruchteil von dem, was noch vor ein paar Hundert Jahren nötig war, aber immer noch zu viel. Denn dadurch werden pro Tonne Stahl zwei Tonnen CO_2 emittiert. Dass das nicht zukunftsfähig ist, haben auch die Stahlkonzerne erkannt. Sie denken über eine Abkehr von der archaischen „Hochofenroute“ nach, wie das Verfahren im Fachjargon heißt. Ihr ehrgeiziges Ziel: Kohlenstoff durch Wasserstoff ersetzen, um grünen Stahl zu erzeugen. Der Klimaschutz stellt schließlich hohe Anforderungen an die Industrie, und das Produkt ist am Ende qualitativ das gleiche. Bis 2050 sollen die CO_2-Emissionen im Vergleich zu 1990 um 80 Prozent sinken, so will es das Pariser Abkommen.

Innovationen aus dem Hüttenwerk

Das Traditionsunternehmen Thyssenkrupp aus dem Ruhrgebiet will zum selben Stichjahr den Ausstieg aus der Kokskohle vollziehen und arbeitet an entsprechenden Konzepten. Bisher war der traditionsreiche Stahlriese vor allem für sein Projekt „Carbon2Chem“ bekannt, bei dem als Prozessgas anfallendes Kohlendioxid per Wasserelektrolyse in chemische Grundstoffe wie Ammoniak und Methanol umgewandelt wird, um daraus beispielsweise Dünger oder Treibstoffe zu gewinnen. Ein Hüttenwerk besteht aus Kokerei, Hochofen, Konverter-Stahlwerk sowie Neben- und Weiterverarbeitungsanlagen und ist ein wahrer Energiefresser. Auf dem Weg zum klimaneutralen Stahlwerk ist die Umstellung der Prozessenergie von fossilen zu regenerativen Quellen wie Wind- und Sonnenstrom die kleinere Hürde.

„Wir schaffen die Kohle ab, nicht das Stahlwerk“

Dr. Arnd Köfler,
CTO Thyssenkrupp

Zur schlechten CO_2-Bilanz tragen vor allem die gigantischen Hochöfen mit ihrem immensen Kohleverbrauch bei. Genau hier setzt das Stahlunternehmen an: Bei einem neuen Verfahren wird grüner – also mit erneuerbarer Energie hergestellter – Wasserstoff in den Hochofen eingeblasen und auf diese Weise ein Teil der Einblaskohle ersetzt. Anstatt CO_2 entsteht so Wasserdampf. Der Vorteil: Man braucht keine neue Anlagentechnik, es reichen kleinere Anpassungen der bestehenden Infrastruktur. Der Nachteil: Der Wasserstoff kann das Koks an dieser Stelle des Produktionsprozesses nur anteilig ersetzen. Auf diese Weise lassen sich lediglich 20 Prozent der CO_2-Emissionen einsparen. Der Ansatz ist deshalb nur eine Brückentechnologie.

Perspektivisch werden es neue Anlagen sein – „Hochöfen 2.0“ –, die komplett klimaneutral funktionieren und Direktreduktionsanlagen genannt werden. Auch Thyssen-Konkurrent Salzgitter setzt auf die Technologie, die sich problemlos in das Stahlwerk integrieren lässt. Dort wird dem Eisenerz durch ein Reduktionsgas der Sauerstoff entzogen. Dieser Prozess findet bei Überdruck und 1.000 °C statt. Dabei entsteht kein flüssiges Roheisen mehr, sondern als Zwischenprodukt ein fester Eisenschwamm, der in einem Elektrolichtbogenofen mit Stahlschrott eingeschmolzen und zu neuem Stahl veredelt wird. Die Technologie ist keineswegs Neuland, allerdings wegen der bisherigen Nutzung von Erdgas alles andere als klimaneutral. Hier setzt das Projekt Salzgitter Low CO_2 Steelmaking an. Geplant ist, sukzessive den Anteil des fossilen Energieträgers durch grünen Wasserstoff auf Basis von Ökostrom zu ersetzen und so die CO_2-Emissionen um bis zu 95 Prozent zu senken.

Mit einem Windpark und einer Elektrolyseanlage erzeugt der Stahlproduzent bereits eigenständig grünen Wasserstoff für die Anlage. Zudem arbeitet das Unternehmen daran, den Wirkungsgrad bei der Produktion von grünem Wasserstoff zu erhöhen. Im Rahmen eines Forschungsprojekts wurde dazu ein Hochtemperaturelektrolyseur getestet. Das Verfahren nutzt bei einer Temperatur von rund 150 °C Wasserdampf, der mittels Abwärme erzeugt wird – sozusagen als Nebenprodukt aus der

Schaeffler-Lager in der Stahlproduktion

Die Betriebsbedingungen der Wälzlager in der Stahlindustrie sind durch hohe Temperaturen, hohe Drehzahlen sowie erheblichen Schmutz- und Wasseranfall gekennzeichnet. **Schaeffler bietet Lösungen für sämtliche Lagerstellen in Anlagen zum Erzeugen und Umformen von Stahl und Nichteisenmetallen.** Durch die jahrzehntelange Zusammenarbeit mit Anlagenherstellern und -betreibern verfügt Schaeffler über ein ausgeprägtes Know-how. Hunderte von Stahlwerken profitieren von der Qualität maßgeschneiderter Lösungen. Lösungen, mit denen sich steigende Produktionsgeschwindigkeiten bei höchster Zuverlässigkeit wirtschaftlich und sicher verwirklichen lassen.

Die Produktionsanlagen eines Stahlwerks (hier ein Lichtbogenofen) sind so groß wie Wohnblöcke

Stahlherstellung. Bisher hat allerdings noch kein Hersteller die grüne Stahlproduktion zur industriellen Marktreife gebracht. Gleichzeitig muss es gelingen, die Umstellung auf CO_2-arme Herstellung wirtschaftlich abzusichern. Denn eine Tonne grüner Stahl kostet heute etwa zwei Drittel mehr als sein konventionelles Pendant bei gleichbleibender Qualität. Die Nachfrage nach grünem Stahl ist dennoch schon heute da – Stichwort CO_2-freie Lieferketten.

Stählerne Start-ups

Die Autoindustrie ist weltweit einer der größte Abnehmer der Stahlindustrie. In Deutschland liegt der Anteil beispielsweise bei 26 Prozent. Mercedes-Benz verfolgt gemeinsam mit seinen Stahllieferanten das Ziel einer grünen Stahllieferkette und will ab dem Jahr 2025 verschiedene Fahrzeugmodelle aus grünem Stahl auf den Markt bringen. Eine Limousine des Premiumherstellers besteht heute durchschnittlich zu 50 Prozent aus Stahl. Damit macht der Werkstoff etwa 30 Prozent der CO_2-Emissionen in der Herstellung aus. Um ihre Pläne zu untermauern, haben die Stuttgarter neben weiteren namhaften Investoren in das Start-up H2 Green Steel investiert. Das schwedische Jungunternehmen plant auf der grünen Wiese ein Stahlwerk inklusive Wasserstoffproduktion im Giga-Maßstab. Herzstück ist ein gewaltiger 800-Megawatt-Elektrolyseur. Strom soll aus den umliegenden Wasserkraftwerken und Windparks kommen. Die Rohstoffe sollen aus 60 Prozent Schrott und 40 Prozent Eisenerz bestehen. Geplant ist, ab 2030 pro Jahr fünf Millionen Tonnen Stahl zu produzieren. Auch BMW investiert in ein Start-up, das ein Verfahren zur CO_2-freien Stahlherstellung entwickelt. Boston Metal läutet eine neue Ära der Metallurgie ein und verwendet unter dem Einsatz erneuerbarer Energien eine Elektrolysezelle, um flüssiges Eisen herzustellen, das später zu Stahl weiterverarbeitet wird. Gründer Donald Sadoway, ein Chemiker, hatte vor rund 15 Jahren im Rahmen einer NASA-Ausschreibung mit der Elektrolysezelle eine Lösung gefunden, um Sauerstoff aus der Oberfläche des Mondes zu gewinnen. Als Nebenprodukt entstand dabei geschmolzenes Metall, was den Forscher auf die Idee brachte, den Ansatz für die alternative Stahlproduktion zu adaptieren. In den kommenden Jahren baut das junge Unternehmen Demonstrationsanlagen für sein Verfahren auf, um es so für die Verwendung im industriellen Maßstab weiterzuentwickeln.

Der Autor

Das Ruhrgebiet mit seiner Skyline aus Kaminen und Schloten war für unseren Autor **Oliver Jesgulke** in Jugendzeiten immer ein Unort, den er schnell hinter sich lassen wollte. Doch heute ist der Pott für ihn ein Entdeckerparadies, wo auch ohne Kohle viel los ist.

Hightech auf dem Land

Auch in der Landwirtschaft spielen Effizienz und Nachhaltigkeit eine zentrale Rolle. Erreicht werden sie durch den Einsatz hochmoderner Maschinen. „Precision Farming“ oder „Landwirtschaft 4.0“ sind hier Stichworte.

Von Lars Krone

Die Landwirtschaft steht vor großen Herausforderungen. Die wachsende Erdbevölkerung hat Hunger auf immer mehr Nahrung, auf der anderen Seite verlangen der Klimawandel und ein größeres Umweltbewusstsein nach effizienten, energiesparenden und umweltschonenden Produktionsmethoden. Ein weiteres Problem in vielen Ländern: ein wachsender Arbeitskräftemangel. Hersteller von Landmaschinen und Start-ups entwickeln verschiedene Lösungsansätze. Bei den Landmaschinen selbst gibt es eine zweigeteilte Entwicklung: Zum einen werden die Großgeräte, die zum Beispiel zur Getreideernte eingesetzt werden, sparsamer und durch moderne Technik immer effizienter, zum anderen sollen multifunktionale, autonome Kleingeräte, die im Schwarm agieren können und dabei säen, düngen oder pflügen, konventionelle Traktoren ersetzen und so Energie und Arbeitskräfte einsparen. Eine Gemeinsamkeit dabei ist die zunehmende Digitalisierung mit dem Stichwort „Landwirtschaft 4.0“. Durch Cloud-basierte, App-gesteuerte Netzwerke werden die Landmaschinen in Echtzeit überwacht und ihr Einsatz kontinuierlich optimiert. So werden ihre Routen auf den Äckern so geplant, dass sie besonders bodenschonend und energiesparend sind und die Maschinen immer im optimalen Leistungsbereich unterwegs sind. Ein weiterer wichtiger Punkt ist das Precision Farming. Hier spielt der Einsatz von Drohnen ein wichtige Rolle, die aus der Luft den Zustand der Pflanzen überwachen. So verwendete bereits 2018 fast jeder zehnte Landwirt in Deutschland Drohnen – in keiner anderen Branche gibt es einen vergleichbar intensiven Einsatz der Fluggeräte.

Der Rekordhalter

Modell
New Holland CR10.90

Gattung
Mähdrescher

Einsatzbereich
Für verschiedene Getreidesorten geeignet, gilt als schnellster Mähdrescher der Welt mit Eintrag ins Guinness Buch der Rekorde (797,656 Tonnen Weizen in acht Stunden).

Technik
16-Liter-Common-Rail-Dieseltriebwerk mit maximal 700 PS, das dank AdBlue-Einspritzung die 2020 eingeführte europäische Stufe V erfüllt, einen der weltweit höchsten Emissionsstandards für mobile Arbeitsmaschinen; proaktive Automatiksysteme, die im Mähbetrieb alle 20 Sekunden die bestmögliche Einstellung aus 280 Millionen Möglichkeiten wählen; Regelspursystem ermöglicht sorgfältiges, durchdachtes Fahrspur-Management und Minimierung der Bodenbelastung; Korntank mit 14.500 Liter Volumen.

Unter Strom

Modell
SLC Tom und Dick

Gattung
Unkrautvernichter

Einsatzbereich
Lösungsansatz für stetig wachsendes Unkrautproblem, umweltfreundliche und automatisierte Vernichtung unerwünschter Pflanzen ohne umstrittene chemische Herbizide.

Technik
Im Tandem autonom agierende Roboter. Tom (klein und orange) identifiziert dank KI und hochauflösender Videotechnik zentimetergenau Unkrautbefall. Daten werden an Dick übertragen, der mit einem 8.000-Volt-Stromschlag (kl. Foto) das Unkraut gezielt abtötet. All das passiert vollautomatisch und gegebenenfalls 24/7.

Schaeffler in der Landtechnik

In der Landtechnik herrscht ein hoher Druck zur Produktivitätssteigerung. Mit den zuverlässigen Komponenten und Systemlösungen von Schaeffler können Hersteller ihre Gesamtkosten senken. Das Programm an Standardlagern ist entsprechend ausgereift. Sinnvoll ergänzt wird es durch kundenspezifische Lösungen – manchmal unkonventionell, aber verblüffend einfach. Dabei stets im Fokus: gute Abdichtung und Montagefreundlichkeit. Hinter alldem steht ein leistungsfähiges Servicenetz – vom Beratungsingenieur in der Nähe über moderne Berechnungstools bis hin zu Schmierstoff- und Beschichtungs-Know-how.

Mehr zum Thema
auf schaeffler.com

Zentimetergenauer Riese

Modell
Case ICH Quadtrac 620

Gattung
Traktor

Einsatzbereich
Kraftvoller und – trotz einer Länge von 7,6 Metern – dank kleinem Wendekreis handlicher Traktor für schwere Ackerarbeiten; Bodenschonung durch geringfügigen Auflagedruck und niedrigen Schlupf der vier Bandlaufwerke; GPS-gesteuertes Lenksystem entlastet Fahrer.

Technik
12,9-Liter-Sechszylinder-Turbodiesel mit 692 PS; Quadtrac-Bandlaufwerke mit Knicklenkung für kleinen Wendekreis; digitales Betriebsmanagement mit Telemetrie ermöglicht Echtzeitzugriff; Controlled Traffic Farming bestimmt festgelegte, dauerhafte Fahrspuren, eigenes Netzwerk garantiert Jahr für Jahr eine zuverlässige Wiederholbarkeit und eine Spur-zu-Spur Genauigkeit von bis zu 2,5 cm.

Good Vibrations

Modell
Sicma F3 140

Gattung
Vibrationsharvester

Einsatzbereich
Zeitaufwendige und arbeitsintensive Ernte von Baumfrüchten wird maschinell übernommen, ohne die Pflanzen zu beschädigen. Die Abernte eines Baums dauert nur noch wenige Minuten, bis zu 99 Prozent der Früchte werden eingeholt und können sofort weiterverarbeitet werden.

Technik
Mittels zweistufigem, per Joystick gesteuertem Greifarm werden Baumstämme zum Vibrieren gebracht, Früchte werden mit einem aufklappbaren, bis zu 400 Kilogramm belastbaren Schirm aufgefangen.

Lange Leitung

Anders als im PKW-Bereich spielt die Elektrifizierung bei Landmaschinen noch eine geringe Rolle. Der Hauptgrund: Der hohe Auslastungsgrad bedingt einen großen Energiespeicherbedarf auf dem Fahrzeug, den aktuelle Batteriesysteme nicht abdecken können. Einen Lösungsansatz präsentiert John Deere mit dem Project GridCon. Hier werden autonom fahrende Traktoren über ein bis zu drei Kilometer langes mitgeführtes Kabel mit Strom versorgt – übrigens eine Idee, die bereits in den 1950er-Jahren in der UdSSR (u.) eingesetzt wurde, aber sich noch nicht durchsetzte.

Kraftprotz

Modell
Krone BiG X 1180

Gattung
Feldhäcksler

Einsatzbereich
Die mit 1.156 PS aktuell stärkste Landmaschine kommt bei der Gras- oder Maisernte zum Einsatz. Mit 400 t/h Frischmassedurchsatz ist der Krone extrem leistungsstark. Er verfügt dank PowerSplit-Funktion über eine je nach Bedarf anpassbare Motorkennlinie, wodurch das 24-Liter-Triebwerk stets im optimalen Drehzahlfenster und somit effizienter läuft.

Technik
Zahlreiche Assistenzsysteme sorgen für optimale Ernte: Lenksystem zur automatischen Spurhaltung, photooptische Zellen erfassen den Reifegrad der Pflanzen und passen automatisch die Häckselänge an, je nach Bestand und aufzunehmender Erntemasse. Vollautomatische Geschwindigkeitsanpassung zur Reduzierung des Dieselverbrauchs und Fahrerentlastung; automatische Online-Kalibrierung der Ertragserfassung ermöglicht erstmals den Verzicht auf eine Fuhrwerkswaage.

Mit Überblick

Modell
DJI P4 Multispectral

Gattung
Überwachungsdrohne

Einsatzbereich
Der Gesundheitszustand der Pflanzen wird aus der Luft detailliert überwacht. Dank Precision Farming können Probleme wie Schädlingsbefall, mangelnde Nährstoffe oder Wassermangel bedarfsgerecht an den betroffenen Stellen behandelt und so Dünger oder Wasser eingespart werden. Drohnen können zudem vor Mäharbeiten Tiere lokalisieren.

Technik
An einem 3-Achsen-Gimbal befestigte RGB-Kamera und fünf Spektralkameras, akkubetrieben mit 27 Minuten Flugzeit, Daten werden in Echtzeit dank Bildübertragungstechnologie bis zu 7 Kilometer weit gesendet, per App steuerbar.

Schwarmintelligenz

Modell
Fendt Xaver

Gattung
Säroboter

Einsatzbereich
Kann 24/7 zum Säen eingesetzt werden. Ein Schwarm von sechs der hüfthohen Roboter schafft 3 Hektar pro Stunde und verbraucht rund 70 Prozent weniger Energie als ein Traktor bei derselben Arbeit – und dies emissionsfrei und ohne Lärm. Übernimmt Arbeit schwerer Großmaschinen, die insbesondere auf weichen oder feuchteren Böden zu Schäden und damit Ertragseinbußen führen würden.

Technik
Nach eingegebenen Parametern automatisch per Cloud gesteuert, Spurführungssystem sorgt zentimetergenau für effizienteste Route, Lithium-Ionen Batterie mit Kapazität von 2,6 kWh, Roboter lädt sich selbstständig auf, Saatguttank mit 20 Liter Volumen reicht für 0,5 ha bei 90.000 Körnern/ha.

Den Sternen so nah

Die fliegende Sternwarte SOFIA ist die wohl effizienteste Art, ins All zu blicken: Sie vereint die Weitsicht von satellitengestützten Teleskopen mit der vergleichsweise leichten Wartung von erdgebundenen Observatorien und ist noch dazu sehr flexibel einsetzbar. Herzstück ist ein Spiegelteleskop mit 2,7 Meter Durchmesser und Schaeffler-Lager.

13,7 km

fliegt SOFIA hoch. Dort, am unteren Rand der Stratosphäre, liegen 99 % des irdischen Dunstes unter ihr, und die Infrarotstrahlen aus dem All können ungehindert zum Teleskop durchdringen.

3–4 Mal

pro Woche hebt SOFIA normalerweise zu Forschungsmissionen ab. Flugdauer: 8–10 Stunden. Heimatbasis ist das NASA Armstrong Flight Research Center, Hangar 703, im kalifornischen Palmdale. Es wurden aber auch schon Missionen von Neuseeland, Französisch-Polynesien und Deutschland aus gestartet.

SOFIA fliegt mit Mach 0,7 (870 km/h)

Elizabeth Ruth ist die einzige Frau im Piloten-Pool von SOFIA. Die NASA-Angestellte fliegt das Jet-Observatorium seit 2016

SOFIAs größte Entdeckungen

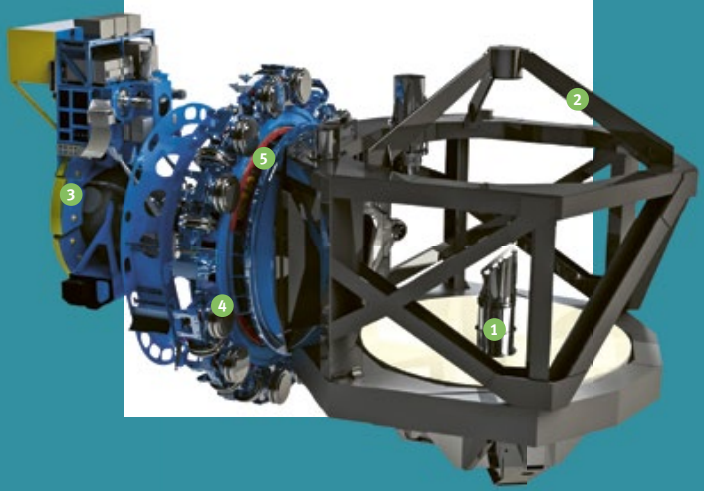
- SOFIA bestätigt 2017 die Existenz eines Sonnensystems, das dem unseren gleicht. Entfernung: 10,5 Lichtjahre.
- 2015 ist SOFIA dank seiner Flexibilität zur Stelle, als der Pluto bei einer seltenen Sternenbedeckung für 90 Sekunden einen rasend schnellen Schatten auf den Pazifik warf, und sammelte neue Erkenntnisse über den Zwergplaneten.
- Mit SOFIA untersuchen Astronomen das Magnetfeld im Zentrum der Milchstraße und beginnen die Unterschiede zwischen aktiven und ruhigen schwarzen Löchern in den Zentren anderer Galaxien zu verstehen.
- Dank SOFIA gelingt 2019 erstmals der Nachweis des Helium-Hydrid-Ions im Weltall. Auf der Existenz dieser Molekül-Art im Weltall basiert unser gesamtes Bild von der Entstehung chemischer Elemente und dem Leben, wie wir es kennen.
- SOFIA entdeckt 2020 in der Mondoberfläche gebundenes Wasser in einem von der Sonne beschienenen und 120 °C heißen Bereich. Die entdeckte Wassermenge entspricht dem Inhalt einer 0,33-Liter-Dose, verteilt auf einem Fußballfeld.

Im ehemaligen unteren Passagierbereich befinden sich die Arbeitsplätze der Astronomen und ein Bereich für Gäste (insgesamt maximal 30 Personen). Im hinteren Bereich zu erkennen: das Schott, das den offenen Teleskopbereich von der Kabine trennt, samt Teleskopaufhängung (blau) und vorgeflanschtem Messgerät

Der Basis-Jumbo von SOFIA ging 1977 als PanAm-Flieger in Dienst. 1997 übernahm die NASA den Jet. Es ist eine von nur 45 jemals gebauten 747SP. Die „Special Performance“-Variante ist mit 56,4 Metern 14,6 Meter kürzer als ein Standard-Jumbo. Vorteil des Schrumpfens: Die Kurzversion kann höher fliegen als alle anderen Großraumjets

SOFIAs Herzstück

Der wichtigste Passagier an Bord ist das 17 Tonnen schwere Teleskop im Heck des Jumbojets. Es ist made in Germany. 1 Ein dreispiegeliges System (Hauptspiegel 2,7 m Durchmesser, 750 kg schwer), das in 2 einem Kohlefaserkäfig montiert ist, fängt Infrarotstrahlung aus dem All ein und lenkt sie zum 3 angeflanschten Messinstrument. Je nach Forschungszweck kann zwischen sechs verschiedenen Instrumenten gewechselt werden. Ein Druckschott trennt das der Atmosphäre ausgesetzte Spiegelelement von der Kabine ab. 4 Ein Ring mit 24 pneumatischen Feder-Dämpfer-Elementen entkoppelt die Aufhängung des Teleskops von den Schwingungen des Flugzeug. Das eigentliche Lager ist 5 ein hydrostatisches sphärisches Gleitlager von Schaeffler (1,2 m Durchmesser, 600 kg schwer). Es entkoppelt ebenfalls und sorgt gleichzeitig für Beweglichkeit. Außerdem helfen zwölf Motorsegmente dabei, das Teleskop so auszurichten und nachzuführen, dass äußere Störkräfte ausgeglichen werden. Das ganze Zusammenspiel funktioniert so gut, dass ein am Teleskop montierter Laserpointer aus zwölf Kilometer Höhe zielsicher eine Münze treffen könnte.



rd. 1,5 Mrd. €

soll das Stratosphären-Observatorium für Infrarot-Astronomie, so der vollständige Name von SOFIA, bislang schon gekostet haben.

Future Life

Nachhaltiger, schneller, bequemer – so gestaltet der technologische Fortschritt unseren Alltag und hilft, die Herausforderungen großer Zukunftsthemen wie Urbanisierung und demografischer Wandel zu meistern.

Die Fahrrad-Hauptstädte der Welt

Anteil der Wege, die in Metropolen ganz oder teilweise mit dem Fahrrad zurückgelegt werden.

Quelle: Deloitte City Mobility Index 2019

I want to ride my bicycle

Ein Klassiker wird zur Speerspitze des urbanen Mobilitätswandels: das Fahrrad. Die Unternehmensberatung Deloitte geht davon aus, dass sich die **Zahl der regelmäßigen Radler weltweit von 2019 bis 2022 verdoppeln** wird. Auch die Zahl der Berufspendler, die täglich in die Pedale treten, soll sich verdoppeln, global gesehen von ein auf zwei Prozent. Hört sich wenig an, bei hochgerechnet 1,5 Milliarden Pendlern weltweit wäre das aber ein Anstieg von 15 auf 30 Millionen Menschen. Und je mehr Menschen in Ballungsgebiete ziehen (2050 sollen es 68 % aller Erdenbürger sein), desto mehr potenzielle Nutzer hat das Fahrrad. Einen besonderen Anschub hat der Mobilitätsklassiker durch die Elektrifizierung des Antriebs bekommen: Schon heute sollen über 200 Millionen E-Bikes im Einsatz sein, Tendenz stark steigend. Dank Unterstützung des E-Motors braucht kein Pendler Angst zu haben, sein Business-Outfit durchzuschwitzen, und mit einem Durchschnittstempo von 22 km/h ist der E-Biker nicht nur schneller als konventionelle Pedaleure (15 km/h) sondern auch als fast jedes andere urbane Fortbewegungsmittel. Schaeffler präsentiert nun die nächste Entwicklungsstufe bei E-Bikes: einen kettenlosen „Bike-by-wire“ Antrieb. Ein völlig neues Fahrgefühl ohne mechanische Verbindung zwischen Antriebswelle und Hinterrad.

18 Mio.

Menschen arbeiten weltweit im Energiesektor, 12 Mio. davon im Bereich fossiler Brennstoffe. 2050 sollen es insgesamt 26 Mio. sein, davon aber 84 % im Bereich erneuerbare Energie.

Quelle: European Institute on Economics and Environment

Effiziente Krebsvorsorge

95 Prozent Trefferwahrscheinlichkeit hat die von Forschern der Universität Pennsylvania entwickelte e-Nose beim **Riechen von Tumormarkern** im Blut. „Es ist eine frühe Studie, aber die Ergebnisse sind sehr vielversprechend“, sagt Charlie Johnson, Mitautor der Studie. „Die Daten zeigen, dass wir diese Tumore sowohl im fortgeschrittenen als auch im frühesten Stadium identifizieren können, was sehr interessant ist. Bei entsprechender Entwicklung für den klinischen Bereich könnte dies ein Test sein, der bei einer Standard-Blutabnahme im Rahmen der jährlichen Untersuchung durchgeführt werden kann.“ Dank Nanosensoren ist das **künstliche Riechorgan um ein Vielfaches sensibler als das menschliche.** Speziell ausgebildeten Hunden ist es indes ebenfalls schon gelungen, Krebs zu riechen.

„In einem Jahr wirst du dir wünschen, du hättest heute angefangen“

Karen Lamb,
Kommunikationswissenschaftlerin

Alles unter einem Öko-Dach

Västerås, eine 120.000-Einwohner-Stadt, rund 100 Kilometer westlich von Stockholm, bekommt ein **wegweisendes Mobilitätszentrum.** Busse, Fern- und Nahverkehrszüge, Taxen und Shared-Mobility-Angebote sollen sich hier ab 2025 an einem zentralen Ort effizient vernetzen. Einkaufsmöglichkeiten, Parkanlagen, breite Rad- und Fußwege sorgen für zusätzliche Aufenthaltsqualität. Gleichzeitig hatten die Planer des renommierten Architekturbüros Bjarke Ingels Group (BIG) bei ihren Entwürfen **eine hohe Energieeffizienz im Fokus.** Das markant geschwungene und teilweise begrünte Dach verfügt über Solarzellen, die übers Jahr gerechnet bis zu 70 Prozent des Strombedarfs des Gebäudes decken sollen. Darüber hinaus wird das Mobilitätszentrum über ein Regenwasserauffangsystem verfügen und mit energieeffizienten Fußbodenheizungs- und -kühlungssystemen auf einer angenehmen Temperatur gehalten werden. Oberlichter und die großzügig verglaste Fassade lassen viel Tageslicht ins Innere und senken so den Stromverbrauch.

Abgefahrene 24/7-Helfer

Eine Flotte autonomer Servicefahrzeuge hat sich auf den Weg gemacht, Berufswelt und Alltag zu revolutionieren. Ein großer Schritt zu mehr Effizienz, da die automatischen Assistenten rund um die Uhr im Einsatz sein können. Die Zukunft hat schon heute begonnen. Lesen Sie selbst!

Von Björn Carstens

Beim Stichwort autonomes Fahren kommen Pkw-Hersteller und -Nutzer gleichermaßen ins Fantasieren. Endlich die Zeit im Auto sinnvoll nutzen, mit Arbeiten, Lesen, Internetsurfen oder Schlafen, statt Kilometer für Kilometer auf Asphalt und Vorderleute zu starren. Das Problem: Wir sprechen hier von den Automatisierungsleveln 4 (Auto hat Kontrolle, Fahrer kann sich komplett anderen Aufgaben widmen) oder 5 (kein Lenkrad und keine Pedalerie mehr im Fahrzeug). Aktuell sind wir beim Übergang von Level 2 zu 3: Autos können in gewissen

Situationen (z. B. mit dem Stauassistenten) selbstständig fahren, der Mensch am Steuer muss aber jederzeit eingriffsbereit sein. Technisch ist zwar schon mehr Automatisierung möglich, aber es gilt auch andere Fragen, wie beispielsweise die Haftung bei Unfällen, zu klären. Bis Kollege Computer vollends das Kommando im Auto übernimmt, wird es daher noch etwas dauern. Level 4 vielleicht ab dem Jahr 2025, so schätzen Experten, Level 5 nicht vor 2030. Anderswo wird die Technologie schneller die Masse erreichen können, glaubt zum Beispiel Tobias Wessels: „In Liefertrucks für die letzte

Lastenträger

Dieser Cobot eines französischen Start-ups ist eine **intelligente, maschinelle Tragehilfe** (bis zu 500 kg). Berührt eine Person seinen Touchscreen, folgt der EffiBOT dieser automatisch durch die Fabrik, wie hier im SEAT-Werk im spanischen Martorell. Dank seiner Sensoren, die permanent die Umgebung im 360-Grad-Winkel abscannen, benötigt er dabei keine weitere Unterstützung, selbst wenn andere Personen oder Objekte seinen Weg kreuzen.

„Kehr-o-Bot“

Ein bisschen sieht dieses Gerät eines finnischen Unternehmens aus wie ein überdimensionaler Saugroboter. Ist er ja auch irgendwie. Diese 3,50 Meter lange und 2,30 Meter breite XXL-Version fährt als **elektrische Kehrmaschine** nachts vollautomatisch durch Helsinkis Straßen. Maximal-Speed: 10 km/h. Neben mehreren Kameras, deren Aufnahmen mit KI-Bilderkennungsverfahren ausgewertet werden, kommt auch LIDAR (Light Detection and Ranging) zum Einsatz, um eine exakte Objekterkennung und fehlerfreie Kontaktvermeidung zu erreichen.

U-Robot

Beim Projekt SeaClear, das aktuell im Hamburger Hafen getestet wird, geht es ums **Beseitigen von Makroplastik am Meeresgrund**. Ein „Team“ von unbemannten Unterwasserrobotern, einem Schiff und einer Drohne soll den Müll lokalisieren, als solchen klassifizieren und schließlich mithilfe kombinierter Saug- und Greifvorrichtungen einsammeln. Dieser Prozess soll, einmal angestoßen, vollkommen autonom erfolgen. Genug zu entsorgen gibt es leider. In den Ozeanen befinden sich schätzungsweise 26 bis 66 Millionen Tonnen Müll. Mehr als 80 Prozent davon auf dem Meeresboden.

Tankdrohne

Erstmals hat es die US Navy geschafft, einen Kampfjet in der Luft mit einer **unbemannten Drohne zu betanken**. Nur sechs Meter Schlauch trennten Drohne und Jet. Bei künftigen Missionen soll die MQ-25 Stingray von Boeing bis zu 8.525 Liter Treibstoff transportieren und in der Luft mehrere Jets betanken können. Die Drohne kann allerdings nicht nur zum Betanken genutzt werden, sondern auch für Aufklärungsflüge und Überwachungen.

Meile ergibt die Technologie aktuell mehr Sinn als in Passagierfahrzeugen“, sagt der CCO des US-Start-ups Udelv, das bis 2028 bis zu 35.000 Self-Driving-Lieferwagen auf den Markt bringen will. Warum sieht Wessels das so?

Maschinen lassen sich nicht ablenken

Die Welt ist im Delivery-Modus. Im Corona-Lockdown waren gefühlt mehr Lieferhelden mit ihren Paketautos, Pizza-Flitzern oder Kurierfahrrädern auf den Straßen als Passanten. Noch sind all diese Fahrzeuge bemannt. Doch Personal, wenn man überhaupt noch zuverlässiges findet, kostet viel Geld, braucht Pausen und fällt gelegentlich sogar wegen Urlaub oder Krankheit aus.

Autonome Servicemobile hingegen werden nicht müde oder krank, sie lassen sich nicht ablenken, sie erkennen dank ihrer Vernetzung Gefahrensituationen früher, sie sind einfach sicherer. „Autonome Servicefahrzeuge aller Art sind 24/7 und damit sehr effizient einsetzbar“, betont Klaus Graf, Mitglied der Geschäftsleitung bei der Schaeffler-Tochter Paravan, die mit der Drive-by-Wire-Technologie Space Drive (siehe Seite 93) eine redundante Elektronik-Schnittstelle zur Bedienung von Lenkung, Gas und Bremse liefert, einen wichtigen Basisbaustein zur Realisierung der autonomen Mobilitätswende.

Denn hoch entwickelte Systeme eines Robo-Autos reagieren schneller, als der Mensch es jemals könnte – in 0,1 statt 1,4 Sekunden, haben Berechnungen ergeben. Laut dem Beratungsunternehmen McKinsey gehen etwa 90 Prozent der Verkehrsunfälle auf Fehler des Fahrers zurück – sie könnten durch automatisierte Fahrzeuge reduziert werden.

Abgesperrte Terrains als ideale Übungsfelder

Weiterer Vorteil der autonom rollenden Boten: Im Gegensatz zu menschlichen Mitfahrern haben Pakete keine Bedenken, wenn kein Mensch am Steuer sitzt. Selbstfahrende Lieferwagen sind daher geeignete Probanden, um die Entwicklung im Bereich autonomes Fahren zu beschleunigen und neue Lösungswege gerade im wichtigen Umfeld der urbanen Mobilität zu finden. Als bestes Versuchsfeld gelten seit Jahren Fabriken: abgegrenzte Gebiete mit reduziertem Tempo, immer gleichen Strecken

„In einem vordefinierten Raum werden sich autonome Servicefahrzeuge relativ schnell durchsetzen“

Klaus Graf,
Mitglied der Geschäftsleitung bei Schaeffler Paravan

und so gut wie keinen anderen Verkehrsteilnehmern. Ein ideales Umfeld, um autonomes Fahren zu lernen. So wie es umherstromernde Transport-Karren, Gabelstapler und andere vollautomatisierte Roboter in der industriellen Fertigung schon seit Jahren tun: Führerlos, vollkommen autonom erkennen sie durch eine Sensorik mit 3D-Kameras, Lidar-, Ultraschall- und Lasersensoren sowie Radaraugen Hindernisse und querende Arbeiter. Klaus Graf: „Ich denke, dass auch in anderen vordefinierten Räumen autonome Fahrzeuge relativ schnell fester Bestandteil des Mobilitätsalltags werden können.“ Beispiele wären rollende Kiosk-Roboter etwa auf Campus-Arealen, rollende Apothekerschränke in verkehrsberuhigten Wohngebieten oder autonom agierende Straßenkehrmaschinen, die nachts Stadtquartiere feucht durchwischen. Auch abseits von Straßen zeichnen sich bereits Einsatzgebiete ab: In Form von selbsttauchenden Unterwasser-Reinigungsrobotern in Hafengebieten, Drohnen, die im Notfall Blutkonserven zwischen Krankenhäusern hin- und herfliegen, oder auch Fähren, die Passagiere führerlos von einem Ufer zum anderen shutteln – vieles ist möglich, einiges schon im Testeinsatz (siehe Beispiele in den Randspalten dieser Seiten).

Schlüsseltechnologie Space Drive

„All diese autonomen Fahrzeuge zu Wasser, in der Luft oder auf der Straße werden redundante Brake-by-Wire- und Steer-by-Wire-Systeme wie unser Space Drive benötigen. Deswegen sehen wir darin auch eine Schlüsseltechnologie für die Mobilität der Zukunft“, sagt Klaus Graf.

Paketzustellung ohne Fahrer

Selbstfahr-Technologie im Praxistest. Autobauer Ford und Zustelldienst Hermes erforschen in Großbritannien, wie sich andere Verkehrsteilnehmer gegenüber einem **scheinbar fahrerlosen Transporter** verhalten, der mit allen typischen Sensoren eines vollautonomen Autos ausgestattet ist. Der Gedanke dahinter: Der Fahrer hat in der Praxis viele Aufgaben: Pakete sortieren, verladen, übergeben, und eben nicht nur steuern. In diesem Versuch verhielt sich der „unsichtbare“ Fahrer völlig passiv. Kuriere forderten das Lieferfahrzeug per App an, Sprachhinweise und Monitore leiteten sie zu dem für sie vorgesehenen Paketfach.

Hightech-Lieferservice

Smarte, selbstfahrende Hightech-Roboter, die Supermarkt-Bestellungen oder Fastfood ausliefern – **die automatisierte Zukunft der Door-to-Door-Delivery-Services** wird schon seit Jahren erprobt. So ist Roboter-Hersteller Nuro in den USA mit dem R2 unterwegs. Mit Lidar, Radar und Kameras ausgestattet, navigiert er sich mit bis zu 40 km/h durchs städtische Straßenlabyrinth. Kunden nehmen ihre Ware nach Eingabe eines Codes einfach aus einem Kühlfach.

Kiosk auf Rädern

Ein rollender Automat bis vor die Tür. Netzbetreiber Vodafone und Lebensmittel-Einzelhändler Rewe testen aktuell ein selbstfahrendes Projektfahrzeug, das Snacks und Getränke ausliefert. Das Snack-Mobil rollt in einer Dauerschleife mit 6 km/h über einen Gewerbecampus in Köln. Um das Fahrzeug zum Stoppen zu bringen, reicht es aus, kurz zu winken. Kameras und Sensoren auf dem Dach erkennen die Handzeichen. Ein echter Vorgeschmack auf den vernetzten Straßenverkehr der Zukunft.

Straßenzugelassener Peoplemover

Die Hanseatische Fahrzeugmanufaktur schickt mit dem Busbee einen autonomen Elektrobus auf die Straßen, der aktuell auf einer Teststrecke in der norddeutschen Tiefebene fährt. Allerdings mit Fahrer. **Gesteuert wird der Bus per Joystick** mittels der Drive-by-Wire-Technologie von Schaeffler-Tochter Paravan. Busbee ist der einzige straßenzugelassene Peoplemover, das heißt, er kann bei manuellem Betrieb auch abseits der Teststrecken fahren.

Wie die Entwicklung weiter beschleunigt werden kann, weiß Graf: „Die Fahrzeugsteuerung und das Zusammenspiel der Systeme müssen weitergedacht werden.“ Eine schnelle und sichere Datenkommunikation via 5G-Datennetz spielt dabei eine entscheidende Rolle. Denn ein Drive-by-Wire-System führt letztlich nur Steuerbefehle aus. Und je mehr Daten für die Erstellung solcher Befehle zugrunde gelegt werden können, desto sicherer wird das autonome Fahren.

Die Fahrzeuge müssen kommunizieren lernen und Informationen aufsaugen. Im Dialog mit anderen Fahrzeugen (Car2Car-Kommunikation), mit nicht motorisierten Verkehrsteilnehmern, mit der Verkehrsinfrastruktur oder mit anderen Informationsquellen wie Verkehrsfunk und Wettervorhersagen (Car2x-Kommunikation). Und warum soll eine Schule den nahenden Verkehr nicht warnen, dass gleich Pause ist und ein erhöhtes Risiko besteht, dass möglicherweise Kinder auf die Straße laufen könnten? Das vernetzte Fahrzeug schaut also sprichwörtlich um die Ecke und sogar durch Wände. Es erkennt Gefahrenquellen frühzeitig und wird selbst zum Frühwarnsystem für den nachkommenden Verkehr. Gute Voraussetzungen also, um nicht nur seine Waren in einem Selbstfahrer in sicheren Händen zu wissen, sondern in naher Zukunft auch sich selbst – entspannt zurückgelehnt und die Fahrzeit sinnvoll nutzend.

Gastrohelfer

Peanut, der **Kellner-Roboter,** ist vielleicht nicht die ganz große Hilfe beim Servieren, aber ein deutlicher Fingerzeig, wohin die Reise gehen kann, angesichts eines starken Arbeitskräftebedarfs in der Gastronomie. Der Robo-Ober bringt mithilfe von Lidar-Technik autonom Geschirr von Platz A zu Platz B. Er kann jedoch nicht die Teller selbsttätig auf die Tische stellen, er kann nicht wirklich mit Menschen kollaborieren. Allerdings: Was in der Industrie schon möglich ist, sollte in der Gastronomie doch auch bald funktionieren.

Mit dem serientauglichen Rolling Chassis präsentiert Schaeffler eine modulare Plattform für die Stadt der Zukunft, die universell im Personen- sowie Warentransport einsetzbar ist

Der Weg in eine autonome Mobilität

Schaeffler präsentiert mit Space Drive 3 Add-ON die nächste Generation des Steer-by-Wire-Systems, der mehrfach redundanten Schlüsseltechnologie für autonomes Fahren. Für Schaeffler bedeutet dieser Schritt den Einstieg in die Kleinserienfertigung.

Das auf dem Standard für Steuergerätesoftware im Auto (AUTOSAR) basierte System in Generation 3 erlaubt eine direkte Anbindung an die Fahrzeugelektronik sowie Kommunikations- und Netzwerkarchitekturen, was die Integration in bereits existierende Fahrerassistenzsysteme ermöglicht. „Space Drive 3 ist ein großer Meilenstein für uns“, sagt Viktor Molnar, Leiter des Unternehmensbereichs Fahrwerksysteme bei Schaeffler.

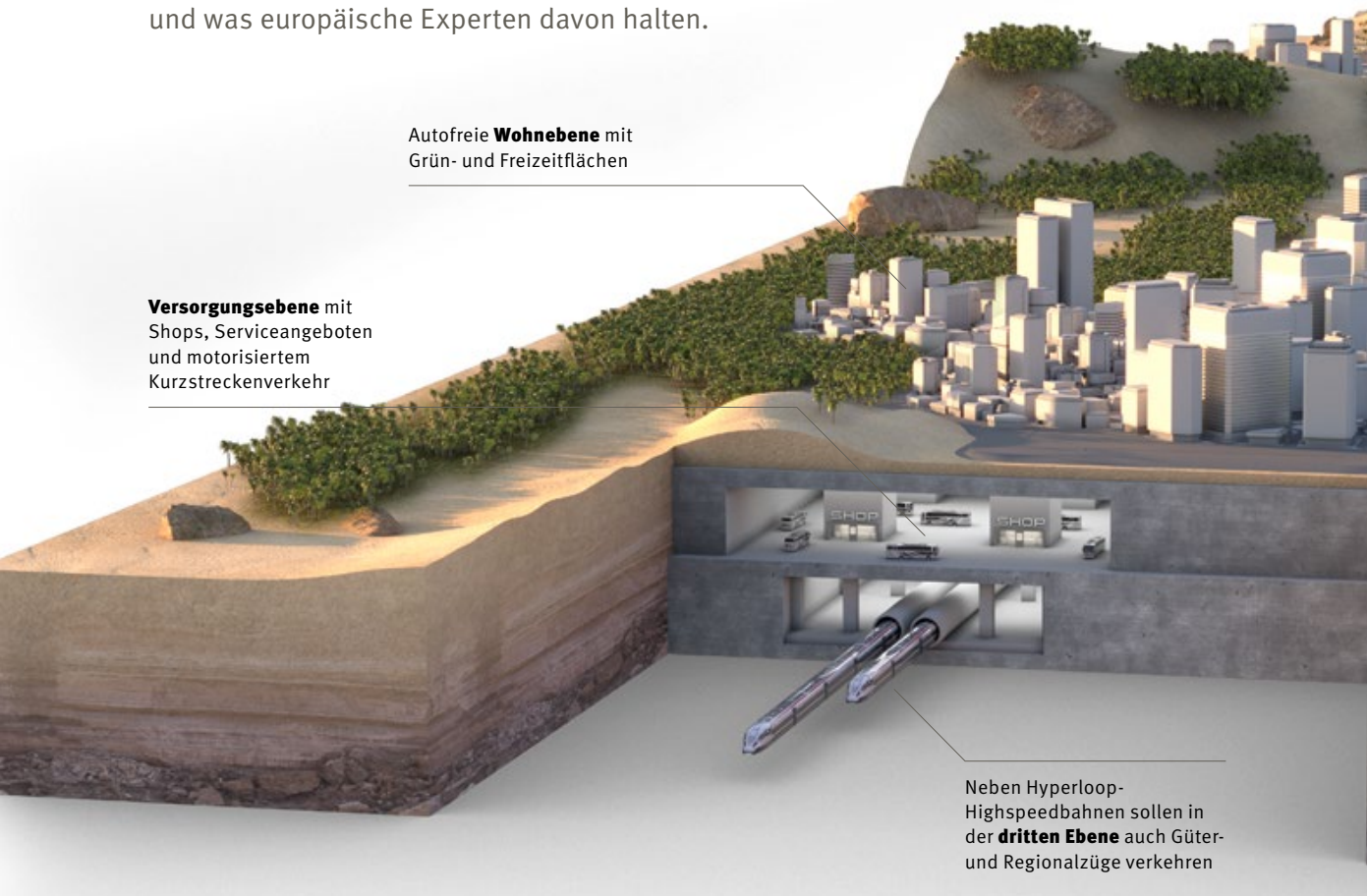
„Wir können unseren Kunden damit ein serientaugliches Steer-by-Wire-System bei maximaler Skalierbarkeit und Flexibilität liefern. Außerdem können jegliche Lenkparameter aufgezeichnet werden. Damit wird in automatisiert fahrenden Fahrzeugen eine Rückkommunikation an das Advanced Driver Assistance System (ADAS) möglich“, so Molnar.

Mit dem **Rolling Chassis** (Bild r.) demonstriert Schaeffler auf der IAA darüber hinaus, wie innovative Antriebs- und Fahrwerkstechniken künftig aussehen können – als flexible, skalierbare Plattformen für neue, fahrerlose Mobilitätslösungen für den Personen- oder Gütertransport oder für Sonderanwendungen wie etwa Reinigungsmaschinen.

Die modulare Plattform zeigt die große Bandbreite an Technologien von Schaeffler und bietet eine flexible Architektur: Bezüglich Lenkung und Antrieb sind je nach Kundenanforderungen verschiedenste Varianten umsetzbar – vom einfachen Antrieb über eine E-Achse und eine zentrale Lenkung bis zum Einsatz von vier **Schaeffler Corner Modules.** Die Corner Modules, die jeweils einen Radeinschlag von bis zu 90 Grad ermöglichen, wurden weiter in Richtung Serienreife und Skalierbarkeit entwickelt. Sie umfassen den Radnabenmotor, die Radaufhängung inklusive Luftfederung, die es ermöglicht, das Fahrzeug für den Einstieg abzusenken, den Aktor für die elektromechanische Lenkung und eine Bremse.

Band im Sand

Wie eine Stadt 170 Kilometer in die Wüste wachsen und die Zukunft Saudi-Arabiens sichern soll – und was europäische Experten davon halten.



Von Rosa Grewe

Bisher sieht man hier jede Menge Steine, Berge und Wasser. Schon bald aber soll auf der saudischen Seite des Roten Meeres eine Stadtlandschaft stehen, auf deren Fläche New York dreiunddreißig Mal Platz hätte. Die arabische Halbinsel ist kein Ort für Zweifler, das beweist der Bauboom an ihrer östlichen Küste, in Abu Dhabi und Dubai. Trotzdem fällt es schwer zu glauben, was der saudische Kronprinz Mohammed bin Salman als die Stadt der Zukunft mitten in der Wüste plant und Neom nennt. Ein Teilprojekt von Neom ist The Line, eine grüne Bandstadt, in der die Vision von Neom seit Februar 2021 konkret in einen Masterplan einging.

„Neom und die Bandstadt The Line sind mehr als nur PR. Sie sind realistisch, weil der Kronprinz den Umbau des Staates vorantreibt," sagt einer, der es wissen muss. Der Münchener Landschafts- und Stadtplaner Prof. Rainer Schmidt lehrte an den Universitäten von Peking und Berkeley, plante und realisierte zahlreiche große Stadt- und Landschaftsprojekte, unter anderem im arabischen Raum. Er kennt die Region, die Projektplanungen, die Entwicklungen und Entscheidungsstrukturen

380.000

zukunftsgerichtete Jobs
sollen durch The Line
entstehen.

1 Mio.

Einwohner sollen sich auf
die aneinandergereihten
Urbanisierungen von
The Line verteilen.

auf der arabischen Halbinsel seit Jahrzehnten. Er weiß: Neom und The Line ist keine größenwahnsinnige Utopie, sondern der Beginn eines notwendigen gesellschaftlichen und ökonomischen Wandels in der Region – für eine Lebensperspektive ohne Öl und mit mehr persönlichen Freiheiten, wie Rainer Schmidt sagt: „Die Menschen dort begehren auf."

Das sieht auch Sebastian Sons. Er ist Saudi-Arabien-Experte bei der Deutschen Gesellschaft für Auswärtige Politik und sagte im Deutschlandfunk: „Saudi-Arabien durchläuft seit Jahren einen grundlegenden gesellschaftlichen Wandel." Auch für ihn sind die saudischen Stadtutopien „ein Zeichen an uns, an den Westen, Saudi-Arabien als etwas darzustellen, als was man es bisher nie wahrgenommen hat, nämlich als ein Land, das in die Moderne strebt."

Utopisch oder umsetzbar?

The Line ist eine 170 Kilometer lange Bandstadt, die die saudische Wüste mit der Meeresstraße von Tiran im nördlichen Teil des roten Meeres verbindet. Die Lage ist strategisch interessant. Gegenüber, auf der anderen Küstenseite, liegt Sharm el Sheikh, einer der wichtigsten und umsatzstärksten Ferienorte des nahen Ostens, nur wenige Flugstunden von Europa entfernt und im politisch verbündeten Ägypten gelegen. Hier möchte sich Saudi-Arabien nicht nur bildlich, sondern auch baulich, mit einem Brückenschlag nach Ägypten, mit dem Westen enger verbinden und weltweit als zukunftsfähig beweisen. Die im Band aufgereihten Satellitenstädte von The Line sollen CO_2-neutral, mit „sauberer" Energie und autark funktionieren. Dafür organisieren sich die wie Perlen an einer Schnur aneinandergereihten Stadtteile auf drei übereinander liegenden Ebenen. So sollen Nutzung und Fläche möglichst effizient miteinander verknüpft sein: eine oberirdische Ebene mit Wohn-, Grün- und Freizeitflächen. Darunter liegen unterirdisch Einkaufspassagen mit Läden für den alltäglichen Bedarf und ein Wegenetz für autonomen Kurzstreckenverkehr. Das Versprechen ist eine maximale Distanz von der Wohnung zur allen täglichen Zielen von maximal fünf Gehminuten. Denn The Line soll auto- und sogar straßenfrei sein, zumindest oberirdisch. In der dritten, untersten Ebene werden in mehreren Röhren autonome Fahrzeuge Menschen und Fracht auf der Mittelstrecke transportieren. Ein Hyperloop überwindet den Planungen nach die gesamte Länge von 170 Kilometer in

Eine unterirdische Hyperloop-Strecke verbindet die einzelnen Stadtteile von The Line. Fahrzeit: 20 Minuten für 170 Kilometer

maximal 20 Minuten, das verlangt eine Geschwindigkeit von mehr als 500 km/h. Als Smart City sollen Daten über sämtliche Abläufe erfasst werden und die Effizienz der Infrastruktur mittels künstlicher Intelligenz erhöhen.

Der spanische Architekt Vicente Guallart, Planer mehrerer verkehrsarmer und „CO_2-absorbierender" Städte, übte in einem Beitrag des TV-Magazins „aspekte" Kritik: „The Line wird niemals gebaut werden, weil es einfach unmöglich ist, eine Stadt mit einer so riesigen unterirdischen Infrastruktur zu bauen." Anders sieht das Rainer Schmidt: „Die Mobilitätsstruktur mit dem Hyperloop zum Beispiel entwickelt sich und ist durchaus möglich."

„Eine Stadt mit einer so riesigen unterirdischen Infrastruktur ist unmöglich zu bauen"

Vicente Guallart,
Spanischer Architekt und Stadtplaner

Wasser- und Bodenmanagement für die Wüste

Ein weiterer Punkt der Kritiker ist die ökologische Dimension: 170 Kilometer grün bepflanzte Fläche mitten in der Wüste, das erscheint angesichts extrem knapper Wasserressourcen verschwenderisch und ineffizient. Rainer Schmidt widerspricht auch hier und berichtet von dem Erfolg eines bewaldeten Parks in Riad, den er plante: „Mit effizienten Bewässerungssystemen, mit einer Wasser- und Erdaufbereitung – da werden zum Beispiel Böden mit Bakterien angereichert – ist eine Begrünung der Wüste nachhaltig möglich." Und er verweist auf das Projekt der Aufforstung der Sahara (siehe auch Seite 40), das nicht nur machbar, sondern aus ökologischen Gründen sogar sinnvoll und nötig ist, um die Wasserspeicherfähigkeit des Bodens zu erhöhen

Kurze Wege auf dem Vormarsch

Beim Wiederaufbau Europas nach dem Zweiten Weltkrieg sahen die Planenden eine große Chance auf Veränderung: Da immer mehr Menschen motorisiert waren, wurden Städte weitläufiger geplant und scheinbar effizient und funktional nach Wohnen, Arbeiten, Einkaufen und Verkehr aufgeteilt. Viele der dabei entstandenen Trabantenstadtteile erwiesen sich aber weder als fußgängerfreundlich noch als lebendig und atmosphärisch. Und weil sie mit ihren Monostrukturen wenig wandlungsfähig waren, waren sie sehr krisenanfällig bei wechselnden sozialen sowie ökonomischen Entwicklungen und wurden zu Brennpunkten. Die erhoffte Effizienz der Funktionsteilung kehrte sich in vielen Bereichen um. Spätestens seit Mitte der 1990er-Jahre ist wieder die durchmischte, verdichtete Stadt das Ideal – auch in Paris. Bürgermeisterin Anne Hidalgo proklamierte die „Stadt der 15 Minuten": Ähnlich wie in The Line sollen auch in Pariser Quartieren am Ende des Jahrzehnts alle Dinge des täglichen Lebens – der Arbeitsplatz inklusive – innerhalb weniger Minuten zu Fuß oder mit dem Fahrrad erreicht werden können. Corona hievte die Idee der autarken Unterzentren auf die Schreibtische vieler Stadtplaner. Die eigene Wohnung wurde zur sicheren Burg, das Leben

und die Ausbreitung der Wüste zu verhindern. Wassermanagement und die Begrünung trockener Regionen könnten langfristig die notwendige Wasserversorgung und eine möglichst ertragreiche lokale Landwirtschaft in wachsenden Stadtregionen in Afrika und im arabischen Raum ermöglichen, so Schmidt. Kritiker befürchten hingegen, dass genau das Gegenteil zutrifft: The Line könnte das wertvolle Grundwasservorkommen anzapfen, dass sich vor rund 25.000 Jahren gebildet hat, als die arabische Halbinsel noch grüne Savanne war, und das zu den größten der Erde zählt. Von dem sich nicht erneuernden Reservoir profitiert die gesamte Region, vor allem Jordanien.

Weltoffen und wegweisend?

Unabhängig von ökologischen Betrachtungen stellt sich die Frage, ob The Line überhaupt genug Menschen und Investoren aus aller Welt anziehen kann. Immerhin unterscheidet sich die saudische Rechtslage und der Freiheitsgrad für Kritik übende, ethnische oder andere Minderheiten sowie Frauen deutlich von den demokratisch regierten Ländern, aus denen viele der Investoren, Gäste und zukünftigen Bewohnenden stammen könnten. Und ohne diese geht es nicht, wie Rainer Schmidt sagt: „Eine Finanzierung des Projektes nur aus Einnahmen des Erdölsektors ist nicht realistisch." Beflügelt das Projekt also den gesellschaftlichen Wandel in Saudi-Arabien hinsichtlich Demokratie und einer pluralistischen und liberalen Gesellschaft? Sebastian Sons relativiert: „Das hat seine Grenzen, und die Grenzen liegen da, wo der konservative Klerus, die Religionsgelehrten massiv berührt werden, denn Saudi-Arabien fußt auf einem sehr konservativen und strikten Islamverständnis, und das kann man nicht so ohne Weiteres aushebeln." Deshalb werde es wohl, laut Rainer Schmidt, auf eine Freihandelszone mit gesonderter Rechtslage für Neom und The Line hinauslaufen müssen. Sollte das Projekt technisch, ökologisch und sozial gelingen, könnte es auch die Entwicklung in anderen Wüstenregionen, vor allen in Afrika, hinsichtlich Wassermanagement, Landwirtschaft und Urbanisierung mit übertragbaren Lösungen vorantreiben. Neben dem Hype steckt also viel Zukunftshoffnung in The Line.

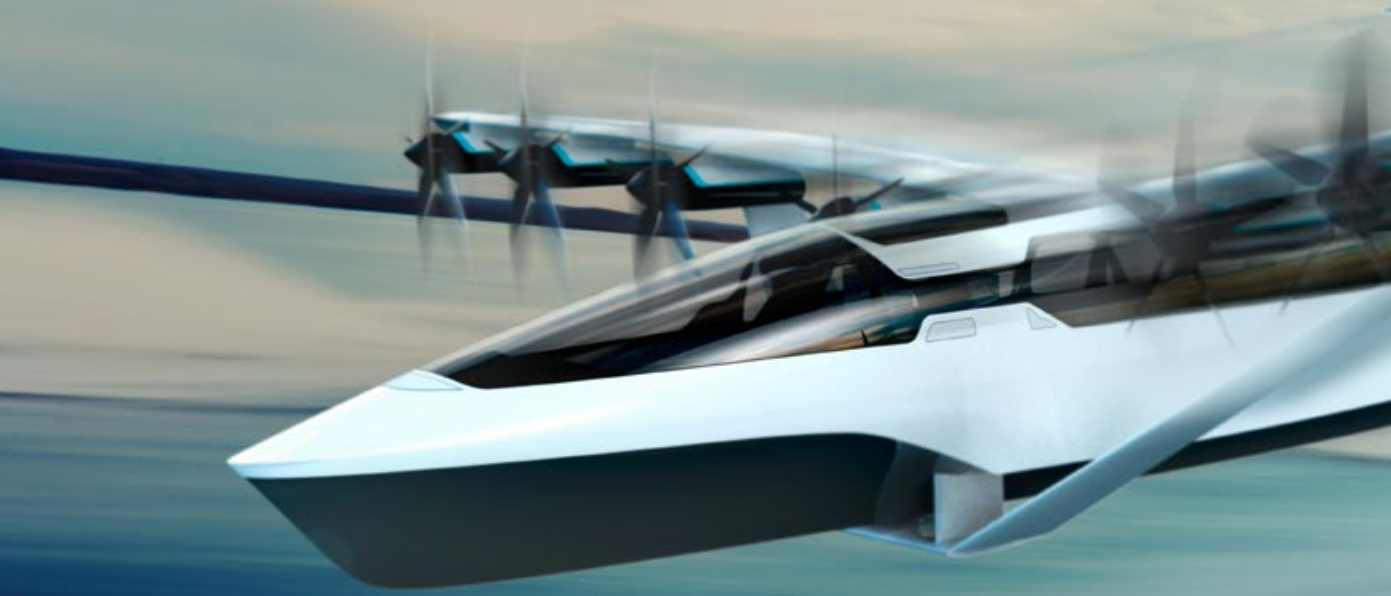
Die Autorin

Rosa Grewe ist Fachjournalistin für Architektur, Bautechnik und Stadtentwicklung. Sie liebt Städte; gerade die unperfekten findet sie genau perfekt. Die, die sich mit ihren Menschen und ihrer Zeit immer wieder verändern. Die in ihren kleinsten freien Räumen mit großem Freiraum überraschen. Eine Wohnung in einer perfekt durchorganisierten Planstadt? Lieber nicht.

soll sich in direkter Reichweite abspielen. Aber auch Kritiker solcher dezentralisierenden Konzepte melden sich zu Wort. „Durch die Schaffung der ‚Stadt der Viertelstunde' baut Paris neue Mauern und versinkt im Egoismus", schrieb beispielsweise die Journalistin Alice Delaleu im Online-Magazin „Chroniques d'architecture" gerade auch im Hinblick auf die Abgrenzung ärmerer Stadtviertel am Rand. Andere befürchten durch die Verbannung des Autos die Benachteiligung weniger mobiler Bevölkerungsschichten wie Senioren oder Menschen mit Behinderungen.

Wellenreiter

Halb Flugzeug, halb Fähre: Wassergleiter surfen effizient auf einem Luftpolster und schicken sich an, eine wichtige Rolle in der interurbanen Mobilität zu spielen. Neu ist das Prinzip allerdings nicht.

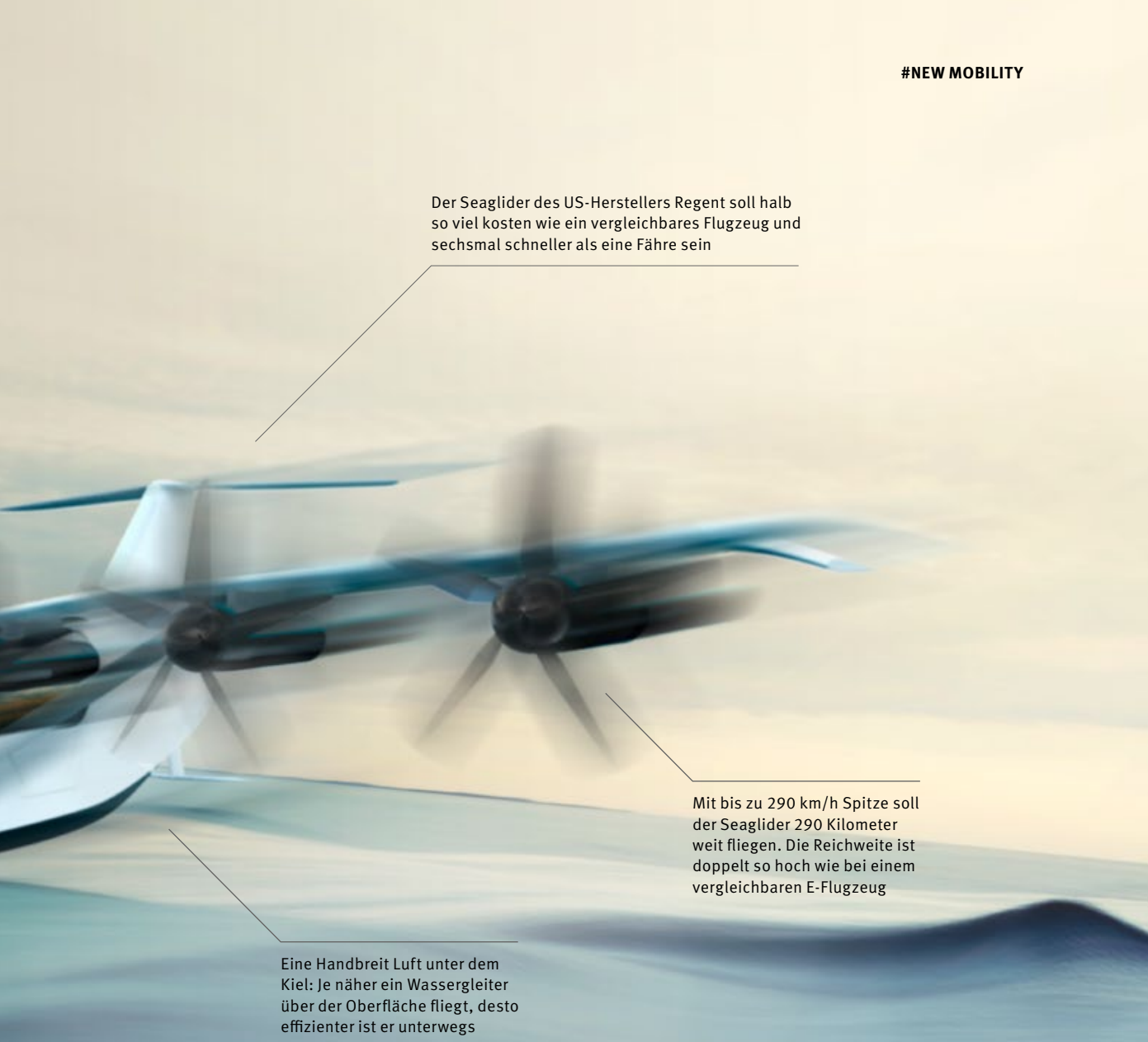


Von Volker Paulun

Der Westen ist geschockt. Mitten im Kalten Krieg, im September 1966, fotografieren US-Satelliten ein, ja, ein was? Liegt da ein Flugzeug im Hafenbecken eines sowjetischen Marinestützpunktes? Oder eine neue Bootsklasse? Es ist ein Hybrid aus beiden, ein Wassergleiter. Und ein solch gigantischer, dass ihn US-Geheimdienstler ehrfurchtsvoll „kaspisches Seemonster“ nennen. 100 Meter ist der Gigant lang, die größte Boeing 747 bringt es auf 78 Meter. Die Startmasse liegt mit 550 Tonnen um 100 Tonnen höher als beim Jumbo. Was westliche Militärs aber besonders beunruhigt: Als Wassergleiter fliegt er in maximal 14 Meter Höhe buchstäblich unter dem Radar. Und das mit bis zu 500 km/h.

Surfen auf der Luftrolle

Heute wissen wir, dass die Angst unbegründet war. Das Seemonster blieb ein Einzelstück und ging schließlich 1980 nach einem Pilotenfehler unter. Seine Handvoll Nachfolger sind heute nur noch



Museumsstücke. Auch in anderen Ländern griffen Ingenieure die Idee auf, ein großer kommerzieller Erfolg stellte sich aber bislang nicht ein. Dabei sind solche Wassergleiter dank des von ihnen genutzten Bodeneffekts („Ground effect“) echte Effizienzkönige. Durch diesen aerodynamischen Effekt bildet sich unter den Tragflächen und dem Rumpf eine Luftrolle oder auch -walze, auf der die Gleiter energiesparend surfen können. Zweiter Effizienzvorteil: Im Gegensatz zum normalen Flugzeug wird ein Wassergleiter nicht durch sogenannte Wirbelschleppen eingebremst. Insgesamt soll das bodennahe Gleiten bis zu 40 Prozent effizienter sein als das in luftigen Höhen.

Da stellt sich unweigerlich die Frage, warum sich das Prinzip bislang nicht durchgesetzt hat? Ein entscheidender Grund: Der Bodeneffekt ist umso größer, je tiefer die Maschine fliegt. Flughöhen deutlich unter einem Meter sind aus Effizienzgesichtspunkten ideal. Solch niedrige Flughöhen schließen den Einsatz über dem mit Hindernissen aller Art gespickten Erdboden fast gänzlich aus. Daher der Name Wassergleiter. Aber auch

„Die Elektrifizierung der Luftfahrt ermöglicht neue sowie wiederbelebte Konzepte wie Wassergleiter. Dabei spielen Leistungsdichte und Zuverlässigkeit der elektrischen Antriebseinheiten eine große Rolle. Durch die über viele Jahre im Automobilbereich aufgebauten Entwicklungskompetenzen und das hohe Industrialisierungs-Know-how bei Schaeffler stehen wir solchen Entwicklungen offen gegenüber. Der Zeitpunkt der Markteinführung hängt aber nicht nur von der Reife der Antriebstechnologie selbst, sondern vielmehr auch von der nötigen Infrastruktur und der gesellschaftlichen Akzeptanz dieser neuen Konzepte ab. Schaeffler wird weiterhin mit großer Sorgfalt diese Technologien und den noch sehr jungen Markt verfolgen und bewerten, um gegebenenfalls mit einem erweiterten Produktportfolio unsere Kunden zu unterstützen“

Dr. Peter Glöckner,
Leiter Forschung & Entwicklung Schaeffler Aerospace

Gewässer sind nicht immer spiegelglatt. Wellen, Bojen, Schiffe, Offshore-Windanlagen oder Brücken – vieles kann sich Wassergleitern in den Weg stellen. Die vor den Gleitern hinwegrollende Walze kann überdies schwere Sturmschäden verursachen. Außerdem hatte das extrem bodennahe Fliegen nicht zu unterschätzende Tücken.

Auftrieb durch neue Rahmenbedingungen und Techniken

Alles in allem viele Nachteile, die den Effizienzvorteil gegenüber Flugzeugen wegschmelzen ließen, zumal Flugbenzin billig zu haben war. Der Klimawandel und damit einhergehende strenger werdende Emissionsvorgaben und steigende Energiekosten scheinen der Idee des Wassergleiters nun wieder Auftrieb zu geben.

Großer Vorteil der Wassergleiter: Dank ihres Effizienzvorteils sind sie deutlich besser für den Umstieg auf batterieelektrische Antriebe geeignet als Flugzeuge. Außerdem sind die wichtigen selbstregulierenden Stabilisierungsprogramme durch den technischen Fortschritt immer besser und kostengünstiger geworden.

Projekte rund um die Welt

Die französische Fährreederei Brittany Ferries hat jüngst eine Absichtserklärung unterschrieben, 2028 mit Wassergleitern über den Ärmelkanal zu zischen. Topspeed: 290 km/h. An Bord sollen bis zu 150 Passagiere Platz haben. Regent, der in Boston beheimatete Hersteller des Flugbootes, will sogar schon 2025 mit einer kleineren Variante in den Regelbetrieb gehen. Die beiden beteiligten

Der Airfish8 des singapurischen Herstellers Wigetworks flog bereits 2017 probeweise zum malaysischen Urlaubsparadies Langkawi

Unternehmen sagten aber auch: „Das Projekt wirft viele technologische, praktische und rechtliche Fragen auf." Jonathan Ridley, technischer Leiter der renommierten Seefahrerschule Warsash Maritime Academy, erklärte gegenüber der BBC, die Pläne seien trotz aller Hindernisse „wirklich sehr realistisch".

Überzeugt von der Idee ist auch US-Milliardär Mark Cuban, der Eigentümer des Basketballteams Dallas Mavericks, der einer Gruppe von Unternehmen und Investoren angehört, die die jüngste Finanzierungsrunde von Regent angeführt hat. „Die Effizienz des Küstentransports wird mit Regent hundertmal größer sein. Die Vorstellung, zwischen zwei Küstenpunkten hin- und herfahren zu müssen, ist immer mit Stress verbunden. Regent ändert all das und macht es schnell und einfach." Gut möglich, dass Cuban Küstenpunkte wie Los Angeles, San Francisco, New York oder Miami anvisiert.

Ein solcher Küstenpunkt könnte aber auch die estnische Hauptstadt Tallinn sein. Das dort ansässige Unternehmen Sea Wolf Express hatte 2019 angekündigt, eine Highspeed-Verbindung über die Ostsee nach Helsinki einzurichten. Der aus Russland kommende Gleiter soll mit 200 km/h über den finnischen Meerbusen flitzen. Auch hier steckt man noch in der Planungsphase und klopft mit den zuständigen Behörden Regularien ab. Zumindest auf finnischer Seite stehe man den Plänen aufgeschlossen gegenüber, so ein Behördensprecher, aber insbesondere in Sicherheitsfragen, wie beispielsweise das Fliegen über zugefrorenes Wasser, gebe es noch grundlegenden Klärungsbedarf.

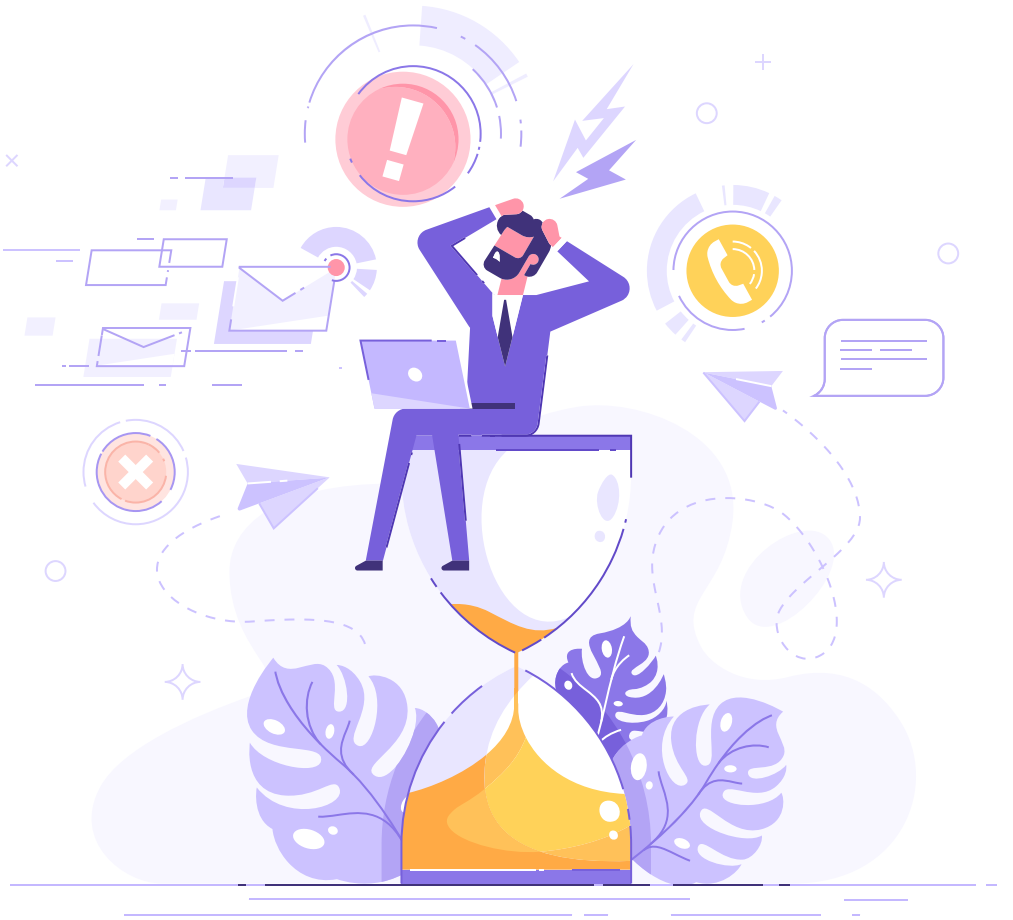
In Singapur steht der Wassergleiter Airfish8 der Firma Wigetworks in den Startlöchern, hat bereits 2017 erste Probeflüge absolviert. Im gleichen Jahr hob auch das chinesische Pendant Xiangzhou 1 für erste Testgleitflüge ab. US-Hersteller Regent ist mit mehreren Transportunternehmen in Verhandlungen. Neben Brittany Ferries sind das ein Anbieter von den Bahamas, ein US-Charterflieger mit Stützpunkten in New York, den Hamptons, Miami und den Virgin Islands sowie das kroatische Fährunternehmen Split Express. Vieles deutet darauf hin, dass sich in naher Zuknft neue Fahrzeuge auf den Seewegen tummeln werden.

Ein Gigant zwischen Wasser und Himmel: Das „kaspische Seemonster" war 22 Meter länger als der größte Jumbo-Jet und konnte mit bis zu 500 km/h übers Wasser gleiten

Smarter leben

Dank Digitalisierung lässt sich vieles mit ein paar Klicks erledigen, was früher Stunden gebraucht hat. Und trotzdem haben wir – zumindest gefühlt – immer weniger Zeit. Mit einfachen Tricks für Arbeit und Freizeit lassen sich aber Freiräume zurückerobern.

Von Andrea Neumeyer



Zeitfresser digital bekämpfen

Digitaliserungsexperte Thorsten Jekel rät in seinem Buch **„Digital Working für Manager“** dazu, sinnvolle technologische Helfer einzusetzen: Smarte Ablagesysteme – am besten in einer Cloud – verhindern Versionskonflikte beim Hin- und Hersenden von Dokumenten an einen größeren Verteiler.

Ein weiterer Schritt ist, Zeitfresser zu eliminieren: Mit Adressmanagement, To-do-Listen und Terminkalender, die auf allen mobilen Geräten synchronisiert werden und auf die alle Teammitglieder Zugriff haben, lassen sich unnötige Mails und Nachfragen vermeiden und Meetings besser planen.

Die Aufschieberitis austricksen

Es gibt einen Fachbegriff für chronische Aufschieberitis: Prokrastination. Der Name dieser pathologischen Störung leitet sich vom lateinischen Wort crastinum ab, das auf Deutsch morgiger Tag bedeutet. Also besser gleich auf das hören, was schon Oma gepredigt hat: Was du heute kannst besorgen, das verschiebe nicht auf morgen. Dabei helfen diese beiden Minuten-Regeln.

Die Zwei-Minuten-Regel rät, eine einfache Aufgabe, die in zwei Minuten erledigt werden kann, sofort und selbst in Angriff zu nehmen – beispielsweise eine Adresse in die Datenbank einzupflegen. Diese Aufgabe zu delegieren würde mehr Zeit benötigen als die sofortige Erledigung.

Die Zehn-Minuten-Regel richtet sich wiederum an alle, die gern unangenehme Arbeiten vor sich herschieben: Eine Aufgabe zu beginnen und sie zeitlich zu begrenzen und dann neu zu bewerten hilft gegen das dauernde Vertagen. Der Vorteil: Nach zehn Minuten hat man diese Aufgabe vielleicht schon erledigt oder zumindest einen Anfang gefunden, mit dem man motivierter weiterarbeiten kann.

Aufgaben priorisieren

Der ehemalige Weltkriegsgeneral und US-Präsident Dwight D. Eisenhower sortierte Aufgaben nach den Kriterien „wichtig“ und „dringend“ in vier Gruppen ein. A-Aufgaben (wichtig und dringend) erledigte er sofort. B-Aufgaben (wichtig, aber nicht dringend) terminierte er sich. C-Aufgaben (dringend, aber nicht wichtig) delegierte er. D-Aufgaben (weder wichtig noch dringend) ließ er auch schon mal unter den Tisch fallen. Die **Eisenhower-Matrix** funktioniert auch heute noch. Im Idealfall halbiert die Methode die eigene To-do-Liste im Handumdrehen.

Effektiv muss nicht effizient sein

Effektiv ist man, wenn das erzielte Ergebnis mit dem angestrebten Ergebnis deckungsgleich ist oder ihm zumindest sehr nahe kommt. Ein Beispiel: Will ich von A nach B kommen, ist ein Fußmarsch durchaus effektiv. Je nach Entfernung kann der zeitliche Aufwand dafür aber sehr groß sein. Effizienter ginge es mit einem Fahrzeug. Spielt nur der zeitliche Aufwand eine Rolle, wäre das schnellste Fahrzeug das effizienteste. Ist der finanzielle oder der energetische Aufwand entscheidender als der zeitliche, kann das Fahrrad die bessere Wahl sein. Effektiv wären hingegen alle Fahrzeuge.

„Smart working heißt nicht noch mehr zu arbeiten, sondern die richtigen Dinge richtig zu tun und neue Technologien so einzusetzen, dass Arbeit wie von selbst läuft“

Thorsten Jekel in seinem Buch „Digital Working für Manager“

Mit Countdown motivieren

Startschwierigkeiten bei To-dos? Die Motivationstrainerin Mel Robbins rät dazu, sich mit einem kleinen Trick selbst zu überlisten. Einfach einen simplen Countdown herunterzählen: **5 … 4 … 3 … 2 … 1 …** Der bei null ausgelöste psychologische Push-Moment kann durch eine physische Handlung wie den Griff zu einem Werkzeug oder das Anziehen der Sportschuhe gestärkt werden. Einfach mal ausprobieren!

Die 80/20-Regel – oder wann ist gut gut genug?

Manchmal lohnt es sich, sich zu fragen, wie viel Arbeit in das Projekt fließen soll, bis man mit dem Ergebnis zufrieden ist. Mit der **Pareto-Methode** (mit 20 Prozent des Aufwands 80 Prozent des Ergebnisses erreichen) kann man auf jeden Fall Zeit sparen. Kleines Beispiel gefällig? Beim Streichen eines Zimmers sind die großflächigen Wände dank breiter Rollen und dicker Pinsel schnell gestrichen. In 30 Minuten sind 80 Prozent der Arbeit erledigt. Fehlt nur noch die saubere Kante und an manchen Stellen muss wegen fehlender Deckkraft nachgebessert werden – dieser Feinschliff dauert noch einmal zwei Stunden. Und dann verschwindet die Hälfte der Wand hinter einem Schrank. Die 80 Prozent Arbeit für die restlichen 20 Prozent hätte man sich sparen können. Natürlich gibt es auch Ausnahmen. Oder wollen Sie mit einer Fluggesellschaft fliegen, die ihre Maschinen nach diesem Prinzip wartet?

33 %

unserer Arbeitszeit – so schätzen Experten – gehen durch schlecht vorbereitete Meetings, Fluten unnützer E-Mails, schlecht organisierte Prozesse und Ablenkungen jeglicher Art verloren.

Das Leben entrümpeln

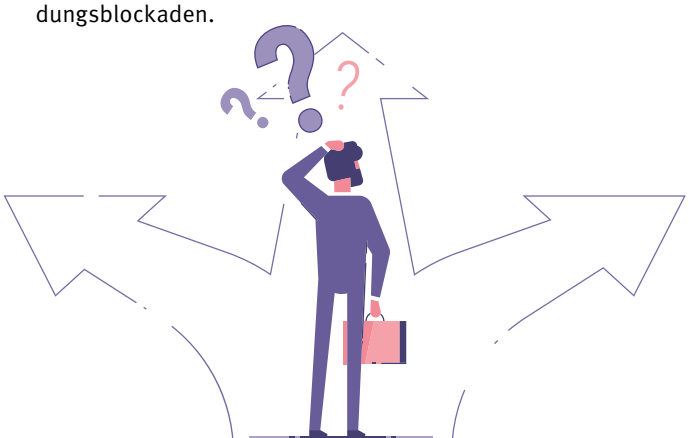
Ein ganz wichtiger Schritt für ein effizientes Leben: es zu entrümpeln. Der englische Begriff hierfür ist zum globalen Trendwort geworden: decluttering. Die Hohepriesterin aller Ausmister: die Japanerin Marie Kondo. Ihr Buch „Magic Cleaning“ hat sich weltweit millionenfach verkauft und ist in 30 Sprachen übersetzt worden. Die wichtigste Regel ihrer **KonMari-Methode:** Macht mich dieses Ding glücklich? Weil es nützlich ist, oder einfach nur, weil ich es schön finde. Wenn ja, darf es bleiben. Wenn nein, fliegt es raus. Könnte man – zumindest im Privaten – auch für Einträge im Terminkalender anwenden. Ersetzt man „glücklich machen“ durch „wichtig für die Arbeit“, kann diese Methode auch für den eigenen Schreibtisch oder das gesamte Büro angewendet werden.

Richtig lernen

Bereits im späten 19. Jahrhundert beschrieb der deutsche Psychologe Hermann Ebbinghaus Zusammenhänge zwischen Lernen und Behalten. Sein wichtigstes Ergebnis für effizientes Lernen: Wir können uns Dinge länger merken, wenn wir während des Lernens Pausen einlegen. Ebbinghausen sprach vom **Spacing-Effekt**. Obwohl man genau das Gegenteil erwartet, greift das Gehirn bei aufeinanderfolgenden Lernphasen immer wieder auf neue Nervenzellen zurück. Vergrößert man hingegen die Abstände zwischen den Lernphasen, werden bereits dafür genutzte Nervenzellen reaktiviert, die sich dadurch immer stärker vernetzen und so leistungsfähiger werden. Viele Neurowissenschaftler haben den Spacing-Effekt bestätigt, rätseln aber bis heute über die genauen Hintergründe, warum langsames Lernen das bessere Lernen ist.

Risiken richtig bewerten

Sie lassen sich oft durch die Angst vor Murphys Gesetz einbremsen („Alles was schiefgehen kann, wird schiefgehen“)? Dann versuchen Sie doch mal die **Premortem-Methode.** Auch Google-Mitarbeiter greifen darauf zurück. Vor neuen Projekten treffen sie sich gern zu einer „Brainstorming Session of Doom“. In lockerer Runde werden dabei mögliche Szenarien aufgezeigt, die einen erfolgreichen Projektabschluss be- oder verhindern können. Im Anschluss werden die Risiken abgeklopft: Welche sind unwahrscheinlich, welche relevanten können wie minimiert werden? Damit sind alle Dämonen benannt und spuken nicht mehr herum. Und selbst wenn Murphys Gesetz eintritt, ist man gewappnet und kann gegensteuern. Sprich: Selbst wenn man sich falsch entscheidet, bleibt ein Korrektiv, um Folgeschäden zu minimieren. Dieses Wissen lockert Entscheidungsblockaden.



Effizienter Arbeiten, mehr Freizeit: Feldversuch in Island

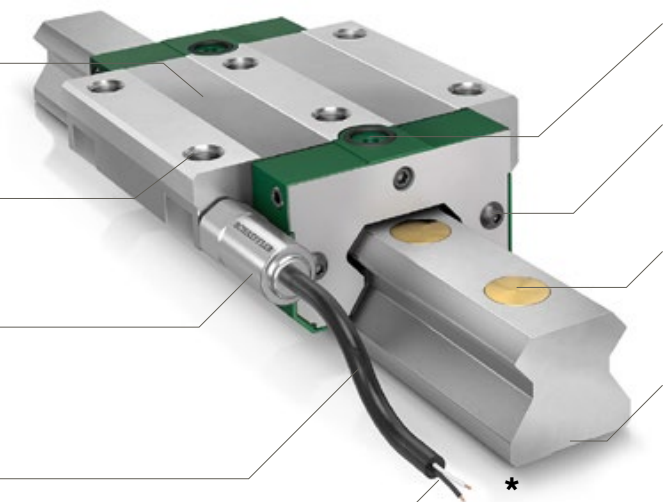
Wie viel Potenzial darin schlummert, im Job keine Zeit und Arbeitskraft zu verschwenden, zeigt ein groß angelegter Versuch in Island: Zwischen 2015 und 2019 wurde bei mehr als 2.900 Angestellten im Öffentlichen Dienst die Arbeitszeit von 40 auf 35 oder 36 Stunden reduziert – bei gleicher Bezahlung. Die Ergebnisse waren durchweg positiv: Die Produktivität blieb gleich hoch oder stieg sogar an. Angestellte und Vorgesetzte berichteten über eine bessere Work-Life-Balance durch mehr Zeit für Familie und Hobbys. Durch zahlreiche Maßnahmen wurde gleichzeitig die kürzere Arbeitszeit kompensiert: Aufgaben wurden besser organisiert oder delegiert, Meetings kürzer und kompakter gestaltet oder gleich durch E-Mails ersetzt.
„Wir sollten diesen Weg fortsetzen, und ich glaube, der nächste Schritt besteht darin, die Arbeitszeit auf 30 Stunden pro Woche zu reduzieren“, sagt die isländische Parlamentsabgeordnete Bjarkey Olsen Gunnarsdóttir mit Blick auf die Zukunft. Wie die isländische Regierung testeten auch verschiedene Firmen neue Arbeitszeitmodelle. Bei Microsoft in Japan beispielsweise stieg die Produktivität um rund 40 Prozent, nachdem der Konzern die Vier-Tage-Woche eingeführt hatte.

Impressum

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

Projektleitung „tomorrow“
Nadja Lemke
(Leiterin Global Branding & Corporate Marketing),
Martin Mai
(Leiter Newsroom, Chefredaktion Schaeffler Gruppe)

Kontakt mit der Redaktion
tomorrow@speedpool.com



Redaktionsleitung
Volker Paulun,
Stefan Pajung (Stv.)

Koordination
Carina Chowanek,
Gina Fernandez

Druckvorstufe
Julien Gradtke,
Anke von Lübken

Druck
Hofmann Druck Nürnberg GmbH & Co. KG

Chefredaktion
Martin Mai (v. i. S. d. P.)

Redaktion und Produktion
Speedpool GmbH

Schlussredaktion
David Feist,
Volker Hummel,
Christoph Kirchner

Grafik
Janina Roll, Julian Schmaljohann,
Thomas Wildelau

Autoren
Björn Carstens, Denis Dilba, Rosa Grewe, Daniel Hautmann, Jan Horst, Oliver Jesgulke, Lars Krone, Andreas Kühl, Andrea Neumeyer, Andreas Spaeth, Christel Trimborn, Alexander von Wegner

* Mit DuraSense hat Schaeffler die weltweit erste Überwachungslösung für Profilschienenführungen entwickelt. Die Auswerteelektronik ermittelt und überwacht die Schmierkennwerte der angeschlossenen Linearführungen.

Fotos/Illustrationen
Titel: iStock; S. 3: Schaeffler; S. 4/5: Overture, iStock, Getty, Trombia; S. 6: Manyone; S. 7: DMSB, Audi Sport ABT Schaeffler; S. 8/9: iStock; S. 10: Schaeffler; S. 12/13: TU Delft, CFM; S. 14: Schaeffler; S. 15: Tecnam, United Airlines; S. 16/17: Overture, Universal Hydrogen, privat; S. 18: Schaeffler/Getty; S. 19–23: Schaeffler; S. 24/25: Schaeffler; S. 26: Getty; S. 27: Dominic Hohlbaum/Triebfeder; 28/29: iStock; 31: IBM, privat; S. 32: Westend61/Getty; S. 33: Schaeffler; S. 34/35: iStock; S. 37: privat, Schaeffler; S. 38: SP80; S. 39: Energy Dome, iStock; S. 40–42: Great Green Wall, privat; S. 43: Getty; S. 44: One Earth – One Ocean; S. 45: Getty; S. 46: Designed by Freepik; S. 47: Svevind; S. 49–51: Getty, privat; S. 52–57: Ivo Christov/Speedpool; S. 58/59: Mjøstårnet, Thomas Lerch/Cetus.at; S. 60: TU Wien; S. 61: Audi, Made of Air; S. 63: Chinook ETS; S. 64/65: InVentus, privat; S. 66: Hulton Archive/Getty; S. 67: Jan de Groen, ABB, Schaeffler; S. 68: Gualtiero Boffi/Getty; S. 69: Getty; S. 70/71: Yanshan University, Schaeffler; S. 72/73: Getty, NASA; S. 74/75: Getty; S. 76: Schaeffler; S. 77: Schaeffler/Getty, privat; S. 78–83: Hersteller; S. 84/85: NASA/DLR; S. 86: Getty; S. 87: Science in HD/unsplash, Bjarke Ingels Group; S. 88: iStock; S. 89: Hersteller; S. 90: SeaClear, US Navy; S. 91: Ford, Nuro; S. 92: Vodafone, Schaeffler Paravan, Richtech Robotics; S. 93: Schaeffler; S. 94–96: Ivo Christov/Speedpool; S. 97: privat, Digital Vision/Getty; S. 98/99: Regent; S. 100: Schaeffler; S. 101: Wigetworks, gemeinfrei; S. 102–105: iStock; S. 106: Schaeffler

© 2021 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

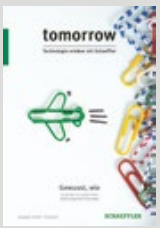
03/2018
Beschleunigung

01/2019
Herausforderungen

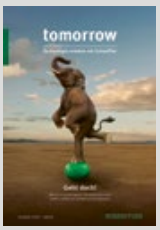
02/2019
Holismus

03/2019
Arbeit

01/2020
Chancen



02/2020
Innovation



01/2021
Agilität

02/2021
Effizienz

tomorrow
im Internet

Als digitales Magazin
mit zusätzlichen Features
www.schaeffler-tomorrow.de

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@speedpool.com

Web-Welten

Mehr zu den Megatrends, die die Welt verändern, finden Sie auf **schaeffler.com**

FSC
www.fsc.org
MIX
Papier aus verantwortungsvollen Quellen
FSC® C022647