

tomorrow

TECHNOLOGIE ERLEBEN MIT SCHAEFFLER



Bewegung²

Elektrischer, digitaler, schneller – der technologische Wandel im Highspeed-Tempo

Be/schleu/nig/ung, die; - [bə'ʃlɪnɪ,ɡʊŋ]

Die Beschleunigung ***a*** eines sich geradlinig bewegendes Objekts ist gleich dem Verhältnis aus der Geschwindigkeitsänderung Δv und der dazu benötigten Zeit Δt :

Die Beschleunigung wird in Meter je Quadratsekunde (m/s^2) angegeben.

Ein Fahrzeug, das in einer Zeit von $t = 10\text{ s}$ von 0 km/h auf $100\text{ km/h} = 27,8\text{ m/s}$ angetrieben wird, weist eine Beschleunigung von $2,78\text{ m/s}^2$ auf.

Quelle: www.grund-wissen.de



LIEBE LESERIN, LIEBER LESER,

die Zeit rennt – ein gerade zum Jahreswechsel häufig festgestelltes Phänomen. Die vergangenen 365 Tage? Vorbeigerast wie ein Schnellzug. Unaufhaltsam. Und der technologische Fortschritt – allen voran die Digitalisierung – scheint das Ticken der Uhr weiter zu beschleunigen. Ob Datentransfer oder Schienenverkehr – alles, was langsamer als Highspeed ist, gilt als lahme Ente. Selbst bei der Partner- oder Mitarbeitersuche gelten „Speed-Datings“ als en vogue. Noch, muss man hinzufügen. Denn mit Algorithmen gefütterte künstliche Intelligenzen können hier noch schneller und treffsicherer zu Punktlandungen führen.

Wenn neue Technologien alles beschleunigen, dann müssten wir doch eigentlich viel mehr Zeit haben – gefühlt ist aber genau das Gegenteil der Fall. Warum das so ist, dem ist die Redaktion unseres Technologiema-gazins „tomorrow“ nachgegangen. Ich heiße Sie herzlich willkommen in der neuen Ausgabe mit dem Schwerpunktthema „Beschleunigung“.

Beschleunigung bedeutet einen Wandel der Geschwindigkeit. Aber auch der Wandel selbst kann seine Geschwindigkeit ändern. Aktueller Modus: Vollgas. Und das nicht nur punktuell, sondern in großer Breite und tief greifend. Dabei entsteht eine Dynamik, die mitreißend sein kann – oder auch disruptiv. Wir bei Schaeffler können uns dieser Herausforderung als global tätiger Technologiezulieferer nicht entziehen. Mehr noch: Wir wollen den Wandel mit unseren Ideen und Produkten aktiv beschleunigen. Dafür haben wir viel Arbeit und Herzblut in unser Zukunftsprogramm „Agenda 4 plus One“ investiert. Um die darin festgelegten Ziele zu erreichen, müssen wir nicht nur schneller, sondern auch agiler werden. In unseren Prozessen (mehr dazu ab Seite 74). Aber auch in unserem Denken. Warum dafür nicht bei einem Großmeister der Innovation kopieren: Leonardo da Vinci. Seine unzähligen Geistesblitze waren kein Geschenk des Himmels, sondern das Ergebnis bestimmter Erfolgsprinzipien, die noch heute Denkprozesse beschleunigen können (ab Seite 54).

Um Denkprozesse geht es auch bei der Frage, wann und in welchen Bereichen künstliche die menschliche Intelligenz überholen kann. Prognosen sagen, dass noch in diesem Jahrhundert KI in fast jeder einzelnen Tätigkeit besser sein kann als der Mensch, aber selbst dann keine Maschine so viele Fähigkeiten in sich vereinen kann wie wir. Schaeffler greift schon heute auf KI-Anwendungen zurück und stetig werden es mehr. Ob



Industrie 4.0 oder Mobilität für morgen, ob Entwicklung, Fertigung oder Distribution – wir sind uns sicher, dass KI und Algorithmen eher früher als später im Hintergrund von allen Prozessen laufen werden (ab Seite 102).

Den Wandel mitzugehen und zu beschleunigen heißt aber nicht automatisch, dass wir unser über Jahrzehnte aufgebautes Kerngeschäft komplett infrage stellen. Dazu gehören auch unsere Lager, die überall auf der Welt im Einsatz sind. Aber egal ob winzig klein oder tonnenschwer – meist arbeiten sie im Verborgenen. Der Artikel ab Seite 38 holt sie ins Rampenlicht.

Ich bin mir sicher, dass Lager von Schaeffler auch in Fahrzeugen der nächsten und übernächsten Generation zum Einsatz kommen. In Hyperschallfliegern zum Beispiel oder in U-Booten und Zügen, die mit mehr als 1.000 km/h von A nach B reisen (ab Seite 106). Oder in autonom fahrenden Autos. Die sind zwar nicht unbedingt schneller als heutige Pkw, haben aber den Vorteil, dass man sich – von der Lenkarbeit entbunden – anderen Dingen zuwenden kann. Wie dem Müßiggang, der, das wusste schon Goethe, die Zeit ausdehnt (ab Seite 96).

In diesem Sinne freue ich mich, dass Sie in unseren beschleunigten Zeiten Muße gefunden haben, in die neue Ausgabe von „tomorrow“ zu schauen.

Klaus Rosenfeld
Vorsitzender des Vorstandes

global

Blick in die Welt

8

GUT ZU WISSEN

Daten, Fakten, Kurioses – ein **360-Grad-Rundumblick** über das weite Feld der „Beschleunigung“

14

SCHNELLER SCHIPPERN

Seit über 2.000 Jahren graben sich Menschen **künstliche Wasserwege**, um zügiger voranzukommen

20

EIN LAND GIBT VOLLGAS

So beschleunigte sich **Südkorea** in zwei Generationen vom Entwicklungs- zum Highspeedland

24

HOCHGEFÜHLE

Wissenschaftlich bewiesen: So versetzt uns das Gehirn in einen **Rausch der Geschwindigkeit**

30

ÜBERMENSCHLICH

Die Fantasie ist grenzenlos: **Superhelden** sind wahre Könige der Beschleunigung



in bewegung

Innovationen im Laufe der Zeit

38

RUNDER GEHT'S NICHT

So entstehen die **Präzisionskugeln**, die in Schaeffler-Lagern die Welt in Bewegung halten

44

TICKTACK, TICKTACK

Die Technik macht alles schneller – aber warum haben wir gefühlt immer **weniger Zeit?**

48

SCHLAUER BREMSEN

Die lange Geschichte vom Anhalten: vom ersten Selbstfahrer bis zur **Rekuperation**

54

VOM BESTEN LERNEN

Fünf Erfolgsprinzipien von **Leonardo da Vinci**, die eigene Denkprozesse beschleunigen können



jetzt-zeit

Leben mit dem Fortschritt

60 FEINSCHLIFF FÜR GOLD

Hightech von Schaeffler hilft **Wintersportlern**, schneller ans Ziel zu kommen

64 ZEITRAFFER

Morgens Arktis, mittags Tropen: **Klima-Wind-Kanäle** beschleunigen die Entwicklungsarbeit

74 HOCHGESCHALTET

So beschleunigt Schaeffler seine **Prozesse** entlang der gesamten Liefer- und Produktionskette

80 E-MOBIL, E-MOTIONAL

Dank Torque Vectoring bringt der **Schaeffler 4ePerformance** 1.200 PS sicher auf den Asphalt

86 TEILCHENBESCHLEUNIGER

An **CERN** und **DESY** tauchen Forscher in den Mikrokosmos der Elementarteilchen ein



ausblick

Technik für morgen

92 SPEED-SPEICHER

Neue **Batterie- und Ladetechnologien** sollen helfen, die E-Mobilität zu beschleunigen

96 LOSLASSEN

Autonomes Fahren macht's möglich: Wer nicht selbst am Lenkrad sitzt, kann seine Zeit besser nutzen

102 VORWÄRTS GEDACHT

Wann wird die menschliche von der **künstlichen Intelligenz** überholt? Und was passiert dann?

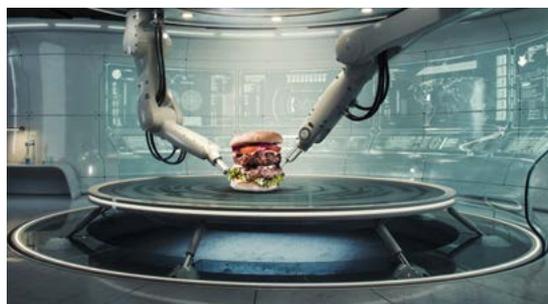
106 SAUS UND BRAUS

In der Luft, unter Wasser, auf der Schiene: Die **interurbane Mobilität** drückt aufs Gaspedal

110 3D-VOLUZZER

Fräsen war gestern, heute werden immer mehr **Produkte gedruckt** – auch bei Schaeffler

114 IMPRESSUM



VOM WIND BEFLÜGELT

— Mitte des 17. Jahrhunderts verfügte die Republik der Vereinigten Niederlande über die größte Handels- und die stärkste Kriegsflotte der Welt. Beschleunigt wurde der Aufstieg der kleinen Nation zur Weltmacht durch Erfindergeist, innovative Technik und den effizienten Einsatz der regenerativen Energiequelle Wind. Berechnungen an Windmühlen-Getrieben von Simon Stevin (1548–1620) – der wegen seiner vielseitigen Talente auch gern als Hollands Leonardo da Vinci geadelt wird – steigerten den Wirkungsgrad der Flügelmaschinen um enorme 30 Prozent. Cornelis Corneliszoon (1550–1600) verpasste den von Stevin getunten Windmühlen die von ihm 1597 patentierte Kurbelwelle, die die Drehbewegung der Windmühlenwelle in eine oszillierende Bewegung von Sägeblättern umformte. Diese Technologie schnitt Bretter dreißigmal schneller und auch präziser als die menschliche Hand. Nordwestlich von Amsterdam entstand in jenen Jahren in Zaandam das erste Industriegebiet Europas mit Dutzenden Werften und Hunderten windgetriebener Sägemühlen. Zeitgenössischen Quellen zufolge zählte die niederländische Flotte 16.000 Schiffe, das waren 4/5 des gesamten europäischen Bestandes. Dort, wo einst das erste Industriegebiet war, liegt heute das hier gezeigte Museumsareal Zaanse Schans mit der rekonstruierten Sägemühle Het Jonge Schaaap. —

DIE GRÖSSTEN IHRER ART

NACH FLÜGELDURCHMESSER



WINDMÜHLE MURPHY

SAN FRANCISCO (USA)

Art Wasserpumpenmühle

Fertigstellung 1908

Flügeldurchmesser 35 Meter

Leistung 151.000 Liter/h



WINDRAD ADWEN AD 8-180

BREMERHAVEN (D)

Art Prototyp einer Offshore-Windturbine

Fertigstellung 2017

Flügeldurchmesser 180 Meter

Leistung 8 MW Strom

global

Blick in die Welt



» *The answer, my friend,
is blowin' in the wind* Bob Dylan

360° BESCHLEUNIGUNG

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

— von Björn Carstens, Volker Paulun, Alexander von Wegner

RASANTER AUFSTIEG

Die Kletterdauer für die Besteigung der berühmten und 1.800 Meter hohen Eiger-Nordwand in den Schweizer Alpen hat sich in den vergangenen 80 Jahren von drei Tagen auf etwas über zwei Stunden beschleunigt. Auch wenn nicht alle Kletterer die gleiche Route genommen haben, ein beeindruckender Vergleich.



2015

Ueli Steck | 2 STUNDEN, 22 MINUTEN



2007

Ueli Steck | 3 STUNDEN, 54 MINUTEN



1983

Thomas Bubendorfer | 4 STUNDEN, 30 MINUTEN



1981

Ueli Bühler | 8 STUNDEN



1974

Reinhold Messner/Peter Habeler | 10 STUNDEN



1950

Leo Forstenlechner/Erich Waschak | 18 STUNDEN

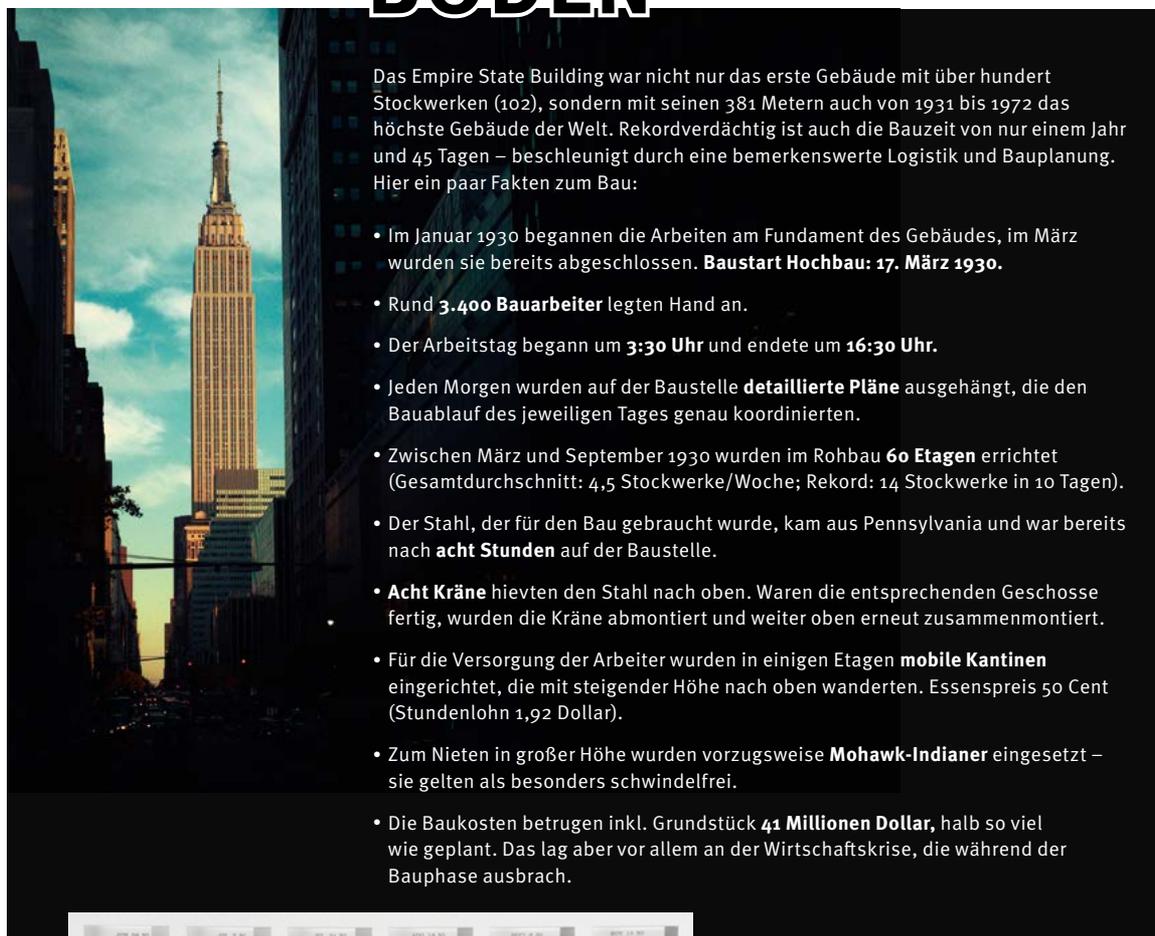


1938

Andreas Heckmair/Ludwig Vörg
Fritz Kasperek/Heinrich Harrer | 3 TAGE



AUS DEM **BODEN** GESCHOSSEN



Das Empire State Building war nicht nur das erste Gebäude mit über hundert Stockwerken (102), sondern mit seinen 381 Metern auch von 1931 bis 1972 das höchste Gebäude der Welt. Rekordverdächtig ist auch die Bauzeit von nur einem Jahr und 45 Tagen – beschleunigt durch eine bemerkenswerte Logistik und Bauplanung. Hier ein paar Fakten zum Bau:

- Im Januar 1930 begannen die Arbeiten am Fundament des Gebäudes, im März wurden sie bereits abgeschlossen. **Baustart Hochbau: 17. März 1930.**
- Rund **3.400 Bauarbeiter** legten Hand an.
- Der Arbeitstag begann um **3:30 Uhr** und endete um **16:30 Uhr.**
- Jeden Morgen wurden auf der Baustelle **detaillierte Pläne** ausgehängt, die den Bauablauf des jeweiligen Tages genau koordinierten.
- Zwischen März und September 1930 wurden im Rohbau **60 Etagen** errichtet (Gesamtdurchschnitt: 4,5 Stockwerke/Woche; Rekord: 14 Stockwerke in 10 Tagen).
- Der Stahl, der für den Bau gebraucht wurde, kam aus Pennsylvania und war bereits nach **acht Stunden** auf der Baustelle.
- **Acht Kräne** hievten den Stahl nach oben. Waren die entsprechenden Geschosse fertig, wurden die Kräne abmontiert und weiter oben erneut zusammenmontiert.
- Für die Versorgung der Arbeiter wurden in einigen Etagen **mobile Kantinen** eingerichtet, die mit steigender Höhe nach oben wanderten. Essenspreis 50 Cent (Stundenlohn 1,92 Dollar).
- Zum Nieten in großer Höhe wurden vorzugsweise **Mohawk-Indianer** eingesetzt – sie gelten als besonders schwindelfrei.
- Die Baukosten betragen inkl. Grundstück **41 Millionen Dollar**, halb so viel wie geplant. Das lag aber vor allem an der Wirtschaftskrise, die während der Bauphase ausbrach.



» **Alles gleicht einer Jagd gen Himmel; die Stahlarbeiter vorneweg, und all die anderen folgen ihnen wie die Verrückten**

Die „New York Times“ über den Bau des Empire State Building

2–3 SCHLÄGE/MIN.

KROKODILE SIND MEISTER DER ENTSCHEUNIGUNG UND KÖNNEN IHRE HERZFREQUENZ SO DRASTISCH REDUZIEREN, DASS SIE BIS ZU EINER STUNDE UNTER WASSER BLEIBEN KÖNNEN, OHNE ZU ATMEN. AUCH IN SACHEN NAHRUNG HAT ES EIN KROKODIL NICHT UNBEDINGT EILIG. 50 VOLLE MAHLZEITEN PRO JAHR SIND VOLLKOMMEN AUSREICHEND, WEIL BEI WECHSELWARMEN TIEREN NUR ZEHN PROZENT DER NAHRUNG IN ENERGIE UMGEWANDELT WIRD (SÄUGETIERE 80%). DER REST WIRD ALS FETT IM KÖRPER EINGELAGERT.



Nur 68 Sekunden

benötigen die 2.000 Roboter und 1.700 Mitarbeiter im Seat-Werk in Martorell (Spanien) für die **Produktion einer Karosserie**. Dabei bewegen sie sich in einer perfekt aufeinander abgestimmten „Industrie-4.0-Choreografie“. Insgesamt dauert die beschleunigte Fertigung eines Kompaktwagens wie des Seat Ibiza in Martorell nur noch 16 Stunden. Vor drei Jahrzehnten waren es noch 60 Stunden, also fast viermal so viel.

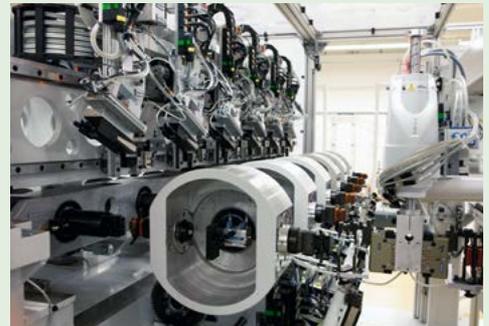


DRUCK HOCH, GARZEIT RUNTER

*Das ist das Prinzip hinter einem Klassiker der Beschleunigung: dem Schnellkochtopf. Bei 180 kPa, also 1,8-fachem Luftdruck, liegt die Siedetemperatur des Wassers bei 117° Celsius. Nach der Reaktionsgeschwindigkeits-Temperatur-Regel – bei Erhöhung um 10° Celsius verdoppelt sich die Reaktionszeit – würde sich die **Garzeit mehr als halbieren**. Aber Achtung: Die Werte sind theoretisch. Die Praxis kann lebensmittelabhängig ganz anders aussehen: Rosenkohl wäre bei dieser Prozedur außen matschig, innen hart.*

E-MOBILITÄT WEITER VORANTREIBEN

Der Ausbau der Aktivitäten im Bereich Elektromobilität ist eine wichtige Säule im Schaeffler Zukunftsprogramm „Agenda 4 plus One“. Mit der Akquisition der Elmotec Statomat GmbH erweitert Schaeffler seine Kompetenzen im Bereich Elektromotorenbau und beschleunigt damit die Umsetzung seiner E-Mobilitätsstrategie konsequent weiter. Elmotec Statomat ist einer der weltweit führenden Hersteller von Fertigungsmaschinen für den Bau von Elektromotoren in Großserien und verfügt über einzigartige Kompetenz im Bereich der Wickeltechnologie. Insbesondere die Technologie der Stabwellenwicklung wird für die Elektromobilität mit Blick auf Leistungsdichte, Wirkungsgrad und effiziente Großserienfertigung als zukünftig führend angesehen. Schaefflers Vorstandsvorsitzender Klaus Rosenfeld sagte: „Die Akquisition versetzt uns in die Lage, zukünftig die gesamte Industrialisierung des Elektromotorenbaus lückenlos im Unternehmen abzubilden und die letzte bestehende Technologielücke bei der Herstellung von Rotoren und Statorn zu schließen.“



Wickelautomat Sechsfachspindel für die Großserienfertigung – bei Stückzahlen von bis zu einer Million

VON NULL AUF 400 KM/H AUF NULL IN NUR 33,29 SEKUNDEN!

DIE SCHWEDISCHE SPORTWAGEN-MANUFAKTUR KOENIGSEGG HAT DIESEN BE- UND ENTSCHLEUNIGUNGSREKORD FÜR SERIENFAHRZEUGE MIT DEM AGERA RS ENDE 2017 INMITTEN EINER WÜSTE IM US-BUNDESSTAAT NEVADA AUFGESTELLT.

1.740,2 m

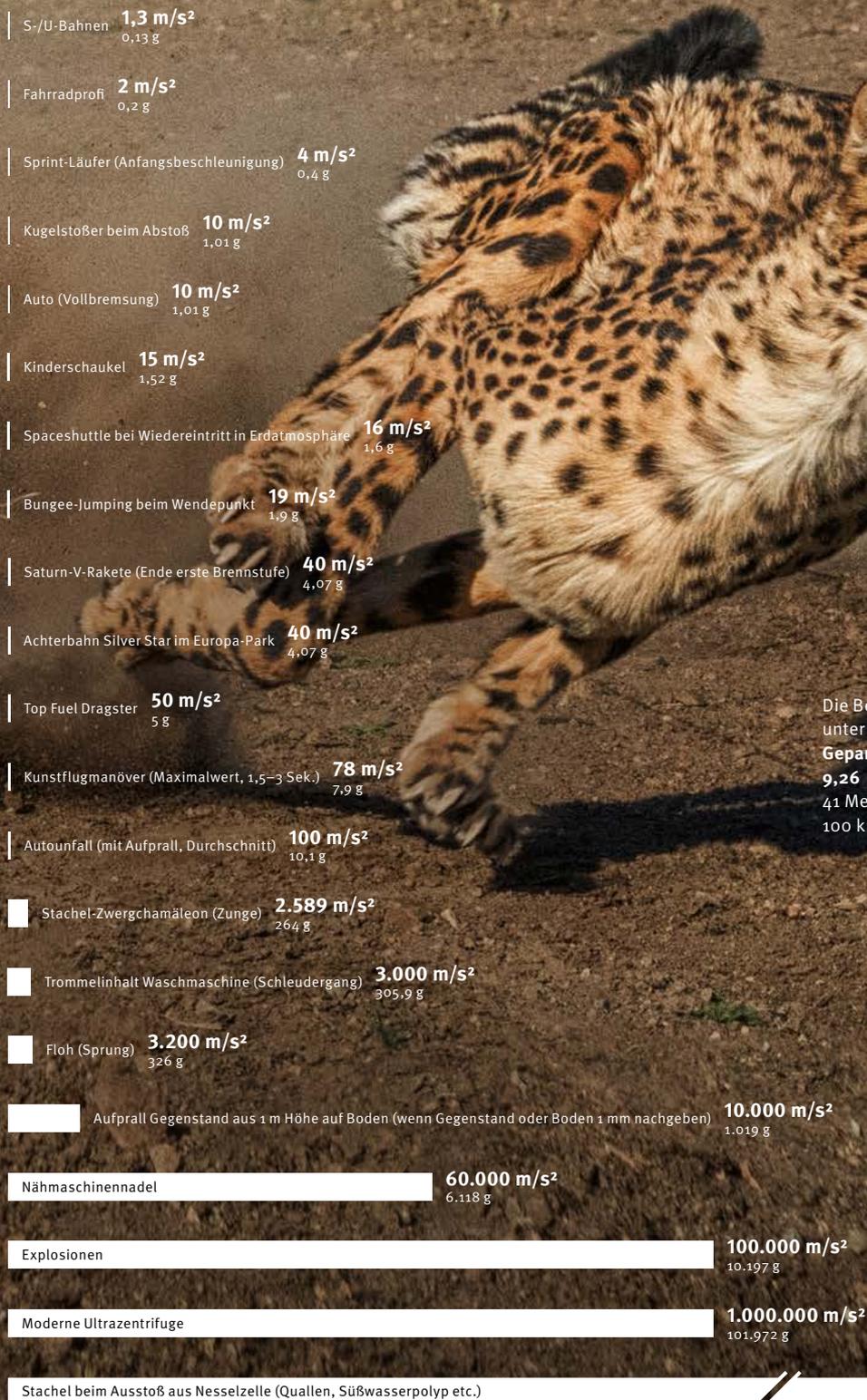
0 km/h

400 km/h

0 km/h



BESCHLEUNIGUNG IM VERGLEICH



Die Beschleunigungskönige unter den Säugetieren: Geparden spurten mit **9,26 m/s²**. Nach nur 41 Metern sind sie 100 km/h schnell

WIE HEISST ES SO SCHÖN: AM ENDE KNALLT DIE PEITSCHHE ...



... ABER WARUM IST DAS SO? BEIM SCHWINGEN DER PEITSCHHE ENTSTEHT AM ANFANG DES SICH VERJÜNGENDEN LEDERRIEMENS EINE WELLE, DIE SICH IN RICHTUNG DES DÜNNEN ENDES BEWEGT. JE NÄHER DIE SCHLAUFE DEM ENDE ENTGEGENKOMMT, UMSO WENIGER MASSE WIRD BEWEGT. DA NUN BEI GLEICHER ENERGIE IMMER WENIGER MASSE BEWEGT WIRD, NIMMT DIE GESCHWINDIGKEIT STETIG ZU – BIS SICH SCHLIESSLICH DIE GESAMTE ENERGIE DES PEITSCHENSCHLAGS IM KLEINEN DÜNNEN ENDE DER PEITSCHHE BÜNDELT. DIE SPITZE DES RIEMENS RAST DABEI MIT ZWEIFACHER SCHALLGESCHWINDIGKEIT DURCH DIE LUFT. BEIM DURCHBRECHEN DER SCHALLMAUER ENTSTEHT DER TYPISCHE KNALL.

DIGITAL BESCHLEUNIGEN

Man muss schon genau hinschauen, um das technische Highlight dieses 800-PS-Rennwagens zu entdecken, und selbst dann bleibt vieles verborgen: Das Fahrzeug hat keine mechanische Lenksäule mehr. Stattdessen haben die Drive-by-wire-Spezialisten von Schaeffler Paravan das „Space Drive“- System integriert. Ein mehrfach ausfallsicheres digitales Fahr- und Lenksystem zur Ansteuerung von Gas, Bremse und Lenkung. Die Lenkbefehle werden über ein von Paravan entwickeltes Force-Feedback-Lenkrad, das fest im Armaturenbrett integriert wurde, an eine Recheneinheit übertragen, welche in Echtzeit die Befehle an Servomotoren am Lenkgetriebe weitergeben. Mehr über „Space Drive“ und autonomes Fahren ab Seite 96.



STARKE WORTE

» In der Physik ist Trägheit gleich Masse mal Beschleunigung, im Leben Masse ohne Beschleunigung

André Brie,
deutscher Politikwissenschaftler

» Ich habe vom Laufen gelernt, dass der Punkt, an dem du Gas geben musst, der ist, wenn alles wie verrückt schmerzt und du eigentlich aufgeben möchtest. Erfolg wartet oft gerade um die nächste Ecke

James Dyson,
Gründer der Dyson Company

» Beim Beschleunigen müssen die Tränen der Ergriffenheit waagrecht zum Ohr hin abfließen

Rennsport-Legende Walter Röhrl

» Ein Jahr Marktvorteil kann 20 Prozent Kostenvorteil mit sich bringen

Karl-Heinz Beckurts (1930–86),
Deutscher Manager

» An nichts gewöhnt man sich so schnell wie an das langsame Arbeiten

Christian Morgenstern (1871–1914),
Deutscher Dichter

SICHER LANDEN IN DER NOT



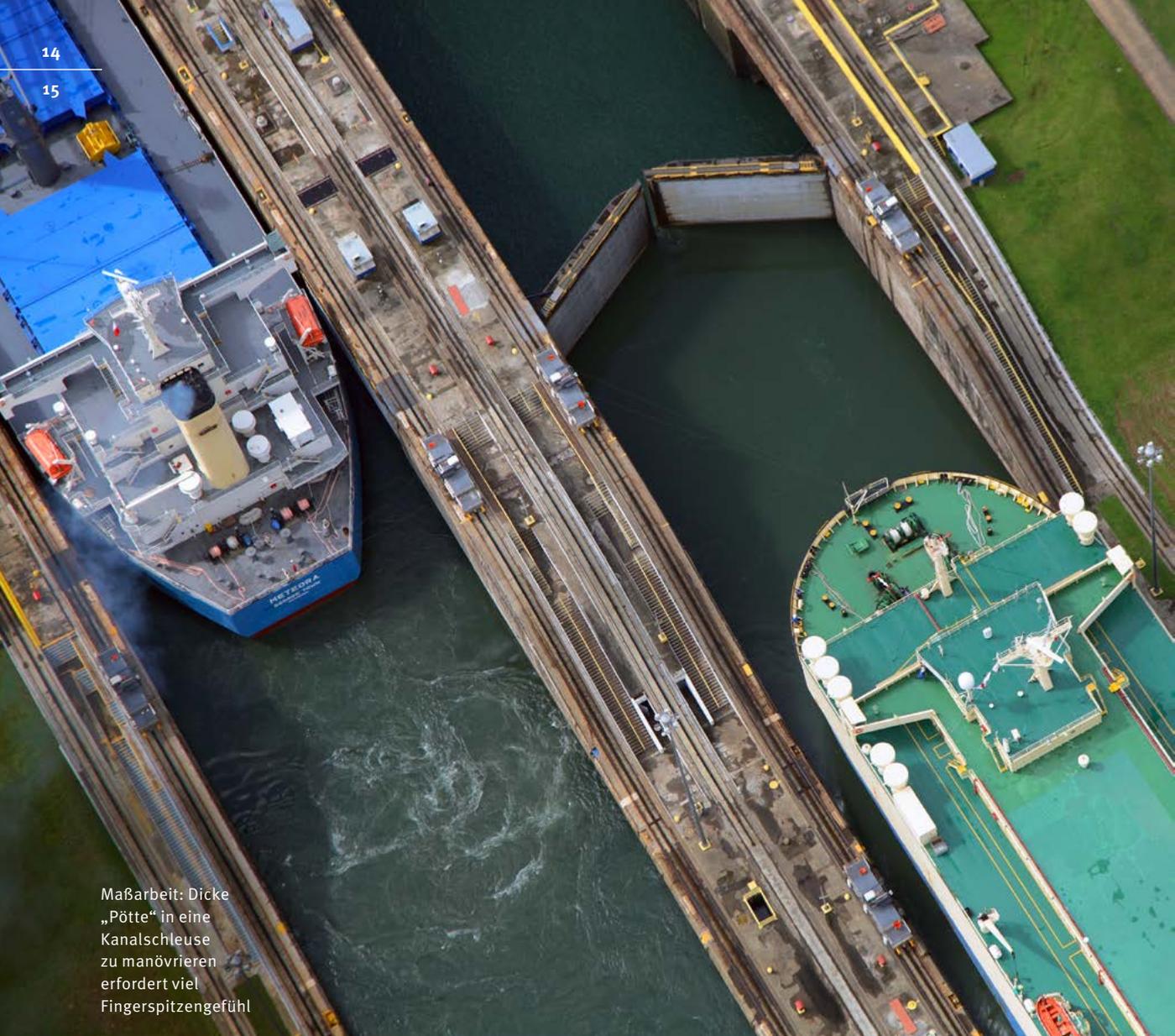
Eine revolutionäre Idee, die Leben retten wird: Die deutsche Firma Junkers Profly hat gemeinsam mit dem Unternehmen Curti Aerospace ein Rettungssystem entwickelt, bei dem **abstürzende Hubschrauber mithilfe eines Fallschirms aufgefangen werden** sollen. Das Ergebnis eines Tests: Durch den Fallschirm verblieb der Hubschrauber in der richtigen Position und stieß mit entschleunigten 27 km/h auf die Erde. Wie funktioniert's? Wird im Cockpit ein kleiner Hebel betätigt, startet der Rettungsmechanismus. Das System sitzt oberhalb der Rotorblätter. Eine Rakete sorgt dafür, dass der lebensrettende Schirm schnell genug in die Höhe steigt und sich dort entfalten kann. Auch für Drohnen eine spannende Innovation.



9,81 m/s²

DIE MUTTER ALLER BESCHLEUNIGUNGEN

Erdanziehungskraft – so sagt der Volksmund. Was steckt dahinter? Einer der wesentlichsten physikalischen Zusammenhänge, der unser Leben und das Schicksal vieler Porzellantassen auf diesem Planeten bestimmt. Aus dem Gewicht der rotierenden Erde resultiert eine Kraft (mit großem Gravitations- und kleinem Zentrifugalanteil), die uns alle hier am Boden hält. Sie wird in g gemessen und ist übertragen Newton (Kraft) pro Kilogramm (Gewicht). Was hat das mit Beschleunigung zu tun? Ganz einfach: Porzellantasse vom Tisch schubsen – und das kostbare Teil wird im freien Fall mit 1 g zum Erdmittelpunkt „gezogen“. Die dabei auftretende Beschleunigung beträgt exakt 9,81 m/s² und ist überall auf der Erdoberfläche nahezu gleich. Kurzer Ausflug ins Weltall: Da der Mond viel leichter ist als die Erde, ist die „Mondanziehungskraft“ sechs Mal geringer – ein Mensch könnte bei gleichem Energieeinsatz etwa elf Mal höher springen.



Maßarbeit: Dicke
„Pötte“ in eine
Kanalschleuse
zu manövrieren
erfordert viel
Fingerspitzengefühl

GRABEN FÜR DIE **GLOBALISIERUNG**

Einst wurden Kanäle noch allein von Menschenhand gebaut, halfen die Bevölkerung zu ernähren und schufen die Grundlage für die Besiedelung von Stadt und Land. Heutige Wasserstraßen sind Wunderwerke der Technik, beschleunigen den Welthandel – und geben so der Globalisierung den Takt vor.

— von Jan Oliver Löffken

Zeichnung des Kaiserkanals in China aus dem 19. Jahrhundert. Die Wasserstraße ist deutlich älter, Teile bis zu 2.400 Jahre. 984 n. Chr. wurde dort auch die erste Schleuse der Welt in Betrieb genommen



— Wasser übt auf Menschen seit Jahrtausenden eine besondere Anziehung aus. Erste größere Siedlungen entstanden an Küsten, Flüssen und Mündungen. Doch schon frühe Zivilisationen der Antike ergänzten die natürlichen Wasserwege um künstliche. Zuerst sicherten schmale Kanäle die Bewässerung von Feldern, schnell folgten breitere Wasserstraßen als sichere und lukrative Handelswege. Flüsse wurden miteinander verbunden oder gar umschifft, allzu lange Seerouten über Kanäle zwischen Meeren und Ozeanen drastisch verkürzt. Bis heute werden bereits gegrabene Kanäle stetig erweitert, viele weitere künstliche Wasserstraßen geplant.

Parallel zu Bewässerung und Handel beeinflussen Kanäle die Lebenswelt der Menschen. Dank vernetzter Transportwege florierende Städte konnten mit einem ausgeklügelten Kanalbau weiter wachsen. Angkor Wat in Kambodscha, das historische Suzhou nahe der chinesischen Metropole Shanghai, Amsterdam oder Hamburg sind nur einige Beispiele. Kanäle sind aber auch dem Zeitwandel und der Entwicklung der Wirtschaft unterworfen. Weit verzweigte Systeme alter, schmaler Kanäle im Binnenland befinden sich heute im Dornröschenschlaf. Ersetzt von Schiene und Straße, locken sie immerhin noch Touristenscharen. Stetig ausgebaut, verbreiterte und vertiefte Kanäle als Verknüpfung der schiffbaren Flüsse bewahren hingegen ihre Bedeutung für den Binnenverkehr. Noch deutlich wichtiger für die wachsenden Warenströme einer globalisierten Wirtschaft ist allerdings die Seeschifffahrt. Kanäle – groß genug für Ozeanriesen mit Tausenden Containern – sind die unangefochtenen Champions hinsichtlich Durchfahrten und Warenmengen. Beeindruckende und manchmal verblüffende Fakten und Geschichten aus der Welt der künstlichen Wasserstraßen finden Sie auf den folgenden Seiten.

URSPRÜNGE IN DER FRÜHEN ANTIKE

Bereits im 3. Jahrtausend vor Christus wussten die Einwohner Mesopotamiens zwischen den Flüssen Euphrat und Tigris den Kanalbau für die Bewässerung ihrer Felder zu nutzen. Erste vom Menschen geschaffene Schifffahrtsstraßen entstanden wahrscheinlich deutlich später. Der ägyptische Pharaos Necho II. plante im 6. vordringlichen Jahrhundert eine Verbindung zwischen dem Roten Meer und dem Mittelmeer – quasi ein Vorläufer des heutigen Suezkanals. Der Bubastis-Kanal sollte einen Seitenarm im östlichen Nildelta mit dem Timsahsee und über einen weiteren Kanal mit dem Roten Meer verbinden. Fertiggestellt wurde er wohl erst 350 Jahre später unter Ptolemaios II., dafür bereits mit Schleusen an der Einmündung in den Golf von Suez.

*Ebenfalls auf das 6. Jahrhundert vor Christus geht der Hong-Gou-Kanal in China zurück. Er verband den Gelben Fluss mit dem Fluss Huai He. In den folgenden Jahrhunderten wurden weitere Kanäle gebaut, vor allem, um Peking mit den Getreidekammern im fruchtbaren Süden zu verknüpfen. Seit dem Altertum erstreckt sich **die bis heute mit knapp 1.800 Kilometern längste künstliche Wasserstraße** von Peking bis zum Mündungsgebiet des Jangtsekiang mit der Metropole Hangzhou (Abbildung oben). Der südliche Teil dieses Kaiserkanals – ein UNESCO-Weltkulturerbe – wird noch heute als regionaler Schifffahrtsweg genutzt.*

Spektakulär: der von Felswänden gesäumte Kanal von Korinth

MONUMENTALE BAUTEN

Künstliche Wasserstraßen werden seit Jahrtausenden nach dem gleichen Prinzip gebaut: Hoben früher Tausende Arbeiter mit Hacken und Schaufeln eine Rinne mit gewünschter Breite und Tiefe aus, die später geflutet wurde (Foto Mitte), sind es seit Jahrzehnten Bagger, die diese Aufgabe übernehmen – und um ein Vielfaches schneller sind. Zudem wird heute meistens die Kanalsohle abgedichtet, um ein Versickern des Wassers zu vermeiden.

Eine Besonderheit im Kanalbau stellt wohl einer der engsten Schifffahrtskanäle der Welt dar: **Der sechs Kilometer lange und nur 25 Meter breite Kanal von Korinth** (Foto o.) trennt das griechische Festland von der Halbinsel Peleponnes. Er wurde zwischen 1881 und 1893 nicht im klassischen Sinne gegraben, sondern eher in den Fels geschlagen. Bis zu 76 Meter hoch reichen die Steinwände über den Wasserspiegel dieser einmaligen Wasserstraße hinaus.

Stärker als beim Ausheben wandelte sich das Ingenieurwissen beim Bau von Schleusen und **Schiffshebewerken, um mit einem Kanal möglichst große Höhenunterschiede zu überwinden.** So werden Binnenschiffe auf dem Main-Donau-Kanal in 16 Schleusen über 175 Höhenmeter gehoben. Im belgischen Canal du Centre hievt das bis 2002 höchste senkrechte Schiffshebewerk die Schiffe um 73,15 Meter (Foto r.). Für einen Kanal immer noch Weltrekord. Nur am Drei-Schluchten-Damm des Flusses Jangtsekiang in China reicht das Hebewerk höher: 113 Meter.



Früher war Kanalbau ein zermürbender und gefährlicher Knochenjob. Allein der Bau des Panamakanals soll 28.000 Todesopfer gefordert haben. Nicht selten wurden Zwangsarbeiter eingesetzt, wie hier auf dem Foto beim Bau des Weißmeer-Ostsee-Kanals (1931–1933) in Russland



XXL-Lift: das Schiffshebewerk Strépy-Thieu des belgischen Canal du Centre



Die drei meistbefahrenen künstlichen Wasserstraßen der Welt: der Nord-Ostsee-Kanal (oben, 32.000 Schiffe pro Jahr), der Suezkanal (Mitte, 17.000) und der Panamakanal (14.000)

KANÄLE STATT KAP-UMRUNDUNG

Zu den für die Weltwirtschaft wichtigsten Kanälen mit strategischer Bedeutung zählen zweifellos der Panama- und der Suezkanal in Ägypten. Der 82 Kilometer lange Panamakanal verkürzt seit 1914 eine Seereise von New York nach San Francisco um 15.000 Kilometer: Die gefährlichen Gewässer am Kap Hoorn an der Spitze Südamerikas müssen seither nicht mehr durchfahren werden. Der knapp 170 Kilometer lange Suezkanal zwischen dem Roten Meer und dem Mittelmeer bedeutet seit 1869 eine Abkürzung von gut 10.000 Kilometern. Von Asien nach Europa wurde der weite Weg um das Kap der Guten Hoffnung in Südafrika überflüssig.

Schon zu ihren Bauzeiten galten beide Kanäle als Meisterwerke der Wasserbaukunst. Stetig werden sie mit modernster Bautechnik vertieft und verbreitert, um den wachsenden Container-Riesen der Weltmeere genug Platz zu bieten. Gut 17.000 Schiffe passieren jedes Jahr den Suezkanal, den Panamakanal durchfahren seit der jüngsten, acht Milliarden Dollar teuren Erweiterung im Jahr 2016 alljährlich gut 14.000 Schiffe, beladen mit bis zu 14.000 Standard-Containern. Den Rekord für den weltweit meistbefahrenen Kanal mit etwa 32.000 Schiffspassagen jährlich hält dennoch der knapp 100 Kilometer lange Nord-Ostsee-Kanal zwischen Brunsbüttel an der Elbe und Kiel, der Schiffen die Route durchs Skagerrak erspart.



KANALBOOM MIT INDUSTRIALISIERUNG

Auch im Binnenland beschleunigten ganze Netzwerke von künstlichen Wasserstraßen den Handel und ermöglichten einen wirtschaftlichen Aufschwung. So entstand in der Frühzeit der Industrialisierung z. B. in Großbritannien ein 7.500 km langes Kanalsystem.

*In dieser „Kanalfeber“ genannten Epoche konnten die Lieferkosten per Binnenschiff im Vergleich zum Pferdekarren mehr als halbiert werden. Im Laufe des 19. Jahrhunderts gewann der Schienenverkehr zusehends an Bedeutung. **Viele der alten Kanäle wurden nicht ausgebaut und somit zu klein für professionelle Schifffahrt. Sie werden heute vor allem von Freizeitkapitänen für Ausflugsfahrten genutzt.***

Aber noch immer gibt es rund um den Globus Kanäle, die wichtige Transportwege der Binnenschifffahrt sind, gerade im Zusammenspiel mit Flüssen oder z. B. in Nordamerika auch Seen. So verbindet im europäischen Teil Russlands ein Fluss- und Kanalsystem von 6.500 km Länge (3,6 m garantierter Tiefgang, Schiffe mit 5.000 t Tragfähigkeit) Ostsee, Barentssee und nördliches Eismeer im Norden mit dem Schwarzen Meer und dem Kaspischen Meer im Süden.



Der hier gezeigte Duisburger Binnenhafen ist der größte der Welt. Er ist ein Knotenpunkt der Flüsse Rhein und Ruhr sowie mehrerer künstlicher Wasserstraßen

MEGAPROJEKTE DER ZUKUNFT

Seit gut zehn Jahren wird der Nicaragua-Kanal unter der Federführung Chinas geplant (linke Karte). Mindestens ebenso lang währt auch das Ringen um dieses Projekt. Die zum Panama-Kanal alternative Verbindung zwischen Karibik und Pazifik – geschätzte Baukosten 50 Milliarden Dollar – soll auf 287 Kilometern und mit knapp 30 Metern Wassertiefe selbst den größten Containerschiffen genug Platz bieten. Doch zahlreiche Proteste wegen Umweltbedenken, die Risiken für die Trinkwasserversorgung Nicaraguas und die Vertreibung der indigenen Bevölkerung zeigen Wirkung. Ob der Kanal – besonders nach der aktuellen Vergrößerung des Panamakanals – jemals gebaut wird, ist fraglich.

Viel leichter werden es auch andere ambitionierte Kanalprojekte kaum haben. So soll der Kra-Kanal im kommenden Jahrzehnt durch Südthailand gegraben werden. Die Wasserstraße soll die stark frequentierte Straße von Malakka zwischen Malaysia und Indonesien entlasten. Wieder gilt China als Treiber des Projekts im Rahmen der Initiative „Maritime Seidenstraße“. Etwas wahrscheinlicher ist der Bau des Istanbul-Kanals (rechte Karte), der parallel zum Bosphorus das Mittelmeer (Marmara-See) mit dem Schwarzen Meer verbinden soll. Die türkische Regierung geht noch vor dem ersten und sehr fraglichen Spatenstich des auf 14 Milliarden Euro geschätzten Projekts offiziell von einer Fertigstellung im Jahr 2023 aus.

Nicaragua

Costa Rica

Panama

Entlastung oder Konkurrenz? In Nicaragua ist ein zweiter Mittelamerika-Durchstich geplant

Die gewaltigen Tore der neuen Panamakanal-Schleusen sind bis zu 33 Meter hoch und bis zu 10 Meter dick. Extrem belastbare Schaeffler-Lager helfen, die Giganten zu bewegen

LAGER FÜR DIE TEUERSTE ABKÜRZUNG DER WELT

*Die Frachtschiffe auf den Weltmeeren werden seit Jahrzehnten immer größer – logisch also, dass auch der Panamakanal irgendwann wachsen musste. Nach neunjähriger Bauzeit eröffnete daher Mitte 2016 die neue, dritte Fahrrinne der – gemessen an der Warenmenge – zweitwichtigsten Wasserstraße der Welt nach dem Suezkanal. Konnten zuvor nur Schiffe mit einer Länge bis 294 Metern und einer Breite von 32 Metern die Passage befahren, passen nun Frachter mit bis zu 366 Meter Länge und 50 Meter Breite durch den Kanal. Rund 40.000 Arbeiter bewegten dafür 110 Millionen Kubikmeter Erdreich – so viel wie 42-mal den Inhalt der Cheops-Pyramide. Geschätzte Kosten: 5,25 Milliarden US-Dollar. **Im Preis enthalten: mehr als 3.400 Wälzlager von Schaeffler.** So sorgen beispielsweise Pendelrollenlager in den Trommeln gewaltiger Stahlseilwinden für die Bewegung der neuen Schleusentore. Wegen der hohen Drehmomente werden hier zusätzlich Getriebe benötigt, die wiederum mit Schaeffler-Lagerlösungen bestückt sind: Hier sind es neben den Pendel- auch Kegel- und Zylinderrollenlager. Um Verschleiß vorzubeugen, wurde ein Großteil dieser Lager mit der Schaeffler-Beschichtung Triondur C ausgeführt – die Technologie ermöglicht eine **Lager-Lebensdauer von 35 Jahren.** Daher konnten die Wartungsintervalle auf fünf Jahre verlängert werden. Gut für den Welthandel – der erfordert zuverlässigen Betrieb rund um die Uhr.*



Im stark frequentierten Bosporus kommt es immer wieder zu Schiffsunglücken. Der für 2023 anvisierte Istanbul-Kanal soll die Lage entschärfen



DER AUTOR

Als Segler liebt Autor **Jan Oliver Löfken** das offene Wasser. Doch seine Recherche offenbarte ihm die Vielfalt der Kanäle. Seitdem sieht er sie nicht nur als schnelle Handelswege, sondern erkennt auch ihre Reize für lebenswerte Städte und Ausflüge.



BBALLI BBALLI!*

*(schnell, schnell!)

Kein anderes Land hat sich so atemberaubend schnell vom Entwicklungszum Hochindustrialand entwickelt wie Südkorea. Kein Wunder: Im Land der Morgenstille dreht sich alles um Schnelligkeit. Buchautor Martin Hyun, Sohn zweier in Deutschland lebender Südkoreaner, gibt „tomorrow“ Einblicke in eine Kultur der Beschleunigung.

— von Martin Hyun

— Als ich 2015 übergangsweise nach Korea zog, um meine Arbeit als sporttechnischer Leiter der Eishockeyspiele der Olympischen und Paralympischen Winterspiele in Pyeongchang aufzunehmen, erlebte ich einmal mehr am eigenen Leibe, was es bedeutet, in einer vom „Bballi Bballi“ (übersetzt: „schnell, schnell“) geprägten Kultur zu leben. Ein Beispiel: Für meinen Internetanschluss in Deutschland wartete ich seinerzeit fast zwei Monate und musste auf den Techniker irgendwann zwischen 8 und 16 Uhr zu Hause warten. Im Serviceland Korea wäre das ein Ding der Unmöglichkeit. Von der Bestellung bis zum Anschluss ans Internet in Korea dauerte es rekordverdächtige zwei Stunden. Der Techniker kam pünktlich um 13 Uhr zum vereinbarten Termin und erledigte den Job in

nur wenigen Minuten. Typisch Korea – das Leben ist hektisch und schnell, vor allem in der 25 Millionen Einwohner zählenden Metropolregion der Hauptstadt Seoul, in der die Hälfte der Landesbevölkerung zu Hause ist.

Gerade in den Großstädten kommt es oft vor, dass man auf belebten Straßen angerempelt wird. Doch dies ist keineswegs als Unhöflichkeit zu betrachten. Es gehört einfach dazu. Obwohl Koreaner im Allgemeinen sehr höfliche, zurückhaltende Menschen sind, darf man nach einem solchen unfreiwilligen Körperkontakt keine Entschuldigung erwarten. Ungeduld schlägt gute Erziehung. Koreaner, insbesondere jene in Seoul, gelten nicht umsonst als die Italiener Asiens – mitsamt des manchmal



» Wenn man im Sommer
einen Tag faulenz, hungert
man im Winter zehn Tage lang

Koreanisches Sprichwort

ungestümen Temperaments. Kein Wunder also, dass selbst im Parlament schon die Fäuste geflogen sind.

Früher Entwicklungsland, heute Weltspitze

Der sogenannte Tigerstaat Korea verfügt über das schnellste Internet der Welt. Die durchschnittliche Internetgeschwindigkeit liegt mit rund 29 Mbit/Sekunde in etwa doppelt so hoch wie in Deutschland. Während der Olympischen Spiele 2018 wurde das weltweit erste 5G-Funknetz getestet, das 2019 flächendeckend eingeführt werden soll. Es ist 100-mal schneller als bisherige LTE-Netze. Egal ob im tiefsten U-Bahn-Tunnel oder auf dem höchsten Berg: In Korea herrscht mit 96 Prozent eine nahezu totale Netzabdeckung. Auch WLAN-Hotspots sind allerorten anzapfbar. Ein Zustand, von dem man in Deutschland nur träumen kann. Doch das war nicht immer so. In den 1960er-Jahren war Korea noch ein Entwicklungsland. Die Wunden des Bürgerkriegs mit dem kommunistischen Norden (1950–53) verheilten allmählich. Damals kam ein einziger Telefonanschluss auf circa 300 Einwohner. Nur wenige Jahrzehnte später steht Korea im Bereich Telefonie, Smartphone- und Internetnutzung an der Weltspitze. Angesichts der wahnsinnigen Technikbegeisterung im Land ist es kaum verwunderlich,

dass hier mit Songdo auch die erste Smart City der Welt entstand und Google seinen ersten „Campus“, ein Habitat für Start-ups, auf dem asiatischen Kontinent in Seoul platziert hat. Doch wie fast immer im Leben gibt es auch eine Kehrseite: Mit dem Siegeszug von Highspeed-Internet und Smartphones wurde eine um sich greifende Handysucht zum echten gesellschaftlichen Problem.

Von 0 auf 100 bei Stahl, Autos, Elektronik

Als ich 2015 in Korea meine Arbeit aufnahm, wurde gerade das Fundament der Eisstadion gelegt. Internationale Fachleute hegten Zweifel, dass die Stadion rechtzeitig vor dem Beginn der Olympischen Spiele fertig gebaut sein würden. Ich beruhigte die Experten und erklärte ihnen: „Wenn es ein Land schafft, dann ist es Korea.“ Und genauso kam es auch. Sogar noch besser: Schon ein Jahr vor den Spielen waren alle Stadion fertig gebaut. Auch die Luxushotels in Gangneung für hochrangige Funktionäre schossen geradezu sprichwörtlich aus dem Erdboden. Bballi Bballi auch auf der Baustelle. Der „Lotte World Tower“ im Seouler Stadtteil Jamsil-dong wuchs in nur fünf Jahren auf beachtliche 555 Meter an. Damit ist der Wolkenkratzer das fünfhöchste Gebäude der Welt. Die benachbarte „Lotte World“ ist gar der größte Freizeitpark



Platz 1

belegt Südkorea im „**Bloomberg Innovation Index 2018**“ vor Schweden und Singapur.

5 Produktionsstätten an drei Standorten hat **Schaeffler** in Korea. Dort werden Produkte für eine Vielzahl von Kunden in den Kerngebieten der dortigen Wirtschaft produziert, u. a. Automotive, Industrie, Elektronik, Halbleiter und Luftfahrt.

212 Mrd.

Dollar Umsatz machte **Samsung Electronics** 2017. Der 1969 gegründete Tech-Gigant ist Weltmarktführer in den Bereichen TV, Handy, Smartphone, Speicher, Halbleiter, SIM-Karten, Kühlschränke und digitale Signaturen.

1999

– und damit fünf Jahre vor Facebook – ging in Südkorea „Cyworld“ online, **das weltweit erste soziale Netzwerk**.

4 der zehn **größten Werften** der Welt sind in Südkorea beheimatet.

1955

wurden unter dem Namen Sibel die ersten Autos in Korea gebaut. Die Karosserie des Jeep-Imitats wurde aus alten Ölfässern zusammengedengelt. Der heute **fünftgrößte Autohersteller der Welt** ist laut eigenen Angaben Hyundai-Kia Motors. Auch das ein Beispiel für den rasanten Aufstieg Koreas.

der Welt – nur um noch einen Superlativ zu erwähnen. Beides befindet sich in einem Gebiet, in dem noch 1970 lediglich 300 Haushalte vorzufinden waren.

Trotz Baubooms: Wohnraum ist knapp in Seoul, die Wohnkosten zählen zu den höchsten der Welt. Nicht wenige müssen einen Zusatzjob annehmen, um die horrenden Mieten bezahlen zu können.

Das Wunder vom Han-Fluss

Wie konnte der rasante Aufstieg von einem Entwicklungsland zur elftgrößten Wirtschaftsmacht der Welt in so kurzer Zeit gelingen? Das „Land der Morgenstille“ war lange Spielball der Mächte Japan, China, USA und Russland. In den 60er-Jahren lag das jährliche Pro-Kopf-Einkommen der Koreaner bei umgerechnet 87 Dollar. Heute sind es 27.500 Dollar. Wenn man die Koreaner fragt, wer für das „Wunder vom Han-Fluss“ verantwortlich ist, hört man meist: Park Chung-hee.

Der ehemalige koreanische Präsident, der sich 1961 an die Macht putschte, startete seinen ersten Fünfjahresplan 1962. Dieser konzentrierte sich vor allem auf den Ausbau der Infrastruktur, auf die landwirtschaftliche Produktion sowie die Förderung der Leichtindustrie und der technologischen Weiterentwicklung. Weitere Schwerpunkte galten der Bildung und Energieversorgung. Es folgten die Fünfjahrespläne zwei (1967–71, Förderschwerpunkt Schwerindustrie), drei (1972–76, Förderschwerpunkt Chemie), vier (1977–81, weiterhin Förderung von Chemie- und Schwerindustrie, aber wirtschaftlicher Rückschlag durch politische Tumulte und die Ölkrise, Ende Militärdiktatur), fünf (1982–86, Wandel weg von der Schwer- und Chemieindustrie hin zu technologieintensiven Branchen wie Elektronik und Präzisionsmaschinen) und sechs (1987–91, Förderung mittelständischer Unternehmer und strategischer Industrien wie die Automobil-, Maschinenbau- und Elektronikbranche). Bei ihrer beschleunigten Entwicklung scheuten sich die Koreaner nicht, Erfolgsrezepte anderer Länder zu adaptieren – um sie dann besser zu machen.

Abgehängt vom Tempo der Modernisierung

Europa brauchte 300 Jahre, um das System des modernen Kapitalismus auf sichere Füße zu stellen, Südkorea erledigte diesen tiefgreifenden gesellschaftlichen Wandel unter zwei Militärdiktaturen zwischen 1960 und 1980, bilanzierte Hwang Sok-yong, einer der bekanntesten Schriftsteller Südkoreas 2014 in einem Dokumentarfilm des Franzosen Jacques Debs. „Der Prozess der Modernisierung hat Korea in kürzester Zeit überrollt“, so Hwang. Dabei ist in den Augen des streitbaren Literaten neben der Fähigkeit, Entscheidungen gründlich



Lichter als Wohlstandsindikator: Während Südkorea zur reichen Hightech-Nation aufgestiegen ist, verharrt der Norden in der Armut der Nachkriegsjahre – und in nächtlicher Dunkelheit

abzuwägen und zu hinterfragen, auch die soziale Gerechtigkeit auf der Strecke geblieben. Und tatsächlich: Laut einer Studie der OECD gibt Korea trotz deutlicher Steigerungen in den vergangenen Jahren noch immer weniger als 15 Prozent seines Bruttoinlandsproduktes für Sozialleistungen aus. Zum Vergleich: Als Spitzenreiter gelten hier Frankreich und Finnland mit über 30 Prozent. Die Schere zwischen Arm und Reich geht wie in vielen Industrienationen auch in Korea immer weiter auseinander.

Ein weiteres Problem: Bei der Altersarmut nimmt Korea unter den führenden Industrienationen einen unerfreulichen Spitzenplatz ein. Was auch daran liegt, dass im rasanten gesellschaftlichen Wandel das Prinzip der sich gegenseitig unterstützenden Großfamilie zum Auslaufmodell geworden ist. Viele Pensionäre fühlen sich nutzlos, haben Existenzängste und scheiden lieber freiwillig aus dem Leben, als ein unwürdiges zu führen. Ein Gegensteuern ist dringend nötig, denn es kommen immer weniger Junge Menschen nach, die für ihre Vorfahren aufkommen. Koreas Geburtenrate zählt zu den niedrigsten der Welt. Jede zweite Koreanerin will gar keine Kinder haben – auch aus Angst, in die Rolle der Hausfrau und Mutter gedrängt zu werden. In Sachen Emanzipation hat die männerdominierte Gesellschaft Koreas ebenfalls Nachholbedarf.

Der hungrige Geist der Koreaner

Der von Park Chung-hee angeschobene und geplante wirtschaftliche und technologische Aufschwung des Landes wurde durch einen weiteren Faktor immens beschleunigt: den „Hungry Spirit“ der Koreaner – wie mein Onkel, ein erfolgreicher Bauingenieur aus Seoul, zu sagen pflegt. Dieser unbändige und unbeugsame Wille, es „der Welt zu zeigen“, hat einen maßgeblichen Anteil daran,

dass sich Korea innerhalb von fünf Jahrzehnten vom Entwicklungsland zu einer der führenden Industrienationen gemausert hat. Dem strebsamen Koreaner widerstrebe nichts mehr, als sich gehen zu lassen, weiß auch Schriftsteller Hwang Sok-yong zu berichten. 60-Stunden-Arbeitswochen sind eher die Regel als die Ausnahme. Peter Schreyer, der deutsche Designer, der seit 2006 für Hyundai und Kia schicke Bleckkleider entwirft, zeigte sich in einer TV-Reportage ebenfalls beeindruckt vom Eifer der Koreaner, die nicht nur von persönlichen Ehrgeiz getrieben seien, sondern auch vom Stolz auf ihr Land.

Der „Hungry Spirit“ zeigt sich bei den Koreanern auch bei der Bildung. Der Konkurrenzkampf, in eine „SKY“-Universität hineinzukommen, ist enorm. SKY steht für die drei koreanischen Top-Universitäten Seoul National, Korea und Yonsei. Bis zu 16 Stunden am Tag büffeln Schüler, um mit einem guten Abschluss Zugang zu einer Top-Uni zu erlangen. Heimst der Nachwuchsakademiker dort ein Cum-laude-Diplom ein, ist der Zugang zur begehrten Gesellschaftselite quasi garantiert. Die Eltern sind gewillt, einen Großteil ihres Einkommens für den schulischen Erfolg auszugeben. Die Bildungswut, gepaart mit der Angst des Versagens, hat aber auch eine Kehrseite: Korea gehört zu den Ländern mit der höchsten Suizidrate unter Jugendlichen.

Davon unbenommen zieht es auch immer mehr ausländische Studenten nach Südkorea. In der Hitliste der Website topuniversities.com liegt Seoul schon in den Top 10 der beliebtesten Studentenstädte. Die Zahl der Universitäten erlebte wie das ganze Land ein enormes Wachstum. Gab es 1965 noch 70 Hochschulen (14 staatliche, 56 private), waren es 50 Jahre später mehr als dreimal so viele (46 staatliche, 179 private). Der Bildungsturbo führte zu einem landesweiten Akademisierungsgrad von 70 Prozent. Die Folge: Viele Abgänger finden in der Heimat keinen adäquaten Arbeitsplatz und schauen sich im Ausland um. Gut möglich also, dass es ein junges Paar meinen Eltern nachmacht und sein Glück in Deutschland sucht ...



DER AUTOR

Martin Hyun wurde 1979 in Krefeld geboren und ist seit 1993 ein „glücklicher deutscher Staatsbürger“. Hyun studierte Politik sowie Internationale Beziehungen in den USA und

Belgien. Für Schlagzeilen sorgte er als erster koreanischstämmiger Eishockey-Bundesliga-Profi und Junioren-Nationalspieler Deutschlands. 2008 erschien sein erstes Buch. Im Bestseller „Gebrauchsanweisung für Südkorea“ verrät er unter anderem, weshalb man beim „Koreanischen Dreikampf“ – essen, trinken, singen – standhaft bleiben muss.

VOLL AUF SPEED

Fast jeder kennt ihn, mancher braucht ihn – den Geschwindigkeitsrausch.
Fragt sich nur, woher die Lust am Tempo rührt.

— von Wiebke Brauer

— Nichts ist so schön wie der Moment, wenn der Schmerz nachlässt, heißt es. Ein bisschen so verhält es sich auch mit dem Rausch der Geschwindigkeit. Dieses unvergleichliche Gefühl, das sich aus der Wucht speist, mit der man in den Sitz gedrückt wird, dem Versprechen von Fahrtwind, Freiheit und Abenteuer, dem Brüllen des Motors und Schlagen des Herzens – und aus der

schieren Erleichterung darüber, der Gefahr entronnen zu sein. Geschafft. Die Grenze überschritten. Und das im Sitzen und mit nur einem Fuß! Wenn das keine Macht über die Materie ist, was dann?

Man könnte darauf etwas boshaft antworten: eine normale chemische Reaktion gepaart mit Unvernunft. Und es kommt noch

profaner. Vermutlich sind Mammut's daran schuld. Die Jagd unserer Vorfahren war riskant wie überlebenswichtig, belohnt wurde die erfolgreiche Hatz nicht nur mit einem vollen Bauch, sondern mit überbordenden Glücksgefühlen. Sättigung ist eine Sache, die Euphorie des Überlebens eine andere – und beides zusammen sorgte für eine folgenreiche Verknüpfung:



AUF DEM WASSER

Bjørn Dunkerbeck, Surf-Legende und mit 42 WM-Titeln einer der erfolgreichsten Profi-Sportler der Welt: „Ich bin ein echter Geschwindigkeitsfan, veranstalte sogar einen eigenen Event, die Dunkerbeck Speed Challenge. Trotz ordentlicher Welle erreichen wir dabei Geschwindigkeiten bis zu 80 km/h auf dem Surfboard – das fühlt sich an wie 250 im Auto, nur dass du nix um dich herum hast. Extremmer ist nur der Speed-Event in Lüderitz in Namibia. Auf einem extra angelegten Kanal versuchen wir jedes Jahr die 100-km/h-Marke zu knacken. Mein Rekord liegt derzeit bei 98,80 km/h – und das ist schon wie fliegen.“

100.000 Jahre später steigt der moderne Mensch freiwillig in Achterbahnen, stellt sich übermotorisierte Sportwagen in die Garage und fährt schneller, als die Polizei erlaubt. Heute leben ganze Industriezweige davon, dass wir zum Spaß fliegen, rasen, uns fallen oder katapultieren lassen.

„Speed“-Zellen im Hirn

Natürlich ist es kein neuer Gedanke, Geschwindigkeit zu Geld zu machen: Bereits wenige Wochen nach der Eröffnung der ersten deutschen Bahnverbindung am 7. Dezember 1835 zwischen Nürnberg und Fürth wurden Schnellfahrten mit 70 Kilometer pro Stunde

angeboten. Zur großen Freude des Publikums. Falsch ist übrigens, dass damals ein bayerisches Obermedizinalkollegium davor warnte, dass Bahnfahrten mit mehr als 30 Kilometer pro Stunde bei Reisenden wie Zuschauern zu schweren Gehirnerkrankungen wie „Delirium furiosum“ führen würden. Wahr ist wiederum, dass die Geschwindigkeit mithilfe sogenannter Speed-Zellen im Gehirn gemessen wird: Erst im Oktober 2014 bekamen die Eheleute May-Britt und Edvard Moser von der Universität Trondheim den Medizin-Nobelpreis für die Entdeckung von Zellen, die für die Orientierung im Raum wichtig sind und zu einem System im Hippocampus, einer Schaltstelle im Gehirn, gehören. Die Speed-Zellen ahnen dabei



Ich geb Gas, ich hab Spaß: Ein steigender Adrenalin Spiegel stimuliert Gehirnareale so, dass schnelles Fahren als Belohnung empfunden wird



AM STEILHANG

Lindsey Vonn, US-Skirennläuferin, Olympiasiegerin und Weltmeisterin, gegenüber „USA Today“: „Ich wollte schon immer schnell Ski fahren. Das war alles, was ich je wollte. Es macht einfach Spaß, schnell zu sein. Immer. Wenn ich nach einer Abfahrt das Ziel erreiche, dann muss ich immer von einem Ohr zum anderen grinsen. Weil Geschwindigkeit ein so befreiendes Gefühl ist.“



die Beschleunigung um 100 Millisekunden voraus. Nichts ist schneller als das menschliche Gehirn.

Sinnestaumel und „Angstlust“

Was aber nicht erklärt, warum es so herrlich ist, richtig Gummi zu geben. Neben den visuellen und akustischen Sinneseindrücken ist es ein Hormon-Cocktail, der sich durchaus mit einem Drogenrausch vergleichen lässt. Allerdings dockt beispielsweise Heroin an den Anlaufstellen auf den Nervenzellen des Belohnungssystems an. Die Folge ist ein direkter Sinnestaumel. Beim Geschwindigkeitsrausch hingegen stimuliert der steigende Adrenalinpiegel die Gehirnareale so, dass schnelles Fahren als Belohnung empfunden wird, weil zusätzlich der Botenstoff Dopamin und Belohnungsmoleküle wie Opiode und Endocannabinoide ausgeschüttet werden. Das Ergebnis ist eine biochemische Doppelkeule aus Stress und Erlösung. Mehr Kick-down im Kopf geht nicht.

Und dann wäre da noch das menschliche Gemüt, das uns vehementer vorantreibt als jedes Hormon. Ende der 50er Jahre prägte der ungarische Psychoanalytiker Michael Balint den deutschen Begriff „Angstlust“. Damit beschrieb er den Thrill, die Freude am Risiko und an der Gefahr – und damit auch an der maximalen Geschwindigkeit. Balint erklärte das zweifelhafte Vergnügen vor allem durch das Aufgeben und Wiedererlangen von Sicherheit. Im Prinzip entspricht diese Wechselwirkung der biochemischen Reaktion. Physisch wie psychisch gilt: Schön, wenn's vorbei ist.

Nervenkitzel? Nicht jedermanns Sache

Warum sich manche jedoch grundsätzlich nicht für den Nervenkitzel interessieren, erklärte in den



IN DER FORMEL 1

Mario Andretti, US-Formel-1-Champion und Indy500-Sieger:
„Wenn du glaubst, du hast alles unter Kontrolle, dann fährst du noch nicht schnell genug.“

IN HIGHSPEED-KURVEN



Mike Rockenfeller, DTM-Champion, Le-Mans-Sieger und Schaeffler-Markenbotschafter: „Autobahn, Achterbahn, Rennrad, Jetski – kann alles Spaß machen. In einen wirklichen Rausch der Geschwindigkeit komme ich aber nur auf der Rennstrecke in extrem schnellen Kurven. Wenn die Fliehkräfte an einem reißen, wenn die Strecke gefühlt immer enger wird – dann spürt man Geschwindigkeit und sagt sich: Wow, das ist jetzt echt schnell. Wobei mich drei Kurven extrem berauschen: Mit 280 km/h im LMP1-Sportwagen durch die Eau Rouge in Spa, die Porsche-Kurven in Le Mans, besonders wenn man dort bei Nacht mit weit über 200 km/h hindurchfliegt, und das Schwedenkreuz auf der Nordschleife. Die Ecke ist so unfassbar schnell geworden. Echt krass. Da denkt man, das geht eigentlich gar nicht. Du kommst mit knapp 280 km/h an eine Kuppe, lupfst kurz und rast die schnelle Linkskurve mit 260 km/h runter. Das ist der pure Rausch der Geschwindigkeit.“

IN DER FORMEL E

Lucas di Grassi, Formel-E-Champion: „Ich bin schon mit 350 km/h in Le Mans gefahren – aber wann immer ich in einem Rennauto sitze, bin ich so fokussiert, dass ich die Geschwindigkeit gar nicht wahrnehme. Schließlich müssen alle Handgriffe und Reaktionen auf einem Formel-E-Stadtkurs bei 120 km/h genauso sitzen wie bei einem Ritt jenseits der 300er-Marke. Wenn ich mit meinem E-Foil auf dem Wasser unterwegs bin und das Wasser hochspritzt, kommt mir das manchmal schneller vor als auf einer langen Geraden.“

Daniel Abt, Formel-E-Pilot: „Den puren Rausch der Geschwindigkeit habe ich erst kürzlich bei einem Fallschirmsprung mit freiem Fall erlebt: fast 300 km/h, die ich – wenn auch nur für ein paar Sekunden – direkt am Körper gespürt habe. Da haben alle Gehirnfunktionen mal kurz abgeschaltet. In meinem Formel-E-Auto ist es nicht die Geschwindigkeit, sondern die unglaubliche Beschleunigung, die mich auch nach ein paar Jahren immer wieder umhaut.“



HELDEN MIT SUPERSPEED

Superhelden und ihre Superkräfte: In Sachen Beschleunigung sprengen Superman, Flash & Co. die Grenzen menschlicher Vorstellungskraft. „tomorrow“ zeigt, zu welchen Temporitten und anderen Höchstleistungen die Helden fähig sind. Limits? Fehlanzeige!

— von Björn Carstens

SUPERMAN



WER BIN ICH?

1938 KRACHTE ICH MIT VEHEMENZ VOM FIKTIVEN PLANETEN KRYPTON AUF DIE ERDE. ALS SUPERMAN WURDE ICH DORT DER ERSTE SUPERHELD DER COMICGESCHICHTE UND VATER EINES GANZEN GENRES. EIN BISSCHEN PEINLICH IST MIR DIESES GANZE SUPERHELD-GEHABE SCHON, DAHER HABE ICH MIR EIN ALTER EGO ZUGELEGT: DEN EINE BRILLE TRAGENDEN REPORTER CLARK KENT. WAS ICH IN ALL DEN JAHREN AUF DER ERDE FESTGESTELLT HABE: BEI FRAUEN KOMME ICH BESSER AN ALS BEI MÄNNERN. DENEN BIN ICH ANSCHEINEND ZU PERFEKT. VIELLEICHT SIND SIE AUCH BLOSS NEIDISCH ...

Beschleunigungsfaktor Von seinen beiden Schöpfern Jerry Siegel und Joe Shuster als „so schnell wie eine Pistolenkugel“ klassifiziert (rund 1.600 km/h), legt Superman im Laufe der Jahre stetig an Tempo zu. Im ersten Superman-Kinofilm aus dem Jahr 1978 umkreiste der stählerne Held die Erde, um die Zeit zurückzudrehen. Die dafür erforderliche Geschwindigkeit: 1 Milliarde km/h. Das haben Physikstudenten in England errechnet. Ob die Filmemacher das bedacht haben?

Sonstige Stärken Eigentlich alles von Röntgen-, Thermo-, Mikroskop und Hitzeblick über extremes Lungenvolumen, Supergehör und fotografisches Gedächtnis bis hin zu übermenschlicher Stärke und einer weitgehenden Unverwundbarkeit.

Schwächen Das Mineral Kryptonit von seinem Heimatplaneten, Freundin Lois Lane.

FLASH

Beschleunigungsfaktor Flash erreicht Lichtgeschwindigkeit (300.000 km/h), was ihn unsichtbar macht. Legendar sind die Wettrennen gegen Superman. Enden sie anfangs unentschieden, fällt in „Adventures of Superman #463“ eine Entscheidung. Klarer Konditionssieg für Dauerläufer Flash gegen Sprinter Superman. Ähnliches zeigt sich später in der Serie „Smallville“. Flash dreht sich in aller Gelassenheit um, winkt Clark zu und verschwindet uneinholbar am Horizont.

Sonstige Stärken Kann durch Wände gehen und durch die Zeit reisen.

Schwächen Wasser bremst ihn aus, auf vereisten Pisten rutscht er aus.



WER BIN ICH?
ICH BIN BARRY ALLEN UND WOHNE IN CENTRAL CITY. DORT KÄMPFE ICH FÜR DAS GUTE. ZUNÄCHST NUR ALS KRIMINALTECHNIKER. ALS ICH ABER BEI DER EXPLOSION EINES TEILCHENBESCHLEUNIGERS VON EINEM BLITZ GETROFFEN WURDE, BIN ICH ZU FLASH MUTIERT, DEM SCHNELLSTEN MENSCHEN DER ERDE.

WER BIN ICH?
VERBANNT DURCH ODIN, MEINEN UND VATER ALLER GÖTTER, KAM ICH AUF DIE ERDE. HIER MUSSTE ICH VIELE JAHRE OHNE GEDÄCHTNIS ALS DER GEHBEHINDERTE ARZT DR. DON BLAKE ARBEITEN – DOCH DANN FAND ICH MEINEN MYSTISCHEN HAMMER MJÖLNIR WIEDER, UND ALLES ÄNDERTE SICH ...



Beschleunigungsfaktor Der 1,98 Meter große und 140 kg schwere Hüne ist ein kräftiges Kerlchen, aber schnell ist er nur, wenn er seinen mystischen Hammer „Mjöltnir“ als Antrieb vorweg schleudert. Dann aber reicht es für Lichtgeschwindigkeit.

Sonstige Stärken Nahezu unverwundbar, schnelle Selbstheilung, verlangsamter Alterungsprozess, mehrsprachig und sehr intelligent.

Schwächen Neigt als Krieger zu Gewaltausbrüchen.

THOR

IRON MAN

WER BIN ICH?
 MEIN NAME IST STARK, TONY STARK.
 MEIN UNTERNEHMEN „STARK INDUSTRIES“, MIT
 DEM ICH WAFFENSYSTEME ENTWICKLE, HAT MICH ZUM
 MULTIMILLIARDÄR GEMACHT. EINE GEFÄHRLICHE BRANCHE. DAS
 MUSSTE ICH AM EIGENEN LEIB ERFAHREN, ALS ICH IN VIETNAM
 GEFANGEN GENOMMEN WURDE. UM VON DORT FLIEHEN ZU
 KÖNNEN, HABE ICH MEINE ERSTE MULTIFUNKTIONSRÜSTUNG
 ENTWICKELT, AN DER ICH SEITDEM STÄNDIG
 WEITERBASTLE. MITTLERWEILE HABE ICH SIE
 PERFEKTIONIERT.



Beschleunigungsfaktor Anders als andere Superhelden beschleunigt Iron Man nicht mit der Kraft seines Körpers, sondern mit Schubkraft. Auch bei ihm gibt es verschiedene Höchstgeschwindigkeitsangaben. Sicher ist, dass er schneller als mit Mach 2 unterwegs ist, da er auch Kampffjets hinterherfliegen kann.

Sonstige Stärken Iron Man hat keine eigenen Superkräfte, seine Fähigkeiten beruhen einzig auf seinem Exoskelett. Damit kann er Energiestrahlen verschießen und ein Kraftfeld um sich herum erzeugen.

Schwächen Benötigt eine externe, magnetische Energiequelle in seiner Brust, um nicht von den Granatsplintern in seinem Körper getötet zu werden.

SPIDERMAN



Beschleunigungsfaktor Spiderman ist schon zu Fuß deutlich schneller als ein Auto. Er bewegt sich so rasant, dass das menschliche Auge ihn nur unscharf erfassen kann. In einem Comicheft eilt er zu einem Banküberfall – und legt dabei zwei Meilen in fünf Sekunden zurück. Macht immerhin 2.317 km/h. Und das nicht etwa an einem Spinnenfaden schwingend, sondern kurioserweise hüpfend wie ein Frosch.

Sonstige Stärken Übermenschlich ausdauernd, beweglich, stark, aber auch schlau. Mit einem IQ-Wert von mehr als 180 ist jeder Intelligenztest Pipifax für Peter Parker.

Schwächen Peter gilt privat als Unglücksrabe. Quasi der Donald Duck der Superhelden.

WER BIN ICH?

IN DEM ROT-BLAUEN ANZUG BIN ICH SPIDERMAN, ABER EIGENTLICH HEISSE ICH PETER PARKER. BEIM BISS EINER RADIOAKTIV BESTRAHLTEN SPINNE GELANGTEN MUTIERTE ENZYME IN MEIN BLUT. DADURCH BEKAM ICH ÜBERMENSCHLICHE KRÄFTE, DIE ICH IM KAMPF GEGEN DAS UNRECHT EINSETZE – GETREU DEM MOTTO: AUS GROSSER KRAFT FOLGT GROSSE VERANTWORTUNG.

SILVER
SURFER

WONDER WOMAN



WER BIN ICH?

1941, WÄHREND FRAUEN WELTWEIT VON GLEICHBERECHTIGUNG NUR TRÄUMEN KONNTEN, WURDE ICH VON DEM ALS FEMINISTEN BEKANNTEN COMICFAN ILLIAM MOULTON MARSTON ALS ERSTE WEIBLICHE SUPERHELDIN ERSCHAFFEN. MARSTON – WAS FÜR EIN HELLER KOPF – WAR VON DER MORALISCHEN ÜBERLEGENHEIT DER FRAU ÜBERZEUGT. UND SO WURDE ICH GEBORNEN: DIE AMAZONENPRINZESSIN DIANA ALIAS WONDER WOMAN, SO STARK WIE SUPERMAN, ABER MIT VIEL WEIBLICHEM CHARME UND – WENN ICH DAS SO SAGEN DARF – SEHR SEXY.

Beschleunigungsfaktor Super-Geschwindigkeit ist in der Mythologie von Wonder Woman fest verankert. Mal kann sie Geschwindigkeit abwehren, die normalerweise einen Kilometer pro Sekunde zurücklegen. Ein anderes Mal ist sie sogar in der Lage, mit Flash mithalten. Für ihre Fans ist Wonder Woman ein „Speed Demon“.

Sonstige Stärken Unfassbare Reflexe und die Fähigkeit zu fliegen.

Schwächen Sie verliert ihre Kräfte, wenn ein Mann ihre Armbänder aneinanderkettet oder sie fesselt.

WER BIN ICH?

ICH BIN EIN AUSSERIRDISCHER NAMENS NORRIN RADD. ALS MEIN HEIMATSTERN ZENN-LA VOM PLANETENFRESSER GALACTUS ANGEGRIFFEN WURDE, BOT ICH MICH IHM ALS GEISEL AN, UM MEINE HEIMAT ZU RETTEN. SEITDEM JETTE ICH ALS SILVER SURFER DURCHS ALL, UM FÜR GALACTUS UNBEWOHNTE PLANETEN ALS NAHRUNG ZU FINDEN.



Beschleunigungsfaktor Ausgestattet mit kosmischen Kräften steuert er sein galaktisches Surfbrett mit Geschwindigkeiten schneller als das Licht durchs All und durchquert dabei selbst den Hyperraum.

Sonstige Stärken Seine silberne Haut ist nahezu undurchdringbar. Weder Hitze noch irgendeine gefährliche Strahlung machen ihm etwas aus. Außerdem kann er Lebewesen heilen.

Schwächen Eigentlich nur die unerfüllte Liebe zu Shalla Bal, die er auf seinem Heimatplaneten zurücklassen musste.



BESCHLEUNIGTE ZUSTELLUNG

— Nachrichten aus aller Welt abzurufen ist heute dank des Internets kein Problem. Egal welches Themengebiet oder aus welcher Region – ein Mausklick genügt, und man ist umfassend informiert. Das sieht vor 175 Jahren noch ganz anders aus. Als US-Präsident William Henry Harrison 1841 in Washington stirbt, erfahren die Bewohner im entfernten Los Angeles erst sage und schreibe 100 Tage später von seinem Ableben. Der 1850 eingeführte Postdienst per Kutsche beschleunigt die Nachrichtenübermittlung über die gleiche Strecke auf einen Monat. Elf Jahre später halbieren die Pony-Express-Reiter die Übermittlungszeit auf zwei Wochen. Die Bahn drückte ab 1869 weiter aufs Tempo: Vier Tage standen nunmehr zu Buche. Innerhalb von nur 28 Jahren bedeutet das einen Zeitgewinn bei der physischen Übermittlung von Nachrichten von 2.500 %. Noch flotter ließen sich Informationen elektronisch weiterleiten: mit dem Telegrafen. Um 1870 sind gro-

ße Teile der Erde schon verkabelt. Lückenlos ist das Netz aber keineswegs, und gerade in ländlichen Regionen muss die Strecke zwischen zwei Ämtern zeitraubend mit Boten überbrückt werden. Auch die Funktelegrafie (ab 1897) kann ein Problem nicht ausräumen: den finalen Transport vom Telegrafen zum Nachrichtempfänger, der – je nach Abgeschiedenheit – noch immer Stunden bis Tage in Anspruch nimmt. Erst der heimische Telefonanschluss sorgt – ergänzend zu Radio (ab 1919) und TV (ab 1931) – für einen direkten Austausch in Echtzeit. Der praktische Gesprächsapparat breitet sich rasant aus. 1881 erscheint in Berlin das erste deutsche Telefonbuch – mit 100 Einträgen. 1910 werden deutschlandweit schon 941.000 Anschlüsse gezählt, weltweit sind es zehn Millionen. Heute sind Telefonie, TV und Internet weitgehend miteinander verschmolzen und überall möglich – per Satellitenverbindung sogar auf dem Mount Everest. —

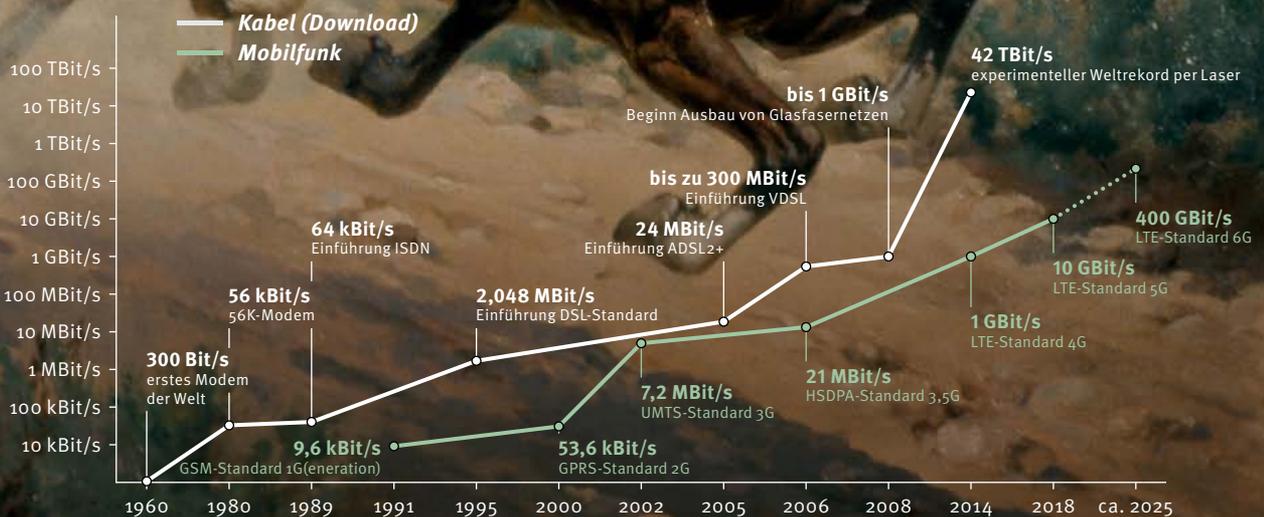
in bewegung

Innovationen im Laufe der Zeit

» Das Pferd frisst keinen Gurkensalat

Der erste jemals über ein Telefon gesprochene Satz (Telefonerfinder Johann Philipp Reis am 26.10.1861)

GESCHWINDIGKEIT DER DATENÜBERTRAGUNG



EINE BESONDERS **RUNDE SACHE**

Ohne perfekt geformte Stahlkugeln würde sich kein Lager drehen. Die Wälzkörper weisen Abweichungen nur im Mikrometerbereich auf. Eine fertigungstechnische Meisterleistung, deren Anfang mehr als 130 Jahre zurückliegt – und die heute milliardenfach für den richtigen Dreh und reibungslose Beschleunigung sorgt.

— von Denis Dilba

— Was rollt, reibt wenig – damit ist das so einfache wie geniale Grundprinzip eines Kugellagers auch schon beschrieben. Sein Standardaufbau ist seit mehr als zwei Jahrhunderten immer derselbe: ein Außenring, ein Innenring und ein Käfig, der die namensgebenden Kugeln in gleichem Abstand zueinander hält. Fertig. So sah schon das erste moderne Rillenkugellager aus, für das der Brite Philip Vaughan im Jahr 1794 das Patent erhielt. Es war für die Verwendung in Achsen vorgesehen – und damals noch eine exotisch-neue Technologie. Heute sind Kugellager längst Standardbauteile, die weltweit milliardenfach im Einsatz sind. Die größten von ihnen stecken in Autos, Flugzeugen, Windrädern und Kränen. Die kleinsten versehen in Zahnarztbohrern oder Computer-Festplatten klaglos ihren Dienst. Selbst Alltagsgegenständen wie Staubsaugern, Rollkoffern, Plattenspielern oder Küchenmaschinen verhelfen die Lager zum richtigen Dreh. Experten gehen heute davon aus, dass insgesamt über 100.000 verschiedene Bauformen und Varianten von Kugellagern existieren. Kurz: Ohne die weitgehend unsichtbaren Helden des Alltags würde die Welt ganz einfach stillstehen.

Die Kugelmühle bringt den Durchbruch

Herzstücke der Lager sind die Kugeln – im Fachjargon auch Wälzkörper genannt. Sie entscheiden darüber, wie leichtläufig ein Lager ist. So war Vaughans erstes Kugellager zwar ein technologischer Sprung gegenüber den zuvor verwendeten schwergängigen Gleitlagern für



Brachte 1883 die Entwicklung des Wälzlagers in Schwung: Friedrich Fischers „Kugelmühle“



Früher wurden die Kugelrohlinge (l.) gegossen, heute dank modernster Fertigungsmethoden in Sekundenbruchteilen aus einem Metalldraht gepresst, der zuvor in kleine Stifte (r.) gestückelt wird

Achsanwendungen. Die in seinem Lager eingesetzten, per Eisenguss handgefertigten Metallkugeln waren aber alles andere als Präzisionsanfertigungen: Sie mussten aufwendig per Hand entgratet und dann möglichst rund geschliffen werden. Im Vergleich zu heutigen Kugellagern rumpelte die Erfindung des Briten auch mehr, als dass sie wirklich leicht lief. Dieser Fortschritt wurde erst durch die Erfindung eines gewissen Friedrich Fischer möglich. Nach Jahren der Bastelei in seiner Werkstatt war es dem Schweinfurter Schlosser und Dreher 1883 zum ersten Mal gelungen, mit der von ihm entwickelten „Kugelmühle“ gehärtete Gussstahl-Kugeln exakt gleich groß, genau rund und im industriellen Maßstab zu fertigen.

Mit einer Schleiftechnik, die zuvor beim Murmelschleifen eingesetzt wurde, erreichte Fischer in der Produktion Genauigkeiten von bis zu 20 Mikrometern. Für die Zeit eine bis dato unbekannte fertigungstechnische Präzision. Zum Vergleich: Das Haar eines Mitteleuropäers ist schon 70 bis 80 Mikrometer dick. Die 1890 patentierte Kugelmühle brachte den weltweiten Durchbruch für die Kugellager – sie liefen mit Fischers Präzisionskugeln runder denn je. Denn je näher die Metallkugeln der idealen geometrischen Form kommen, desto geringer ist der Reibwiderstand, den sie bieten. Die heute von Schaeffler produzierten Kugellager-Kugeln erreichen sogar Genauigkeiten im einstelligen Mikrometerbereich. Für das menschliche Auge sind solche minimalen Unterschiede

SENSOREN AN BORD

Wälzlager waren lange Zeit das klassische Beispiel für durch und durch analoge Bauteile. Mit der Einführung von sogenannten Sensorlagern hat sich das geändert. Das in diesem Jahr mehrfach preisgekrönte VarioSense-Lager von Schaeffler stellt gleich mehrere Messgrößen für die Maschinen- und Prozessüberwachung zur Verfügung – und macht als Bindeglied zwischen Mechanik und Elektronik Industrie-4.0-Lösungen möglich. Mittels der Überwachung von Messwerten zur Drehzahl, Temperatur oder Kraftbelastung wird eine Fernüberwachung von Baugruppen möglich. Drohende Defekte lassen sich auf diese Weise in auffälligen Änderungen der Signalkurven erkennen, bevor es zu einem teuren Stillstand der gesamten Maschine kommt. Zudem können durch die digitale Dauerüberwachung bisher nötige Wartungsintervalle eingespart werden. Aktuell wird das im vergangenen Jahr eingeführte VarioSense-Lager nur als Rillenkugellager angeboten – VarioSense-Zylinderrollenlager und -Kegelrollenlager sind aber bereits in der Entwicklung.



Misst, erkennt, warnt: ein FAG VarioSense-Lager mit modularem Sensorkonzept

21,26 Meter

So weit rollte die rundeste aller Schaeffler-Kugeln. Den Rekord stellte das exakt 500 Gramm schwere und fünf Zentimeter im Durchmesser große High-tech-Produkt im Rahmen einer japanischen Fernsehsendung auf. Dem Motto der Show „Handarbeit gegen Hightech“ nach trat das Schaeffler-Team unter der Führung von Thomas Kreis, Leiter Competence Center Bearings, und Andreas Bohr, Leiter Produktentwicklung Kugellager, gegen eine Glaskugel aus einer Manufaktur in Yokohama an. Die Triondur-C-beschichtete Schaeffler-Kugel mit einer Rundheit von 160 Nanometern unterlag zwar der Glaskugel aus Japan, die 30 Meter schaffte – stellte aber trotzdem einen neuen Rekord auf: „In früheren Shows ist eine Stahlkugel noch nie so weit gerollt“, sagt Kreis. „Ein voller Erfolg. Schaeffler hat in Japan große Aufmerksamkeit bekommen“, sagt Shinzo Yotsumuto, Leiter Schaeffler Japan, den die „Niederlage“ keineswegs schmerzt. Sie war zu erwarten gewesen: Die Form der Bahn und das geringere Gewicht verschafften der Glaskugel einen Vorteil.



Die Triondur-C-beschichtete Schaeffler-Kugel mit einer Rundheit von 160 Nanometern

Schaeffler-Experten erklären dem japanischen Fernsehen Stärken und technische Details zu ihrer hochpräzisen Lagerkugel



Nachdem die Kugelrohlinge gewalzt, gehärtet, vorsortiert, vor- und feingeschliffen wurden, geht es ab in die Wäsche (Foto) und schließlich zur Endprüfung

in der Beschaffenheit der silbrig glänzenden Wälzkörper nicht zu erkennen. Nicht nur wegen der Perfektion der Oberflächen, sondern auch, weil die Kugelproduktion so rasend schnell vonstattengeht: Im Sekundentakt spucken heutzutage ratternde Maschinen schiere Massen an Metallkugeln aus.

Über sieben Stufen muss sie gehen

Rund 30 Tonnen davon verlassen täglich das Schaeffler-Werk im saarländischen Homburg. „Wir sind im Prinzip in der Lage, jeden Menschen auf der Erde mit einem Wälzkörper zu bedienen“, sagt Matthias Feld, Leiter im Werk Homburg, wo Kugeldurchmesser zwischen 3 und 17,5 Millimeter produziert werden. Im bayerischen Eltman, wo die Firma Umbra für Schaeffler fertigt, werden bis zu elf Tonnen Kugeln am Tag hergestellt – alle

zwischen 18 und 200 Millimeter im Durchmesser. Letztere werden unter anderem in Großgetrieben, beispielsweise in Windkraftanlagen, eingesetzt. Im Gegensatz zu den Zeiten von Kugelpionier Fischer kommt für die Produktion der allgegenwärtigen Wälzkörper heute aber längst keine Gusstechnik zur Anwendung. Das fertigungstechnisch anspruchsvollste Bauteil eines Lagers entsteht heute, ob klein oder groß, stets in sieben Stufen: Drahtabschnitt, Pressen, Flashen, Härten, Schleifen, Vorlappen und Endlappen.

Der Weg zur perfekten Kugel beginnt als Stahldraht. Aufgewickelt zu großen Spulen wird er auf eine sogenannte Kugelpresse gestellt, in die Maschine eingezogen und abgeschnitten. Zwei Halbkugelformen, die mit einem Druck von rund zehn Tonnen aufeinanderpressen, bringen die Drahtabschnitte dann in Kugelform. Ein Pressling mit sogenanntem Saturnring und

Tag für Tag werden allein in Deutschland über 40 Tonnen an Stahlkugeln für Schaeffler produziert. Das Foto zeigt die am Anfang des Produktionsprozesses aus zwei Halbkugeln unter hohem Druck zusammengefügte Presslinge mit dem typischen „Saturnring“



WO STAHLKUGELN AN GRENZEN KOMMEN

Stahlkugeln in Lagern für Elektromotoren oder -generatoren verschleifen vergleichsweise schnell.

„Dort auftretende Ströme können vom Außenring des Lagers über die Metallkugel zum Innenring fließen und auf Dauer Schäden an der Kugeloberfläche verursachen“, sagt Schaeffler-Produktmanager Markus Seis. Für solche Anwendungen kommen daher auch Kugeln aus Keramik zum Einsatz. Sie werden aus Keramikpulver hergestellt, das in Form gepresst und in einem Hochofen verschmolzen wird. Da der Werkstoff isolierend ist, sind Stromschäden ausgeschlossen. „Zudem weisen



Extrem hart im Nehmen, aber nicht ganz billig: Cronitect-Hybrid-Wälzlager

Keramikkugeln wegen ihrer im Vergleich zu Stahlkugeln höheren Härte eine verbesserte Notlaufeigenschaft auf“, so Seis. Sie lassen ein Lager also auch ohne Schmierfilm etwas länger ohne Schäden laufen als Stahlkugeln. Wegen ihrer teureren Produktion kosten Keramikkugeln allerdings bis zu zehn Mal mehr als ihre Verwandtschaft aus Stahl. Dafür bieten sie aber längere Wartungsintervalle. Typische Einsatzorte für Keramikkugeln sind daher Lager in Generatoren für Windkraftanlagen: Dort helfen sie, den kostspieligen Einsatz von Wartungskräften einzusparen.



Bis zu 20 Zentimeter groß sind die Kugeln, die Schaeffler in Wälzlagern montiert

Pol entsteht. Im folgenden Schritt, dem Flashen, werden diese Unebenheiten abgearbeitet – die Kugel wird runder. Anschließend werden die Rohkugeln gehärtet. Das geschieht, indem sie im Ofen erhitzt und anschließend in Öl wieder abgekühlt werden. So ordnet sich die Atomstruktur der Kugeln, was sie widerstandfähiger macht. Beim Schleifen, Vorläppen und Endläppen werden die Kugeln mit Hightech-Stoffen wie Keramiken oder auch Diamant-Pulver bearbeitet. Rundheit und Rauheit werden zur Qualitätssicherung an zufällig ausgewählten Kugeln in speziellen Messräumen geprüft. Dann folgt das Waschen, eine Oberflächenprüfung – von jeder einzelnen Kugel – und zuletzt die Verpackung.

Von Homburg oder Eltmann aus geht es zum Kunden, wo die Kugeln in unterschiedlichsten Anwendungen unsichtbar und zuverlässig ihren Dienst versehen – und die Welt auch in Zukunft in Bewegung halten.



DER AUTOR

Zu Kugellagern hat der auf Wissenschafts- und Technik-Themen spezialisierte Autor **Denis Dilba** eine gesplante Beziehung: In seinem Studium musste der Diplom-Ingenieur für Mechatronik und bekennende

Linkshänder sie unzählige Male mit Tusche zeichnen – zum Leidwesen seiner Hemdsärmel.



ANHALTEN!

Wer hat an der Uhr gedreht? Berechtigte Frage, denn obwohl wir heute durch den technischen Fortschritt mehr Zeit haben als je zuvor, scheint sie immer rascher zu vergehen.

— von Wiebke Brauer

— Zeit ist das, was man an der Uhr abliest. Zugeschrieben wird das Zitat Albert Einstein – und es wäre schön, wenn es denn so einfach wäre. Immer scheint die Zeit zu fliegen und zu fliehen, sie drängt und drückt, zerrinnt zwischen den Fingern oder wird gar gefressen und geraubt. Sie lässt sich nicht anhalten, nicht gewinnen, sparen oder gar besiegen. Und auch wenn sich schon Shakespeare, Goethe, Marx oder Proust darum sorgten, wie rasant das Leben an Tempo zulegt, ist heute das Gefühl des Gehetztseins und der Ohnmacht das zentrale Merkmal unserer modernen Beschleunigungsgesellschaft. Eile mit Weile? Das war einmal, wenn überhaupt.

Wir leben länger, dennoch ist die Zeit knapp

Dabei ist es ja nicht so, dass der Mensch heute weniger Stunden zur Verfügung hätte als noch zu Goethes Lebzeiten. Im Gegenteil! Ganz abgesehen von der Tatsache, dass, wie Forscher herausfanden, sich ein Tag auf der Erde im vergangenen Jahrhundert um eine Millisekunde verlängert hat, werden wir älter und arbeiten weniger. Die durchschnittliche Lebenserwartung in Deutschland verdoppelte sich in den vergangenen 130 Jahren – und vor rund 100 Jahren schuftete

der Mensch 57 Stunden pro Woche. Heute sind es im Durchschnitt 35 Stunden.

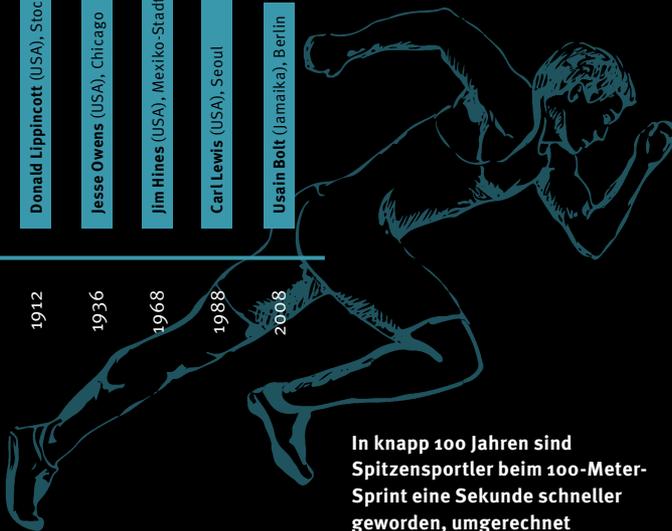
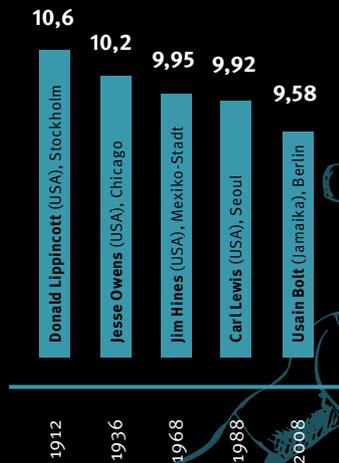
Und dann wären da noch die verkürzten Wegzeiten: „Seit der industriellen Revolution scheint die Welt auf etwa ein Sechzigstel ihrer ursprünglichen Größe geschrumpft“, schreibt der Soziologe Hartmut Rosa. Dauerte es im 18. Jahrhundert noch einen Monat, um von London nach New York zu gelangen, so benötigt man heute nur noch gut acht Flugstunden. Die Züge fahren schneller als früher, von Automobilen ganz zu schweigen. Gut, auf der anderen Seite trägt das durchschnittliche Fahrtempo in Berlin 24 Kilometer pro Stunde. So schnell waren Postkutschen zu Beginn des 19. Jahrhunderts. Da hilft wohl nur, dass der Mensch selbst einen Zahn zulegt. Tatsächlich nahm die Schrittgeschwindigkeit von Passanten in Industrieländern innerhalb nur eines Jahrzehnts um zehn Prozent zu.

Letztlich diene fast jede technische Errungenschaft – sei es nun der Fahrstuhl oder die Digitalisierung – der Zeitersparnis und hätte dazu führen müssen, dass dem Menschen mehr Zeit zur Verfügung steht. Doch nichts da! Anstatt die gewonnene Freizeit zu genießen, ächzen wir unter dem pausenlosen Termindruck. Wir hasten mittags zum Schnellimbiss und schlingen Fast Food hinunter, wischen mögliche Partner im Sekundentakt auf Tinder zur

IMMER SCHNELLER WERDEN SIEBEN BEISPIELE AUS DEM LEBEN

SCHNELLER LAUFEN

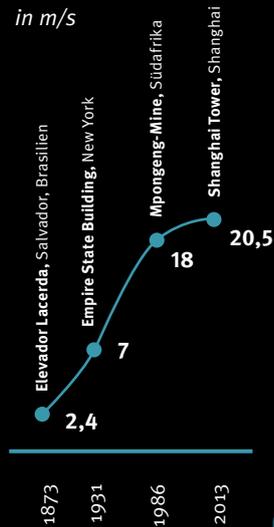
in Sekunden



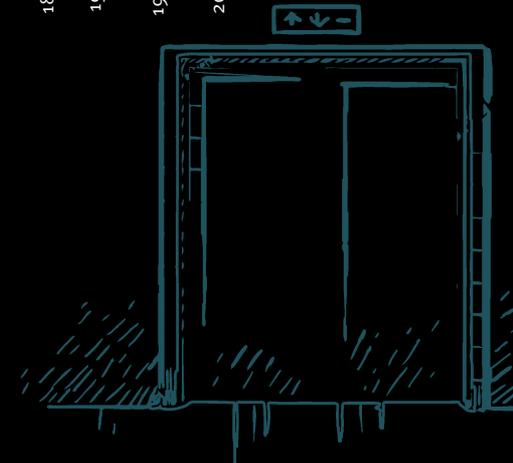
In knapp 100 Jahren sind Spitzensportler beim 100-Meter-Sprint eine Sekunde schneller geworden, umgerechnet immerhin 3,6 km/h

SCHNELLER AUF UND AB

in m/s



Immer schneller: In 140 Jahren hat sich das Tempo eines Aufzugs verachtfacht



SCHNELLER ÜBER DEN ATLANTIK SCHIPPERN

Das Blaue Band, offiziell erst 1860 eingeführt, gilt ursprünglich nur für Dampfschiffe



Sirius, Raddampfer, Großbritannien, 1838

Etruria, Ozeandampfer, Großbritannien, 1885

Bremen, 4-Schrauben-Schnelldampfer, Deutschland, 1929

United States, Passagier-Linienschiff, USA, 1952*

Cat Link V, Katamaran, Dänemark, 1998

18 TAGE 4 STD.

6 TAGE 9 STD.

4 TAGE 17:42 STD.

3 TAGE 10:40 STD.

2 TAGE 17:59 STD.

* letzter „Dampfer“, der das Blaue Band trägt

Seite, haben Freunde auf Speed Dial und schnappen uns bei Müdigkeit einen Coffee to go.

Rasender Stillstand

Das Problem ist, dass der moderne Mensch die Zeit als schwindenden Vorrat verkennt. Als eine knappe Ressource, die man schröpfen muss, solange man sie hat und die man tunlichst nicht sinnlos verstreichen lässt. Allerdings ist es mit der Wahrnehmung der Zeit auch so eine Sache. Haben wir Spaß, vergehen die Minuten wie im Fluge, schlagen wir uns mit Unerfreulichem herum, scheinen sie anzuhalten. Andersherum erinnern wir uns an das Schöne lang und breit – an das Unschöne

aber nur flüchtig. Als „subjektives Zeitparadoxon“ wird dieses Phänomen bezeichnet, in dem sich erlebte und erinnerte Zeit gleichsam umgekehrt proportional zueinander verhalten. Und wo die Zeit bleibt, während man über Stunden im Internet surft oder eine Fernsehserie guckt, das weiß der Himmel. Passend dazu prägte der kürzlich verstorbene französische Philosoph und Geschwindigkeitstheoretiker Paul Virilio bereits vor über einem Vierteljahrhundert den Begriff des „rasenden Stillstands“. Ein Zustand, in dem wir untätig verharren, während das Tempo anzieht und wir uns fühlen, als zögen die Jahre im Zeitraffer vorbei. So sitzen oder stehen wir in der Gegend herum, starren auf Telefone, tippen hurtig Nachrichten und betrachten Meldungen und Life-Videos aus aller Welt. Zugegeben, da kann man schon

SCHNELLER VON 0 AUF 100 KM/H SPURTEN

in Sekunden



Porsche hat beim 911 die Beschleunigungszeit von 0 auf 100 km/h vom Ur-Modell bis zum aktuellen in knapp 50 Jahren nahezu halbiert

Ur-Modell, 130 PS, 210 km/h Spitze, 1964

9,0

G-Modell, 165 PS, 215 km/h Spitze, 1978

7,8

Typ 964, 250 PS, 260 km/h Spitze, 1989

5,7

Typ 996, 300 PS, 280 km/h Spitze, 1997

5,2

Typ 991, 350 PS, 287 km/h Spitze, 2011

4,6

SCHNELLER RECHNEN

in OPS (Operationen pro Sekunde)

1940
Zuse Z2, Deutschland

3

1942
Atanasoff-Berry Computer, USA

30

1946
UPenn ENIAC, USA

50.000

1976
Cray-1, USA

250.000.000

2018
Summit, USA

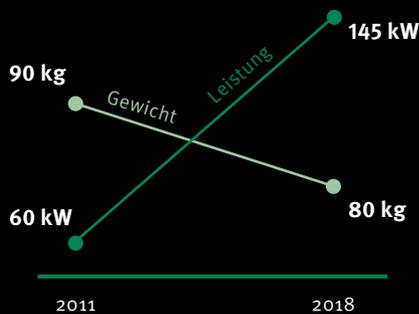
200.000.000.000.000.000

Die ersten Computer schafften gerade einmal drei Rechenoperationen pro Minute, die heutigen Supercomputer 200 Milliarden

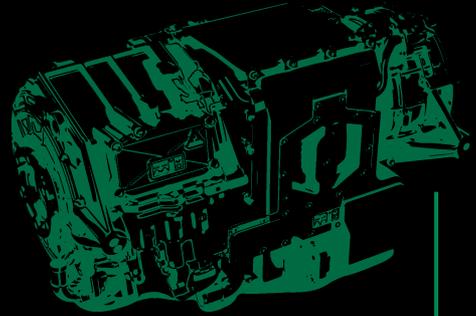


E-ACHSE VON SCHAEFFLER

SCHNELLER ANTREIBEN



Leistung rauf,
Gewicht runter:
Die heutige
E-Achse von
Schaeffler leistet
2,4-mal so viel
wie ihr Pendant
von 2011, wiegt
aber elf Prozent
weniger

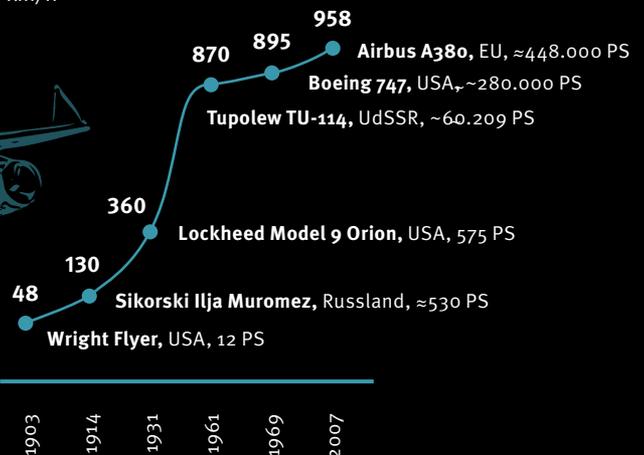


SCHNELLER FLIEGEN

in km/h



Von 48 auf 958 km/h in nicht
einmal 100 Jahren – auch
beim Passagierflug wird der
Fortschritt deutlich



ein bisschen durcheinanderkommen, was die Wahrnehmung und Organisation von Raum und Zeit angeht.

Laufend auf dem Laufenden

Und was machen wir dagegen? Gas geben. „Beschleunigung wird zum Ewigkeitsersatz“, formuliert Hartmut Rosa und meint damit, dass wir uns so sehr vor dem Tod fürchten, dass wir unter Zeitdruck – man hat ja nur ein Leben – zwanghaft alle Möglichkeiten immer rapider auszuschöpfen versuchen und dabei langsam, aber sicher erschöpfen. Die offizielle Bezeichnung dafür lautet „fear of missing out“ oder kurz „FOMO“. Gemeint ist damit die Besorgnis der Moderne, etwas Entscheidendes im Leben zu verpassen und nicht mehr auf dem Laufenden zu sein. Schuld sind erwartungsgemäß moderne Technologien wie Mobiltelefone und soziale Netzwerke – und Linderung ist nicht in Sicht: zum einen, weil

sie unablässig neue Optionen generieren, zum anderen, weil wir die Gegenwart kaum mehr genießen können. Anstatt einfach mal am Meer zu sitzen und Wellen zu zählen, schießen wir Fotos und verfüttern sie an die unersättlichen Instagram- oder Facebook-Feeds.

Nun kann man sicherlich den einen oder anderen Entschleunigungsratgeber lesen oder kurzerhand sein Telefon aus dem Fenster werfen. Sinnvoller erscheint jedoch etwas anderes: Wir könnten versuchen, wieder die Stunden schätzen zu lernen, in denen schlicht und ergreifend nichts passiert, die Langeweile herrscht und der Moment sich unendlich zu dehnen scheint. Dabei sollte man nicht den Fehler machen, Langeweile als sinnlose Zeitverschwendung abzutun. Schon Goethe hielt große Stücke auf die Langeweile: „Wenn die Affen es dahin bringen könnten Langeweile zu haben, so könnten sie Menschen werden.“ In diesem Sinne: Seien Sie ganz Mensch.

WER BREMST, GEWINN

Früher lautete ein alter Rennfahrspruch: „Wer bremst, verliert.“ Neueste Technik – wie zum Beispiel die Rekuperation in der E-Mobilität – sorgt dafür, dass man heutzutage mit negativer Beschleunigung weit nach vorn kommt. Aber bis dies so weit war, musste ein langer Weg zurückgelegt werden.

— von Roland Löwisch

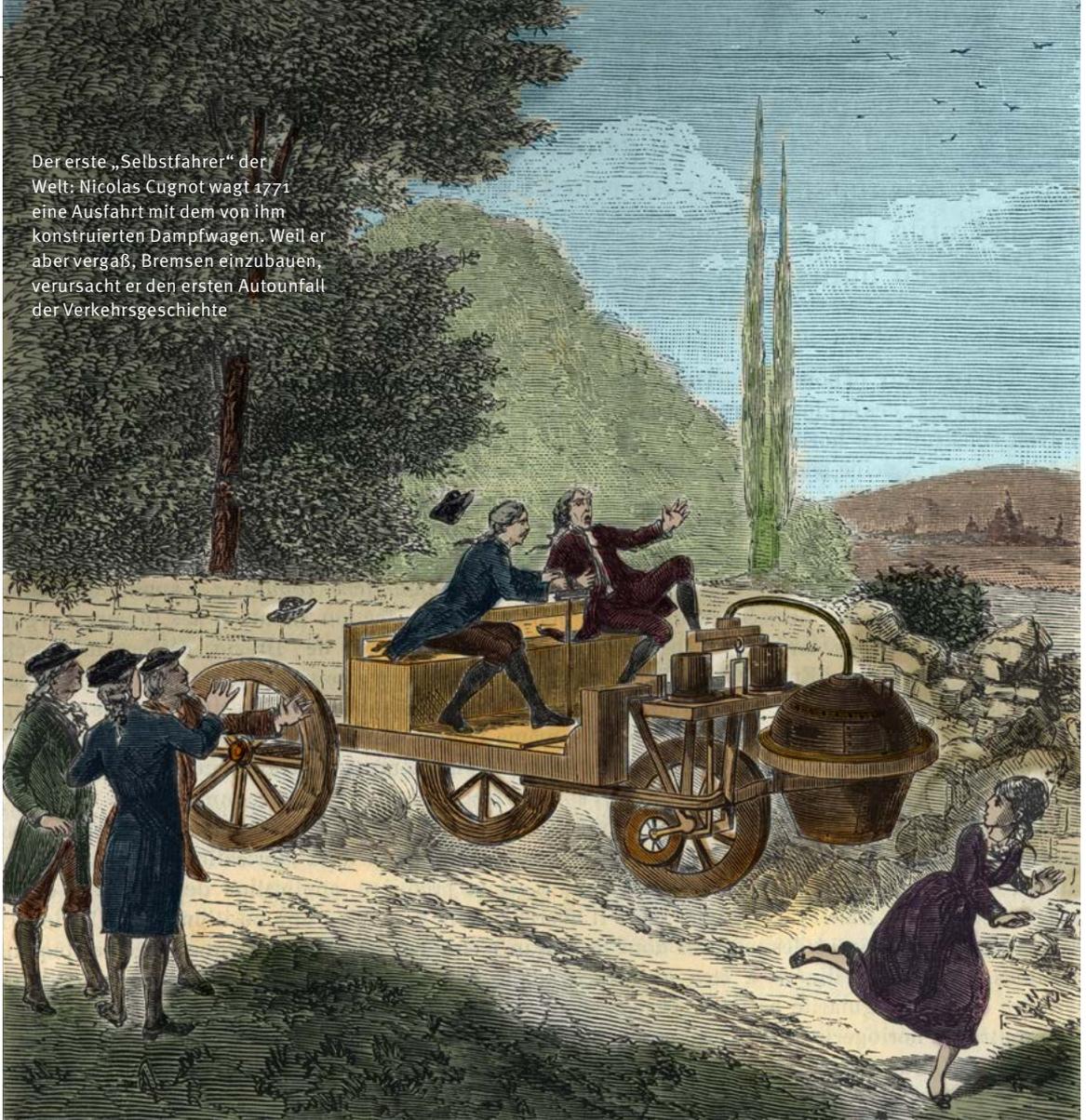
NT

— Als Nicolas Cugnot 1771 sein fahrfähiges Monster namens „Fardier“ – ein gut vier Tonnen schweres Holzgefährt mit Dampfkraft für den Kanonentransport – präsentiert, fährt sein Selbstbeweger nach ein paar Metern gegen eine Mauer. Hätte Cugnot nicht vergessen, eine Bremse einzubauen, hätte er wohl gewonnen – zumindest den Respekt der Zuschauer. Das Problem, beräuferte Vehikel zu entschleunigen, ist allerdings wesentlich älter. Es reicht zurück in jene Zeit, als Fuhrwerke immer größer und schwerer wurden und ein einfaches „Brrrrrr“ nicht mehr reichte, um Zugtiere zum Stehenbleiben zu bringen. Zunächst werden Holzprügel gegen den Boden oder die Räder gehebelt, erst ab etwa 1690 tauchen die ersten eisernen Felgenbremsen bei Kutschen auf. Auch wenn der Freiherr Drais von Sauerbronn schon 1817 eine dosierbare Schleifbremse in seine Erfindung, das Fahrrad, einbaut und Bertha Benz bei ihrer berühmten Fahrt mit dem Patent-Motorwagen ihres Mannes 1888 die

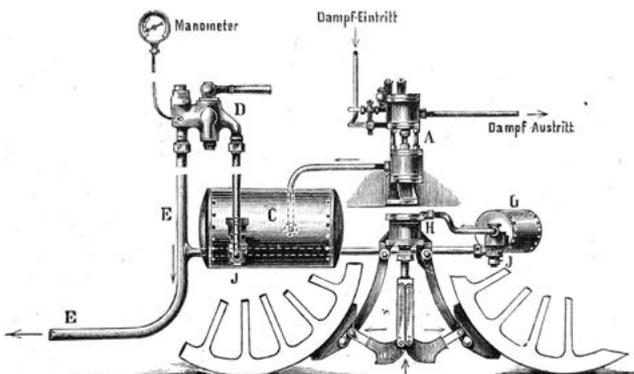
Bremsklötze schon in fast jedem Dorf mit Leder beziehen lassen muss, beginnt die Geschichte der wirklich wirksamen Bremse erst Ende des 19. Jahrhunderts.

1895 erhält der Rudolstädter Hugo Mayer ein Patent auf die erste „Flüssigkeitsbremse“, aber die Welt ist noch nicht reif für einen solchen hydraulisch betätigten und damit höchst effektiven Verzögerer. Wilhelm Maybach ersinnt 1899 die Urform der Trommelbremse, bei der Bremsbeläge von innen gegen eine Trommel gedrückt werden. Der Brite Frederick W. Lanchester erhält 1902 ein Patent auf die erste Brems Scheibe. Louis Renault verbessert 1903 aber erst mal das Trommelsystem, auch wenn er den entscheidenden Nachteil nicht verhindern kann: Bei starker Nutzung erhitzt die Trommel auf mehrere hundert Grad und dehnt sich aus. Dann liegen die Bremsbeläge nicht mehr richtig an, die Bremse arbeitet nicht mehr vollumfänglich. Ebenfalls 1903 führt

Der erste „Selbstfahrer“ der Welt: Nicolas Cugnot wagt 1771 eine Ausfahrt mit dem von ihm konstruierten Dampfwagen. Weil er aber vergaß, Bremsen einzubauen, verursacht er den ersten Autounfall der Verkehrsgeschichte



Auch die hier gezeigte Dampfbremse einer alten Dampflok übernimmt die typische Arbeitsweise vieler Bremsen: Reibflächen werden – hier durch Dampfdruck – an einen rotierenden Körper gepresst, um Bewegungsenergie abzubauen



Ernst Sachs bei Fahrrädern die Rücktrittbremse ein. Die ist ebenso simpel wie ausreichend, sodass Felgen- und Scheibenbremsen bei den Zweirädern erst viel später zum Zug kommen.

Bremsen auf Schienen

Apropos Zug: Bei ihrer Eisenbahn namens „Rocket“ von 1829 setzen Vater und Sohn Stephenson noch auf den Rückwärtsgang zum Verlangsamen, bei späteren Lokomotiven werden hölzerne Bremsklötze gegen die Räder gepresst. Als die Züge immer länger und schwerer werden, müssen auch die Anhänger verzögert werden. Hier beginnt die Zeit der „Bremsler“ – Männer, die in kleinen, den Waggons angebaute Häuschen darauf warten, den Befehl zum Bremsen zu bekommen und den Vorgang durch Kurbeln an einem Handrad in Gang setzen. Zum Glück erhält der Eisenbahnmaschinenmeister Jacob

Heberlein 1856 ein Patent auf eine Bremse, die die Drehung der Radachsen dazu nutzt, um über eine Kette die Bremsklötze an die Räder zu drücken. Dazu wird eine Leine über alle Waggons gezogen. Ist sie gespannt, sind die Bremsen gelöst – die durchgehende Zugbremse ist erfunden. Bald darauf folgt die Saugluft- oder Vakuumbremse: Unterdruck hält die Bremsen vom Rad auf Abstand, ohne Unterdruck greifen die Bremsen. Ein wenig effizientes System. 1868 präsentiert der 22 Jahre junge Amerikaner George Westinghouse die Druckluftbremse – sie wird weltweit Standard.

Moderne Hochgeschwindigkeitszüge wie der ICE nutzen zum Verringern der Geschwindigkeit zum Teil elektromagnetische Wirbelstrombremsen. Dabei sind zwei nicht magnetisierte Stahlscheiben (Rotoren) mit der Antriebswelle verbunden. Dazwischen liegt der Stator mit Magnetspulen. Wenn gebremst werden soll, wird Strom in die Spulen gespeist und damit ein Magnetfeld erzeugt, das auch die Rotoren durchdringt. Die in den Rotoren induzierten Wirbelströme erzeugen gegenläufige Magnetfelder, die die Bremswirkung hervorrufen. Das Verfahren ist annähernd verschleißfrei, allerdings nur bei hohem Tempo wirksam und muss daher von klassischen Klotz- oder Scheibenbremsen unterstützt werden. Übrigens: Für den Fall, dass Schienen extrem rutschig sind, führen Schnellzüge noch heute mehrere Hundert Kilo Sand mit, um im Notfall durch „Sanden“ die Reibung zwischen Rad und Schiene zu erhöhen.

Vormarsch der Scheibenbremse beginnt in einem Panzer

Zurück zum Auto: 1917 lässt sich der Amerikaner Malcolm Loughead – Mitgründer von Lockheed Martin – das hydraulische Bremssystem mit Bremsflüssigkeit patentieren, den Hauptbremszylinder im Jahr 1920. Das Duesenberg Model A von 1921 ist das erste Auto mit hydraulischer Bremsanlage, die auf alle vier Räder wirkt. Die erste IAA nach dem Ersten Weltkrieg im Jahr 1923 geht als „Vierrad-Bremsen-Ausstellung“ in die Annalen ein, weil der Siegeszug dieser Technik hier seinen Ausgangspunkt nimmt. 1926 sind bereits 66 Prozent aller deutschen Automodelle mit Bremsen rundum ausgerüstet – im gleichen Jahr ist der Adler Standard als erstes Serienauto Europas mit dem hydraulischen Bremssystem à la „Lockheed“ ausgerüstet. Bis Ende der 1930er-Jahre haben fast alle Autos die Öldruckbremse.

Ausgerechnet der deutsche Panzer „Tiger“ – eingesetzt im Zweiten Weltkrieg – ist das erste serienmäßige Kraftfahrzeug, das Scheibenbremsen besitzt. Zu den ersten Autos mit dieser Technik gehört die fahrende Zukunftsvision namens Tucker Torpedo von 1948. Vier Jahre später probiert Mercedes-Benz etwas ganz Neues aus: Im Training zum 24-Stunden-Rennen von Le Mans tragen

die Rennsportwagen Typ 300 SL Luftbremsen. Per Hand ausgelöst stemmen sich auf dem Dach befestigte Metallplatten dem Fahrtwind entgegen. Die Bolzen halten aber nicht – Mercedes startet ohne die Zusatzbremse.

1953 gewinnt ein Jaguar mit vier Dunlop-Scheibenbremsen das 24-Stunden-Rennen von Le Mans – diese Technik ist seitdem kaum mehr zu schlagen. Im gleichen Jahr rüsten Cadillac, Oldsmobile und Buick ihre Wagen mit Servobremsen aus. Mitte der 1960er-Jahre gibt es erstmals Bremskraftverstärker in Autos, zum Beispiel im Mercedes 300 SL und im Borgward P 100. Der Porsche 911 S ist 1966 das erste Serienauto mit innenbelüfteten Scheibenbremsen, 1971 überrascht ein BMW Alpina mit gelochten Scheiben.

Die Bremse wird Hightech

1973 steigt Bosch in die ABS-Forschung ein, die 1964 von Teldix begonnen wurde. Doch schon Mitte der 60er-Jahre ist der britische Autohersteller Jensen der erste Hersteller, der ein Dunlop-ABS einbaut – in die Kleinserie Jensen FF. 1978 bietet Mercedes erstmals als Option ein ABS in einem Großserienauto an (S-Klasse). Das System regelt den Bremsdruck automatisch, sodass die Räder nicht blockieren können und das Auto damit lenkbar bleibt. 1985 bietet Ford als erster Autobauer ABS serienmäßig an – im Top-Modell Scorpio.



Bremsen, lösen, bremsen, lösen: Die 1978 von Mercedes in Großserie eingeführte automatische Stotterbremse ABS (Anti-Blockier-System) sorgt gerade bei rutschigen Verhältnissen für sicheres Verzögern

2.000 m

beträgt der Halteweg des Kreuzfahrtriesen „Oasis of the Seas“ im Notfall. „Das ist extrem wenig“, sagt Kapitän Tor Olsen. Extrem wenig? Ja, wenn man bedenkt, dass **Schiffen 15 bis 20 Rumpflängen Halteweg** zugestanden werden. Bei der 360 Meter langen „Oasis of the Seas“ wären demnach bis zu 7,2 Kilometer erlaubt, also fast viermal so viel wie tatsächlich benötigt werden. „Gebremst“ wird auf dem Wasser allein durch Umkehrung der Schraubenrichtung.

Apropos ABS: Schon seit etwa 1952 gibt es im Flugzeugbau ein hydraulisches Bremsverzögerungssystem, ein ABS namens „Dunlop-Maxaret“. Bei ersten Tests landet eine Avro Canada CF-100 sicher auf Eis. Heute nutzt jedes große Flugzeug drei Bremsen: In der Luft werden die Bremsklappen ausgefahren, es entsteht weniger Auftrieb. Am Boden wird zuerst die Schubumkehr eingeleitet: Turbinen drehen in umgekehrter Richtung und bremsen ab, wenn auf beiden Landgestellen ein Gewicht größer als 6.300 Kilo ist (Beispiel Airbus A320). Für den Stillstand sorgen Scheibenbremsen an den Rädern, beim Airbus A320 funktionieren sie planmäßig erst ab 140 km/h.

BESCHLEUNIGUNGSHELFER KUPPLUNG

Er ist seit Jahrzehnten gelebte Praxis beim Beschleunigen eines handgeschalteten Autos: der Tritt aufs Kupplungspedal, um den nächsthöheren Gang einzulegen. In den meisten Fällen hat ein Bauteil von Schaeffler dabei entscheidenden Anteil: eine Kupplung von LuK. Weltweit läuft jedes dritte aller neuen Autos mit einer Kupplung der Schaeffler-Marke vom Band.

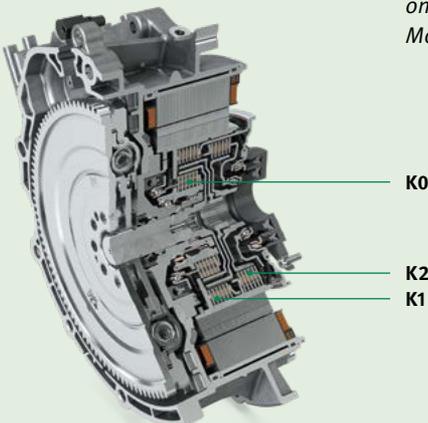
Diese Erfolgsgeschichte beginnt 1965 mit der Gründung der LuK Lamellen und Kupplungsbau GmbH in Bühl, an der Dr. Ing. Georg Schaeffler und Dr. Wilhelm Schaeffler maßgeblichen Anteil haben. Noch im Gründungsjahr führt LuK als erster

Kupplungshersteller die Tellerfederkupplung in Europa ein, die in Folge die Schraubenfedern kontinuierlich aus dem Pkw-Bereich verdrängt. 1974 bietet LuK als erster Kupplungshersteller der Welt Tellerfeder-Doppelkupplungen an – zunächst allerdings nur für Traktoren.

Durch die Weiterentwicklungen im Fahrzeugbau haben Kupplungskomponenten heute eine Vielzahl von Anforderungen zu erfüllen, die sich vor allem auf den Fahrkomfort auswirken, wie etwa schnelles Schalten, Schwingungsdämpfung und Geräuschminimierung. Dafür sorgen auch Schaeffler-Innovationen wie das Zweimassenschwungrad oder die Kupplungsscheibe mit Torsionsdämpfer und Fliehkraftpendel. Moderne Kupplungen zeichnen sich

dabei vor allem durch Drehzahlfestigkeit, hohe Übertragungssicherheit, geringe Bauhöhe, niedrige Ausrückkräfte und hohe Lebensdauer aus.

Durch seine Kupplungskompetenz ist Schaeffler auch zu einem der größten Reibbelaghersteller der Welt geworden. Viele Zehntausend Beläge verlassen täglich Werke in Deutschland, China, Brasilien und Südafrika. Die Kupplungsbeläge (160 mm bis 430 mm Außendurchmesser) laufen bei allen wichtigen Automobilherstellern in Serie. Die Industriebeläge werden in den unterschiedlichsten Anwendungen eingesetzt. Das Spektrum reicht vom 10 mm großen Kupplungsbelag (findet Verwendung in Geräten zur Datensicherung) bis hin zu Segmenten einer Kupplungs-Brems-Kombination mit 864 mm Außendurchmesser.



Die Anforderungen an das Kupplungssystem verändern sich durch die Elektrifizierung des Antriebsstrangs. Daher hat Schaeffler unter anderem ein P2-Hybridmodul mit nassem Dreifachkupplungssystem (K0, K1 und K2) zur Serienreife entwickelt. Dieses kann nahezu komplett in den Rotor des Elektromotors und somit in dessen Baulänge integriert werden. Das Gesamtsystem aus Hybridmodul, Dreifachkupplung und Getriebe fällt dadurch sehr kompakt aus.

In der Autobranche gibt es seit 1994 die elektronische Bremskraftverteilung für Vorder- und Hinterachse, 1995 kommen Stabilitätsprogramme dazu, die automatisch einzelne Räder abbremsen, wenn der Fahrer die Kontrolle zu verlieren scheint. Seit 1996 wird serienmäßig der Bremsassistent verbaut, der dem Fahrer bei einer Vollbremsung hilft. Die Elektronik ermöglicht auch die Bergabfahrlilfe (Hill Descent Control, HDC), die die Motorbremse unterstützt. Letztere bezeichnet den mechanischen Widerstand, den ein Motor einem von außen aufgezwungenen Drehmoment entgegensetzt.

Im Laufe der Zeit hat sich nicht nur die Größe der Kfz-Scheibenbremsen verändert (momentan top: Familienpizza-große 440-Millimeter-Bremsscheiben vorn beim Bentley Bentayga), sondern auch deren Material. Heute gelten Keramikbremsen als Nonplusultra: Die Hightech-Bremsscheiben aus Carbonfaser-verstärktem Siliziumcarbid rosten nicht, sind unempfindlich gegenüber Salz, sind thermisch standfest (was unter anderem Bremsfading vermeidet) und leicht, emittieren kaum Feinstaub und können 350.000 Kilometer überleben. Die besten Systeme schaffen es inzwischen, einen rund 1,5 Tonnen schweren Sportwagen in nur 30 Metern aus Tempo 100 in den Stillstand zu versetzen.

Bremsenergie sinnvoll nutzen

Die jüngste und zugleich energetisch effizienteste Art, Autos zu bremsen, ist die Rekuperation. Bei Hybrid- und reinen Elektroautos (aber auch anderen Elektrofahrzeugen wie E-Loks) wird dabei überschüssige Bewegungs- als elektrische Energie zum Laden der Antriebs- oder Bordspannungsbatterie zurückgewonnen. Bis zu einem Fünftel der Leistung von Scheiben- oder Trommelbremsen kann das elektrische Verzögern ausmachen. Der durch Technologie erzeugte Ladestrom kann so bis zu 30 Prozent zur Reichweite beitragen. Elektroautos wie der BMW i3 rekuperieren so stark, dass der Fahrer bei vorausschauender Fahrweise fast gänzlich ohne Betätigung der Bremspedals unterwegs sein kann. Auch hier wird die Technik immer fortschrittlicher: Der neue Audi e-tron beispielsweise verzögert mit fließendem Übergang zwischen elektrischem und hydraulischem Bremsen. Daniel Abt, Rennfahrer aus dem Formel-E-Team Audi Sport ABT Schaeffler, zeigte sich nach einer Testfahrt mit dem Elektro-SUV begeistert: „Bis 0,3 g verzögert der e-tron allein über die E-Maschinen – dies ist bei mehr als 90 Prozent aller Bremsvorgänge der Fall. Die abgebaute Bewegungsenergie wird also fast immer in Ladestrom umgewandelt. Als Fahrer merkt man keinen Unterschied, welche Bremse gerade arbeitet, der Übergang ist fließend. Das ist deutlich komfortabler als in unseren Formel-E-Rennwagen.“ Dort wird nur an der angetriebenen Hinterachse rekuperiert, während an der Vorderachse eine herkömmliche



„Wie Schachspielen bei 200 km/h“: Nicht nur Lucas di Grassi vom Team Audi Sport ABT Schaeffler weiß, dass eine perfekt getimte Energienutzung und -rekuperation der Schlüssel zum Sieg in der Formel E ist

1/4 Jahr

lang könnte ein Einfamilienhaus mit der Strommenge versorgt werden, die **Schaeffler-Partner Porsche bei seinen Le-Mans-Siegen 2015 und 2016** rekuperiert hat (jeweils rund 900 kWh)

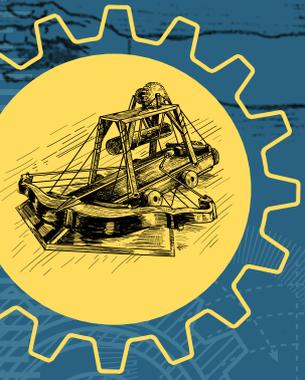
Bremsanlage zupackt. Abt: „Da ist eine perfekte Abstimmung der Bremsbalance erforderlich, um auf den engen Rennstrecken zentimetergenau agieren zu können.“

Übrigens: Nicolas Cugnot, der unglückliche Technik-Pionier vom Anfang des Artikels, hat sich letztlich auch ohne Bremse in der Weltgeschichte verewigt – als Erfinder des ersten Selbstbewegers und als Verursacher des ersten Verkehrsunfalls mit einem Automobil. —



DER AUTOR

Das letzte unangenehme Erlebnis mit einer Bremse hatte Motor-Redakteur **Roland Löwisch** im Sommer – da hat Tabanidae, dieser fiese blutsaugende Zweiflügler, zugestochen. Die technische Einrichtung gleichen Namens hat ihm dagegen schon des Öfteren den Hintern gerettet – da machte ihm die Recherche zur Kulturgeschichte der Bremse doch richtig Spaß ...



DIE DA-VINCI-FORMEL

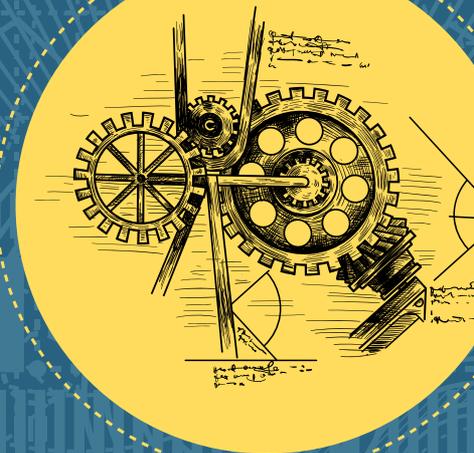
Kein anderer längst verstorbener Künstler und Ingenieur fasziniert die Menschen so sehr wie Leonardo da Vinci. Seine viel bewunderte Innovationsstärke war jedoch kein Geschenk des Himmels, sondern das Ergebnis ganz bestimmter Erfolgsprinzipien, die das Universalgenie gezielt verfolgte. Diese Prinzipien sind auch heute noch ein wahrer Innovations-Booster. Hier eine Auswahl:

1 UMGIB DICH MIT INSPIRIERENDEN MENSCHEN

Da Vinci war ein leidenschaftlicher Netzwerker – lange bevor der Begriff „Networking“ die Popularität erlangte, die er heute genießt. Sobald er sich in ein neues Thema oder Projekt verbissen hatte, zu dem ihm noch Informationen fehlten, machte sich da Vinci auf die Suche nach Kollegen und Experten, die seine Wissenslücken füllen konnten. Seine Notizbücher sind voll mit Namen unterschiedlichster Fachleute, die er unbedingt treffen wollte. Er schien damals schon intuitiv gewusst zu haben, wie wichtig das richtige soziale Netzwerk für unseren beruflichen Erfolg ist. Da Vinci schuf sich an all seinen Wirkungsstätten ein inspirierendes Umfeld aus den führenden Persönlichkeiten, Künstlern und Wissenschaftlern seiner Zeit. Diese Netzwerke und Kooperationen ermöglichten es ihm, seine Gedanken und Ideen schneller weiterzuentwickeln.

2 BAUE AUF DEN IDEEN ANDERER AUF

Lange Zeit glaubten Wissenschaftler, dass da Vincis Ideen das Resultat seines einzigartigen Erfindergeists waren. Später zeigte sich jedoch, dass viele seiner Ideen im Original gar nicht von ihm stammten. So lassen sich zahlreiche seiner Konstruktionen in ähnlicher Form bereits bei anderen Renaissance-Erfindern entdecken. Da Vinci scheute sich also nicht davor, auf fremde Ideen zurückzugreifen und sie für sich zu nutzen. Dabei ging es ihm jedoch nie um blinde Nachahmung. Wenn er sich intensiver mit einer fremden Idee befasste, tat er das immer mit der Absicht, diese zu verbessern und zu perfektionieren. Gerade die Art und Weise, wie da Vinci bestehende Stile, Theorien und Techniken hinterfragte, überdachte und verbesserte, zeigt die Brillanz und Zielstrebigkeit seines innovativen Geistes.



3 DENKE MIT DEM STIFT IN DER HAND

Da Vinci war ein begeisterter Notizbuchschreiber und praktizierte das „Denken mit dem Stift“. Als Ideenjäger wusste er, dass der nächste zündende Einfall überall auf ihn warten konnte. Deshalb trug er immer ein kleines Notizbuch bei sich. So stellte er sicher, dass er all seine Beobachtungen und Gedanken zu jedem Zeitpunkt aufschreiben und bei Bedarf schnell auf sie zurückkommen konnte. Auf Tausenden Notizbuchseiten hielt da Vinci alles fest, was er beobachtete und was ihn bewegte – seien es Ideen, Studien, Zeichnungen oder persönliche Erfahrungen. Er wusste von der Flüchtigkeit unserer Gedanken und wollte deshalb so viele Dinge wie möglich festhalten. Die Themenvielfalt in seinen Notizbüchern erleichterte es ihm später, innovative Verbindungen zwischen weit entfernten Themengebieten herzustellen.

4 VERBINDE DAS UNVERBUNDENE

Um neue Erkenntnisse für seine Flugstudien zu gewinnen, kam da Vinci auf die ungewöhnliche Idee, Fische im Wasser zu studieren. Dabei entdeckte er, dass sich die Strömungen des Wassers und der Luft stark ähneln, und machte sich diese Entdeckung für seine Flugmaschinen zunutze. In dieser als Querdenken bekannten Disziplin war da Vinci unschlagbar: Er besaß die Fähigkeit, Verbindungen zwischen Dingen herzustellen, die auf den ersten Blick gar nichts miteinander zu tun zu haben scheinen. Dank dieser Denkweise gelang es ihm auch, die Ausbreitung des Schalls mit Wellen im Wasser und die Funktion der Herzklappen mithilfe von Schleusentoren zu erklären. Indem da Vinci Bereichsgrenzen bewusst ignorierte und unterschiedliche Disziplinen verknüpfte, gelangte er zu seinen bahnbrechendsten Innovationen.

ZAHLEN & FAKTEN ZU DA VINCI

DAS UNIVERSALGENIE ...

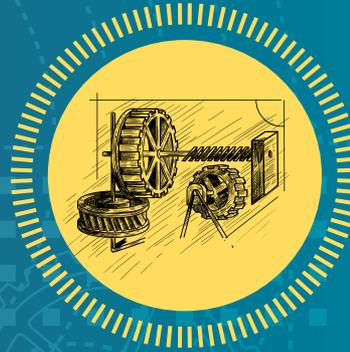
... lernt Lesen, Schreiben und Rechnen nur mühsam, Latein nie.

... wird 1452 im Toskanadorf Vinci in Italien geboren. Mutter Bauernmädchen, Vater Notar.

... entwirft 1485 Pläne für eine Stadt mit Kanalisation, Müllabfuhr und einem Pumpensystem, das jedes Haus mit Wasser versorgt.

... entwickelt zahlreiche Maschinen, u. a. die Vorläufer eines Helikopters und eines Autos, einen Gleitflieger, einen Panzer und eine Taucherglocke.

... fertigt 100.000 Zeichnungen und Skizzen an.



DER FINDIGE FIRMENGRÜNDER

Dass die Da-Vinci-Formel funktionieren kann, hat auch Dr. Georg Schaeffler (1917–1996) bewiesen. Der Firmengründer hat – höchstwahrscheinlich unbewusst – einige der Prinzipien des Universalgelehrten angewendet.

— Sich mit inspirierenden Menschen umgeben

Georg Schaeffler suchte nicht nur den Kontakt zu Ingenieuren und Technikern in anderen Firmen. Ebenso große Stücke hielt er auf seine Mitarbeiter, deren Gehirn er anerkennend als „Biocomputer“ bezeichnete.

— Auf Ideen anderer aufbauen und das Unverbundene verbinden

Querdenker Georg Schaeffler hat das Nadellager nicht erfunden, aber erst seine Idee, die Nadeln achsparallel einzeln in einem Käfig zu führen,

sorgte für den Durchbruch. Im Laufe seiner Schaffenszeit meldete er 70 eigene Erfindungen zum Patent an, die letzte kurz vor seinem Tod. Der Titel: „Tassenförmiger Ventilstoßel“.

— Den eigenen Mut proben

Wie da Vinci wusste auch Georg Schaeffler, dass ihm der nächste zündende Einfall überall kommen kann. Die bahnbrechende Idee des käfiggeführten Nadellagers kam ihm bei einer Autofahrt. Grundlage dafür war, dass Schaeffler die Bauart bestehender Nadellager hinterfragte. Und wie da Vinci folgte Schaeffler seiner Überzeugung: Mit seinen Mitarbeitern stellte er den ersten Prototypen in nur einem Tag fertig. Wenig später klopfte er bei Mercedes-Benz und Adler an, um die Novität vorzustellen. Dort war man sofort begeistert und platzierte zwei Großaufträ-

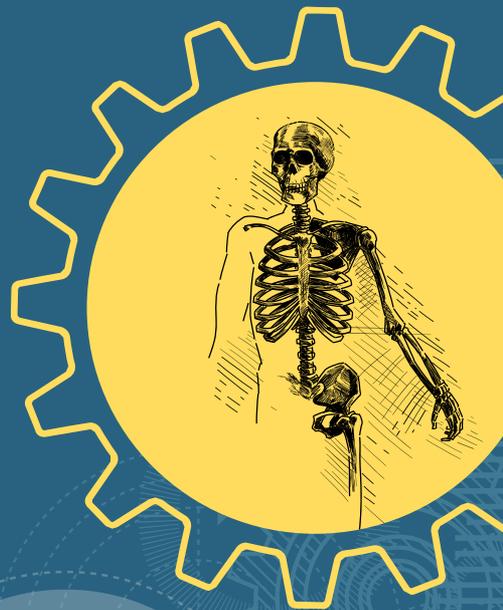
ge. Ein Erfolg, der Georg Schaeffler beflügelte, mutig neue Produkte zu entwickeln. Schon fast legendär und Ausdruck seines Pioniergeistes ist sein Bonmot, die Markenabkürzung INA mit „Immer neue Aufgaben“ zu interpretieren.



PROBE DEINEN MUT

5

Sein Mut, revolutionäre Ideen auszudrücken und dabei immer wieder die Grenzen des Etablierten zu überschreiten, ist ein weiteres Erfolgsprinzip da Vincis. All seine bahnbrechenden Ideen, Beobachtungen und Erfindungen wären ohne seine Bereitschaft, jede Form blinder Nachahmung abzulehnen und eigenen Überzeugungen zu folgen, nicht möglich gewesen. Seine eigenwilligen Bildkompositionen, visionären Flugmaschinen und anatomischen Studien sind nur einige wenige eindrucksvolle Beispiele für diesen kreativen Mut. Als überzeugter „Fortschritt-Macher“ hinterfragte er immer wieder den Status quo, erkundete neue Pfade und war seinen Konkurrenten dadurch oft meilenweit voraus. Und er ebnete den Weg von der rein ausführenden zur ausdrückenden Kunst. Das alles ist umso bemerkenswerter, wenn man bedenkt, dass er in einer Zeit lebte, in der ein Abweichen von sozialen und religiösen Normen jederzeit ernsthafte oder im schlimmsten Fall sogar tödliche Konsequenzen haben konnte.



... zieht zehnmahl in seinem Leben um.

... malt 1503–1506 die Mona Lisa, heute das berühmteste Gemälde der Welt.

... betreibt anatomische Studien und beschreibt den Aufbau des Herzens, den Blutkreislauf und das Skelett des Menschen.

... entwickelt allein 67 Begriffe für die Bewegung von Wasser.

... verfasst rund 24.000 Notizbuchseiten, viele in Spiegelschrift.

... stirbt 1519 mit 67 Jahren in Frankreich.

... sammelt die damals beeindruckende Zahl von 150 Büchern.



DER AUTOR

Jens Möller ist Innovationscoach, Autor und Keynote-Speaker. Er ermutigt Menschen und Unternehmen dazu, ihr innovatives Potenzial zu erkennen, zu entwickeln und erfolgreich für sich zu nutzen. Seit vielen Jahren beschäftigt sich Jens Möller mit dem Leben des Renaissancegenies Leonardo da Vinci und ist der Gründer des „Leonardo da Vinci Forums“, eines Thinktanks zur Zukunft der Innovation. Sein Buch „Die Da-Vinci-Formel“ ist im Redline Verlag erschienen.

» Für alles über acht Minuten ziehe ich keinen Helm auf

Der zweimalige Rallye-Weltmeister Walter Röhrl über die Nordschleife

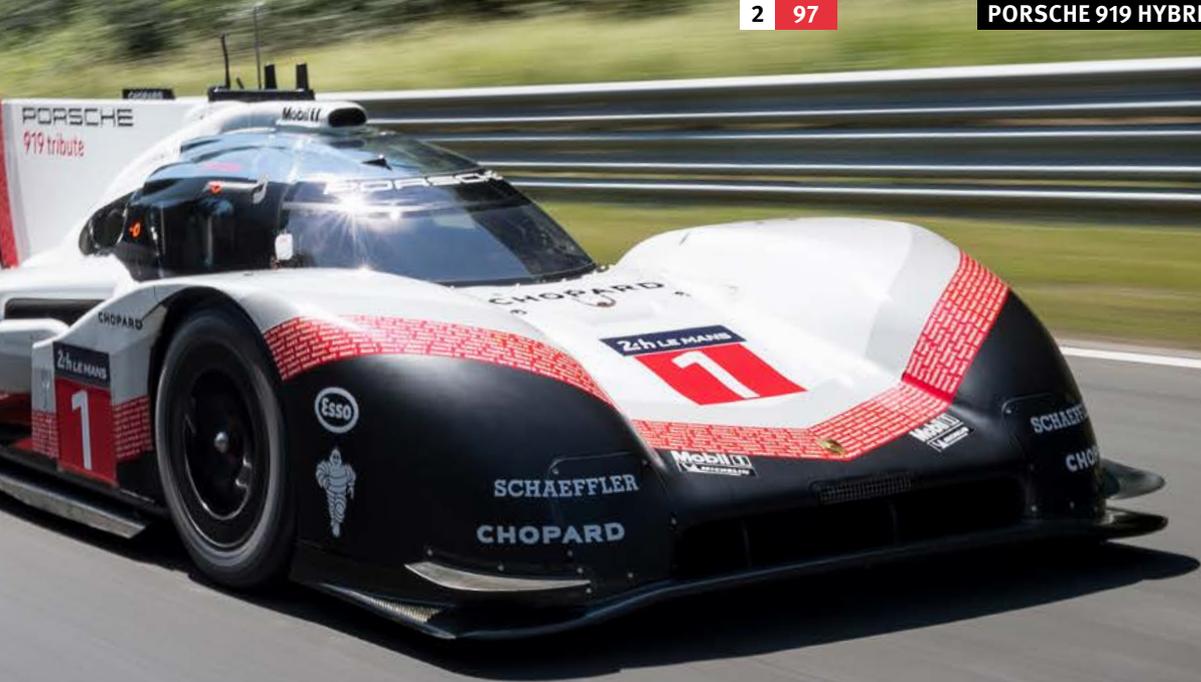
5.19,55 MINUTEN

— Mit einer neuen absoluten Bestzeit auf der Nürburgring-Nordschleife haben Schaeffler und Porsche gemeinsam bewiesen, wie leistungsfähig Hybridkonzepte sind – auch im Motorsport. Weltmeister Timo Bernhard pilotierte den Porsche 919 Hybrid Evo im Sommer 2018 im Rekordtempo durch die „Grüne Hölle“ und war dabei fast eine Minute schneller als die alte, 1983 von Stefan Bellof aufgestellte Bestmarke von 6.11,13 Minuten. „Die Nordschleife ist mir ja wirklich vertraut“, so Bernhard. „Aber ich habe sie im über 1.000 PS starken 919 Hybrid Evo völ-

lig neu kennengelernt. Die körperliche Anstrengung war wegen der Fliehkräfte extrem.“ Prof. Peter Gutzmer, Technologievorstand von Schaeffler, sagte zu dem Sensationsrekord: „Als Partner dieses Projekts sind wir unheimlich stolz. Dieses Ergebnis zeigt natürlich, wie sich die Technik seit der Rekordrunde von Stefan Bellof weiterentwickelt hat. Wir sind überzeugt davon, dass gerade die Kombination aus Verbrennungs- und Elektromotor auch in der Serie in naher Zukunft Effizienz und Fahrspaß verbinden wird – und das mit Schaeffler-Produkten.“

jetzt-zeit

Leben mit dem Fortschritt



VOLLES TEMPO AUF SCHNEE UND EIS

In vielen Wintersportarten geht es vor allem um rasante Beschleunigung und möglichst viel Tempo. Genau dafür hilft Schaeffler bei der Entwicklung neuer Kufenmaterialien und passgenauer Fahrwerkslager für Eisschnellläufer, Bobfahrer und Rodler mit.

— von Laurin Paschek

» **Schon kleinste Unebenheiten oder Kanten in der Laufschiene wirken wie eine Feile auf dem Eis und bremsen den Athleten ab**

Michael Künzel,
Projektleiter Eisschnelllauf beim FES

— Wenn Athleten im Winter auf Schnee und Eis unterwegs sind, dann geht es vor allem um Beschleunigung und Geschwindigkeit. Die niedrige Reibungszahl zwischen Sportgerät und Untergrund ermöglicht in vielen Disziplinen Geschwindigkeiten, die Sommersportler nicht erreichen. Ein Ski hat auf Schnee meist weniger als ein Zehntel der Reibung zwischen einem Autoreifen und der Straße, beim Schlittschuhlaufen verringert sich durch den Wasserfilm zwischen Kufe und Eis die Gleitreibung auf ein Minimum.

Manchmal entscheiden nur wenige Hundertstelsekunden über Sieg oder Niederlage. Deswegen kommt es im Wintersport nicht nur auf Kraft, Ausdauer und Können der Athleten an, sondern auch auf leistungsstarke Sportgeräte. Seit vielen Jahren entwickelt Schaeffler gemeinsam mit dem Berliner Institut für Forschung und Entwicklung von Sportgeräten (FES) Hochleistungskomponenten für die Nationalmannschaften des Bob- und Schlittenverbands für Deutschland (BSD) und der Deutschen Eisschnelllauf-Gemeinschaft (DESG). Die Schlittschuhe, Rennschlitten und Bobs des FES profitieren dabei vom Schaeffler-Know-how bei der Entwicklung hochfester und reibungsarmer Materialien, der Auslegung von Wälz- und Gleitlagern und der Analyse von Komponenten und Geräten mit modernster Messtechnik.

Gemeinsames Ziel ist es, für die Athleten individuell abgestimmte Sportgeräte zu entwickeln und sie für jedes Rennen an Bedingungen wie Umgebungstemperaturen, Eis- und Bahneigenschaften anzupassen.

Filmreife Schlittschuhe

Für das deutsche Eisschnelllauf-Nationalteam entwickelt Schaeffler das Material für die Schienen der Kufen, die in einen „Torpedo“ genannten Träger aus Kohlefasern eingeklebt werden. Sie haben den direkten Kontakt zum Eis und damit eine sehr wichtige Funktion. Denn über die Schnelligkeit entscheiden nicht nur die Kraft und die technischen Fertigkeiten des Eisschnellläufers, sondern auch der Film aus Wasser, der zwischen Kufe und Eis entsteht und der die Gleitreibung erheblich senkt. Er bildet sich unter anderem durch die Wärme, die die Reibung der Kufe auf dem Eis erzeugt.

„Für eine optimale Gleitfähigkeit des Schlittschuhs sind deswegen ein niedriger Reibungskoeffizient und eine geringe Wärmeleitfähigkeit des Kufenstahls wichtig“, erklärt Michael Künzel, Projektleiter Eisschnelllauf beim FES. „Dann bleibt die Wärme länger an der Kontaktstelle, sodass der erforderliche



Wasserfilm schneller gebildet wird und länger erhalten bleibt.“ Außerdem sind eine hohe Härte und Verschleißfestigkeit gefragt. „Schon kleinste Unebenheiten oder Kanten in der Laufschiene wirken wie eine Feile auf dem Eis und bremsen den Athleten ab“, erläutert Künzel, der selbst als Eisschnellläufer bei den Olympischen Spielen 1998 in Nagano und vier Jahre später in Salt Lake City dabei war. In den letzten Jahren verwendete das FES Schienenmaterial, das von Schaeffler aus weltraum-erprobtem Hochleistungsstahl gefertigt wird und diese Anforderungen sehr gut erfüllt. Für die Olympischen Winterspiele 2018 in Pyeongchang entwickelten die Ingenieure von FES und Schaeffler eine neue Legierung, die erstmals eingesetzt wurde.

Selbstoptimierende Werkstoffe

Auch die deutsche Nationalmannschaft der Rennrodler setzt auf einen neuen Werkstoff für die Gleitschienen der Rennschlitten. Schaeffler entwickelte für das FES einen neuen, kaltverfestigten Stahl, der ohne Beschichtung auskommt und sich selbst repariert, indem er beschädigte Stellen durch Dehnungsprozesse wieder aushärtet. „Unser Ziel ist, die Gleitschienen durch Wärmebehandlung, Schleifen und Biegen genau auf Athleten, Bahneigenschaften und Umgebungsbedingungen abzustimmen“, berichtet Carsten Ludwig, Projektleiter Rennrodeln beim FES. „Beschichtete Materialien sind schwieriger zu handhaben, denn irgendwann ist die Beschichtung weggeschliffen und die Materialeigenschaften verändern sich lokal.“

Die kontinuierliche Selbstoptimierung beugt Beschädigungen der Gleitschienen vor, die durch Schmutz und kleine Steinchen im Eiskanal verursacht werden und die den Rennrodel abbremsen würden. Eine niedrige

Wärmeleitfähigkeit des Stahls sorgt auch bei den Rodlern für den Wasserfilm, der die Gleitreibung senkt.

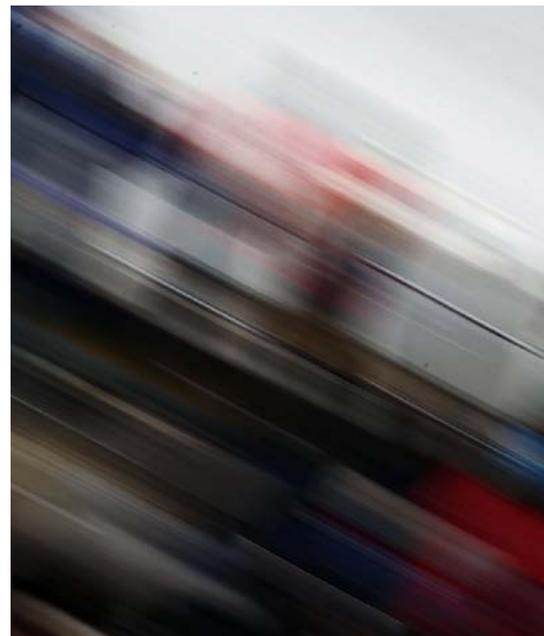
Kontaktmittel Lager

Darüber hinaus ist bei den Gleitschienen eine hohe Härte bei gleichzeitig guter Zähigkeit wichtig. „Die Geometrie der Gleitschiene soll sich im Eiskanal nicht verändern“, beschreibt Ludwig. „Für eine optimale Fahrdynamik brauchen wir den richtigen Kontaktdruck und eine konstante Kufenaufstandskraft.“ Denn wenn die Schiene den Kontakt zum Eis verliert, beginnt eine ballistische Flugphase und das Gerät lässt sich nicht steuern. Für bestmögliche Fahrdynamik sorgen auch Gelenklager zur Abstützung der Kufen, die ebenfalls von Schaeffler bereitgestellt werden.



10 Medaillen

holten deutsche Sportler 2018 im olympischen Eiskanal in Südkorea. **Im Zweierbob erkämpften die Männer und Frauen jeweils Gold. Beim Männer-Vierer gab es sogar einen Doppelsieg (Foto l.). Die Rodler holten dreimal Gold, einmal Silber und zweimal Bronze.** Die viele Jahre erfolgsverwöhnten deutschen Eisschnellläufer gingen indes – trotz ihrer Hightech-Kufen – leer aus.



Mehr als bei allen anderen Wintersportarten kommt es beim Bobfahren auf die Sportgeräte an, die von den Athleten auch als Formel-1-Wagen des Wintersports bezeichnet werden. Um bei der Kurvenfahrt mit bis zu 150 km/h in der Bahn zu bleiben, sind die Bobs zweigeteilt – in ein sogenanntes Vorderboot und ein Hinterboot, die durch ein Teilungsgelenk miteinander verbunden sind und die sich um die Längsachse zueinander verdrehen können. Die deutsche Nationalmannschaft fährt unter anderem mit Bobschlitten des FES, die Schaeffler mit Hochleistungslagern ausstattet.

So sorgen zwei Kegelrollenlager von Schaeffler mit einer hohen statischen Tragzahl und Unempfindlichkeit gegen Stöße für die erforderliche Festigkeit des Teilungsgelenks. Mit einer hohen Steifigkeit halten Lager und Gelenk das Vorderboot und das Hinterboot immer

in der richtigen Position zueinander und vermeiden ein Durchbiegen aufgrund der hohen Querbeschleunigungen, die das Fünffache der Erdbeschleunigung erreichen können. Am wichtigsten ist aber, das Lagerspiel mit der richtigen Vorspannung der beiden Lager zu minimieren. „Sobald an irgendeiner Lagerstelle Spiel ist, sinkt die Fahrleistung und der Bob wird langsamer“, berichtet Enrico Zinn, der die technische Entwicklung der Bobschlitten beim FES vorantreibt. Außerdem entwickelt Schaeffler besonders leichtgängige Gleitlager für die Lenkung. „Das ist wichtig, damit der Pilot die Lenkung direkt spürt“, beschreibt Zinn. Nur so kann er das notwendige Fingerspitzengefühl entwickeln und die Ideallinie finden, die über Sieg und Niederlage entscheidet. Und wenn die Athleten nach internationalen Wettkämpfen Trophäen in den Abendhimmel recken, hat Schaeffler daran zumindest einen kleinen Anteil.

» **Sobald an irgendeiner Lagerstelle Spiel ist, sinkt die Fahrleistung und der Bob wird langsamer**

Enrico Zinn, verantwortlich für die technische Entwicklung der Bobschlitten beim FES

Mit 150 km/h Richtung Gold:
Der deutsche Viererbob mit
Francesco Friedrich, Candy
Bauer, Martin Grothkopp
und Thorsten Margis bei den
Olympischen Spielen 2018 in
Pyeongchang



KLIMA- KAMMERSPIELE

A photograph of a car covered in a thick layer of snow, parked inside a climate chamber. The car is positioned on the right side of the frame. To the left of the car, a camera is mounted on a white tripod. The background shows the interior of the chamber with various pipes and structural elements. The overall scene is dimly lit, emphasizing the white snow.

Im Tunnel, bei Schnee und Regen oder bei eisigen Minusgraden viele Kilometer über dem Meeresspiegel – Fahr- und Flugzeuge müssen bei Wind und Wetter sicher und fehlerfrei funktionieren. Der Schlüssel zum Erfolg sind Klima-Wind-Kanäle. Sie helfen, die Entwicklungsarbeit der Ingenieure deutlich zu beschleunigen.



AUDI

Bei Audi komplettiert seit Anfang 2008 ein Klima-Wind-Kanal das Windkanalzentrum in Ingolstadt. Sein thermisches Spektrum reicht von minus 25 bis plus 55 Grad Celsius. Ein Gebläse von 2,4 Megawatt erzeugt auf der zehn Meter langen Messstrecke Windgeschwindigkeiten von 300 km/h. Sonnenlicht von bis zu 1.200 Watt pro Quadratmeter und Regensimulationen von 2.500 Litern pro Stunde stellen Extremwettersituationen unter Laborbedingungen dar. Für Autos mit Allradantrieb existiert pro Achse ein Rollenprüfstand von jeweils 250 kW (340 PS) Leistung. Sogar der Rennwagen Audi R18 TDI stand 2011 in dem Windkanal. Für die 24 Stunden von Le Mans und andere Rennen wollten die Ingenieure wissen, wie effizient das Cockpit durchlüftet wird, wie die Scheibenwischer arbeiten und wie die Windschutzscheibe verschmutzt.

Audi stellt seinen Windkanal auch Partnern aus dem Bereich Sport zur Verfügung. Unter anderem optimieren dort Skifahrer und Segler ihr Spiel mit dem Wind

— So unterschiedlich Verkehrsmittel auch sein mögen, die Erwartungen der Reisenden sind stets dieselben: so sicher und komfortabel wie möglich von A nach B zu kommen. Egal ob bei minus 30 Grad und eisigem Wind am Nordkap oder bei plus 40 Grad und 95 prozentiger Luftfeuchtigkeit in der tropischen Schwüle Singapurs, egal ob Personen- oder Lastwagen, ob Omnibus, Zug oder Flugzeug.

Wie aber können sich die Ingenieure auf solche Szenarien vorbereiten, außer, nach Lehrbuch zu konstruieren und vor Ort zu testen? Klima-Wind-Kanäle sind die Antwort. Moderne Anlagen lassen sich von minus 40 teilweise bis plus 60 Grad temperieren. Wasserberieselungen in Verbindung mit 200 km/h Windgeschwindigkeit und mehr simulieren einen Orkan, auch Schnee lässt sich im Klima-Wind-Kanal leicht produzieren. Aber eben auch 1.200 Watt Hitze pro Quadratmeter, was einer Sonneneinstrahlung von rund 50 Grad Celsius wie in der Wüste entspricht. Sogar die Luftfeuchtigkeit können die Techniker variieren – bei 95 Prozent sind tropische Verhältnisse erreicht.

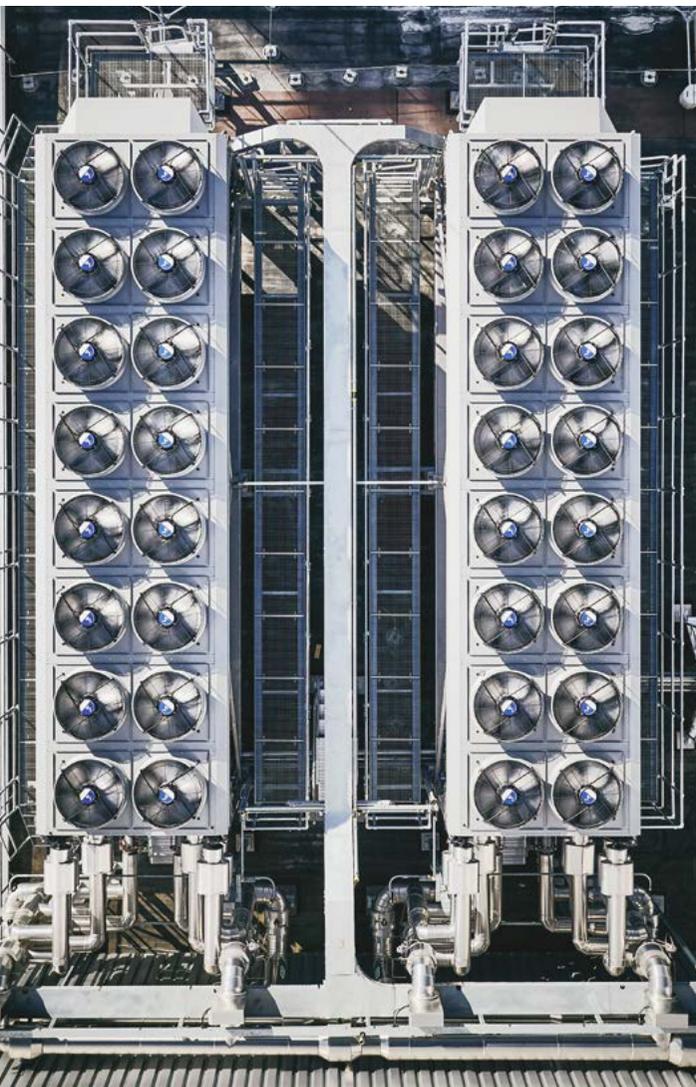
Das 2018 eröffnete Klima-Wind-Kanal-Testzentrum von Ford in Köln kann sogar „Bergsteigen“. Als erste



ihrer Art simuliert die Anlage Höhen von bis zu 5.200 Metern. Für Ford ein handfester Vorteil: Der Autobauer verkauft laut eigenen Angaben mehr als die Hälfte seiner Fahrzeuge in Regionen oberhalb von 1.000 Metern über dem Meeresspiegel.

80 % weniger Tests auf der Straße

Eindrucksvoll die Bilder, die die Tests hier wie dort liefern. Bei der Kälteprüfung bilden sich gewaltige Schnee- und Eispanzer auf den Karosserien und vor den Kühllufteinlässen. Funktionieren die Kühlsysteme? Springt der Motor an? Wie lange braucht die Heizung, um den Innenraum aufzuwärmen und die Scheiben vom Eis zu befreien? Wie lange die



FORD

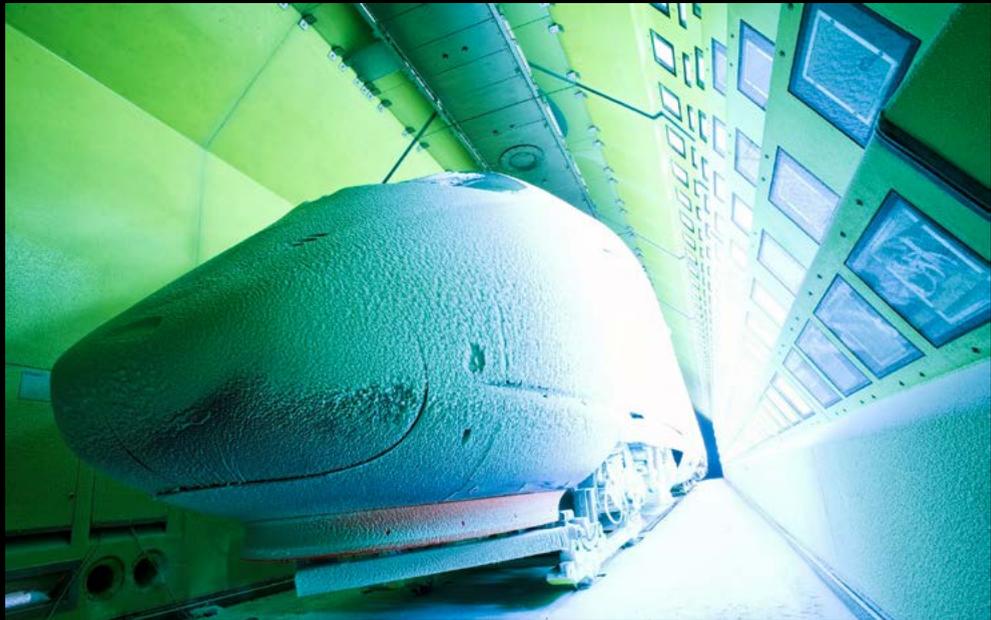
Ford hat im Mai 2018 ein neues Klima-Wind-Kanal-Testzentrum in Köln-Merkenich eröffnet. Sein Temperaturbereich reicht von minus 40 bis plus 55 Grad Celsius, 250 km/h Windgeschwindigkeit stehen für einen Hurrikan der Kategorie 5. Die Anlage kann bis zu 95 Prozent Luftfeuchtigkeit erzeugen, das Solarium arbeitet mit bis zu 1.200 Watt pro Quadratmeter. **Es ist der erste Automobil-Klima-Windkanal, in dem Höhen bis zu 5.200 Meter simuliert werden können.** Damit überprüft Ford neben der Motorkühlung auch das Kaltstartverhalten und die Funktionsfähigkeit flüssiger Betriebsmittel unter extremen Luftdruckverhältnissen. Die Ingenieure können bis zu zehn Fahrzeuge gleichzeitig testen. Die Anlage nimmt theoretisch bis zu 11 Megawatt auf – genug, um einen Ort mit 2.400 Einwohnern zu versorgen. Ford vertraut dabei auf erneuerbare, zertifizierte Energiequellen in Skandinavien.

Sorgt selbst im Sommer für arktische Kälte: die Rückkühlung des Glykolkreislaufs der Kälteanlage, die sich auf dem Dach des Transformatorenhauses befindet (l.)

RTA

Rail Tec Arsenal (RTA) ist speziell für Klimatests an Schienenfahrzeugen konzipiert. Es passen aber auch Personenwagen, Busse oder Lastkraftwagen in die 2003 neu errichtete Klima-Wind-Kanal-Anlage, **ebenso eignet sie sich für die Luftfahrt.** Auch Hersteller anderer Produkte erproben dort ihre technischen Systeme. So lassen sich Witterung und Windlasten simulieren für Fassadenteile, für Verkehrstechnik wie Signal- oder Sendeanlagen, Weichensysteme, Windschutzwände oder in der Energietechnik, etwa für Windräder oder für Transformatoren. Als akkreditiertes Prüfinstitut kann RTA auch klimaspezifische Konformitätsuntersuchungen nach internationalen Standards durchführen. Von minus 45

bis plus 60 Grad reicht die Temperaturspanne, die Luftfeuchtigkeit lässt sich zwischen 10 und 98 Prozent variieren. Eine Deckenberegnungs- und Vereisungsanlage, ein Sprühgerüst sowie mobile Schneedüsen simulieren Nässe und Eis. Seit 2013 lassen sich **sogar Cumulus- und Stratuswolken erzeugen:** 260 Düsen zerstäuben Wasser mit Druckluft zu vereisten Tröpfchen. Der kleine Windkanal erlaubt 120 km/h Windgeschwindigkeit und hat eine 33,8 Meter lange Teststrecke mit bis zu 28,7 Quadratmeter Stirnfläche. Der große Windkanal ist auf 300 km/h ausgelegt, in seine 100 Meter lange Teststrecke **passt auch eine Zuggarnitur,** und die Stirnfläche ist bis zu 32,2 Quadratmeter groß.



100 Meter lang, bis minus 45 Grad kalt – der RTA in Wien ist eine der größten Klimakammern der Welt

Klimaanlage, um ein aufgeheiztes Cockpit abzukühlen? Welche Verschmutzungen ergeben sich im Regen? Funktionieren Steckverbindungen und elektronische Geräte auch bei arktischer Kälte und extremer Hitze tadellos?

Auf der Suche nach Antworten könnten Entwickler monatelang rund um den Erdball Tests durchführen. Ein logistischer Kraftakt. Erschwerend kommt hinzu, dass Wetterphänomene in der Natur nur schwer zu kontrollieren und dauerhaft

darstellbar sind. Und genau deshalb sind die Klima-Wind-Kanäle für die Industrie so wertvoll: Entwicklungen lassen sich deutlich beschleunigen. General Motors etwa rechnet vor, dass sich mit einem Klima-Wind-Kanal 80 Prozent der klimatischen Straßentests einsparen lassen. Volkswagen betont, dass die Wege in der Zusammenarbeit zwischen

Entwicklungsbereichen wie Fahrzeugsicherheit, Design, Akustik und Komfort deutlich kürzer werden. Flugzeughersteller Boeing verfügt seit 1991 über einen Vereisungswindkanal. Zuvor mussten Flugzeuge beim Zertifizierungsprozess in 60 bis 70 Flugstunden beweisen, dass sie nicht vereisen. Nur acht Stunden sind dagegen im Boeing Research Aerodynamic Icing Tunnel (BRAIT) erforderlich. Dort sind Windgeschwindigkeiten von 463 km/h möglich und Temperaturen von null bis minus 30 Grad.

Doch nicht nur im Automobilbau und in der Luftfahrt sind Klima-Wind-Kanäle bedeutend. Der größere der beiden Kanäle des Rail Tec Arsenal in Wien ist so voluminös, dass auf 100 Metern Teststrecke auch eine Zuggarnitur mit mehreren Waggons untergebracht werden kann. Auch die Luftfahrtindustrie nutzt die gigantische Anlage. Helikopter oder Kleinflugzeuge passen ebenso wie 3,5 Meter lange Tragflächensegmente in den riesigen Tunnel

im Wiener Gemeindebezirk Floridsdorf. Die Anlage kann sogar Cumulus- und Stratuswolken erzeugen.

Auch der Endverbraucher profitiert

Ob Abnahme oder Zulassungstests in der Luftfahrt, anspruchsvolle Großraumtemperierung wie in Zügen oder die perfekte Klimatauglichkeit eines Autos: Sind alle Komponenten auch klimatisiert und zuverlässiger. Behaglichere Innenräume erfreuen die Passagiere mit optimierter Heizung, Klimatisierung und Lüftung. Wenn die Unternehmen ihre Produkte in Klima-Wind-Kanälen testen und den Verbrauch einzelner Baugruppen und damit gesamter Fahrzeuge optimieren, steigt zudem die Energieeffizienz. So leisten die Thermo-Tunnel in vielen Industrie-segmenten einen wichtigen Beitrag zu Sicherheit, Komfort und Umweltschutz.

VOLKSWAGEN

In Wolfsburg eröffnete 2017 ein neues Windkanal-Effizienz-Zentrum auf 8.800 Quadratmetern Fläche. Das Forschungszentrum beherbergt einen neuen Thermofunktionskanal und einen kombinierten Aerodynamik- und Aeroakustikkanal. Das Temperaturspektrum reicht von minus 30 bis plus 60 Grad, die Windgeschwindigkeit erreicht 250 km/h, die Luftfeuchtigkeit bis zu 95 Prozent. Der Rollenprüfstand ermöglicht Tests von Fahrzeugen bis zu 1.000 kW (1.360 PS) Leistung. Das Gebläse im Thermofunktionskanal hat 4,5 Meter Durchmesser und nutzt 2,1 Megawatt Leistung. Als Volkswagen 1965 mit einem ersten Thermo-Windkanal Geschichte schrieb (Foto unten), fielen die Zahlen deutlich anders aus: Um die maximalen 150 km/h zu erreichen (auch das immerhin schon 30 km/h schneller als ein Orkan), mussten 2,6 Megawatt an Leistung aufgebracht werden. Und das Thermometer kletterte nicht über plus 45 Grad. 1985 entstand daher mit dem Thermofunktionskanal 2 eine zweite Generation der Anlage in Wolfsburg. Diese genügte den stetig wachsenden Anforderungen allerdings auch nicht mehr – daher die dritte Generation.



IM AUGE DES STURMS

Der Sindelfinger Klima-Wind-Kanal von Mercedes-Benz im Querschnitt.

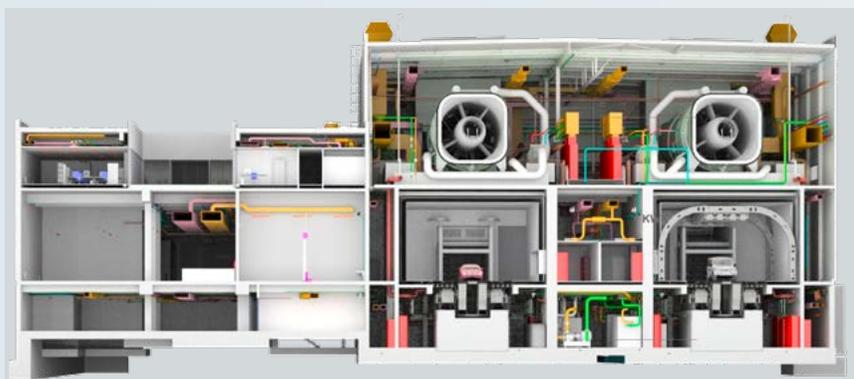
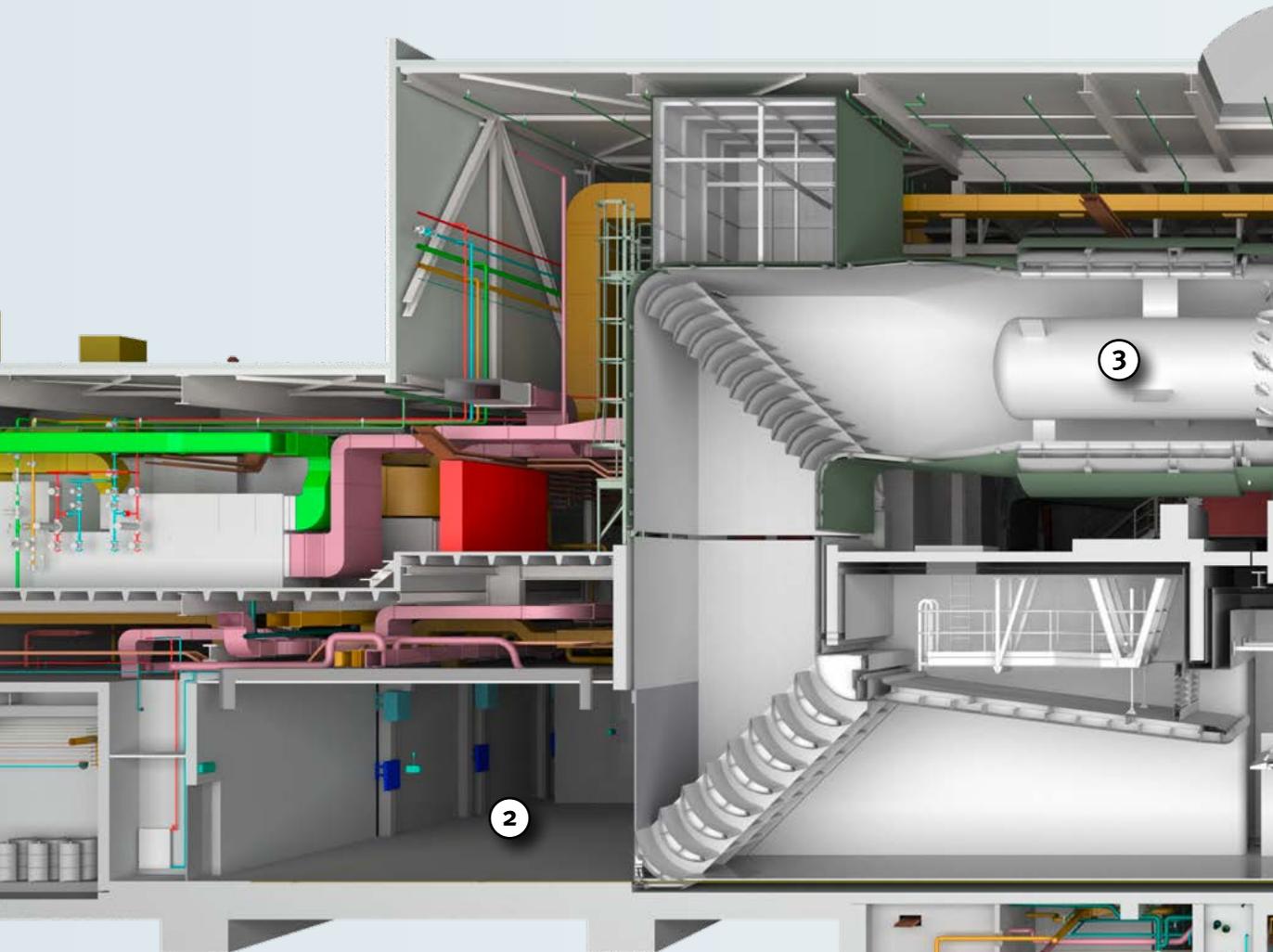
- ① Lagerraum für vortemperierte Kraftstoffe
- ② 6 Konditionierboxen und angegliederte Werkstatt. Hier werden die Fahrzeuge vorbereitet und auf die gewünschte Test-Temperatur gebracht. Im Anschluss werden die Fahrzeuge ohne Umweg und Außenkontakt in die Klima-Wind-Kammer verbracht. So kann dort direkt mit den Versuchen begonnen werden
- ③ Die Turbine erzeugt jeden gewünschten Fahrtwind bis Orkanstärke (200 km/h). Schon bei Windgeschwindigkeiten ab 100 km/h kann ein Mensch nicht mehr sicher stehen
- ④ Auf einer Fläche von 8 x 2,5 Meter lässt sich die Strahlungsstärke von 200–1.200 Watt/m² regeln. Einen vergleichbaren Spitzenwert findet man draußen nur an extrem heißen Orten wie etwa im Death Valley (USA)
- ⑤ Prüfraum mit Platz für Pkw/Nfz von Smart bis Sprinter
- ⑥ Die sogenannte „Hot Road“ lässt sich stufenlos von 50 bis 70 Grad einstellen. Sie dient dazu, die Hitze einer sommerlichen Straße zu simulieren
- ⑦ Allrad-Rollenprüfstand. Die Gesamtleistung (max. 780 kW) reicht für simulierte Geschwindigkeiten bis zu 265 km/h
- ⑧ Luftbefeuchter (55–95 % Luftfeuchtigkeit)
- ⑨ Heiz-/Kühlelement mit Temperaturspektrum von -40 bis +60 Grad Celsius
- ⑩ Schnee-/Regensimulation. Hier lassen sich stündliche Regenmengen von bis zu 80 Liter/m² ebenso simulieren wie schlimmste Schneestürme, bei denen die Flocken mit 200 km/h auf die Versuchsfahrzeuge einprasseln



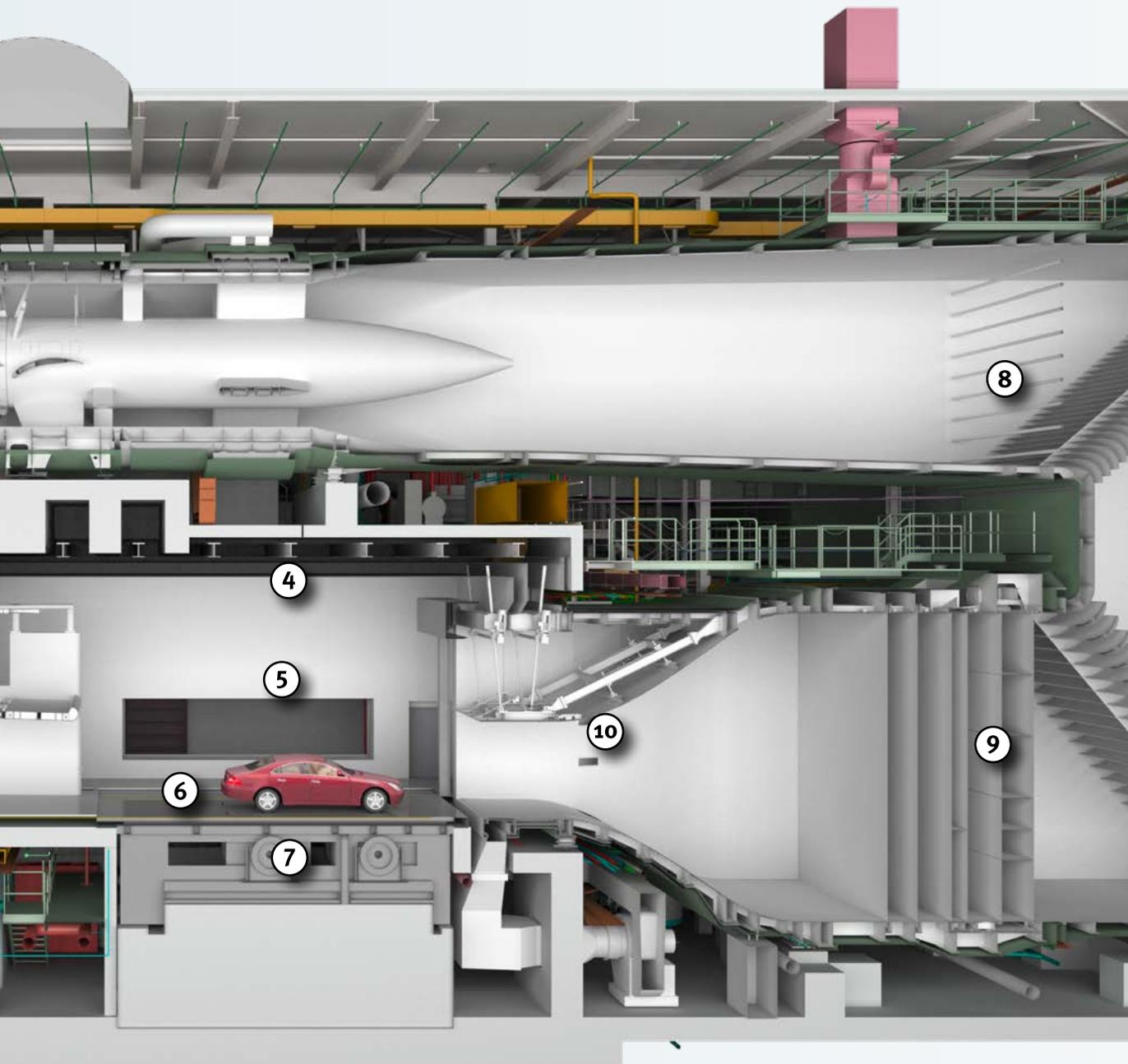
MERCEDES-BENZ

Der Stuttgarter Automobilhersteller verfügt über einen Kaltkanal für den Temperaturbereich von minus 40 bis plus 40 Grad und einen Warmkanal für den Bereich zwischen minus 10 und plus 60 Grad. Dank zweiachsiger Rollenprüfstände und Geschwindigkeiten bis zu 265 km/h können auch Sportwagen erprobt werden. Mercedes-Benz sieht in den Anlagen keinen Ersatz für die Straßenerprobung, aber den großen Vorteil, die Straßentests deutlich zu verringern und sie viel besser vorbereitet anzugehen. Varianten einzelner Komponenten können bereits bei Laborbedingungen aussortiert werden. So wird die Beschleunigung spürbar: Die

Ingenieure ersparen sich im Vorfeld langwierige Versuche auf der Straße, und der Reifegrad der Prototypen ist trotzdem höher. Neben Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren kann das Unternehmen auch Modelle mit Brennstoffzellen in seinen Klima-Wind-Kanälen erproben. Klimatisierung, Lüftung oder Komponententests stehen ebenso im Mittelpunkt wie die Simulation von langen Passabfahrten bei hochsommerlichen Temperaturen, um die Belastung der Bremsanlage zu erproben. Sogar die Fahrbahnhitze lässt sich auf 50 bis 70 Grad einstellen, um auch diesen realen Faktor im Labor zu berücksichtigen.



Die Vorderansicht im Querschnitt offenbart die beiden nebeneinander angeordneten Klimakanäle „warm“ (-10 bis +60°C) und „kalt“ (-40 bis +40°C)

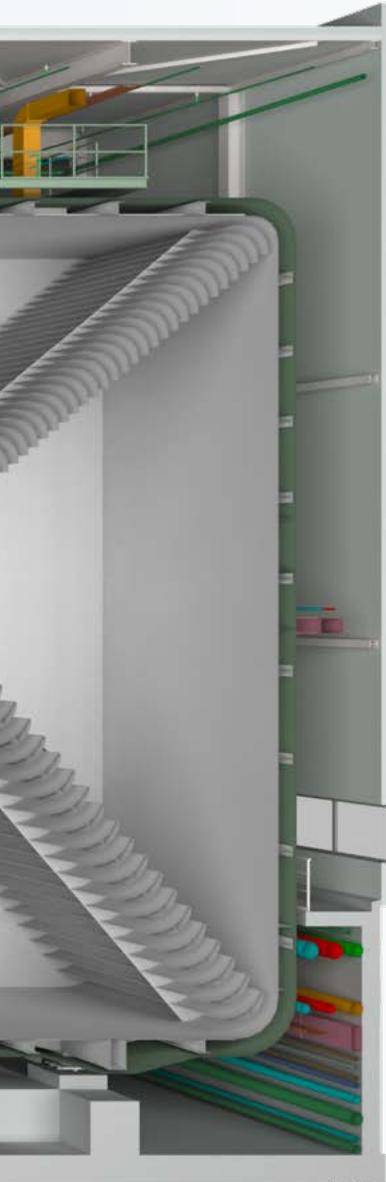


SO MACHT ES SCHAEFFLER

Auch Schaeffler nutzt verschiedene Simulationsverfahren, um Produkte zu testen und Entwicklungen zu beschleunigen. So betreibt Schaeffler sowohl in Deutschland als auch in China spezielle Prüfstände für Bahnradsatzlager, bei denen Geschwindigkeiten bis 600 km/h und Achslasten bis 40 Tonnen simuliert werden. Bei Bedarf kann dabei eine Turbine Fahrtwind mit bis zu 35 m/s simulieren. Mit der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) hat Schaeffler einen Wälzlagerschleuderprüfstand entwickelt, der 2016 eingeweiht wurde. Auf diesem werden Lager einer bis

zu 3.000-fachen Erdbeschleunigung ausgesetzt und unter den resultierenden hohen Belastungen getestet. Die Ergebnisse des Forschungsprojekts sollen die aktuelle Wälzlagertechnologie optimieren mit dem Ziel, den Energieverbrauch bei Fahrzeugen und Maschinen zu verringern.

Ein wahrer Gigant ist der Großlagerprüfstand ASTRAIOS (Foto r.) in Schweinfurt. Mit ihm können Großlager bis 15 Tonnen und 3,5 Meter Außendurchmesser mithilfe eines breiten Simulationsprogramms unter pra-



VOM EIFFELTURM ZUR KLIMAKAMMER

Vor dem ersten Windkanal steht der freie Fall: Gustave Eiffel geht als einer der ersten Ingenieure der Aerodynamik auf den Grund. 1905 lässt er von der zweiten Plattform des nach ihm benannten Turms (Foto oben) verschiedene Metallplatten fallen. Die Ergebnisse überzeugten zwar, die Messmethode ist jedoch stark wetterabhängig. Eiffel zieht daher 1909 in das von ihm konstruierte Laboratoire Aerodynamique Eiffel um, eine Art offener Windkanal, in dem über eine Turbine Außenluft angesaugt wird, inklusive Temperatur- und Druckschwankungen der Umgebung. Daher stößt die Präzision schnell an ihre Grenzen. Beim etwa zeitgleich entwickelten Prüfverfahren des deutschen Ingenieurs Ludwig Prandtl (Mitte) ist das anders. Dieser setzt bei Strömungsforschungen auf einen geschlossenen Kreislauf, in dem die Luft beschleunigt wird. Seine Ergebnisse sind nicht nur exakter, die Tests sind auch wiederholbar. Schnell wird diese Bauweise zum internationalen Standard. Noch heute gilt Ludwig Prandtl weltweit als „Vater der Aerodynamik“. Im Fokus der Forschung steht zu Beginn des 20. Jahrhunderts die noch junge Fliegerei.



Nach dem Ersten Weltkrieg werden aber auch immer mehr Autos stromlinienförmig (Foto unten: Edmund Rumplers „Tropfenwagen“ aus dem Jahr 1921 mit dem noch heute vorbildlichen cW-Wert von 0,28). 1965 kombinierte VW in Wolfsburg erstmals Klimakammer und Windkanal. Der Wind- und Wetter-Simulator blieb viele Jahre ein technischer Vorreiter.



xisähnlichen Bedingungen getestet werden. Bei der Entwicklung des elektromechanischen Wankstabilisators hat Schaeffler bereits den „Prüfstand der Zukunft“ genutzt, ein Gemeinschaftsprojekt mit dem Fraunhofer-Institut LBF. Dabei wandert die Prüfumgebung wie das Produkt selbst als digitaler Zwilling in den Rechner. Auf diese Weise lassen sich kostenintensive Prüfstandsbelegungszeiten signifikant verkürzen und Prozesse allgemein beschleunigen, weil Hindernisse frühzeitig erkannt und ihre Ursachen identifiziert werden können.





VOLLE FAHRT VORAUSS

Leinen los. Die Welt ist im Auf- und Umbruch. Forschung, Entwicklung, Produktion, Logistik – in allen Bereichen wird aufs Tempo gedrückt. Auch bei Schaeffler.

— von Leopold Wieland

— Elektrofahrräder sausen über den Marmorboden, E-Boards werden auseinandergefaltet und startbereit gemacht, Laptops und Tablets herumgereicht. Willkommen zum Schaeffler Venture Forum 2018! Unter dem Motto „gemeinsam schneller, beweglicher, mutiger“ hat der Technologiekonzern im Herbst Start-ups relevanter Branchen wie „Smart Factory/Digitalization of Production“, „Mobility Concepts“ oder „New Material Solutions“ in die Firmenzentrale nach Herzogenaurach eingeladen. Das Ziel: „Wir prüfen, welches Start-up für Schaeffler hinsichtlich Technologie, Geschäftsmodell und Unternehmertum interessant ist. Wenn alles passt, entwickeln wir die Geschäftsidee gemeinsam weiter“, skizziert Professor Tim Hosenfeldt, Leiter Technologie Strategie & Innovation bei Schaeffler.

Der Wunsch, sich mit einem starken Partner wie Schaeffler zusammenzutun, ist groß bei innovativen Durchstartern. Insgesamt 113 Bewerber aus 24 Ländern haben mit ihren Ideen um die Teilnahme am Schaeffler Venture Forum 2018 gebuhlt. 14 davon sind später eingeladen worden – zu einer Begegnung auf Augenhöhe. Denn bei Schaeffler ist man sich der Bedeutung dieser jungen Firmen bewusst. „Die Welt der Zukunft wird sehr stark von neuen Ideen, Techniken und Geschäftsmodellen geprägt sein“, so Professor Peter Gutzmer, Technologievorstand von Schaeffler. „Und es gibt eine weltweite Bewegung, die sich Start-up nennt, und die gerade dabei ist, diese zukünftige Welt zu erschließen. Wir suchen Kontakt zu den jungen Unternehmen und versuchen neue Ideen, neue Geschäftsfelder, neue Vorgehensweisen gemeinsam mit ihnen zu finden.“



Schaeffler prüft Start-ups: Technologievorstand Peter Gutzmer (r.) und Innovations-Chefstrategie Tim Hosenfeldt (M.)

So wie mit dem IT-Unternehmen Autinity Systems aus Chemnitz, das Schaeffler im Anschluss an sein erstes Venture Forum 2017 gekauft und integriert hat. Durch den Schulterschluss ist Schaeffler auf dem Gebiet der digitalen Zustandsüberwachung und Maschinendatenerfassung deutlich schneller vorangekommen als im Alleingang. Und das ist nur ein Beispiel von vielen, wie Schaeffler Schritt für Schritt agiler, beweglicher wird, um sich erfolgreich am Markt zu behaupten.

Forschung und Entwicklung digital beschleunigt

Wichtige interne Beschleunigungsfaktoren sind und bleiben für Schaeffler nach wie vor die 18 unternehmenseigenen Forschungs- und Entwicklungszentren. Dort erfinden und erschaffen 6.400 Mitarbeiter fortlaufend neue Produkte und Dienstleistungen und

optimieren bestehende Technologien. 2.383 Patente hat Schaeffler allein 2017 eingereicht, Platz zwei im nationalen Ranking noch vor allen Autoherstellern und dem Elektronikgiganten Siemens. Damit unterstreicht Schaeffler seine Rolle als globaler Innovationsführer vor allem bei E-Mobilität und Industrie 4.0. Aber auch smarte Services mit effizienten, innovativen Digitallösungen hat Schaeffler in den vergangenen Jahren als neue Geschäftsfelder etablieren können.

Um Maschinen und Anlagen schneller und damit kostengünstiger entwickeln zu können, setzt Schaeffler hochmoderne Berechnungs- und Simulationsprogramme auf. Erst wenn im virtuellen Testbetrieb sämtliche Komponenten wie geplant zusammenspielen, werden die sogenannten „Digitalen Zwillinge“ zu „Realen Zwillingen“. Diese Prototypen weisen einen extrem hohen Reifegrad auf, was den Weg zum

Endprodukt signifikant verkürzt. Dank seiner umfassenden Simulationen über den gesamten Produkt-Lebenszyklus (Design, Bau, Betrieb, Wartung, Wiederverwertung) agiert Schaeffler effizienter, punktgenauer und schneller. Das hat maßgeblichen Anteil daran, neuen Produkten schneller zur Marktreife zu verhelfen und sie kostengünstiger anbieten zu können.

Enger Schulterschluss mit dem Kunden

Ein weiterer, grundsätzlicher Spar- und Beschleunigungseffekt, den Schaefflers digital basierte Entwicklungsarbeit hat: Der Kunde kann flexibel in jeden Erkenntnisfortschritt mit einbezogen werden – und wird es auch. Funktion, Konstruktion, Materialtypen und -stärken: Auf jede Komponente, auf jedes Detail hat der Auftraggeber während der Forschungs- und Entwicklungsphase



Erst virtuell erschaffen und testen, dann erst real bauen: In der Produktentwicklung setzt Schaeffler überall auf hochmoderne Berechnung und Simulation

18

konzerneigene **Forschungs- und Entwicklungszentren** betreibt Schaeffler weltweit

2.383

neue **Patente** hat Schaeffler 2017 eingereicht

6.400

der 92.000 **Mitarbeiter** forschen und entwickeln für Schaeffler

» Wenn wir die Herausforderungen der Zukunft bewältigen wollen, dann geht das nur gemeinsam mit unseren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern

Corinna Schittenhelm,
Personalvorstand und
Arbeitsdirektorin

direkten Einfluss. Dank der realitätsgetreuen Schaeffler-Simulationen kann er permanent verfolgen und entscheiden: Was kann mein neues Produkt in dieser oder jener Auslegung? Wie lange wird es so oder so konfiguriert halten? Und: Was genau wird es mich jeweils kosten? Ergebnis dieses individuell zugeschnittenen, anpassungsfähigeren und unterm Strich schnelleren Vorgehens: Beide Entwicklungspartner, Kunde und Schaeffler, gewinnen Zeit und sparen Geld.

**„Fabrik von morgen“
markanter Meilenstein
für Industriewelt**

Schneller und agiler will Schaeffler aber nicht nur bei der Entwicklung werden. In seiner weltweit ersten „Fabrik von morgen“ will der Konzern seine Ideen für

beschleunigte Produktionsprozesse umsetzen. Seit November 2017 wird diese „Fabrik von morgen“ in Xiangtan, in der Provinz Hunan im Südosten von China, errichtet. Geplante Eröffnung: 2019. Der Neubau in Xiangtan ist der Struktur eines Schmetterlings nachempfunden. Die vier Hallen bilden dabei die Flügel, während sich in den Gebäuden des Körpers unter anderem die Verwaltungsbereiche befinden werden. Durch diese Anordnung bleibt die Produktion in engem Austausch mit allen unterstützenden produktionsnahen Bereichen bis hin zu den Bereichen Finanzen und Einkauf. Und auf diese Weise wird zudem die interne Kommunikation verbessert. Der Produktionsbereich ist modular aufgebaut. So können neue Module für Produktionslinien und Produktportfolios leicht hinzugefügt werden. Aktuell plant Schaeffler, in seiner „Fabrik von morgen“ in China



Praxistest: Beim Venture Forum von Schaeffler präsentieren ausgewählte Erfinder ihre innovative Technologie. Wer dort überzeugt, hat beste Chancen auf eine Zusammenarbeit mit dem Konzern

Systeme für Motoren, Getriebe und Fahrwerkssysteme für die Automobilindustrie zu bauen.

Die „Fabrik von morgen“, genauso wie die noch weiter in die Zukunft weisende weitestgehend selbstorganisierte, autonome Produktion auf Basis cybertronischer Systeme (siehe dazu auch Infoelement „mecPro2“), all das funktioniert letztlich nur so gut wie die Menschen, die darin beziehungsweise dafür arbeiten. Wen wundert es da, dass in dem Schaeffler-Zukunftsprogramm „Agenda 4 plus One“ die Initiativen „Qualifizierung von morgen“ und „New Work“ wichtige Eckpfeiler sind. Für Corinna Schittenhelm, Personalvorstand und Arbeitsdirektorin bei Schaeffler, steht fest: „Wenn wir die Herausforderungen der Zukunft bewältigen wollen, dann geht das nur gemeinsam mit unseren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern.“

Ein Aspekt von New Work: Es ist nicht mehr wichtig, wo die Arbeit erledigt wird, sondern wie. „Wir haben keine Präsenzkultur, sondern eine Projektkultur“, sagt Bernd Wollenick, Leiter Sondermaschinenbau

in Erlangen. Im Sommer auf der großen Dachterrasse arbeiten? Warum nicht! Gute Laune sorgt für gute Ergebnisse. „Beim Output haben wir einen Riesensprung gemacht“, berichtet Wollenick, „die Effizienz der Arbeiten ist gestiegen.“

Kunden schneller und flexibler beliefern

Wie konsequent, wie schnell und agil Schaeffler Richtung Zukunft unterwegs ist, hat der Konzern im Jahr 2018 ganz besonders auf dem Gebiet der Logistik eindrucksvoll demonstriert. Nur zehn Tage nach der Eröffnung des Europäischen Distributionszentrums Mitte (EDZ) in Kitzingen begann der Konzern letzten Sommer in Halle/Saale bereits sein nächstes hochmodernes Neubauprojekt: ein Montage- und Verpackungszentrum für seine Sparte Automotive Aftermarket. Im Frühjahr 2020, genau wie das EDZ Mitte nach nur 20 Monaten Bauzeit, soll der neue Standort einsatzbereit sein. Investitionssumme beider Großprojekte: 290 Millionen Euro (110 Kitzingen, 180 Halle).

Material und Waren schneller als bisher einlagern, neu zusammenstellen, neu verpacken und wieder ausliefern: Das ist für Schaeffler in Kitzingen wie in Halle Hauptziel. „Beschleunigte Durchlaufzeiten“ nennen Logistikexperten das. Wichtigster Zweck der neuen Großraumlager: Die Kunden schneller und kostengünstiger zu beliefern und damit zufriedener zu machen. Das wird in Kitzingen so möglich: Bislang bekamen Industriekunden von Schaeffler ihre Lieferungen von bis zu 17 verschiedenen Versandstellen, jetzt beliefert sie nur noch eine. Und: Binnen 24 bis maximal 48 Stunden nach Bestellung einer Ware ist sie heute beim Empfänger. Digitale, voll automatisierte Prozesse, dazu modernste Einrichtung mit Hochregallager, Kleinteilelager, Elektrobodenbahn, Robotik-Applikationen und Sequenzierungstower machen all das möglich.

Mit seinem neuen Montage- und Verpackungszentrum in Halle an der Saale optimiert Schaeffler seine Prozesse im Automotive-Aftermarket-Sektor und verkürzt Durchlaufzeiten signifikant. Wie Kitzingen liegt

das sogenannte AKO (Aftermarket Kitting Operation = Ersatzteilmarkt-Ausrüstungs-Betrieb) verkehrsgünstig in der Mitte Deutschlands und verfügt über eine hochmoderne Infrastruktur. Mit seinem voll automatisierten Palettenlager soll der Standort Halle zum wichtigsten Versorgungspunkt für alle europäischen Regionallager von Schaeffler Automotive Aftermarket werden und gleichzeitig zum Regionallager für Deutschland, Österreich und die Schweiz – mit 40.000 unterschiedlichen Artikeln für Pkw

und Nutzfahrzeuge. 70 Millionen Ersatzteil-Kits sollen von dort pro Jahr verschickt werden. „Mit diesem Zentrum erfüllen wir die Anforderungen unserer Kunden noch verbindlicher, schneller und flexibler“, sagt Michael Söding, Vorstand Automotive Aftermarket bei Schaeffler.

Auszeichnung für neue Logistik-Software-Lösung

Schneller und agiler geworden ist Schaefflers Logistik auch durch

ATS. Das Kürzel steht für „Abruf- und Transportsystem“. Diese neue digitale, intelligent vernetzte Anwender-Software-Lösung wurde als eine der besten logistischen Innovationen des Jahres 2018 ausgezeichnet. Denn das ATS, das Schaeffler momentan weltweit in immer mehr seiner Werke einführt, bewirkt, dass komplexeste Prozesse beim Warenfluss vom Materiallager zur Produktfertigung deutlich besser planbar, regelbar, überwachbar, fehlerfreier und kostengünstiger werden und Schaeffler auch da noch schneller wird. „Ich bin überzeugt davon, dass bei nahezu allen Schaeffler-Produkten, bei allen Schaeffler-Services, aber auch bei den Schaeffler-Prozessen in der Produktion immer mehr mobile Anwendungen wie ATS zum Tragen kommen“, betont der Schaeffler-Vorstandsvorsitzende Klaus Rosenfeld.

Gut möglich, dass auch eine Innovation aus dem Schaeffler Venture Forum 2018 von den beschleunigten Prozessen des Technologiekonzerns profitieren wird. Schaeffler-Technologievorstand Gutzmer ist zumindest zuversichtlich, dass zwei bis drei der dort angetretenen Start-ups in enger Zusammenarbeit mit Schaeffler weitergeführt werden können.



PROJEKT MECPRO²

Das von der Bundesregierung geförderte Industrie-4.0-Forschungsprojekt mecPro², bei dem Schaeffler eine führende Rolle innehat, steht als Kurzform für „Modellbasierter Entwicklungsprozess cybertronischer Produkte und Produktionssysteme“. Erarbeitet hat es Schaeffler gemeinsam mit der TU Berlin, der TU Kaiserslautern, CONTACT Software, Continental, Daimler, em engineering methods, Siemens und Unity. Das Grundprinzip von mecPro²: Durch ein gemeinsames Systemmodell werden Produkt und Produktionsmodell (z. B. ein Zylinderkopf und eine Zylinderkopf-Fertigungsmaschine) als logische Einheit betrachtet, parallel entwickelt und miteinander vernetzt gebaut. Die verschiedenen Ingenieursdisziplinen sollen so besser vernetzt werden, um Entwicklungsprozesse zu optimieren, Doppelarbeit und Fehler zu vermeiden. Am Ende sollen Maschinen, die mittels künstlicher Intelligenz automatisiert und selbstständig miteinander kommunizieren, autonom und kooperativ Produkte herstellen.



DER AUTOR

Leopold Wieland ist Redakteur der Kommunikationsagentur Speedpool in Hamburg. Das Thema Beschleunigung interessierte den Motorsport-Journalisten schon immer. Anfangs ging es für ihn nur darum, die Stützräder an seinem Kinderfahrrad so schnell wie möglich loszuwerden. Doch das hat gedauert. Umso faszinierender ist für ihn, wie rasant die Industrielwelt von heute auf neuen Wegen vorwärts stürmt.



SO GEHT BESCHLE

Viele sprechen vom Technologietransfer aus dem Motorsport – wie so etwas aussehen kann, demonstriert der Automobil- und Industrielieferer Schaeffler mit dem Konzeptfahrzeug Schaeffler 4ePerformance. Herausgekommen ist ein wahrer Beschleunigungsgigant, der seine gewaltigen 1.200 Pferdestärken höchst intelligent auf die Straße bringt.

— von Carsten Paulun



UNIGUNG

— Es ist ein ganz normaler Tag auf dem Hochgeschwindigkeitstestgelände im italienischen Nardo. Grillen zirpen, die Sonne brennt noch nicht mit voller Kraft. Wir haben Frühjahr. Aus der Boxengasse rollt ein recht unscheinbares Fahrzeug in Richtung Teststrecke. Es erinnert an einen klassischen Tourenwagen. Nur warum ist der so leise? Die Antwort ist einfach: Es ist ein Elektroauto, aber nicht irgendeines, sondern das Konzeptfahrzeug 4ePerformance von Schaeffler. Am Steuer Lucas di

Grassi. Als der Formel-E-Champion der Saison 2016/2017 das „Gaspedal“ durchdrückt, schießt weißer Rauch aus jedem der vier Radkästen und umhüllt den Schaeffler 4ePerformance wie der weiße Rauch den Schornstein der Sixtinischen Kapelle, wenn ein neuer Papst gewählt wurde. Nur dass hier kein irdisches Kirchenoberhaupt zu sehen ist, sondern ein grün-weiß lackierter Elektrolide. Der 4ePerformance reißt die 200-km/h-Marke aus dem Stand in unter sieben Sekunden. Zum

Vergleich: Das deutsche Fachmagazin „auto motor und sport“ listet den Hybridsportwagen Porsche 918 Spyder mit 7,4 Sekunden als schnellsten serienmäßigen 0-auf-200-Sprinter.

**Vier E-Motoren,
jeder leistet 300 PS!**

Videoaufnahmen aus Nardo zeigen einen konzentrierten, Lucas di Grassi, der versucht einzuschätzen, welche Grenzerfahrung in den

nächsten Minuten auf ihn zukommt. Die Rennhandschuhe packen das Lenkrad mit festem Griff. Der Rücken sucht Halt im Sportsitz. Die ersten Kurven rauschen heran, der Rennprofi wird zunehmend lockerer, genießt jede Richtungsänderung: „Supercool! Dank des einzigartigen Allradantriebes kann ich den 4ePerformance ganz easy in noch so scharfen Kurven kontrollieren.“ Möglich macht das das Konzept des 4ePerformance: Jedes Rad wird von einem eigenen Elektromotor angetrieben. Die E-Maschinen stammen aus den Original-Formel-E-Boliden, mit denen Lucas di Grassi und Daniel Abt in der Saison 2015/2016 ihre Rennen bestritten haben. Jeder leistet 220 kW/300 PS – zusammen also 1.200 PS. Viel wichtiger für die außergewöhnlich dynamische Kurvenfahrt: Drehzahl und Leistung von jedem Motor und damit von jedem Rad können einzeln geregelt werden. Somit unterstützt der 4ePerformance die Lenkbefehle des Fahrers. Torque Vectoring heißt das in der Fachsprache und setzt bei herkömmlichen Fahrzeugen ein aufwendiges Differenzialgetriebe an der Antriebsachse voraus. Beim 4ePerformance sorgt eine von Schaeffler entwickelte, ausgeklügelte Elektronik für den Gewinn an Sicherheit und Fahrspaß.

Auch zwischen vorn und hinten kann die Leistung variiert und somit beispielsweise ein gewolltes Übersteuern des Hecks provoziert werden. „Das sind die

» Schaeffler pflanzt 1.200 PS in eine Limousine und geht damit Supersportwagen jagen – nur mit Strom

autoevolution.com

» Der Teufel trägt Prada? Kann sein – ganz sicher aber tankt er Strom!

Autobild sportscars

kontrolliertesten Drifts, die ich jemals gefahren bin“, schwärmt Lucas di Grassi und meistert jede Kurve inzwischen ganz lässig mit einer Hand am Lenkrad.

Von Extremen lernen

„Durch die freie Skalierung der Antriebsleistung stellt das Fahrzeug für Schaeffler ein fahrendes Prüflabor dar“, erklärt Simon Opel, Leiter Sonderprojekte Motorsport bei Schaeffler, und ergänzt: „Derzeit erproben und entwickeln wir auf Basis einer physikalischen Fahrzeug- und Reifenmodellierung unsere eigene Fahrdynamikregelung. Gerade im Bereich der softwarebasierten Fahrdynamikregelung lernen wir dank des 4ePerformance enorm viel.“ Technologievorstand Prof. Peter Gutzmer sieht den 4ePerformance auch als Botschafter: „So wie Schaeffler seine technische Kompetenz von der ersten Stunde an in der Formel E einbringt, ist der Technologiekonzern auch in der Elektromobilität für den Serieneinsatz im Straßenverkehr Pionier und Partner für Komponenten- und Gesamtsystem-Lösungen.“

Und dieser Botschafter sorgt tatsächlich für erhöhten Puls nicht nur bei Motorsportfans. So schreibt das Internet-Portal autoevolution.com: „Schaeffler pflanzt 1.200 PS in eine Limousine und geht damit Supersportwagen jagen – nur mit Strom. Die akustische Seite dieses



Das Video über die Entwicklung des 4ePerformance und die Testfahrt von Lucas di Grassi

1 Jahr

hat es vom Projektstart bis zur ersten Ausfahrt gedauert

1.200 PS

Vier E-Motoren à 220 kW/300 PS

220 km/h

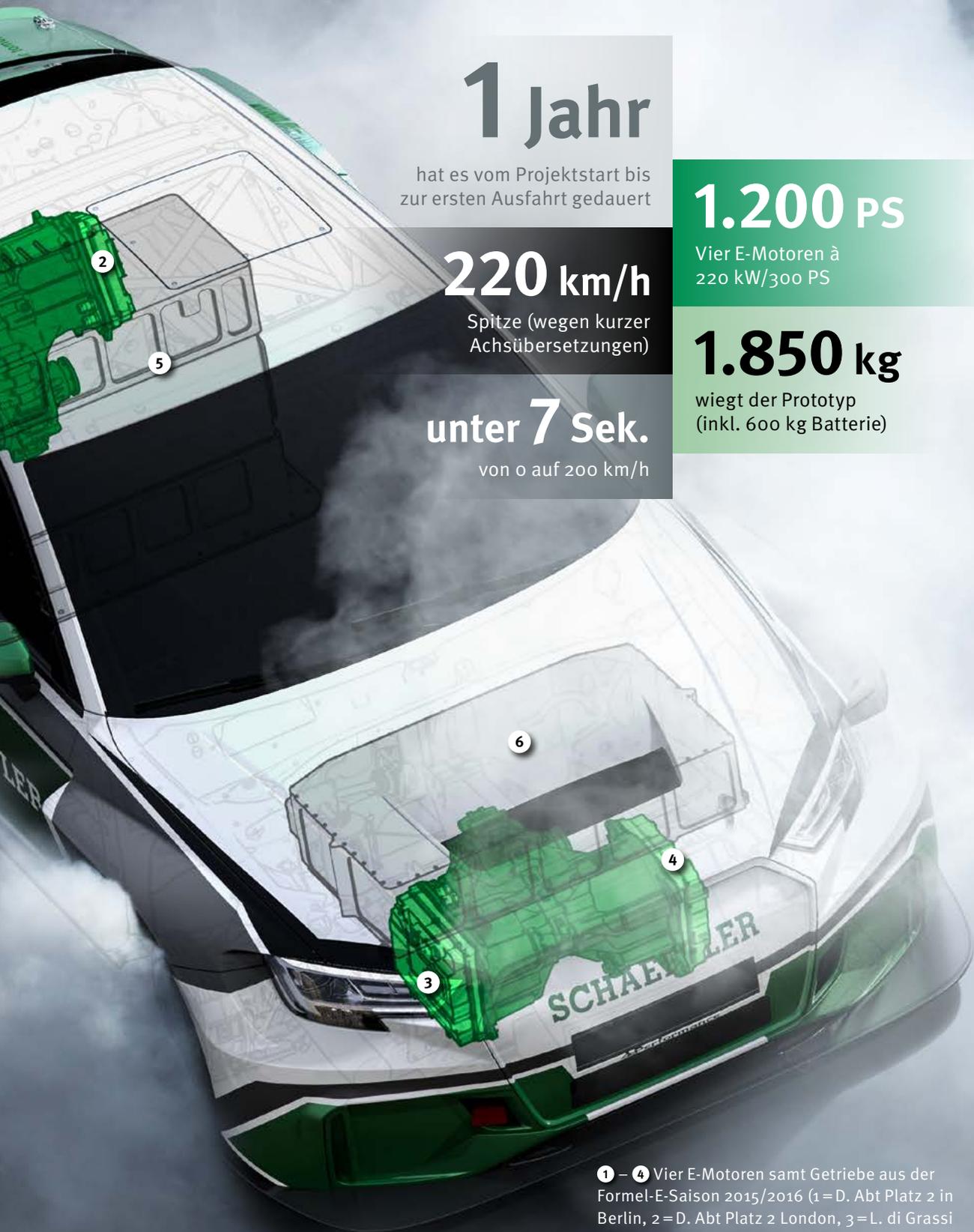
Spitze (wegen kurzer Achsübersetzungen)

1.850 kg

wiegt der Prototyp (inkl. 600 kg Batterie)

unter 7 Sek.

von 0 auf 200 km/h



1 – 4 Vier E-Motoren samt Getriebe aus der Formel-E-Saison 2015/2016 (1=D. Abt Platz 2 in Berlin, 2=D. Abt Platz 2 London, 3=L. di Grassi Sieg in Paris, 4=L. di Grassi Sieg in Long Beach)

5 & 6 Die Batterie (64 kWh) wurde zur besseren Gewichtsverteilung 1/3 (über der Vorderachse) zu 2/3 (hinter den Vordersitzen) geteilt

DANIEL ABT STELLT EINZIGARTIGEN REKORD AUF

Der 4ePerformance setzt neue Beschleunigungsmaßstäbe und katapultiert dank Torque Vectoring heiße Kurvendrifts in eine neue Dimension. Das lässt Daniel Abt (rechts), Formel-E-Profi und Teamkollege von Lucas die Grassi bei Audi Sport ABT Schaeffler, auch nicht kalt: „So eine Beschleunigung. Das ist das Krasseste, was ich je erlebt habe. Ich will nie wieder aufhören mit dem Scheiß!“ Muss er ja auch nicht, denn der Kemptener setzt noch einen drauf. Auf dem Testgelände im niedersächsischen Papenburg probiert er zunächst den „Lustmodus“ aus: Taste auf dem Rennlenkrad fünf Sekunden lang drücken, Schaltpedal kurz ziehen und Gas geben. Der 4ePerformance kreischt auf, die linken Räder drehen vorwärts, die rechten rückwärts – in einem atemraubenden Tempo beginnt der 4ePerformance auf der Stelle zu kreisen. Und demonstriert eindrucksvoll die Leistungsfähigkeit von Torque Vectoring.

Doch dann schwitzt auch der PS-Profi: Mit dem 4ePerformance will er den Rekord im Rückwärtsfahren knacken. Der liegt zurzeit bei 162 km/h. Bei dem Rekordversuch muss sich Daniel Abt auf die Regelelektronik verlassen, Korrekturen am Lenkrad sind fast nicht möglich, der 4ePerformance würde sofort von der Strecke fliegen.



Erster Versuch 100 km/h, zweiter Versuch 132 km/h, dritter Versuch 170 km/h – der alte Rekord ist schon jetzt geknackt. Doch Daniel Abt setzt noch einen drauf, will rückwärtsfahrend einen vorwärtsfahrenden Porsche 911 GT2 RS im Beschleunigungssprint schlagen. Abt gibt zu: „Ich habe wirklich Angst!“ Beide Fahrer geben Vollgas, mit 178 km/h zieht Daniel Abt am Porsche vorbei. Abt reicht das noch immer nicht, er will die 200-km/h-Marke knacken. Im fünften Versuch gelingt es ihm: 209,7 km/h!



Ab(t)gefahren:
Hier geht's zum
YouTube-Clip über die
Rekordfahrt



Monsters ist fast so beeindruckend wie seine Beschleunigung. An diesen Soundtrack werden wir uns gewöhnen müssen.“ Tatsächlich ist der 4ePerformance kein Leisetreter, auch wenn hier kein Verbrennungsmotor wummert. Dafür laufen diverse Lüfter und Pumpen. So erhitzt sich beispielsweise der zur besseren Gewichtsverteilung zweigeteilte Akku bei der Stromabgabe extrem. Als Kühlflüssigkeit setzen Schaeffler und Fahrzeugveredler ABT, der den 4ePerformance aufgebaut hat, eine nichtleitende Flüssigkeit ein. Wird die Batterie bei einem eventuellen Crash trotz umfangreicher Sicherheitsmaßnahmen beschädigt, kommt es nicht zu einem gefährlichen Kurzschluss. Mit einem markanten Heulton machen die Ölpumpen der Trockensumpfschmierung auf sich aufmerksam. Sie sorgen dafür, dass die differenziallosen Eingangstirnradgetriebe möglichst verschleißfrei arbeiten. Jedes Rad hat ein eigenes Getriebe, einen eigenen E-Motor und eine eigene Leistungselektronik. Jeder Motor dreht bis zu 14.000-mal pro Minute, zusammen stemmen alle vier Räder unglaubliche 1.280 Newtonmeter in den Asphalt.

Das Gewicht? Nebensache ...

Das hohe Drehmoment in Verbindung mit der von Schaeffler ausgeklügelten Regelelektronik lässt das Gewicht – der 4ePerformance bringt gut 1.800 Kilogramm auf die Waage – schnell vergessen. Redakteur Jens Dralle von der Fachzeitschrift „auto motor und sport“ bringt es auf den Punkt: „Was aber auch ziemlich egal ist, denn es fühlt sich hier drin nicht mehr so an, als ob du auf eine Kurve, eine Schikane, das Ende einer Gerade zufährst. Nein. Du bekommst es einfach vor den Latz geknallt. Anschwellendes Heulen, zack, dann ist wieder irgendwas da. Bremsen, Einlenken, Gas geben, was auch immer. Immer rasend schnell. Alles das, auf was du

» Projekte wie der Schaeffler 4ePerformance beschleunigen die Entwicklung neuer Technologien – und laden überdies das Thema E-Mobilität auf faszinierende Art und Weise emotional auf

Prof. Peter Gutzmer, stellv. Vorstandsvorsitzender und Vorstand für Technologie der Schaeffler AG



Ideallinie: Dank des einzigartigen Allradantriebs mit fein justierbarem Torque Vectoring lässt der 4ePerformance Highspeed-Drifts zu

sonst mehr oder minder vehement zubeschleunigst, materialisiert sich nun einfach vor dir.“ Oder, um es mit den Worten von „Autobild sportscars“ auszudrücken: „Ein strammer Tritt aufs rechte Pedal, und das Teil poliert dir die Hirnrinde von innen; strafft jede Falte und vaporisiert dein althergebrachtes Verbrennergehabe fast schneller als seine Reifen. Der Teufel trägt Prada? Kann sein – ganz sicher aber tankt er Strom!“

Beeindruckend sind aber nicht nur Vorwärts- und Querbearbeitung. Ebenso wichtig ist die negative Beschleunigung, also die Bremse. Hätten Schaeffler und ABT es bei der Serienbremsanlage belassen, hätte der 4ePerformance trotz einer Vollbremsung bei Vollgas aus dem Stand heraus in nur sieben Sekunden Tempo 100 erreicht! Statt des weißen Rauchs hätten wir verglühende Bremscheiben gesehen.

Entsprechend der Motorleistung wurde die Bremsanlage komplett neu aufgebaut. Das Ergebnis beschreibt Jürgen Voigt, Testchef der „Auto-Zeitung“, mit „fulminanter Wirkung“.

Und was ist der 4ePerformance für seine Erfinder? Schaeffler sieht in ihm einen Schlüssel zur Entwicklung neuer Elektroautos, die wirklich Spaß machen.



DER AUTOR

Als Motor-Journalist mit Benzin im Blut kann **Carsten Paulun** nie genug Leistung mit dem Fuß dirigieren. Umso besser, wenn er dies mit seiner zweiten Leidenschaft, der nachhaltigen Energieerzeugung, kombinieren kann.

DIE WELT



Der ATLAS-Detektor im CERN ist mit einer Länge von 46 Metern und einem Durchmesser von 25 Metern der größte bislang gebaute Detektor der Elementarteilchenphysik

MASCHINEN

Mit Teilchenbeschleunigern lassen Physiker kleinste Partikel mit Lichtgeschwindigkeit aufeinanderprallen. Davon erhoffen sie sich neue Erkenntnisse über die großen Fragen der Menschheit. Auch gegen Krebs und zur Produktion von Computerchips sind Teilchenbeschleuniger im Einsatz.

— von Dr. Christian Heinrich

— Die Welt um uns herum, unser Körper, das Papier dieses Magazins – woraus genau besteht das eigentlich alles? Klar, wir wissen mittlerweile, alles ist aus Atomen aufgebaut. Und die Atome bestehen aus noch kleineren Bausteinen, aus Elektronen, Neutronen und Protonen. Doch sind das wirklich die kleinsten Bausteine, aus denen alles aufgebaut ist? Oder gibt es noch andere, womöglich noch kleinere Teile? Und wie war das ganz

am Anfang, wie ist aus dem Nichts plötzlich das Universum geworden? Um die größten Fragen der Menschheit zu beantworten, untersuchen Forscher weltweit die kleinsten Bausteine des Kosmos. Ihr wichtigstes Hilfsmittel dabei sind die sogenannten Teilchenbeschleuniger.

Wie der Name schon sagt, beschleunigen sie elektrische Teilchen wie Protonen oder Atome, sodass

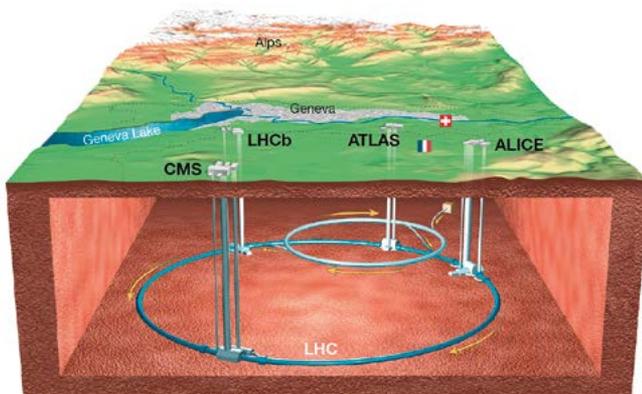
diese mit einer enormen Geschwindigkeit aufeinanderprallen. Forscher versuchen damit einen kurzen Blick zu erhaschen auf neue, noch kleinere Teilchen, die so womöglich entstehen.

Die Länge macht's

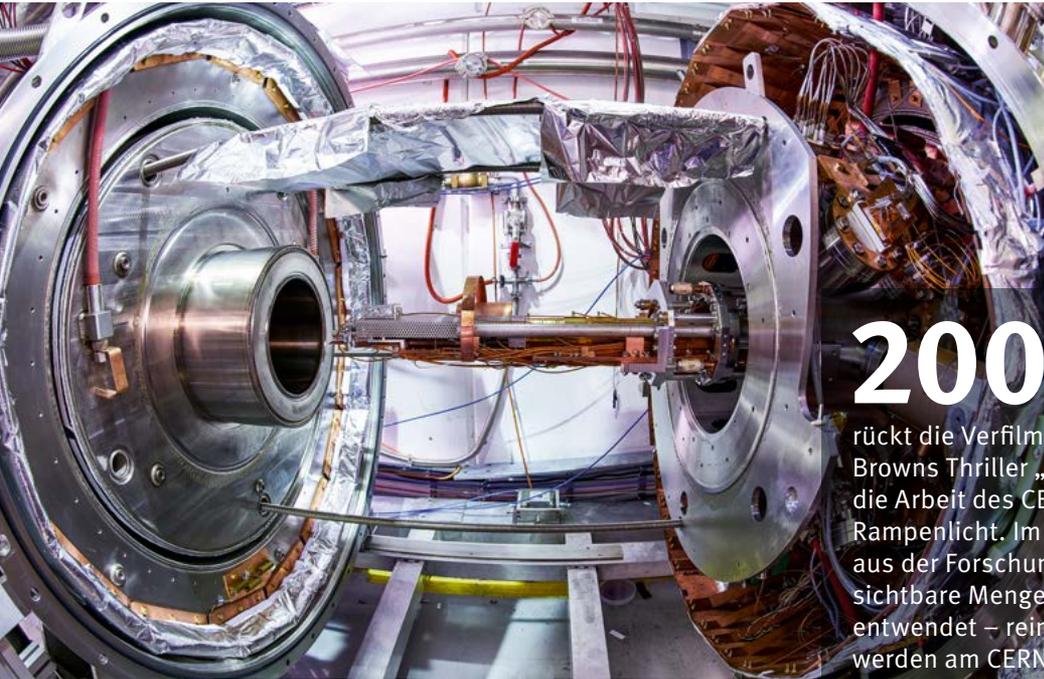
Es gibt verschiedene Arten von Teilchenbeschleunigern, mit denen sich jeweils hohe Geschwindigkeiten der Teilchen erreichen lassen.

Der Linearbeschleuniger ist eine sehr lange Röhre, deren Wand aus verschiedenen sogenannten Driftröhren besteht. Diese Driftröhren erzeugen eine elektrische Spannung, die ständig wechselt. Ähnlich wie bei einem Magneten wird so das Teilchen von der jeweils vorderen Driftröhre angezogen und von der hinteren Driftröhre abgestoßen. Auf diese Weise beschleunigt das Teilchen mit jeder Driftröhre, die es passiert. Damit hier die gewünschten hohen Geschwindigkeiten erreicht werden, muss ein Linearbeschleuniger mehrere Kilometer lang sein.

Das Synchrotron funktioniert nach einem ähnlichen Prinzip, allerdings sind hier noch Magneten installiert, die die Teilchen leicht ablenken. Auf diese Weise lassen sie sich in einer Art Kreisbahn lenken, die sie immer wieder durchlaufen. Das ermöglicht eine hohe Beschleunigung, verbraucht aber trotzdem noch sehr viel Platz, weil die Kurven nicht scharf sein dürfen. Der weltweit größte Teilchenbeschleuniger nach dem Synchrotron-Prinzip, der sogenannte Große Hadronen-Speicherring (LHC, Large Hadron Collider),



100 Meter tief im Erdboden unter Genf verlaufen die Teilchenbeschleuniger des CERN. Der größte, der Large Hadron Collider (LHC), hat einen Umfang von 26,66 km. Im Dezember 2018 wurde er abgeschaltet. In den kommenden beiden Jahren soll er renoviert und erweitert werden



2009

rückt die Verfilmung von Dan Browns Thriller „Illuminati“ die Arbeit des CERN ins Rampenlicht. Im Roman wird aus der Forschungsanstalt eine sichtbare Menge **Antimaterie** entwendet – reine Fiktion. Zwar werden am CERN tatsächlich rund eine Million „Antiprotonen“ pro Jahr hergestellt, aber **die im Film dargestellte Menge zu produzieren ist unmöglich**. Allein um ein Gramm Antimaterie herzustellen, benötigt man eine Billion Jahre.

3.000 Menschen

arbeiten am CERN, das damit das **weltweit größte Forschungszentrum** auf dem Gebiet der Teilchenphysik ist. Noch größer ist die Zahl der Gastwissenschaftler: Mehr als 10.000 Experten aus 85 Nationen sind in CERN-Experimente an der „größten Wissensmaschine der Welt“ involviert. Sie suchen beispielsweise nach sogenannten Supersymmetrie- oder kurz SUSY-Teilchen, die auch **eine Erklärung für die Dunkle Materie** liefern könnten, die Universen zusammenhält. Sie aufzuspüren ist noch kniffliger und energieaufwendiger als der Nachweis des Higgs-Bosons.

steht in der Nähe von Genf in der Europäischen Organisation für Kernforschung (CERN) und hat eine Länge von knapp 27 Kilometern.

Mit Lichtgeschwindigkeit auf Kollisionskurs

Doch nicht nur die Größe der Beschleuniger ist atemberaubend angesichts der winzigen Teilchen, um die es geht. Die Anlagen sind auch extrem aufwendig konstruiert. Um die kleinsten Teilchen auf der runden Bahn zu halten, braucht es im LHC in Genf 1.232 Magnete, jeder von ihnen ist 14 Meter lang und wiegt

35 Tonnen. Außerdem muss die Anlage enorm gekühlt werden: auf minus 270 Grad Celsius! Dazu kommt, dass die winzigen Teilchen während der Beschleunigungsphase nicht mit anderen Teilchen zusammenstoßen sollten, entsprechend hat man ein sogenanntes Ultrahochvakuum innerhalb der Röhre geschaffen, hier gibt es keine Luft und auch sonst so gut wie keine Atome.

Doch der Aufwand lohnt sich. Ein Teilchenbeschleuniger wie der LHC schafft Extreme, die weltweit einmalig sind: Wenn die Teilchen aufeinanderprallen, haben sie beinahe Lichtgeschwindigkeit. Die

kleinsten Teilchen durchlaufen den 27 Kilometer langen Tunnel 11.000-mal in der Sekunde. Wenn die Ionen ineinanderknallen, entstehen Temperaturen von über 4.000 Milliarden Grad! Das ist rund 300.000-mal heißer als das Zentrum der Sonne. Dabei „zerkochen“ Quarks und Gluonen zu einer Art Plasma-Ursuppe, die Wissenschaftler so nahe wie nie zuvor an die Bedingungen herangeführt, die während des Urknalls herrschten.

Doch all dies muss auch gemessen werden. Dazu dient im LHC der ATLAS-Detektor, ein gigantisches Auffanggefäß für Atomsplitter von 45 Metern Länge und 22 Metern Breite und Höhe. Für die Physiker sind die Detektoren eine Art Hochleistungskamera, die mehr als 40 Millionen Aufnahmen in der Sekunde machen.

Teilchenbeschleuniger wie der Genfer LHC oder auch das DESY in Hamburg bringen die Physik und das ganze Weltverständnis voran, indem sie neue Erkenntnisse schaffen – über das Verhalten der kleinsten Teilchen oder überhaupt erst ihre Existenz. So entdeckten Forscher am CERN in einem Milliarden Euro teuren Experiment ein neues Elementarteilchen, das später als Higgs-Boson bestätigt werden konnte. Der auch „Gottesteilchen“ genannte Winzling hat eine extrem kurze Lebensdauer von circa 10 bis 22 Sekunden, ist aber – sehr vereinfacht ausgedrückt – dafür verantwortlich, dass Teilchen Masse haben.

Chemiker, Materialwissenschaftler und Biologen erzeugen mit Beschleunigern das hellste Röntgenlicht der Welt (siehe auch Infokasten rechts), um verschiedenste Materialien unter die Lupe zu nehmen – von Flugzeugturbinen bis zu lebenswichtigen Proteinen.

Im Einsatz für Medizin und Industrie

Doch für die Forschung sind nur wenige Hundert der weltweit mehr als 17.000 Teilchenbeschleuniger im Einsatz. Ein weiteres großes Gebiet ist die Medizin, genauer: die Strahlentherapie. Denn mit extrem beschleunigten kleinsten Teilchen lässt sich auch Krebs gezielt behandeln. Dazu verwendet man oft etwas kleinere Teilchenbeschleuniger, die sogenannten Zyklotrone. In einer spiralförmigen Bahn werden hier Elektronen auch mithilfe von Magneten beschleunigt, bis sie schließlich die Wunschgeschwindigkeit erreicht haben. Sie haben oft einen Durchmesser von drei bis vier Metern und lassen sich daher auch noch in Kliniken unterbringen. Etwa 7.000 Teilchenbeschleuniger weltweit werden medizinisch genutzt, um jährlich 30 Millionen Patienten zu behandeln. Die übrigen Anlagen finden sich vor allem in der Industrie, genauer: bei der Produktion von Halbleitern. Mithilfe von Ionenbeschleunigern kann

so der Bau von schnellen Transistoren in Chips ermöglicht werden, die sich im Grunde überall in der digitalen Elektronik finden.

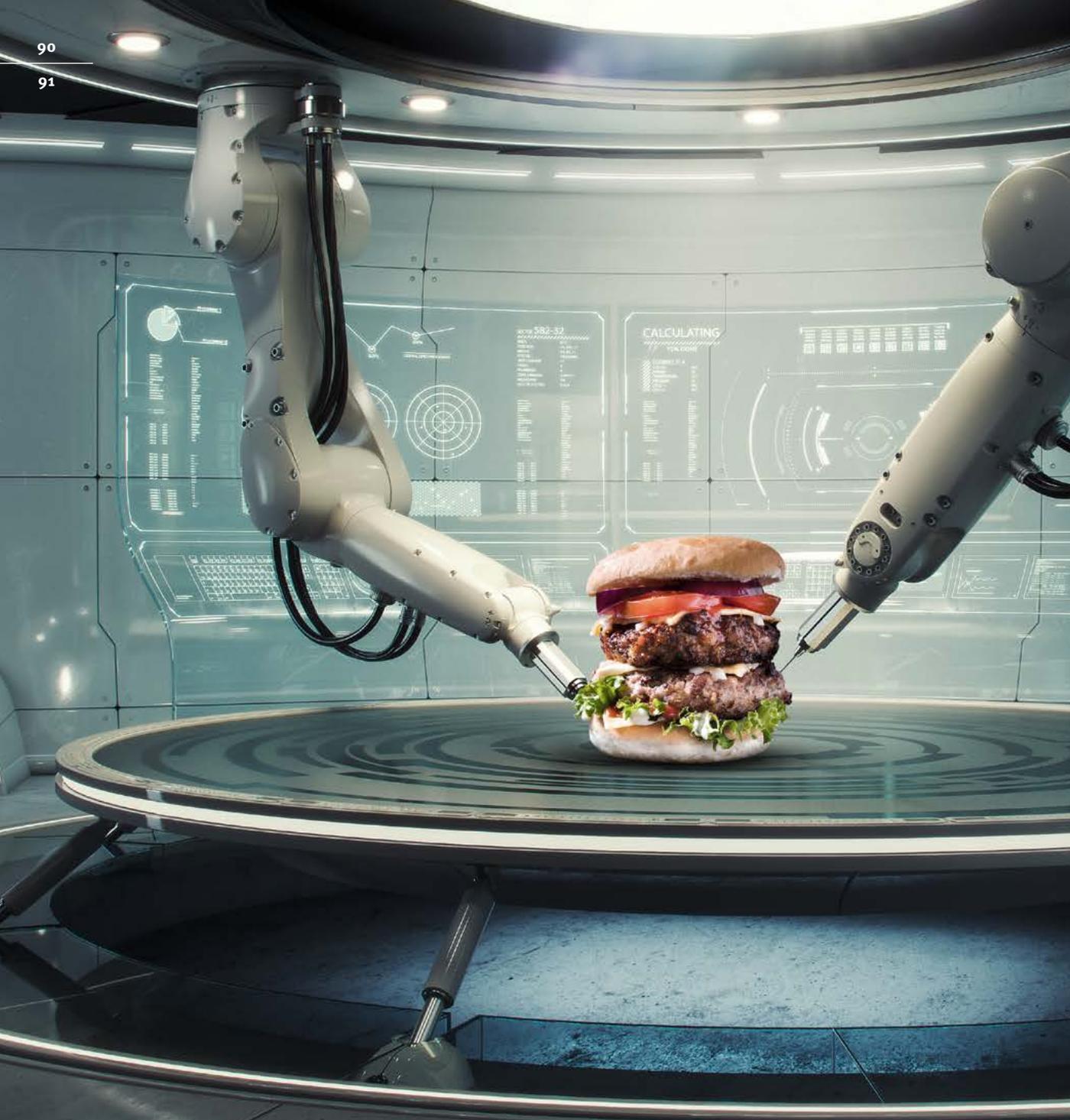
Währenddessen produzieren die vor allem auf Erkenntnis ausgelegten Wissenschaftler immer mal

wieder neues Wissen. Vergangenen Winter etwa haben Forscher des CERN weitere Details über das physikalische Verhalten des Higgs-Teilchens herausgefunden. Und das ist erst der Anfang. Es warten noch eine Menge großer Entdeckungen in der Welt der kleinsten Teilchen. —

DESY UND DIE SCHNELLSTEN RÖNTGENBILDER DER WELT

Fünf Millionen Blitze pro Sekunde kann der neue Röntgenlaser „European XFEL“ (Foto) am Deutschen Elektronen-Synchrotron, kurz DESY, abfeuern – 40.000-mal so viele wie die bisher beste Pulsrate eines Röntgenlasers. Mit der 3,4 Kilometer langen Beschleunigungsanlage, die die schnellsten Röntgenserienbilder der Welt schießt, konnte beispielsweise die bisher unbekannte Struktur eines Antibiotika-Killers enthüllt werden. Dem Röntgenlaser vorgeschaltet ist der mit 1,7 Kilometern weltweit längste supraleitende Linearbeschleuniger – eine DESY-Eigenentwicklung. Neben der Teilchenphysik und Forschung an Photonen sind auch die Entwicklung und der Bau neuer Teilchenbeschleuniger ein Schwerpunkt des DESY. Das Hamburger DESY-Tunnelgeflecht schlängelt sich unterirdisch bis ins benachbarte Schleswig-Holstein. DESY gehört zur Helmholtz-Gemeinschaft, mit der auch Schaeffler bei Forschungsprojekten zusammenarbeitet, und zählt eigenen Angaben zufolge zu den weltweit führenden Beschleunigerzentren. Allein der LHC-Teilchenbeschleuniger produziert pro Jahr so viele Daten, dass sich damit eine Million DVDs füllen ließen.





TURBO-FLEISCH

— Nach Prognosen der Vereinten Nationen wird der weltweite Fleischkonsum bis 2050 um 85 Prozent steigen. Um diesen Bedarf decken zu können und gleichzeitig die Auswirkungen auf Tierwohl und Umwelt zu minimieren, entwickeln Wissenschaftler In-vitro-Fleisch, Fleisch, das künstlich hergestellt wird. Einem Tier wird Muskelgewebe entnommen, daraus Stammzellen gewonnen. Zunächst in einer Nährstofflösung, dann in einem Bioreaktor wachsen diese Stammzellen zu Muskelfasern heran, um schließlich in einem Fleischwolf zu einer Fleischmasse für

Burger und Wurstwaren verarbeitet zu werden. Vorteile: Das In-vitro-Fleisch enthält keine Gift- oder Schadstoffe und keine Krankheitserreger. Und es „wächst“ viel schneller. Während ein Rind nach 18 bis 24 Monaten schlachtreif ist, legt das Laborfleisch den Turbo ein: Bereits sechs Wochen nach der Entnahme der Stammzellen brutzelt der Burger in der Pfanne. Zur Marktreife fehlt nur noch ein akzeptabler Preis. Kostete der erste In-vitro-Burger 2013 noch 250.000 Euro, sollen es 2021 zur Markteinführung 8,50 Euro sein.

ausblick

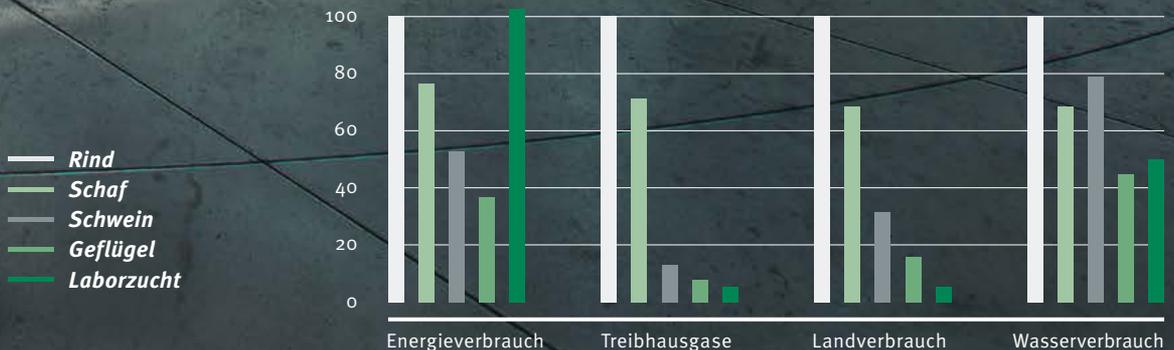
Technik für morgen

» Wir werden den Aberwitz hinter uns lassen, dass wir ein ganzes Huhn züchten, um nur Brust oder Flügel zu essen, und jene Teile getrennt in einem geeigneten Medium züchten

Winston Churchill, 1931

RESSOURCENVERBRAUCH IN DER FLEISCHPRODUKTION

in Prozent (Rindfleisch = 100 %)



Quelle: Fleischatlas 2018

DAS ENDE DER REICHWEITENANGST

Die Elektromobilität erobert immer mehr Straßen. Auch weil der Fortschritt in der Entwicklung von Hochleistungsantriebsbatterien zügig voranschreitet: Reichweiten steigen, Ladezeiten und Preise purzeln. Und mit neuen Technologien soll alles noch viel besser werden.

— von Andreas Burkert

— Egal ob New York, Rio oder Tokio – wer am Ende des Tages sein Auto wieder vor der Haustür parkt, wird gerade in urbanen Ballungsräumen meist nur wenige Kilometer gefahren sein. Wird diese Entfernung plus Sicherheitsaufschlag zugrunde gelegt, um das ideale Elektroautomobil für den täglichen Gebrauch zu entwickeln, so wären je nach Fahrzeugmodell und Fahrweise etwas über 13 kWh gespeicherte elektrische Energie ausreichend. Aktuelle

Elektrofahrzeuge wie der BMW i3 kämen mit dieser Energiemenge nämlich schon 100 Kilometer weit. Das genügt für ein paar Tage City-Hopping.

Würde das auch dem Kunden genügen, wäre schon jetzt in Sachen E-Mobilität vieles besser. Denn dann würden die Kosten der Antriebsbatterie und damit das gewöhnliche Elektrofahrzeug um ein Vielfaches günstiger



ausfallen. Aktuell kostet ein Akku pro Kilowattstunde (kWh) Speicherkapazität 190 Euro. Somit würde eine auf die tägliche Kurzstrecke optimierte Antriebsbatterie nur 2.470 Euro kosten. Kein Vergleich zu den 10.000 Euro, die derzeit für den Hochenergiespeicher aktueller Modelle bezahlt werden müssen. Jetzt kommt jedoch das große Aber: Der Verbraucher erwartet nämlich von der batterieelektrischen Mobilität die gleichen Vorzüge, wie sie der Verbrennungsmotor bietet: spontan abrufbare und grenzenlose Mobilität. Selbst der Tank als limitierendes Element ist ruck, zuck an einer der flächendeckend verteilten Zapfsäulen wieder befüllt. Und weiter geht's. Bisher leistet dies kein E-Auto. Noch nicht.

„Ladeinfrastruktur als größte Herausforderung“

Die Fortschritte in der Batteriezellenentwicklung erlauben es den Fahrzeugingenieuren mittlerweile immerhin, Mittelklasseautomobile mit einer Reichweite weit jenseits der 300 Kilometer auf den Markt zu bringen. Prominentes Beispiel ist der Opel Ampera-e, der mit einem 60 kWh starken Lithium-Ionen-Akkumulator sowie einem ausgeklügelten Reichweitenmanagement an Bord im Realbetrieb um die 400 Kilometer weit fährt. Der Hyundai Kona kommt auf ähnliche Distanzen. Andere Automobilhersteller rüsten ebenfalls auf. Wohl wissend, dass viele Verbraucher eine höhere Reichweite erwarten, um sich für ein Elektrofahrzeug zu entscheiden.

Der deutsche Energieversorger E.ON wollte es genau wissen und befragte landesweit Automobilkunden, um herauszufinden, was ein Elektrofahrzeug leisten muss, um gekauft zu werden. Die Reichweitenangst scheint demnach noch das größte Hindernis zu sein. Für 71 Prozent der Befragten ist eine höhere Reichweite

entscheidend, um auf ein Elektroauto umzusteigen. Darüber hinaus dauere das Laden viel zu lange, und es gebe nicht genügend Ladestationen. Rund 65 Prozent bemängeln die Ladeinfrastruktur. Auch Dr. Jochen Schröder, Leiter E-Mobilität bei Schaeffler, sieht in der löcherigen Ladeinfrastruktur einen der größten Hemmschuhe bei der Akzeptanz von Stromern. „Bei Plug-in-Hybriden ist diese Frage nicht ganz so entscheidend, aber die Fahrer reiner Elektrofahrzeuge sind ja auf eine funktionierende Infrastruktur angewiesen. Viele potenzielle Käufer von E-Fahrzeugen haben weiterhin nicht die Möglichkeit, ihr Fahrzeug in Wohnortnähe zu laden – und das vor allem in urbanen Räumen, wo Elektrofahrzeuge ja die größten Vorteile bieten.“

Aber nicht nur an der Menge und der Verteilung der Ladestationen stört sich der Schaeffler-E-Mobilitätsexperte: „Auch die Ladezeiten sind aktuell zu lang. Meiner Meinung nach wird selbst eine Viertelstunde zum Nachladen nicht dauerhaft von allen Langstrecken-Fahrern akzeptiert werden. Denn sie haben sich ja daran gewöhnt, in fünf Minuten Energie für eine Strecke von 500 Kilometern nachzutanken.“

Solche Tankwerte bei der E-Mobilität zu erreichen ist eine gewaltige Aufgabe. Ein möglicher Schlüssel zum Erfolg: die Verdoppelung der bisherigen Standardspannung einer Antriebsbatterie von 400 auf 800 Volt. Porsche hat mit dieser Technologie zusammen mit Schaeffler dreimal den Gesamtsieg bei den 24 Stunden von Le Mans errungen. Die mit dem Hybrid-Sportwagen 919 gewonnenen Erkenntnisse sind in die Entwicklung des zukünftigen, rein elektrisch fahrenden Serienmodells Taycan eingeflossen. Der große Vorteil der neuen Stromspitze: An einer entsprechenden 800-Volt-Gleichstrom-Ladesäule können bis zu 350 kW in die Hochvolt-Batterie fließen. Zum Vergleich: Teslas Supercharger kommen aktuell auf maximal 135 kW. Aber selbst mit 800-V-Turboladung muss ein Taycan rund 20 Minuten am Stecker hängen, um für 500 Kilometer Strom zu fassen. Vorausgesetzt, der Fahrer findet einen freien Ladeplatz. Um dieses Problem zu lösen, hat sich Porsche mit Audi, BMW, Daimler und Ford dem Joint Venture IONITY angeschlossen. Das gemeinsame Ziel: europaweit an 400 Standorten Highspeed-Ladestationen mit bis zu 350 kW pro Ladepunkt. Das ist ein solider Anfang. Wie Schaeffler-Fachmann Schröder sieht aber auch die EU Handlungsbedarf bei den Ladestationen und fördert deren Ausbau mit 800 Millionen Euro. Damit könnte man den laut European Alternative Fuels Observatory aktuellen europaweiten Bestand von rund 18.000 Schnellladepunkten (> 22 kW) deutlich mehr als verdoppeln. Gesetzlicher Druck (z.B. verpflichtende

70-70-Szenario

Von 117 Mio. Fahrzeugen unter sechs Tonnen der Jahresproduktion 2030 werden 40 % Hybridantriebe und je 30 % Verbrennungs- bzw. E-Antriebe nutzen. **Das bedeutet: 70 % haben immer noch einen Verbrenner, 70 % bereits einen E-Antrieb.**

Quelle: IHS und Schaeffler

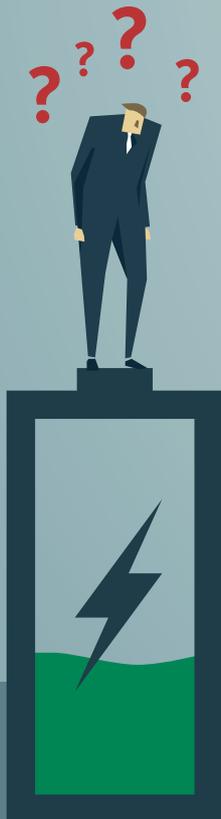
Über 260

neue batterieelektrische Automobilmodelle sollen bis 2024 auf den Markt kommen.



UNTER 2 MIN.

soll der vollautomatische Akkutausch an Wechselstationen dauern, die der chinesische E-Autobauer NIO zunächst entlang heimischer Autobahnen aufbauen will. Bis 2020 sollen es schon 1.100 Stück sein. Der Akkutausch im Minutentakt ist eine weitere Möglichkeit, „Petrolheads“ die Reichenweitenangst zu nehmen. Ob sie diesmal zündet? Die Firma Better Place war 2008 mit einer ähnlichen Idee in Israel und Dänemark gestartet, scheiterte aber – auch weil die Kunden nicht bereit waren, den Preisaufschlag für den Wechsel zum E-Auto zu bezahlen.



Ladestationen an Büro- und Gewerbegebäuden sowie Mehrfamilienhäusern) soll die Verbreitung von Steckplätzen ebenfalls beschleunigen.

Massentaugliche Zellfertigung als Schlüssel einer günstigen Elektromobilität

Was bei der typischen Taycan-Kundschaft eine weniger entscheidende Rolle spielt, beim Massenmarkt aber schon, ist der Anschaffungspreis. Dass ein Elektroauto mit einer Reichweite von mindestens 500 Kilometern beim Kauf noch immer teurer ist als ein vergleichbares Fahrzeug mit Verbrennungsmotor, ist beispielsweise laut E.ON-Umfrage 73 Prozent der deutschen Automobilkunden ein Dorn im Auge. Aber genau diese Zurückhaltung beim Wechsel zur E-Mobilität ist ein Preis-hochhalter. Denn gelänge es, Batteriezellen in größeren Mengen zu produzieren, würden auch die Stückkosten sinken. Automobilhersteller hoffen, dass die Vorhersagen mancher Experten eintreffen. Demnach sollen sich die Preise gegenüber heute fast halbieren – auf 108 Euro pro Kilowattstunde. Das ist auch ein Verdienst etablierter Batteriezellenproduzenten wie Northvolt, LG Chem oder Samsung SDI, die vorwiegend aus Asien kommen, mittlerweile jedoch den Schritt nach Europa wagen und auch dort die Produktion hochfahren. Die Versorgung mit Batteriezellen dürfte damit für das erwartete Wachstum am Markt für Elektrofahrzeuge gesichert sein.

Die Post-Lithium-Ionen-Ära

Doch ist der Lithium-Ionen-Akku das Nonplus-ultra? Derzeit und mittelfristig werden solche Antriebsbatterien der Generation 2 und 3 für den Einsatz in der Elektromobilität eingeplant. Doch es gibt Alternativen, die mit einer wesentlich höheren Energiedichte punkten. Dazu gehört die Lithium-Schwefel-Batterie, die nach 2020 für Fahrzeuganwendungen infrage kommt. So eine Lithium-Schwefel-Batterie hat eine drei- bis fünfmal höhere Kapazität als ihr Lithium-Ionen-Verwandter und ist darüber hinaus günstiger in der Herstellung. Bisheriger Haken: Schwefel hat einen latenten Hang dazu, beim Laden instabil zu werden. Im April haben aber Forscher an der University of Texas in Dallas verkündet, dass sie einen Durchbruch bei der Entwicklung von Lithium-Schwefel-Akkus erzielt haben, der die Lebensdauer der Stromspeicher durch den Einsatz von Molybdän massiv verlängert.

Große Hoffnung setzt man auch bei Schaeffler auf den Lithium-Luft-Akku. Dieser enge Verwandte der

SCHAEFFLER KOOPERIERT BEI GROSSTECHNISCHEN STROMSPEICHERN

Zwischenspeicherung von erneuerbaren Energien, Glättung von Lastspitzen in Industriebetrieben oder die Ladeinfrastruktur für die Elektromobilität – großtechnische stationäre Energiespeicher werden immer wichtiger. Um deren Industrialisierung voranzutreiben, kooperiert Schaeffler zukünftig mit dem Spezialisten CMBlu. Ein interessanter Aspekt: Die erneuerbare Speichertechnologie „Organic Flow“ verzichtet auf seltene Erden und Schwermetalle.

In den vergangenen fünf Jahren hat CMBlu zusammen mit Forschungsgruppen deutscher Hochschulen die erneuerbare Speichertechnologie „Organic Flow“ für Stromnetze bis zur Prototypenreife entwickelt. Darauf basierend wollen Schaeffler und CMBlu gemeinsam kommerzielle Produkte entwickeln. Die zugrunde liegende Funktionsweise ähnelt dem Prinzip konventioneller Redox-Flow-Batterien. Dabei wird die elektrische Energie in chemischen Verbindungen gespeichert, wobei die Reaktions-

partner in wässriger Form als Elektrolyt vorliegen. Im Gegensatz zu herkömmlichen, metallbasierten Systemen werden bei Organic-Flow-Batterien organische Moleküle aus Lignin für die Speicherung verwendet. Als Pflanzenbestandteil ist Lignin ein natürlich nachwachsendes Material und fällt etwa in der Zellstoff- und Papierproduktion als Abfallprodukt im Millionen-Tonnen-Maßstab an. Alle elektrotechnischen Komponenten im Energiewandler wurden an diese Elektrolyten angepasst und auf kosteneffiziente Massenproduktion aus-

gelegt. Die nahezu vollständige Wertschöpfungskette für die Batterien kann ohne Importe lokal abgedeckt werden. Zudem sind die Speicher nicht nur frei von seltenen Erden und Schwermetallen, sondern auch nicht brennbar. Daher können sie sehr sicher betrieben werden. Aufgrund ihrer Funktionsweise kann die Kapazität eines Organic-Flow-Systems unabhängig von der elektrischen Leistung skaliert werden und ist nur durch die Größe der Tanks und Elektrolytmenge limitiert. Ab 2021 sind die ersten kommerziellen Systeme geplant.



klassischen Brennstoffzelle wird aber laut Schaeffler-Technologie-Vorstand Prof. Peter Gutzmer nach heutigem Wissensstand nicht vor 2030 marktreif sein. Der Speicher-Gigant soll eine bis zu 20-fach höhere spezifische Energie aufweisen als herkömmliche Lithium-Ionen-Batterien. Ein Fahrzeug könnte dann mit einer nur 60 Kilogramm schweren Lithium-Luft-Batterie bis zu 500 Kilometer weit fahren. Beim Tesla S wiegt der Akku zehnmal so viel. Noch stehen die Forscher aber vor einigen Hürden wie Ablagerungen und Oxidation im Inneren, die an Leistung und Lebensdauer zehren. Ein möglicher Zwischenschritt zum Lithium-Luft-Akku ist die etwas einfachere umsetzbare Eisen-Luft-Variante. Diese hätte, so die Prognosen, immer noch eine zwei- bis viermal

so hohe Energiedichte wie ein Lithium-Ionen-Speicher. Das Oak Ridge National Laboratory in den USA und das deutsche Forschungszentrum Jülich gelten als besondere Treiber dieser Technologie. Aber sie selbst sagen: „Bis zur Marktreife ist es noch ein weiter Weg. Elektroden aus Eisen lassen sich isoliert in Laborversuchen zwar schon ohne größere Leistungsverluste über mehrere Tausend Zyklen hinweg betreiben. Vollständige Eisen-Luft-Batterien, die als Gegenpol mit einer Luft-Elektrode ausgestattet sind, halten bis jetzt aber nur 20 bis 30 Zyklen lang durch.“

Ganz in Reichweite ist das Ende der Reichweitenangst also noch nicht.



TUT MUßE!

Arbeiten, telefonieren, mailen während der Fahrt: Das autonome Auto wird unser Leben beschleunigen und unsere Produktivität erhöhen. Oder wir gönnen uns einfach mal ein paar Stunden Auszeit.

— von Marcus Efler

— In einem Ort nördlich von München tüfteln Toningenieure am Hörgenuss der Zukunft. Aus großen Lautsprecher-Boxen tönen ein paar Takte einer Sinfonie, in dem schallgedämpften Raum klingen sie trocken und nüchtern. Ein Mitarbeiter klickt auf sein Laptop: Plötzlich weitet sich der Klang, die Zuhörer haben das Gefühl, in einem großen Konzertsaal zu sitzen. Bei einem Stück Heavy Metal wännen sie sich kurz darauf vor einer Open-Air-Bühne – oder, wieder einen Klick weiter, mitten auf dieser, zwischen den Musikern.

Was Harman, Spezialist für Audiosysteme, hier entwickelt, soll das Hören im Auto revolutionieren. Schon bald – aber spätestens dann, wenn autonome Fahrzeuge die Straßen beherrschen. Wenn sich keiner der Insassen mehr auf den Verkehr konzentrieren muss und jeder Zeit für Muße hat. Um beispielsweise anspruchsvoller Musik wie Klassik oder Jazz zu lauschen.



Oder dem Soundtrack eines Films, der auf einem großen Screen läuft: Auch die akustische Simulation eines Kinosaals ist technisch bald möglich.

Die Ausstattung, die moderne Autos heute schon mitbringen, hilft bei der Illusion: Lautsprecher rundum, plus die Mikrofone der Freisprech-Einrichtung, die Schall-Reflexionen erkennen, plus leistungsfähige Elektronik, deren Algorithmen in Echtzeit die Dateien umformen. Und dabei, ganz nebenbei, dürrtigen MP3-Files ihre Klangfülle zurückgeben.

Multifunktionaler Raum

Das Auto als Konzertsaal – Sinnbild des tiefgreifenden Wandels, den diese Erfindung aus dem vorletzten Jahrhundert derzeit erfährt. Sein ursprünglicher Zweck, die Überwindung von Distanzen, wird ergänzt durch einen weiteren, künftig nicht minder wichtigen: Autonom unterwegs, dient das Fahrzeug als Aufenthalts-

Arbeits- und Pausenraum. „Dein Auto, das selber fährt, kann alles für dich sein“, verspricht Johann Jungwirth, einer der digitalen Vordenker in der Autobranche: „Konzertsaal, Kino, Museum mit Gemälden, Sportarena, Augmented-Reality-Raum, Konferenzraum, Massagepraxis und vieles mehr.“ Für den ehemaligen Mercedes- sowie Apple- und aktuellen VW-Entwickler zählt der Zeitgewinn neben der Sicherheit und der individuellen Mobilität für alle zu den zentralen Benefits des Autonom-Mobils. „Jeder Nutzer eines Autos verbringt darin in seinem Leben durchschnittlich 37.668 Stunden“, rechnet er vor, „was könnte man alles tun in dieser Zeit?“

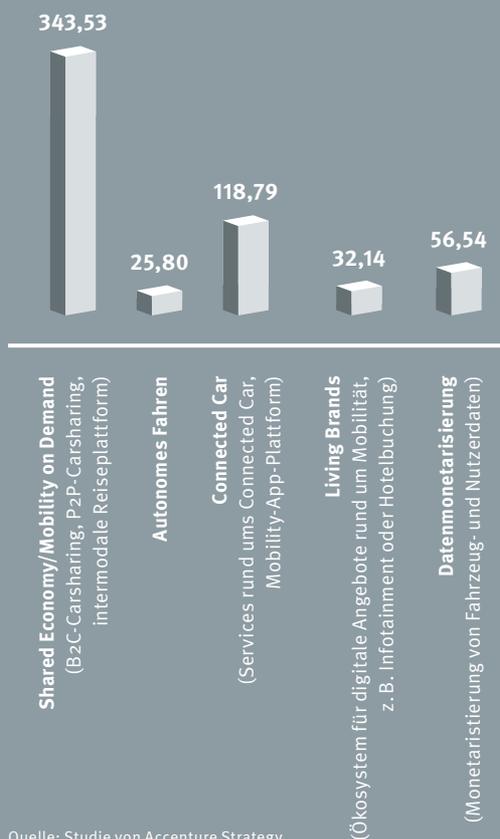
Ja, was? Zum Beispiel: relaxen, entschleunigen, chillen. Also die Zeit bewusst als freie nutzen. Wie es selbst Manager auf Langstreckenflügen schon einmal tun. Nicht jeder verbringt die ganze Zeit über den Wolken damit, auf seinem Laptop herumzuhacken. Videos gucken, Musik hören, auch spielen gehören zur himmlischen Muße. Der ganz große Vorteil 10.000 Meter über der Erdoberfläche: Obwohl immer mehr Airlines auch



Entspanntes Businessmeeting bei 120 km/h – nur eine von vielen Nutzungsmöglichkeiten, die sich Volvo für die autonom fahrende Studie „360c“ vorstellen kann

NEUE DIGITALE GESCHÄFTSMODELLE IN DER AUTOINDUSTRIE

Für 2030 prognostizierter jährlicher Umsatz in Mrd. Euro



dort WLAN anbieten, erwartet (noch) niemand permanente Erreichbarkeit.

Genau das ist im Automobil indes anders. Wer hinter dem Steuer sitzt, kann ja auch telefonieren. Wenn er es nicht mal mehr berühren muss, müsste er folglich noch viel produktiver sein: Das autonome Auto als Beschleuniger des Lebens. Die Selbstfahr-Funktion als elektronischer Chauffeur, während der Chef arbeitet. Was bislang ein Privileg weniger ist, wird bald zum Standard für alle.

Wie so ein führerlos fahrender Multifunktionsraum aussehen könnte, darüber denken weltweit Entwickler, Ingenieure, Digital-Experten und Designer nach. Zum Beispiel Volvo. Lenkrad, Pedalerie, Cockpit – all das sucht der Betrachter vergebens in der jüngst präsentierten Konzeptstudie „360c“. Unnötig, sagen sich die Schweden, wenn der Fahrer zum Passagier wird. Stattdessen öffnen zwei opulente Flügeltüren den Zugang zu einem großzügig verglasten Abteil. Das kann entweder

als stylisches Wohnzimmer, als multifunktionales Büro oder als kommoder Schlafabteil samt Waschbecken ausgestattet sein – je nachdem, was der Reisende per App bestellt. Eine Heerschar digitaler Gadgets ist ohnehin obligatorisch. Falls gewünscht, kann sogar ein Lunch fürs Businessmeeting, das Popcorn für den Abendfilm oder andere Services mitgeordert werden. Angepeilte Umsetzung: 2030.

Reisen wie im Flug(zeug)

Andere Hersteller präsentieren ähnliche Konzepte – so wie Audi mit der Studie „Aicon“. Auch hier gleicht der Innenraum einer First-Class-Suite, in der zwar riesige Bildschirme, aber weder Lenkrad noch Pedale verbaut sind. „So ein Fahrzeug muss man nicht zwangsläufig selber besitzen“, findet Audi-Chefdesigner Marc Lichte, „man nutzt es für den jeweiligen Use Case.“ Zum Beispiel für interurbanes Metropolen-Hopping auf der Autobahn in luxuriöser Ambiente. Ein Angebot, das auch Bahn



WIE VON GEISTERHAND

Beim „Drive-by-Wire“-System SPACE DRIVE wird mit **elektrischen Impulsen** gelenkt, gebremst und beschleunigt – eine wichtige Grundlage fürs autonome Fahren

DAS RÜCKGRAT DES AUTONOMEN FAHRENS

Ein Fußgänger sieht eine rote Ampel. Sensoren (in diesem Fall die Augen) empfangen das Lichtsignal, die eingehenden Informationen werden an eine rechenstarke Schaltzentrale (Gehirn) weitergeleitet und dort verarbeitet: Rote Ampel gleich stehenbleiben. Dafür muss der Befehl aber zum Aktor (hier: die Beinmuskulatur) gelangen. Dafür zuständig: das motorische Nervensystem.

Ohne diese körpereigene „Datenautobahn“ ist Bewegung unmöglich. **Aufs autonome Fahren bezogen betitelt man ein solches motorisches Nervensystem als „Drive-by-wire“-Technologie.** Gasgeben, Bremsen, Lenken – all das erfolgt nicht mehr über eine mechanische oder hydraulische Verbindung, sondern über

elektrische Impulse. **Als weltweit einziges „Drive-by-wire“-System hat die dreifach redundante SPACE DRIVE-Lösung eine weltweite Zulassung und weist zudem – eingebaut in Autos für Menschen mit körperlicher Behinderung – über 700 Millionen Kilometer unfallfreie Fahrerfahrung auf.** Paravan hat SPACE DRIVE als Schlüsseltechnologie für autonomes Fahren in ein Joint Venture eingebracht, an dem Schaeffler einen 90-Prozent-Anteil hält. Vorsitzender Geschäftsführer der neuen Schaeffler Paravan Technologie GmbH & Co. KG ist Paravan-Gründer Roland Arnold.

Eine besondere Rolle kommt in dem neuen Joint Venture dem Schaeffler Mover zu, den die Schaeffler Gruppe in das neue Unternehmen einbringt.

Das kleine und sehr wendige Fahrzeugkonzept ist rein elektrisch betrieben und kann – mit verschiedenen Aufbauten versehen – in urbanen Räumen für flexible Transportaufgaben eingesetzt werden. **„Mit dem Schaeffler Mover als Entwicklungsplattform demonstrieren wir unseren Anspruch, ein innovativer Partner im Bereich mechatronischer Fahrwerkssysteme zu werden und diese Rolle bis hin zum ‚Rolling Chassis‘ weiter auszubauen, wo wir uns mittelfristig als einer der führenden Anbieter positionieren wollen. Auch ganze Fahrplattformen für Logistik- und Serviceunternehmen sind in Zukunft denkbar“,** sagt Dr.-Ing. Dirk Kesselgruber, Schaeffler-Fahrwerkchef und Mitglied der Geschäftsführung des jungen Joint Ventures.

und Flugzeug Konkurrenz machen soll – individuell konfigurierbar und mit einem Höchstmaß an Privatsphäre.

Das Aprilli Design Studio aus Toronto will gar eine komplette Hotelsuite auf ein selbstfahrendes Chassis stellen – Badezimer inklusive. Das preisgekrönte Konzept („Radical Innovation Award 2018“) könnte ein mobiles Bindeglied zwischen verschiedenen Hotels werden. Die Gäste würden damit zwar immer im gleichen Zimmer, aber stets in anderen Hotels an unterschiedlichen Orten aufwachen. Kreuzfahrten für die Straße mit einer Fahrstrecke von rund 1.300 Kilometern in 12 Stunden.

Es geht um viel Geld

Das autonome Auto, so die derzeit gültige Vision, ist eng verknüpft mit Carsharing – oder dem Ridesharing. So bietet es sich in der City an, statt des schnellen Autobahn-Express wendige Urban-Flitzer zu nutzen, wie den Schaeffler Mover (siehe auch linke Seite), der in der „People“-Version eine Art selbstfahrendes Sammeltaxi ist. Die Mitfahrt in einem solchen autonomen Minibus könnte sogar umsonst sein – wenn die Passagiere Werbung über sich ergehen lassen.

Schon ist man beim Thema Monetarisierung von Serviceangeboten rund um das autonome Fahren. Dass klassische Autohersteller sich lange gegen „Apple CarPlay“ und „Android Auto“, also die Übernahme vieler Funktionen an Bord durch das Smartphone und dessen Betriebssystem, sperren, hat viel mit genau dieser Frage zu tun: Wer erlangt die Hoheit über Entertainment, Kommunikation, Information und Navigation? Denn derjenige bestimmt (oder weiß zumindest), womit sich die Insassen eines autonomen Autos während der Fahrt befassen. Und kann sie – oder das Auto – entsprechend beeinflussen. Freie Fahrt für neue Geschäftsmodelle: Digital-Vordenker Jungwirth kann sich beispielsweise ein sogenanntes Freemium-Modell für autonome Autos vorstellen. Die von ihm auf den Weg gebrachte VW-Studie „Sedric“ – so eines von Jungwirths Planspielen – kutschert jemanden, der einkaufen will, automatisch und kostenlos zu einem Supermarkt, der während der

Fahrt Werbung für seine Produkte einspielt. „Wer hingegen die Fahrt bezahlt“, so Jungwirth, „kann natürlich auch das Ziel bestimmen“. Und das, was er an Bord hört oder sieht.

Aber die Möglichkeiten, die ein autonomes Auto bietet, sind einfach zu verlockend. Wer an einem Restaurant vorbeifährt, bekommt das Menü des Tages auf die Scheibe gespiegelt. Wer gerade ein Video mit einem bestimmten Schauspieler gesehen hat, wird beim Passieren eines Kinos auf dessen neuesten Streifen hingewiesen. Im Grunde müssen die Fahrzeuginsassen nicht mal rausgucken können. Stattdessen sehen sie dort, wo heute noch Glasscheiben sind, Werbung. Schöne neue Welt?

Dann doch lieber Augen zu – und den virtuellen Konzertsaal einschalten.

» Wie der Umstieg vom Pferd aufs Auto

Digital-Vordenker Johann Jungwirth über die Bedeutung des autonomen Fahrens

Hotelzimmer auf Rädern: die selbstfahrende „Aprilli Travel Suite“



DER AUTOR

Marcus Efler, Absolvent der Axel-Springer-Journalistenschule, leitete viele Jahre das Autoressort des Nachrichtenmagazins „Focus“. Heute ist er stellvertretender Chefredakteur der Auto- und Reisemagazine „Cabriolife“ und „Fat Mobility Report“. Darüber hinaus widmet er sich als Autor den Themen Auto/Motorrad, Neue Mobilität, Reise sowie Consumer Electronics.

DUELL DER



INTELLIGENZEN



Die künstliche Intelligenz wird künftig nicht nur in Brettspielen besser sein als wir. Ob in der Medizin, im Handel, im Haushalt oder im Verkehr – die KI ist fast überall auf der Überholspur. Ihr Siegeszug scheint unaufhaltsam. Aber werden Schaltkreise wirklich schlauer werden als Menschen?

— von Denis Dilba

— In 27 Jahren ist es so weit. Dann soll die künstliche erstmals die menschliche Intelligenz überholt haben. Sagt so zumindest Ray Kurzweil. Der US-Amerikaner, Autor, Technologievordenker und Director of Engineering bei Google, beschäftigt sich schon seit Anfang der 2000er unter anderem mit den Auswirkungen der künstlichen Intelligenz auf die Gesellschaft. Kurzweil glaubt, dass es ab jenem Jahr 2045, wenn die Computer schlauer als die Menschen werden, zu einer sogenannten technischen Singularität kommt. Die Maschinen verbessern sich dann mittels künstlicher Intelligenz immer schneller selbst, wodurch es zu einer Explosion im technischen Fortschritt auf allen Gebieten kommt. Dieser Wandel wird so rasant und allumfassend vonstattengehen, dass die Zukunft der Menschheit nach diesem Ereignis kaum noch vorstellbar ist. Während Optimist Kurzweil davon ausgeht, dass wir alle unsterblich werden, da Mensch und Maschine verschmelzen, befürchtet der Philosoph Nick Bostrom den Untergang der Menschheit: Die Maschinen brauchen uns dann nicht mehr.

Wie viel Intelligenz ist möglich?

Auch wenn Kurzweil und Bostrom ernst zu nehmen sind, haben viele andere Forscher starke Zweifel daran, dass es zur Singularität und damit zum Überholmanöver der Maschinen kommt: Viele prominente Anhänger dieses Gedankens seien zumeist nicht direkt im Bereich der künstlichen Intelligenz tätig, sagt

Toby Walsh von der University of New South Wales in Sydney, einer der führenden Experten in der KI-Forschung. „Die meisten Leute, die wie ich mit KI arbeiten, stehen dem Gedanken an die Singularität mit einer gesunden Portion Skepsis gegenüber. Wir wissen, wie schwierig es ist, einer Maschine auch nur ein Mindestmaß an Intelligenz einzutrichtern, geschweige denn eine rekursive Selbstverbesserung zu erreichen“, schreibt Walsh in einem Gastbeitrag für das US-Magazin „Wired“. Ihm zufolge sprächen viele technische Faktoren dagegen, dass es zu einer Singularität kommen werde. „Vielleicht stoßen wir schlicht an grundlegende Grenzen.“ Walsh denkt da etwa an ein Limit für das Maß an Intelligenz, ähnlich wie die Lichtgeschwindigkeit für die Fortbewegung.

Dass die Maschinen bald schlauer sind als wir, glaubt auch Wolfgang Wahlster nicht: „Es gibt sowohl in der Hardware als auch in der Software so gewaltige Unterschiede zwischen einem heutigen KI-System und dem menschlichen Gehirn, dass man von der generellen Leistungsfähigkeit und Alltagsintelligenz des Menschen noch extrem weit entfernt ist“, sagt der Chef des Deutschen Forschungszentrums für Künstliche Intelligenz (DFKI) mit Hauptsitz in Saarbrücken. Vor dem Terminator brauche also niemand Angst zu haben. Was aber ganz und gar nicht heiße, dass die KI-Technik zwangsläufig in allen Bereichen schlechter abschneidet als ein Mensch, sagt der KI-Experte. Die souveränen Siege von AlphaGo, einem KI-System der Google-Tochter DeepMind, zeigten das im vergangenen Jahr: Der Chinese Ke Jie, damalige Nummer eins der Go-Weltrangliste, hatte keine Chance. Und auch bei Schach, Dame, Scrabble und Co. sowie anderen Tätigkeiten, die bisher nur dem Menschen mit seinen kognitiven Fähigkeiten vorbehalten waren, haben nun Maschinen die Nase vorn.

„Algorithmen im Hintergrund von allen Prozessen“

Bild- und Spracherkennung gehören genauso dazu wie die automatische Informationserfassung aus Texten oder das Prüfen von Sensordaten auf bestimmte Muster. „Schlaue Wartungsprogramme auf Basis von KI-Algorithmen lesen aus solchen Messdaten bereits heute ab, wann eine Industrieanlage gewartet werden muss, sodass Schäden gar nicht erst auftreten“, sagt Jürgen Henn, der den Bereich Strategische IT bei Schaeffler verantwortet. „Die Maschine bestellt dann automatisch die nötigen Ersatzteile und einen Servicetechniker – und

zwar für einen Zeitpunkt, an dem die Anlage wenige Aufträge hat, damit die wirtschaftlichen Ausfälle minimiert werden.“ Das sei aber nur ein Beispiel von vielen, sagt der Schaeffler-Experte. KI erhöhe nicht nur die Anlagenverfügbarkeit. „Letztendlich werden solche Algorithmen im Hintergrund von allen Prozessen, angefangen bei der Lieferkette über die Produktionssteuerung bis zur Vorauswahl von Jobkandidaten für mehr Effizienz sorgen“, sagt Henn. „Erste KI-Anwendungen sind bei uns bereits implementiert. Und es werden mehr.“

Nicht nur bei Schaeffler steigt die Anzahl der KI-Anwendungen. Katja Grace vom Future of Humanity Institute an der Oxford University hat vor gut einem Jahr 352 der weltweit führenden KI-Wissenschaftler dazu befragt, ab wann uns intelligente Maschinen in bestimmten Tätigkeiten übertreffen werden. Einige der Ergebnisse waren zu erwarten. So werden KI-Systeme den Experten zufolge in den kommenden zehn Jahren Men-

schen beim Übersetzen (bis 2024), beim Schreiben von Aufsätzen fürs Gymnasium (2026) und beim Fahren von Lkw (2027) übertreffen. Bei anderen Aufgaben wird es den Erhebungen von Grace nach aber viel länger dauern als gedacht. Amazon und seinen neuen kassenlosen „Go“-Läden zum Trotz wird es im Einzelhandel bis 2031 keinen Weg an menschlichen Mitarbeitern vorbei geben. Ab dann erst werden Maschinen es auch schaffen, Bestseller-Bücher zu schreiben. Chirurg werden können sie erst ab dem Jahr 2053.

Mensch dank Vielseitigkeit vorn

Ab 2062, so die Prognose, wird KI dann in so gut wie jeder einzelnen Tätigkeit besser sein als der Mensch. Aber einerseits sind Vorhersagen mit einem derart langen Zeithorizont immer mit Vorsicht zu betrachten. Zumal sich die befragten Experten bereits als fehlbar gezeigt haben: Dass eine KI Menschen in dem Strategiespiel Go schlagen würde, sagten sie erst für 2027 voraus – tatsächlich geschah das aber noch während der Auswertung der Umfrage. Andererseits bedeutet die Aussage, dass KI-Systeme in allen Tätigkeiten besser als der Mensch sind, noch lange nicht, dass es auch ein einziges KI-System gibt, das alle diese Fähigkeiten vereint und dann so intelligent ist wie ein Mensch. Der kann dann zwar in einzelnen Bereichen nicht mehr mit einer KI mithalten. Insgesamt gesehen scheint es aber so, dass alles „ganz gut“ zu können noch lange für den ersten Platz im Rennen Mensch gegen Maschine reichen wird.

16

Terabyte Arbeitsspeicher stehen der IBM-KI Watson zur Verfügung – **2.000-mal mehr** als bei einem Standard-Laptop mit 8 Gigabyte RAM.

Quelle: IBM

MEILENSTEINE DER KI- FORSCHUNG

1950 TURING-TEST

Das britische Mathematik-Genie Alan Turing entwickelt ein Verfahren, um zu testen, **ob ein Computer zu Intelligenz fähig ist**. Der Turing-Test wird noch heute angewandt.

1951 ERSTER NEUROCOMPUTER

Der erste Neurocomputer des US-amerikanischen Mathematikers und KI-Pioniers Marvin Minsky hat **nur 40 Synapsen**. Der Rechner simulierte das Verhalten von Laborratten.

1956 GEBURTSTUNDE DES BEGRIFFS „KÜNSTLICHE INTELLIGENZ“

Im Antrag für eine wissenschaftliche Konferenz am Dartmouth College in Hanover (USA) verwendet der **Informatiker John McCarthy** erstmals den Begriff „artificial intelligence“.

1960 ERSTER LERNFÄHIGER COMPUTER

Der US-amerikanische Psychologe und Informatiker Frank Rosenblatt baut einen Computer, der nach Versuch und Irrtum lernen kann. Damit ist ein **Grundstein für neuronale Netzwerke gelegt**.

1966 ERSTER CHATBOT

Joseph Weizenbaum, ein deutsch-US-amerikanischer Informatiker, entwickelt das **Computerprogramm Eliza**. Es gibt vor, ein Psychotherapeut zu sein, und antwortet hauptsächlich mit Fragen und Phrasen.

1979 BACKGAMMON-PROGRAMM SIEGT GEGEN WELTMEISTER

Eine vom deutsch-US-amerikanischen Informatiker Hans Berliner programmierte **Backgammon-Software** schlägt erstmals einen menschlichen Weltmeister: Luigi Villa aus Italien.

1997 COMPUTER WIRD SCHACHWELTMEISTER

Der russische Schach-Weltmeister Garri Kasparow unterliegt dem IBM-Programm **Deep Blue** in einem Schach-Match unter Turnierbedingungen. Ein Jahr zuvor gewann Kasparow das Duell noch.

2011 KI GEWINNT BEI EINER QUIZSHOW

Die **IBM-KI Watson** tritt bei der US-amerikanischen TV-Show „Jeopardy!“ gegen zwei Quizmeister an, die zuvor Rekordsummen erspielt hatten – und lässt der menschlichen Konkurrenz keine Chance.

2011 SPRACHASSISTENT SIRI FEIERT PREMIERE

Am 4. Oktober 2011 wird Siri der Welt vorgestellt. Apples Spracherkennung kann nicht nur einzelne Wörter, sondern auch **ganze Sätze und Fragen verarbeiten**. Siri versteht heute mehr als 20 Sprachen.

2016 NEURONALES NETZWERK ALS DREHBUCHAUTOR

Die von dem Amerikaner Ross Goodwin programmierte KI Jetson, die sich selbst später Benjamin nennt, **schreibt das Drehbuch** zu dem Kurzfilm „Sunspring“ und komponiert auch die Musik dazu.

2017 ALPHAGO WIRD UNSCHLAGBAR

Das KI-System der Google Tochter DeepMind wird so stark, dass auch die damalige **Nummer eins der Go-Weltrangliste** keine Gegenwehr mehr bieten kann und 3:0 verliert.



NEED FOR

Die Zukunft des Reisens ist eine große Verheißung: Wir werden uns immer sauberer, effizienter und vor allem schneller von A nach B bewegen als je zuvor – zu Land, in der Luft, zu Wasser.

— von Oliver Jesgulke

— Seit Jahrtausenden strebt die Menschheit danach, sich immer schneller fortzubewegen. Wie der Drang, Bauwerke in immer höhere Dimensionen zu schrauben und weiter in die Tiefen des Alls vorzudringen, ist Tempo seit jeher Antrieb und ein Symbol für Fortschritt. Die fast wahnhaftige Fixierung von Wissenschaft und Adrenalinjunkies auf Geschwindigkeit hat in den vergangenen 120 Jahren zu etlichen Rekordversuchen geführt. Am 29. April 1899 fuhr der belgische Ingenieur und Rennfahrer Camille Jenatton mit seinem Elektroauto „La Jamais Contente“ über 100 km/h Spitze. Rund 70 Jahre später knackte der US-Amerikaner Gary Gabelich die 1.000er-Marke im Raketenauto „The Blue Flame“. Am 15. Oktober 1997 war es dann Militärpilot Andy Green, der im düsengetriebenen „Thrust SuperSonic Car“ den Landgeschwindigkeitsweltrekord von 1.227,985 km/h in der Wüste Nevadas aufstellte und damit als erster Mensch in einem „Auto“ die Schallmauer durchbrach. Und mit dem „Bloodhound SSC“ peilt bereits der nächste Hybrid aus Eurofighter und Formel-1-Rennwagen einen neuen Geschwindigkeitsrausch an. Sein Ziel: 1.600 km/h. Was die PS-Monster vereint: Sie sind zum Reisen gänzlich ungeeignet.

Ab geht die Post per Hyperloop

Der schwedische Supersportwagen Koenigsegg Agera RS mit Straßenzulassung bringt es immerhin auf 447 km/h. Dabei geht es zu Land noch wesentlich schneller, umweltfreundlicher und vor allem billiger: Die neue Baureihe Lo des japanischen Superzugs Shinkansen hat auf Testfahrten die 600-km/h-Marke durchbrochen und damit die Rekorde der Konkurrenten

TGV, Velaro, ICE und Transrapid Shanghai pulverisiert. Und der Zug der Zukunft kann vielleicht in den nächsten Jahren einmal Überschall erreichen: Das Enfant Terrible aus dem Silicon Valley, Multi-Unternehmer Elon Musk, hat die Idee hoffähig gemacht, dass Menschen bald per Transportkapsel mit Geschwindigkeiten von bis zu 1.200 Stundenkilometern durch Vakuumröhren reisen – wie eine Art Rohrpost. Derzeit liefern sich die Start-ups Hyperloop Transportation Technologies, Tripod, Virgin Hyperloop One und Arrivo – The Arrival Company ein Kopf-an-Kopf-Rennen um die Gunst von Investoren und den Bau erster Teststrecken.

Damit ist man schneller als in einem kommerziellen Flieger unterwegs, es sei denn, man setzt sich in einen



Schneller als ein Jet: Der Hyperloop-Zug soll mit 1.200 km/h durch Vakuumröhren schießen

SPEED

Überschallflieger, mit dem quälende Langstreckenflüge endlich der Vergangenheit angehören. Dabei verhält es sich ein wenig wie mit den Mondflügen von damals: Wir sind vor vielen Jahren schon mal so weit gewesen.

Ein Image wie Donnerhall

Sie war der Grund, warum Top-Manager und Prominente ihre Privatjets im Hangar stehen ließen: die Concorde. Der Jet aus britisch-französischer Produktion mit den markanten Deltaflügeln und der absenkbaren Nase für Starts und Landungen avancierte mit doppelter Schallgeschwindigkeit (Mach 2) von bis zu 2.400 km/h zum schnellsten zivilen Verkehrsflugzeug der Welt. Die „Königin der Lüfte“ flog damit auf Augenhöhe mit Jagdflugzeugen der russischen MiG-Baureihe, dem Tornado oder der F-14 aus dem Film „Top Gun“. Die Maschine mit ihren vier Triebwerken und Nachbrennern vermittelte jedenfalls das Gefühl, in solchen einem Kampffjet zu sitzen – jedenfalls so lange, bis der Champagner und das mehrgängige Menü serviert wurden. Sie benötigte für den Nonstop-Flug von New York nach London statt sieben nur rund drei Stunden. Das Ticket war so teuer, dass im Zeitalter der Massenfliegerei die Concorde-Lounge als die letzte Oase für Exklusivität galt. Rentabel war der Prestigeflieger jedoch nie: Die Concorde kostete in der Anschaffung und Wartung doppelt so viel wie eine Boeing 747 und verbrannte pro Flugstunde viermal so viel Kerosin im Vergleich zum Jumbo-Jet, der weitaus mehr Sitzplätze bot. Die desaströse Wirtschaftsbilanz, der Lärm durch den Überschallknall und nicht zuletzt der Absturz der Concorde 4590 am 25. Juli 2000 mit



Mit einem Hyperschall-Jet will Boeing in 20 bis 30 Jahren die Strecke London–New York in einer Stunde schaffen. Vmax: 6.000 km/h



PER U-BOOT IN ÜBERSCHALL TAUCHEN

Während es auf dem Land und in der Luft immer schneller zugeht, scheint es auf und unter Wasser verglichen damit nur im Schnecken-tempo voranzugehen. Bereits bei seiner Jungfernfahrt am 3. Juli 1952 errang das Passagierschiff „United States“ das Blaue Band für die schnellste Atlantik-Überquerung mit einer Fahrzeit von 3 Tagen, 10 Stunden und 40 Minuten. Bis heute ist dieser Rekord – zumindest bei Schiffen vergleichbarer Größe – ungebrochen. Dennoch gibt es Ausnahmen: Mit 275 Knoten (511 km/h) brauste Ken Warby am 8. Oktober 1978 mit seinem düsengetriebenen Motorboot „Spirit of Australia“ über einen australischen Stausee. Aber was ist mit Wasserfahrten in Überschallgeschwindigkeit? Für U-Boote gibt es mit der Superkavitation einen ersten Ansatz: Sobald nämlich ein Boot von einer schützenden Lufthülle umgeben wird, sinkt der Widerstand zum Wasser. Theoretisch könnte man so unter Wasser die Schallmauer durchbrechen: Umgerechnet wäre das Boot damit 5.800 km/h schnell. Der Atlantik ließe sich auf diese Weise in weniger als einer Stunde durchqueren.



113 Todesopfern markierte vorerst das Ende des zivilen Überschallflugs.

Die Wiederauferstehung des Überschallreisens

Mit dem Ende der Concorde-Ära sind Überschallflüge wieder zum Traum für Reisende geworden. Und sie könnten ein Comeback erleben. Fünfzehn Jahre nach dem letzten Flug der Concorde widmen sich rund um den Globus mehrere Projekte dieser Herausforderung. Die NASA und der Rüstungskonzern Lockheed Martin arbeiten an einem Überschallflugzeug mit 1,2 Mach. Schreckte die Concorde in den Einflugschneisen ganze Gemeinden auf, erreicht das „X-Plane“ beim Durchbruch der Schallmauer nur 75 Dezibel. Das ist nicht wesentlich lauter als das Zuklappen einer Autotür. So will man das weit verbreitete Luftraumverbot für Überschallflüge umgehen, zumal das Gros aller Langstreckenrouten über Land führt.

Die Macher des Start-ups Boom Technology wollen trotz dieser Hindernisse ihren Überschallflieger noch schneller machen. Die 3D-Animationen des dreistrahligen Boom Airliner erinnern sehr an die Silhouette der Concorde. Das Flugzeug für 55 Passagiere soll schon ab 2023 mit Mach 2 beispielsweise zwischen Sydney und Los Angeles pendeln. Das Unternehmen wertet momentan an einer kleineren flugfähigen Demoversion, XB-1 getauft, um die Aerodynamik, die eingesetzten Kohlefaserverbundwerkstoffe und die Triebwerke zu testen.

Überschall ist out, Hyperschall ist in

Doch geht es längst nicht mehr um Reisen per Überschall. Hyperschall ist der neue Trend. Schon 2004 unternahm die NASA mehrere Testflüge mit dem unbemannten Flugzeug X-43A, das von einer B-52 auf 13 Kilometer Höhe geflogen und dann abkoppelt wurde. Es erreichte eine Geschwindigkeit von Mach 9,6, rund



10.600 km/h. Mit dem Programm „Hypersonic International Flight Research Experimentation“ – kurz HIFiRE – erforschte von 2007 bis 2017 ein internationales Team aus Wissenschaftlern und Militärs weitere Grundlagen für das Hyperschallfliegen. US-Flugzeugbauer Boeing hat im Sommer 2018 das Konzept für einen hypersonischen Passagierjet nachgelegt. Die Maschine soll eine Spitzengeschwindigkeit von mehr als 6.000 km/h erreichen. Das entspricht der fünffachen Schallgeschwindigkeit, also Mach 5. Die Strecke von London nach New York würde man so in einer Stunde zurücklegen.

Boeing setzt hierzu auf eine neuartige Triebwerkskonstruktion, die Elemente einer Turbine und die eines Staustrahltriebwerks vereint. Die europäische Weltraumorganisation ESA investiert dagegen mit „SABRE“ in eine neuartige Kreuzung aus Jet- und Raketentriebwerk für den Hyperschall, der statt Kerosin Wasserstoff als Treibstoff verbrennen soll. Bis es soweit ist, werden allerdings noch 20 bis 30 Jahre vergehen. Viel früher, und zwar schon 2019, können solvente Fluggäste dafür einen Ausflug in den erdnahen Weltraum machen. Das versprechen die Anbieter Blue Origin und Virgin Galactic mit ihren Trägerraketen.

„Beam mich hoch, Scotty“

Wenn die oberste Maxime des Reisens zu Land, in der Luft und zu Wasser darin besteht, Menschen immer schneller zu transportieren, wäre das endgültige Ziel dann nicht das Reisen ohne Zeitverzögerung? In Science-Fiction-Filmen, -Videospielen und Fantasy-Büchern gehört die Idee längst zu den Standardinstrumenten. Schnellere Autos und bahnbrechende Hyperschalljets bergen ihre eigenen Gefahren. Diese sind jedoch unerheblich, verglichen mit den Risiken der Teleportation eines Lebewesens, die zugleich ethische Fragen aufwirft: die Auflösung eines Körpers und des Bewusstseins bzw. dessen Wiederausammensetzung an einem anderen Ort. In der Physik funktioniert das

verzögerungsfreie „Beamen“ von A nach B per Quantentechnologie tatsächlich – mit bestimmten Eigenschaften wie denen von Lichtteilchen und Atomen. Dinge oder gar Lebewesen können damit nicht teleportiert werden. Auch die alternative Vorstellung, eine Person digital zu übertragen und an einer gewünschten Position wieder physisch zusammensetzen, scheitert an der technischen Machbarkeit. Die University of Leicester hat dazu eine Beispielrechnung aufgestellt: Für die Übertragung eines ausgewachsenen Menschen wären 26 Septillionen (42 Nullen) Bits an Daten nötig. Eine unvorstellbare Datenmenge, selbst mit einer Bandbreite von 30 GHz würde die Übermittlung der Informationen mehrere Billionen Jahre dauern.

Theoretisch ebenfalls möglich – das hat der mexikanische Physiker Miguel Alcubierre bereits im Jahr 1994 vorgerechnet – soll das in Sci-Fi-Filmen gern praktizierte Reisen mit Lichtgeschwindigkeit oder sogar Überlichtgeschwindigkeit (im Star-Treck-Sprech „Warp“) sein. Für eine reale Umsetzung wäre allerdings eine lokale Raumzeitverwerfung nötig, eine Art Blase, die das Fahrzeug umgibt. Um diese zu erschaffen, bräuchte man laut Alcubierre so viel Energie, wie in der gesamten Masse des Planeten Jupiter gespeichert ist. Bis hin zu NASA-Physiker Harold White verfolgen Wissenschaftler die Idee weiter, um eine solche gezielte Manipulation der Raumzeit irgendwann in ganz ferner Zukunft zu ermöglichen.

Bis es so weit ist, empfiehlt es sich hingegen einfach loszulaufen – oder auf den nächsten Hyperschallflieger zu warten.



DER AUTOR

Oliver Jesgulke hat als persönliche Tempobestmarke mal 280 km/h auf der Autobahn geknackt. Mach 2 kennt er nur aus Erzählungen von seinem Vater. Der war Kampfpilot bei der Bundeswehr und überlebte dabei gar den Absturz einer F-104 „Starfighter“.



EINE SPÄTE, ABER DRUCKVOLLE REVOLUTION

Vor mehr als 35 Jahren zum ersten Mal beschrieben, wälzt der 3D-Druck Schritt für Schritt die Produktionstechnik um. Was mit den additiven Fertigungsverfahren schon heute funktioniert und was erst morgen oder gar nicht, weiß bei Schaeffler die Abteilung Additive Manufacturing.



— Dass der 3D-Druck die industrielle Fertigung stark verändern wird, hat nahezu jeder schon einmal gehört. Aber wie groß die Umwälzungen wirklich sein werden, lässt erst der Blick zurück in die Vergangenheit erahnen: Schon die alten Ägypter haben damals Sandstein mit einfachen Seilen aus dem Berg gesägt. Heute sind solche Sägeseile zwar mit Diamant und Hartmetall besetzt und werden von Motoren angetrieben, das Wirkprinzip ist aber über mehr als 2.000 Jahre gleich geblieben. Ob Hanfseil oder Hightech-Säge: Beide tragen Material ab. Genauso verhält es sich mit dem Bohren, Fräsen, Hobeln oder Schleifen. Seit Jahrhunderten entfernen diese zerspanenden Fertigungstechniken Holz und Metall, seit jüngerer Zeit auch Plastik oder Keramik, und lassen so definierte Bauteile entstehen. Der 3D-Druck arbeitet gänzlich anders, wie Carsten Merklein, Leiter der Abteilung Additive Manufacturing bei Schaeffler, erklärt: „Wir nehmen nicht mehr Material weg, um etwas zu produzieren – wir fügen es einfach hinzu und lassen so Dinge aus Pulvern, Pasten oder Flüssigkeiten direkt materialisieren. Das gab es vorher einfach nicht“, sagt der Experte. Aber nicht nur deswegen hält Merklein den 3D-Druck für den größten fertigungstechnischen Sprung der letzten 200 Jahre. „Anders als beim Zerspanen, wo viel überschüssiges Material auf der Strecke bleibt, wird beim 3D-Druck nur so viel Material aufgetragen, wie für die Herstellung erforderlich ist. Das spart Ressourcen.“ Der für Merklein aber wohl wichtigste Vorteil: „Egal ob Zerspanen, Gießen, Tiefziehen oder sogar CNC-Fräsen – in keinem anderen Fertigungsprozess lassen sich digitale Entwürfe so unmittelbar in die materielle Welt übertragen wie mit dem 3D-Druck.“

Merklein ist mit seiner Meinung bei Weitem nicht allein. Prominente Unterstützung bekommt er unter anderem von Barack Obama, der bereits 2013 in einer Rede zur Lage der Nation feststellte: „Der 3D-Druck hat das Potenzial, die Herstellung von fast allen Produkten zu revolutionieren.“ Der frühere US-Vizepräsident Al Gore vergleicht die neue Fertigungsmethode in seinem Buch „The Future“ sogar mit der Einführung des Fließbandes in die Automobilindustrie durch Henry Ford Anfang des letzten Jahrhunderts. Und 3D-Druck-Pionier Neil Gershenfeld, Professor am Massachusetts Institute of Technology, setzt seinerseits auf diese Einschätzung noch einen drauf, indem er



» **Bauteile können und müssen für den 3D-Druck ganz anders designt werden**

Carsten Merklein, Schaeffler Additive Manufacturing

prophezeit, dass „der 3D-Druck nicht nur die Machtverhältnisse in der industriellen Fertigung neu definieren, sondern die Wirtschaftswelt als Ganzes erschüttern“ werde. Leicht zu heben sein werden die enormen Potenziale des 3D-Drucks aber in keinem Fall, weiß Schaeffler-Experte Merklein: „Bauteile können und müssen für den 3D-Druck ganz anders designt werden – das setzt eine völlig neue Art und Weise zu denken voraus.“

Nicht immer rechnet sich 3D-Druck

Aus diesem Grund beschäftigen sich Schaeffler und viele andere Unternehmen schon lange mit dem bereits 1981 vom japanischen Wissenschaftler Hideo Kodama erstmals beschriebenen Fertigungsprinzip. „Wir haben additive Verfahren in den späten 1990er-Jahren eingeführt. Anfangs noch ausschließlich für den schnellen Prototypenbau. Seit 2012 zunehmend auch zur Fertigung funktioneller Bauteile“, sagt Merklein. Die zunehmende Bedeutung des Themas 3D-Druck ließ Schaeffler dann weiter investieren: 2015 wurde ein „Additive Manufacturing Fab Shop“ gegründet. „Ein Zwitter zwischen einem sogenannten FabLab, in dem experimentiert wird, und einem Workshop, in dem produziert wird“, erklärt der Experte. Ziel seines aktuell neunköpfigen Teams sei es einerseits, die additive Fertigung intelligenter Werkzeuge und funktioneller Prototypen im 3D-Druckverfahren für den Einsatz beim Kunden voranzutreiben, so Merklein. „Andererseits prüfen wir schon heute systematisch, wo morgen additive Verfahren in unserem Produktionssystem positive Beiträge leisten können.“

Regelmäßig kommen auch Kollegen, die von dem Thema gehört haben, aus anderen Abteilungen in Merkleins Fab-Shop-Reich und fragen nach, ob ein bestimmtes Teil auch in 3D gedruckt werden kann. „In der Regel sind das noch Bauteile, die für konventionelle Verfahren designt worden sind“, sagt der Schaeffler-Mann. Er und sein Team klopfen dann ab, inwieweit ein 3D-Druckerfreundliches Redesign möglich ist, sodass die Vorteile des neuen Verfahrens genutzt werden können.



Für dieses Werkzeuggrundgestell einer Presse wurden in dem unten gezeigten 3D-Hybrid-Drucker von DMG Mori auf eine Grundplatte zwei Säulen im Pulverauftragsschweißverfahren „gedruckt“ und anschließend glatt gefräst

„In vielen Fällen ist das möglich, in einigen aber auch nicht“, sagt Merklein. „Als Faustregel gilt: Je komplexer das Bauteil und je kleiner die Stückzahl, desto eher rechnet sich aktuell ein additives Verfahren. Das muss aber für jeden Fall durchgerechnet werden.“ Ein Vorteil des an sich aufwendigen 3D-Druckens: Da bisher erforderliche Werkzeuge oder Gussformen nicht mehr nötig sind, kann sich auch die Produktion von kleinen Stückzahlen rechnen. Ein weiteres Plus: Mit den 3D-Druck-Methoden können auch Formen gefertigt werden, die mit herkömmlichen Verfahren gar nicht oder nur sehr aufwendig zu produzieren sind. „Beispielsweise verschlungene Kühlkanäle für Spritzgusswerkzeuge, für die man um die Ecke bohren müsste, was bekanntlich nicht funktioniert“, erklärt der Schaeffler-Spezialist.

Auch Drucker-Hersteller haben noch Hausaufgaben

Ein weiterer Vorteil ist die Zeitersparnis: „Muss ich Ersatzteile heute noch in unserer Fertigungsstätte produzieren und dann zu unseren weit über den Erdball



Um der zunehmenden Bedeutung des 3D-Drucks gerecht zu werden, hat Schaeffler dafür bereits 2015 eine Spezialabteilung gegründet: den „Additive Manufacturing Fab Shop“. Dort entstehen in additiver Fertigung intelligente Werkzeuge und funktionelle Prototypen



1.768

Metall-3D-Drucker wurden 2017 weltweit verkauft – ca. 80% mehr als im Vorjahr. Das **Marktvolumen für alle 3D-Drucker betrug 2017 ca. 7,3 Mrd. US-\$**. Die damit hergestellten Produkte hatten hingegen einen Wert von bis zu 250 Mrd. US-\$.

Quelle: Wohlers Report 2018

10-mal

schneller als herkömmliche Modelle ist ein neuer 3D-Desktop-Drucker vom Massachusetts Institute of Technology (MIT). **Durch ein neues Verfahren kann auf Stützstrukturen verzichtet werden.** Bauteile, die bisher in einer Stunde gedruckt wurden, entstehen damit in wenigen Minuten.

Quelle: MIT

verteilten Kunden schicken, kann ich sie künftig in flexiblen 3D-Druck-Fertigungseinrichtungen zur Reparatur einfach vor Ort ausdrucken“, sagt Merklein. Das spart Zeit und Geld. Alles geht aber auch in Zukunft nicht per 3D-Druck: „Ein Gussteil, das 250.000-mal benötigt wird, wird auch in Zukunft nicht wirtschaftlicher per additiver Fertigung produziert werden“, sagt der Fachmann. So wieso brauche es noch viel Entwicklungsarbeit, auch seitens der 3D-Drucker-Hersteller, bis man überall dort, wo sie Sinn ergeben, sofort einsatzfähige Serienbauteile hat. „Für viele Anwendungen müssen sich die Reproduzierbarkeit der Druckergebnisse, die Druckgeschwindigkeit, die Automatisierung der Verfahren und die Bandbreite der dafür einsetzbaren Werkstoffe noch stark verbessern“, sagt Abteilungsleiter Merklein.

Bis hier deutliche Verbesserungen auf den Markt kommen, werde noch einige Zeit vergehen, sagt der Schaeffler-Mann. Weniger zu tun hätten er und sein Team deshalb aber nicht. Die Analyse der bestehenden Prozesse, die additive Fertigung da, wo es heute schon möglich ist – und auch das Mehr von Wissen über die 3D-Druck-Methoden durch firmeninterne Schulungen – lasten sein Team schon heute voll aus. „Wir werden

kurz- bis mittelfristig wachsen“, so Merklein. Ohne ein schlagkräftiges Team und harte Arbeit werde seine Vision, dass die additive Fertigung in zehn Jahren als gleichwertiges Verfahren in das Schaeffler-Produktionssystem integriert ist, jedenfalls nicht zu erreichen sein. „Da müssen wir aber hin“, sagt Merklein. „Denn am Ende des Tages werden es Tier-1-Zulieferer (zu Deutsch: ‚erste Ebene‘) wie Schaeffler sein, die den Automobilherstellern additiv gefertigte Bauteile aus dem 3D-Drucker liefern werden.“



DER AUTOR

Der Hamburger Journalist **Denis Dilba** wusste, dass die Anfänge des 3D-Drucks schon eine Zeit lang zurückliegen – dass es aber 37 Jahre sind, überraschte ihn bei seinen Recherchen dann doch. *Da- mals war er drei Jahre alt. Der Autor muss daher jedes Mal schmunzeln, wenn andere von einer jungen Technologie sprechen.*

IMPRESSUM

Herausgeber

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

Kommunikation Schaeffler

Thorsten Möllmann (Leiter Globale Kommunikation & Branding)
Martin Mai (Leiter Newsroom, Leiter Kommunikation & Branding Europa)

Redaktionsleitung

Volker Paulun, Stefan Pajung (Stv.)

Chefredaktion

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

Koordination

Carina Chowanek, Anke von Lübken,
Julia Schneider

Redaktion und Produktion

Speedpool GmbH

Druckvorstufe

Julien Gradtke, Mathias Mayer,
Diana Schröder

Schlussredaktion

David Feist, Volker Hummel,
Christoph Kirchner, Martin Knopp

Druck

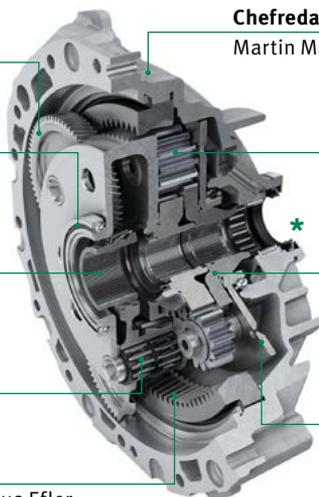
Hofmann Druck Nürnberg GmbH & Co. KG

Grafik

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

Autoren

Wiebke Brauer, Andreas Burkert, Denis Dilba, Marcus Efler,
Dr. Christian Heinrich, Martin Hyun, Oliver Jesgulke,
Jan Oliver Löffken, Roland Löwisch, Jens Möller, Dr. Laurin Paschek,
Carsten Paulun, Alexander von Wegner, Leopold Wieland



Fotos/Illustrationen

Titel: Chaloeomphon Wanitcharoenthom/Getty, Speedpool; S. 3: Schaeffler; S. 4/5: Getty (3), Porsche; S. 6/7: Alan Copson/Getty; S. 8: Andrew Peacock/Getty; S. 9: Jon Shireman/Getty, Daniel Ahmad/Wikipedia, Jonathan Knowles/Getty; S. 10: Hersteller; S. 11: Kotomi Ito/Getty; S. 12: Terry O'Neill/Getty, Schaeffler Paravan GmbH; S. 13: Curti Aerospace, Getty; S. 14–19: Getty (10), privat; S. 20–23: Getty (2), privat; S. 24/25: Jarno Schurgers/Red Bull Content Pool, privat; S. 26: alengo/Getty, Alexis Boichard/Getty (2); S. 27: The Enthusiast Network; S. 28: Audi; S. 29: Ullstein/Getty, privat; S. 30/31: Brendan Hunter/iStock; S. 32/33: JD Hancock/Flickr (3); S. 34/35: Jean-Philippe Delberghe/unsplash.com, Brendan Hunter/iStock, JD Hancock/Flickr; S. 36/37: De Agostini Picture Library; S. 38–43: Schaeffler (10), privat; S. 44–46: Mariessa Rose/Speedpool; S. 48/49: Laurence Mouton/Getty; S. 50: Corbis Historical, DigitalVision Vectors; S. 51: Daimler AG; S. 52/53: Schaeffler (2), privat; S. 54–57: Getty (5), Schaeffler, privat; S. 58/59: Porsche; S. 60/61: Thomas Barwick/Getty; S. 62/63: Clive Mason/Getty, Lars Baron/Getty; S. 64–73 Ford (3), Audi, RTA, Volkswagen (5), Daimler AG (2), Schaeffler; S. 74–79: Rune Johansen/Getty; Schaeffler (5), privat; S. 80–83: Ingo Barenschee; S. 84: Matthias Mockenhaupt; S. 85: Schaeffler, privat; S. 86: Rune Johansen/Getty; S. 87–89: CERN (2), DESY; S. 90/91: Viaframe/Getty; S. 92–95: DigitalVision Vectors (2), NIO, Schaeffler; S. 96–99: Volvo; S. 100/101: Schaeffler, Aprilli Design Studio; S. 102–105: Blutgruppe/Getty; S. 106: Foster + Partners; S. 107: Elisabeth Schmitt/Getty; S. 108/109: Boeing, Victor Habbick Vision, privat; S. 110–113: Schaeffler (3), DMG Mori, Steve Debenport/Getty; S. 114: Schaeffler

tomorrow Alle bisher erschienenen Ausgaben



01/2015
**Mobilität
für morgen**



02/2015
Produktivität



03/2015
Unterwegs



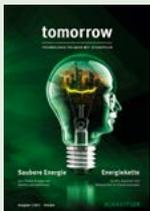
01/2016
Innovationen



02/2016
Nachhaltigkeit



03/2016
Digitalisierung



01/2017
Energie



02/2017
Bewegung



03/2017
Maschinen



01/2018
Transformation



02/2018
Urbanisierung



03/2018
Beschleunigung

tomorrow wurde ausgezeichnet



Special Mention
„Communications
Design
Editorial“



Shortlist
„External
Publications“



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“

tomorrow im Internet



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



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

tomorrow im Abonnement

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



WEB-WELTEN

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