tomorrow

Technologie erleben mit Schaeffler



Bewegung

Muss immer wieder neu definiert werden, um die Zukunft nachhaltig zu gestalten

Be|we|gung, die; - [bə'veːgʊŋ]

Für das Wort Bewegung (englisch: "Motion") gibt es je nach Anwendungsgebiet viele Definitionen.

Allgemein Zustand jenseits der Ruhe

Mathematisch Affine Drehung oder Drehspiegelung im Raum

Musikalisch Richtungsverhältnis zweier Stimmen untereinander

Physisch Änderung des Ortes eines Beobachtungsobjektes mit der Zeit

Politisch Große Gruppe von Menschen, die eine politische Veränderung anstreben, nicht fest (parteimäßig) organisiert

Psychisch Aus der Ruhe gebrachter Gemütszustand (bewegt sein, ergriffen)

Sportlich Betätigung zur Gesundheitsförderung

Quelle: Wikipedia

tomorrow wurde ausgezeichnet



Special Mention "Communications Design Editorial"



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



Silber Sonderpreis "Internationale Kommunikation"



Gold Winner "Websites, Feature Categories, Best Copy/Writing"



Special Mention "Herausragende Markenführung"



Gold Winner "General Website, Categories-Magazine"



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



Silber"Writing:
Magazines Overall"



Gold Winner "Websites: Customer Magazine"



Grand Winner "Magazine"

Liebe Leserin, lieber Leser,

Bewegung ist allgegenwärtig. Auch in dieser Ausgabe unseres Technologiemagazins "tomorrow". Und damit meine ich nicht nur die Inhalte der kommenden 90 Seiten, die sich um dieses Schwerpunktthema drehen, sondern zum Beispiel auch die Bewegungen, mit der Sie dieses Magazin in die Hand genommen und aufgeblättert haben. Oder die vielen Bewegungen, die nötig waren, um das Magazin überhaupt zu Ihnen zu bekommen. Von der Papieranlieferung über den Druck bis hin zum Weg zu Ihrem Briefkasten – überall Bewegung.

Für uns bei Schaeffler ist Bewegung essenziell. Denn Bewegung ist und war das Kernelement all unserer Produkte – und wird dies auch in Zukunft sein. Unsere Mission, unsere Vision wird durch unseren Claim auf den Punkt gebracht: We pioneer motion.

Wir sind die Experten für innovative Bewegungstechnologie. Man sieht sie in Anwendungen von Autos über Maschinen bis hin zu Windkraftanlagen. Und so groß die Bandbreite unserer gesamten Produktfamilie ist: Bewegung ist das verbindende Element zwischen allem. Deswegen wird sich Schaeffler strategisch zukünftig noch exakter positionieren: als Motion Technology Company.

Bewegung ist allgegenwärtig – bei Schaeffler sogar in Produkten, die sich nicht bewegen. Unsere Elektrolyseur- und unsere Brennstoffzellentechnologie sind hier ein sehr gutes Beispiel. Denn sie stellen saubere Energie bereit, damit Bewegung nachhaltig sein kann. Wir nennen diese noch junge Produktfamilie daher "Energize Motion". Diese Technologien zur Gewinnung und Nutzung von Wasserstoff sind auch ein ideales Beispiel, wie wir unser über Jahrzehnte angesammeltes Entwicklungs-, System- und Fertigungs-Know-how sehr erfolgreich in zukunftsweisende Anwendungsfelder einbringen. Unsere neueste "Energize Motion"-Technologie sind metallische Bipolarplatten für die Zukunft der Wasserstoffmobilität. Die Platten haben ein neues, für die Großserie optimiertes Design und verwenden ein innovatives Beschichtungsverfahren für hohe Leistung und lange Lebensdauer.



Aber nicht nur unsere Produkte sind ständig in Bewegung, sondern auch das Umfeld, in dem sie eingesetzt werden. Die technologische Entwicklung schreitet voran, Kundenwünsche und Lebensräume verändern sich, Aspekte werden plötzlich dringlich, die lange vernachlässigt wurden, allen voran Klimaschutz und Ressourcenschonung. Auch hier sehen wir uns als Motion Technology Company in der Verantwortung. Daher müssen wir über Entwicklung und Produktion hinausdenken. Wir müssen dafür sorgen, dass unsere Produkte so lange wie möglich in Bewegung bleiben und Teil der Kreislaufwirtschaft werden. Das ist wichtig für unsere Kunden, aber auch für unser Engagement für Nachhaltigkeit. Wir nennen es "Sustain Motion".

Aber wie es unsere Leser gewohnt sind, blicken wir in "tomorrow" weit über den Schaeffler-Horizont hinaus. Lesen Sie auf den kommenden Seiten, was die Welt zukünftig bewegt: von immer agileren Robotern über digitale Zwillinge und neue Materialien im Automobilbau bis hin zur Urban Air Mobility.

Ich wünsche eine bewegende Lektüre.

The Sous Remples

Klaus Rosenfeld Vorsitzender des Vorstands

Engineering

Produkte, Prozesse & Produktion

Mobilität der Zukunft

In Motion

28

E-Mobilitäts-Anschieber

Roboter spielen in Transformationsprozessen eine immer größere Rolle – Experten beleuchten den Status quo bei maschinellen Helfern

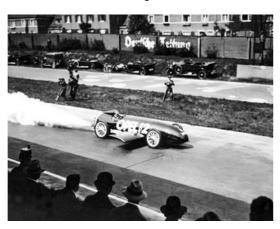


Senkrecht-Start-ups

Wir porträtieren junge Firmen, die mit innovativen Ideen Fortbewegung neu denken und in eine neue – nachhaltige – Ära transformieren

Alles anders, aber auch alles besser? 22

Auf Rädern vorwärts kommt man nicht nur mit Benzin oder Strom – wir zeigen skurrile Lösungen aus 150 Jahren Automobilgeschichte



Steile Thesen

8

14

30

Schaefflers Automotive-Vorstand Matthias Zink ordnet zehn gewagte Thesen zur Mobilität der Zukunft zwischen Vision und Wirklichkeit ein

Pssst!

36

Silence is golden – gilt auch für die Akustik in einem Auto. Einblicke und Lösungen für die neuen Herausforderungen durch leise E-Antriebe

Gamechanger

38

Schaeffler revolutioniert mit der Neuentwicklung eines vollelektrischen Radnabenantriebs den Markt für Kommunalfahrzeuge



Aufbruch und Umbruch

40

Die Transformation in der Mobilitätsbranche löst auch einen radikalen Wandel in der automobilen Arbeitswelt aus

Think Green

Nachhaltige Innovationen

44

Schneller, kleiner, weiter

46

Signifikante Fortschritte in Batterietechnologien können den Erfolg von Elektromobilität befeuern – der Stand der Dinge im Überblick



Das Bessere ist des Guten Feind

54

Die Suche nach neuen Materialien im Automobilbau ist ein immerwährender, kontinuierlicher Verbesserungsprozess

Digital

Die Welt der Bits & Bytes

58

Bits und Bytes statt Blechkleid

60

Seit den Anfängen ist die Karosserie das Rückgrat eines Automobils, in Zukunft wird das die Software sein. Lesen Sie, warum ...

Digitale Zwillinge 64

Schwachstellen einer Konstruktion kennen, bevor auch nur ein Prototyp existiert. Die Bedeutung von virtuellen Erprobungen nimmt rasant zu

Ade, Lenksäule

68

Im härtesten möglichen Testfeld, dem Rallyesport, erprobt Schaeffler ByWire die digitale Steer-by-Wire-Technologie Space Drive

Next level Aftermarket

70

Interview mit Jens Schüler, CEO Schaeffler Automotive Aftermarket, über neue Möglichkeiten im Ersatzteilgeschäft durch Digitalisierung

Future Life

Leben mit dem Fortschritt

74

Anschluss finden

76

Weltweit ist die Fortbewegung in ländlichen Gebieten schwieriger als in für dieses Problem



Völlig abgehoben

84

UAM steht für "Urban Air Mobility" und damit für gänzlich neue Möglichkeiten, urbane Verkehrsinfarkte zu verringern

Impressum

90

Engineering

Immer höher, schneller, weiter, effizienter – seit der Erfindung des Rades beflügelt Ingenieurskunst Bewegungen aller Art.

Mit Atomantrieb zum Mars

Steht ein Epochenwechsel in der Raumfahrt an? Zusammen mit der NASA entwickelt der US-Luftund Raumfahrtkonzern Lockheed Martin einen nuklearthermischen Antrieb für Raketen. Dabei soll im Atomreaktor an Bord der Rakete ein flüssiger Treibstoff (zum Beispiel Wasserstoff) extrem stark erhitzt und im gasförmigen Zustand mit hohem Druck über eine Düse am Heck ausgestoßen werden. Vorteile der Technologie: grö-Bere Reichweite und vor allem erheblich höhere **Geschwindigkeiten**, als sie mit konventionellen chemischen Triebwerken möglich sind. Und je kürzer die Flugzeit, desto geringer die Gefahr für die Besatzung durch die Strahlungsbelastung im interplanetaren Raum durch die Sonne – gerade bei bemannten Marsflügen ein starkes Argument. Statt in sechs bis neun Monaten könnte eine Reaktorrakete den Mars in drei Monaten erreichen. Ein erster Testflug soll 2027 durchgeführt werden.

LOCKHEED MARIN



100.000

Euro Fördergeld sicherte sich Professor Dr.
Max Marian von der Pontificia Universidad
Católica de Chile durch den Gewinn des Future
Technology Award der Schaeffler FAG Stiftung.
Mit dem Fördergeld kann Marian nun den
Einsatz von 2D-Nanomaterialien für PolymerWälzlagerkäfige in Zusammenhang mit
additiven Fertigungsverfahren vorantreiben.
"Die Vorteile liegen in der Optimierung
des Designs der Komponenten, der
Gewichtsersparnis und den Einsparpotenzialen
auf der Kostenseite", sagt Marian.

Material-Mixer



Ein Highlight der automatica 2023, der internationalen Leitmesse für intelligente Automation und Robotik, war eine komplexe Multimaterial-3D-Druck-Anlage. Die Lösung ermöglicht die hochpräzise Fertigung von Druckteilen in einer Kombination aus Metallen und Keramiken. Dadurch eröffnen sich für Hersteller neue Möglichkeiten für Produkte und sehr flexible Fertigungsverfahren. Der Multimaterial-3D-Drucker ist eine Innovation von Schaeffler Special Machinery. Erste Anlagen sollen 2024 in Betrieb gehen.

"Es ergibt keinen Sinn, kluge Leute einzustellen und ihnen zu sagen, was zu tun ist. Wir stellen kluge Leute ein, damit sie [uns] sagen, was zu tun ist"

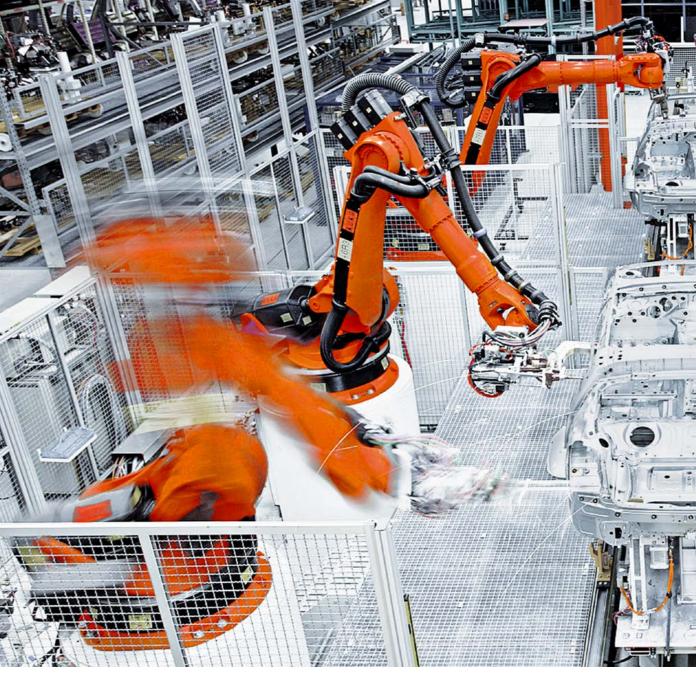
Steve Jobs (1955-2011), Apple-Gründer

Künstliche Muskeln statt Motoren

Wo Elektromotoren oder -magnete in technischen Bauteilen zu groß oder zu schwer sind, können neuartige Antriebe mit künstlichen Muskeln helfen, Platz, Gewicht und Energie zu sparen. Die von Forschungsteams der Professoren Stefan Sweelecke und Paul Motzki von der Universität des Saarlandes entwickelten Mechaniken haben "Muskelstränge" aus haarfeinen Nickel-Titan-Drähten, die über Stromimpulse aktiviert werden. Fließt Strom durch einen solchen Draht, erwärmt er sich, und seine Kristallstruktur wandelt sich so um, dass er sich verkürzt und damit anspannt. Wird der Strom abgeschaltet, kühlt er ab und wird so lang wie zuvor. Die feinen Drähte werden zu Muskelpaketen gebündelt. Wie bei echten Muskeln ermöglichen muskuläre Gegenspieler als Beuger und Strecker Bewegung in beide Richtungen. Die künstlichen Aktoren dienen zugleich als Sensoren des Systems, was ebenfalls platz- und energiesparend ist. "Verformen sich die Drähte, ändert sich der elektrische Widerstand. Wir können jede Verformung des Drahts präzisen Messwerten zuordnen und hierdurch sensorische Daten ablesen", sagt Professor Motzki. Anhand der Messwerte lassen sich Bewegungsabläufe schnell und präzise modellieren und programmieren. Die Technologie ist skalierbar, mit ihr sind also auch größere technische Bauteile **möglich.** Anders als Elektromotoren, pneumatische oder hydraulische Maschinen verursacht das Verfahren keinen Lärm und kommt ohne zusätzliches Equipment wie Schläuche, Ventile, Pumpen oder Kompressoren und ohne seltene Erden aus.

Bei diesem Prototypen überführt ein Zahnstangenmechanismus die Linearbewegung des künstlichen Muskels in eine Rotation





Transformer

Mit jedem weiteren Grad der Automatisierung nehmen Roboter eine größere Schlüsselrolle in der Industrie ein. Auch Autohersteller setzen in der Transformation mehr denn je auf maschinelle Helfer. "tomorrow" blickt zusammen mit Experten in die Werkshallen.

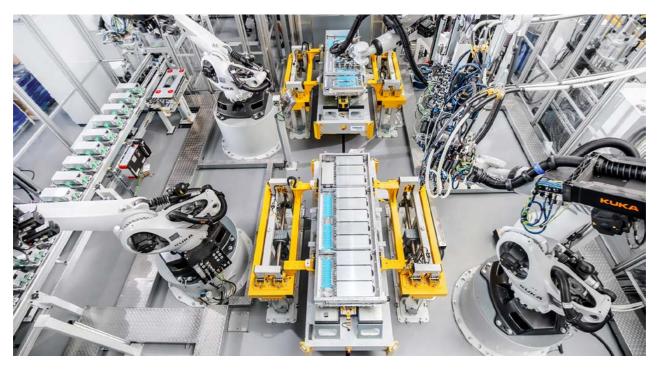


Von Björn Carstens

Roboterarme schwingen präzise über die Fließbänder, sie bewegen Karosserieelemente, setzen Schweißpunkte. Dazwischen wuseln autonome Transportfahrzeuge. Die Produktionsstätten der Autobauer wirken fast wie Szenerien in Science-Fiction-Filmen. "Die Automobilindustrie hat die automatisierte Fertigung praktisch erfunden. Die Automatisierung mit Robotern hilft den Herstellern dabei, grundlegende Veränderungen bei den seit langer Zeit etablierten Fertigungsmethoden und -technologien zu bewältigen", sagt Marina

Bill, Präsidentin der International Federation of Robotics (IFR), mit Blick auf die aktuell allgegenwärtige Transformation von Verbrenner-Motoren zum E-Auto: "Bei diesem Übergang spielen Roboter eine entscheidende Rolle", weiß Bill.

Eine Million Industrieroboter arbeiten derzeit in den Fabriken der Automobilindustrie rund um den Globus. Das entspricht in etwa einem Drittel der Gesamtzahl aller installierten Roboter über die verschiedenen Branchen hinweg, wie die IFR konstatiert. 2.867 Industrieroboter pro 10.000 Beschäftigte waren in Südkorea im Jahr 2021 im



Antriebsbatterien sind das Herzstück eines E-Autos. Schon allein wegen des Gewichts der Stromspeicher ist eine Produktion ohne Roboter kaum zu realisieren

Einsatz. Deutschland rangiert mit 1.500 Einheiten an zweiter Stelle, gefolgt von den Vereinigten Staaten mit 1.457 Einheiten und Japan mit 1.422 Einheiten pro 10.000 Beschäftigte. Der weltweit größte Automobilhersteller, China, verzeichnet aktuell eine Roboterdichte von 772 Einheiten und holt auf: Innerhalb eines Jahres hat sich die Zahl der neu installierten Roboter in der chinesischen Automobilindustrie mit 61.598 Einheiten fast verdoppelt – das sind 52% der insgesamt 119.405 Einheiten, die im Jahr 2021 in den Fabriken weltweit installiert wurden.

Flexible Fertigung

Automation ist bei der Transformation hin zur elektrifizierten Mobilität der große Gewinner – so ein Kernfazit der neu aufgelegten Studie "Antrieb im Wandel" vom Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA). Demzufolge verlieren klassische Maschinen zur Metallbearbeitung durch den Entfall des klassischen Antriebsstranges sukzessive an Bedeutung. Dr. Joachim Döhner, Vorstandsvorsitzender der VDMA-Fachabteilung Batterie-Produktion und Senior Director Business Development Battery bei Roboter-Hersteller KUKA, erläutert: "Insbesondere durch die Batterietechnik werden dafür nun andere Prozesse relevant, die ganz neue Herausforderungen an Automation und Prozessführung stellen. Hierfür

benötigt man möglichst effiziente und flexible Maschinen, wie Roboter oder noch flexiblere Cobots, also kompakte Roboter, die direkt mit dem Menschen zusammenarbeiten."

Auch für Ralf Moseberg, Leiter Industrial Automation beim global tätigen Technologiekonzern Schaeffler, wird Flexibilität in der Produktion ein immer wichtigerer Möglichmacher und Erfolgsfaktor, gerade im volatilen Bereich Automotive: "Es wird immer entscheidender, dass Fahrzeugbauer mehrere Modelle auf der gleichen Produktionslinie produzieren können, ohne groß umzubauen. Das Schlagwort heißt Mass Customization, das die Individualisierung von Massenprodukten aufgrund von Kundenwünschen beschreibt. Stichwort individuelle Sonderausstattung: Kunden sollen exakt das Produkt bekommen, das sie sich wünschen. Mit der Transformation zur E-Mobilität ist exakt jetzt die richtige Phase zum Investieren, um Produktionslinien mit flexibel programmierbarer Robotik von Grund auf neu zu planen."

Next big thing: Roboter-Programmierung per Drag-and-Drop

Tatsächlich gibt es Nachholbedarf. Denn klassische Industrieroboter werden häufig noch über textuelle Sprachen programmiert. Man braucht Experten, es dauert lange, ist ineffizient und so

weiter und so fort. Um die Automatisierung voranzutreiben, ist es sinnvoll, eine Robotik-Welt zu schaffen, in der alles auf Knopfdruck zusammenpasst, schnell funktionsfähig und intuitiv steuerbar ist. "Genau daran arbeiten wir, dass selbst Laien ohne Vorkenntnisse und Programmiererfahrung mit nur wenigen Klicks eine voll funktionsfähige Roboterapplikation aus den passenden Komponenten erstellen können", erläutert Dr. Joachim Döhner, "da gibt es bereits erste Produkte, wie man Bewegungsabläufe bei häufigem Werkstückwechsel einfach neu programmieren kann per Drag-and-Drop. Komplett ohne Fachsprachen anzuwenden." Selbst eine visuelle Adaption vorgemachter Handgriffe soll zukünftig möglich sein.

"Agile Justin" kann blind greifen

Stichwort "Handgriffe": Einem Team vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) ist es gelungen, Robotern mithilfe von KI sensible Fingerfertigkeiten beizubringen. "Agile Justin", auf diesen Namen taufte das DLR den humanoiden Roboter, hat spezielle Sensoren in seinen beiden vierfingrigen Roboterhänden. Er "fühlt" damit Gegenstände, fast so wie ein Mensch. Justin fängt Bälle, die ihm zugeworfen werden, erkennt Materialien durch Abtasten und dreht Objekte. Er lernt



"Der Mensch wird nie überflüssig, er muss den Roboter immer noch .einarbeiten'. Das kann der Roboter nie selbstständig erledigen. Ob es eine KI in naher Zukunft können wird, muss sich erst noch zeigen. Bis dahin gilt das Paradoxon der Automation. Je größer der Automatisierungsgrad und die technischen Möglichkeiten sind. desto wichtiger ist die Rolle des Menschen als kontrollierende und überwachende Instanz"

Dr. Joachim Döhner, Senior Director Business Development Battery bei KUKA



Die Integration von Robotern in Prozesse soll intuitiver werden und so auch von Maschinenführern möglich sein

Recycling-Robos

Eine zentrale Herausforderung der Transformation hin zur E-Mobilität ist das Thema Batterie-Recycling. Allein in Europa wird der Berg zu recycelnder Batterien im Jahr 2040 2.100.000 Tonnen wiegen - ohne Roboter ist die Demontage der E-Fahrzeugen auf den Straßen wird daher ein neues Marktsegment für die Automatisierung entstehen", ist sich KUKA-Experte Dr. Joachim Döhner sicher. Aber: "Während die Montage von Batterien eine wohldefinierte Aufgabe ist, birgt der Zustand gebrauchter Batterien Automation und Robotik hier auch, den Menschen vor Gefahren, etwa durch Hochspannung, Brandrisiko oder dem Kontakt mit schädlichen Döhner, der Robotik generell beim Wiederverwerten von Elektroschrott eine wichtige Rolle zuschreibt. Gase wie Quecksilber oder scharfkantige Teile machen es für den Menschen gefährlich, Bildschirme und Monitore mit LCD-Technologie zu demontieren. Robotik und Automation. Das irische hat zum Beispiel eine Anlage mit einem KUKA-Roboter entwickelt, die diese Herausforderungen meistert.



Sensibelchen: Der Roboter "Agile Justin" fühlt Gegenstände fast so wie ein Mensch und kann vielseitig agieren

völlig eigenständig nur durch Vorgabe, was richtig oder falsch ist. Beispiel: "Das Objekt in Richtung Zielvorgabe drehen ist gut" und "Das Objekt fallen lassen ist schlecht". "Der Roboter kann seine Lösungen in der realen Umgebung direkt umsetzen", sagt Berthold Bäuml vom DLR-Institut für Robotik und Mechatronik in Oberpfaffenhofen, der zahlreiche Anwendungsfälle sieht. Mehrfingrige Roboterhände könnten sehr komplexe und kleine Teile montieren, sofern sie die flexible, standardmäßig intelligente Manipulation beherrschen – ideal für komplexe Fertigungsprozesse moderner Automotive-Fertigungen. Aber nicht nur dort. Solche feinfühligen Robo-Assistenten könnten beispielsweise auch den Pflegenotstand vieler westlicher Länder entschärfen und Menschen mit Einschränkungen ein höheres Maß an Selbstständigkeit im Alltag zurückgeben.

Und trotzdem oder genau deswegen sagt Döhner: "Der Mensch wird nie überflüssig, er muss den Roboter immer noch "einarbeiten". Das kann der Roboter nie selbständig erledigen. Ob es eine KI in naher Zukunft können wird, muss sich erst noch zeigen. Bis dahin gilt das Paradoxon der Automation: Je größer der Automatisierungsgrad und die technischen Möglichkeiten sind, desto wichtiger ist die Rolle des Menschen als kontrollierende und überwachende Instanz."

Schaeffler in der Robotik

Fahrbarer Untersatz

Die "Car Transfer Unit" (CTU) ist in den Werken des südkoreanischen Autobauers Hyundai-Kia in Serie sowie bei Volvo in einem Pilotprojekt im Einsatz. "Mit der mechatronischen CTU können verschiedene Chassis in alle Richtungen im Raum flexibel positioniert werden. So lässt sich leicht auf einer Fertigungslinie von einem Fahrzeugmodell auf das andere switchen, die Elektronik rechnet blitzschnell, sodass der "Robot Gripper' für das nächste Auto auf eine neue Position fährt", erläutert Ralf Moseberg, Leiter Industrial Automation bei Schaeffler.



"Unsere Strategie, die Zielkonflikte der Robotik-Branche auf Produktebene zu lösen, damit die Hersteller konzeptionell auf **Kompromisse verzichten** können, zahlt sich voll aus"

Ralf Moseberg, Leiter Industrial Automation bei Schaeffler



Feinfühlige Helfer

Schaeffler liefert die Teilsysteme "Liftkit" und "Slidekit" sowie sensorisierte Getriebe für Cobots, die die Endabnahme von Fahrzeugen übernehmen. Das Gesamtsystem wurde von Hyundai-Kia entwickelt und ist dort in Serie im Einsatz. Ralf Moseberg: "Anhand einer innovativen, von Schaeffler entwickelten und in unsere Präzisionswellgetriebe integrierten Drehmomentsensorik lassen sich feinfühlige Bearbeitungs-, Montage- und Kontrollaufgaben einfach realisieren."



Rising Stars

Die Start-up-Welt ist ständig in Bewegung. "tomorrow" stellt aufstrebende Unternehmen vor, deren Innovationen in der Mobilitätsszene bereits für Furore sorgen oder noch sorgen könnten.



modernen Ladeparks ergänzt. Saga, so heißt die Technologieplattform, verbindet alle Fahrzeuge im Netzwerk und bietet eine optimierte, dynamische Planung auf Grundlage des Frachtbedarfs, der Verfügbarkeit von Laderampen, von Ladezeiten und Fahrerwechseln et cetera. Damit nicht genug. Zum Kernbusiness von Einride gehört auch die angestrebte Logistik-Revolution mit autonomen T-Pods. Das sind Science-Fiction-artige Lkw ohne Fahrerkabine, die in Schweden und den USA bereits auf öffentlichen Straßen im Einsatz sind.

Die Köpfe dahinter: Die beruflichen und privaten Wege von Robert Falck und Linnéa Kornehed kreuzten sich irgendwann so oft, dass sie sich dachten: Dann können wir auch heiraten. Ihr noch vor der Eheschließung "gezeugtes Baby" Einride ist unerhört schnell gewachsen. Namhafte Konzerne haben Hunderte Millionen in Einrides Vision investiert. "Was wir hier haben, ist buchstäblich eine Technologie, die die Landkarte neu schreiben und neu bestimmen wird, wie wir Geschichte

sehen und wie wir Transport sehen", sagte Falck gegenüber dem Forbes-Magazin.

Die Vision: Der Firmenname gibt die Richtung vor. Einride ist eine Anspielung auf den Donnergott Thor und bedeutet "einsamer Reiter". So einsam, dass es eigentlich nicht mal einen nordischen Reitersmann braucht, der Einrides Innovation pilotiert. Einride möchte, dass der Fahrer künftig aus dem Lkw aussteigt, aber nicht aus dem Job, sondern stattdessen als Remote-Fahrer in einem Kommandozentrum arbeitet. Denn sofern Mitarbeitende in einer Einsatzzentrale mehrere Lkw zeitgleich betreuen können, sinken die Kosten. Die Fernlenker würden von höheren Löhnen und einem sicheren Arbeitsplatz profitieren, Einrides Kunden von sinkenden Kosten.





Origami-Solarpanels to go

Das Start-up: Levante (Italien, seit 2021)

Das Business: Mobile Solartechnik.

Die Strategie: Fotovoltaik bedeutet nicht nur grüne Stromversorgung zu Hause auf dem eigenen Hausdach, sondern ist auch eine gute Energiequelle fernab des Stromnetzes - bei Outdoor-Abenteuern, beim Camping oder auf einem Boot können Solarmodule Batterien aufladen. Der Geistesblitz der Gründer: leistungsstarke Solarpanels mit bis zu 500 Watt, die sich, inspiriert von japanischer Papierfalttechnik, leicht auf ein tragbares Maß zusammenklappen lassen. Ihre Leitfrage: Wie lässt sich mehr Platz für Solarenergie schaffen, wenn unterwegs wenig Platz zur Verfügung steht? Die 13,5 Kilo schweren Panels von Levante lassen sich auf ein Maß von rund 120 mal 40 Zentimeter verkleinern, während sie im Betrieb 270 mal 165 Zentimeter messen.

Die Köpfe dahinter: Sara Plaga aus Italien und Kim-Joar Myklebust aus Norwegen lernten sich 2009 auf einem Musikfestival in Dänemark kennen und lieben. Seitdem sammelt das Pärchen rund um die Welt Erinnerungen – vornehmlich bei Reisen im Wohnmobil und mit dem Segelboot. Ihr Problem: Nicht immer war unterwegs an genügend saubere Energie zu kommen. 2021 kündigten sie ihre Nine-to-five-Jobs und gründeten ihr Start-up, schon

Die Gründer Sara Plaga und Joar Myklebust sind auch privat ein Paar. Ihre 500 Watt starken, faltbaren Solarpanels kommen unter anderem auf einem Segelboot zum Einsatz

zuvor machten sie Bekanntschaft mit dem Weltumsegler-Paar von "Sailing Uma", das Levante mitentwickelte und auf seinem YouTube-Kanal promotet.

Die Vision: Der Firmenname Levante steht symbolhaft für die Vision des Gründerpärchens. Er ist ein Synonym für den Namen ihrer ersten Tochter Aurora und steht für die im Osten aufgehende Sonne, Hoffnung, Energie und einen Neuanfang. "Wir wollten mit unserer beruflichen Tätigkeit immer dazu beitragen, einen positiven Einfluss auf unseren Planeten zu nehmen", schreiben die Gründer auf ihrer Homepage.

www.levante.eco

(Wasserstoff)Taxi nach Paris

Das Start-up: Neptech (Frankreich, seit 2020)

Das Business: Entwicklung emissionsfreier Wasserstoff-betriebener Katamarane, um Stadtzentren durch eine bessere Nutzung von Wasserstraßen zu entlasten.

Die Strategie: Dieselbetriebene Schiffe sind als Umweltfrevel verschrien. Das französische Start-up Neptech hat erkannt, dass sich besonders öffentliche Transportunternehmen umweltfreundlichere Schiffe wünschen. Vier innovative Schiffstypen haben die Ingenieure von Neptech entwickelt - sowohl für den Pendler- und Touristen- als auch für den Frachtverkehr. Die Schiffe sind bis zu 30 Meter lang, bieten Platz für bis zu 200 Passagiere oder 20 Tonnen Fracht. Der Antrieb basiert auf einer von Toyota entwickelten Brennstoffzelle. Was man wissen muss: Ein Wasserstoffantrieb ist bei gleicher Leistung dreibis viermal so schwer wie ein Dieselmotor. Das macht das Schiff langsamer und verringert die Reichweite. Neptech möchte diesen Malus mit einem besonders schlank designten Rumpf ausmerzen, der den Energieverbrauch um bis zu 40 Prozent reduzieren soll.

Die Neptech-Gründer (v. l.) Corentin Bigot, Tanguy Goetz und Clément Rousset wollen eine emissionsfreie Schifffahrt





Neptech will mit seinen auf der Pariser Seine fahrenden Wasserstofftaxis bei den Olympischen Spielen 2024 Eindruck machen

Die Köpfe dahinter: Ehrlich sind sie ja, die drei Gründer. Für das Schiffbau-erfahrene Trio ist sein Business-Case klar eine Wette auf morgen, wie in dicken Lettern auf der Website zu lesen ist. Das heißt: Sicher sind sie sich nicht, dass ihr Produkt einschlägt, aber sie arbeiten seit etwa drei Jahren hart daran. Erster großer Erfolg: Weil sie einen Innovations-Wettbewerb gewannen, könnte ihr Debüt publikumswirksamer kaum ausfallen. Die Neptech-Innovation soll bei den Olympischen Spielen 2024 in Paris erstmals Passagiere über die Seine schippern.

Die Vision: Neptechs Vision hat viel mit dem folgenden Fakt zu tun: Die weltweite Schifffahrt pustet jährlich fast eine Milliarde Tonnen CO₂ in die Atmosphäre. Viel zu viel, um die Klimaziele zu erreichen. Die Internationale Seeschifffahrtsorganisation (IMO) hat das Ziel ausgerufen, die Treibhausgas-Emissionen bis 2050 um mindestens 50 Prozent zu reduzieren. Neptech will dazu beitragen, den CO₂-Fußabdruck der Schifffahrt zu senken.

www.neptech.co

Falco lebt!

Das Start-up: Alveri (Österreich, seit 2019)

Das Business: Mobilitätswende zu E-Fahrzeugen.

Die Strategie: Voller Fokus auf den Ausbau einer smarten Ladeinfrastruktur, um hinterher ein preiswertes und damit massentaugliches E-Auto anbieten zu können. Das Start-up setzt auf einen Drei-Säulen-Plan. Säule 1: Die Alveri-App analysiert das Fahrverhalten ihrer User auf Elektroauto-Tauglichkeit und empfiehlt ein passendes Auto. Säule 2: Parallel hat die Firma einen Prototyp eines vollautomatischen, schienengeführten Laderoboters (CHARbO) gebaut, der bis zu 20 Ladesäulen ersetzen kann. Er soll das Problem dauerblockierter Ladesäulen lösen und das weite Geschäftsfeld des autonomen Fahrens öffnen. Marktstart: 2024. Säule 3: Alveri entwickelt einen Elektro-Kombi namens Falco, der auf Refurbishing setzt. Alle Bauteile sollen in wenigen Stunden erneuert werden können. Die Vorteile: weniger Kosten, kleinerer ökologischer Fußabdruck und neue Businessmodelle für Werkstätten.

Der Kopf dahinter: Gründer Ehsan Zadmard. Er trainierte sich den Wettbewerbsgedanken früh an. "Wir mussten immer viel Ehrgeiz zeigen", betont der Mittdreißiger. Wir: Damit meint er seine Eltern und seine vier Geschwister, mit denen er als Siebenjähriger aus dem Kriegsgebiet Afghanistans flüchtete und in der oberösterreichischen Provinz strandete. Ein Neustart in der Ferne, der ihn bis heute antreibt. Zadmard will etwas bewegen. Nach der Matura studiert er Global Sales and





Gründer Ehsan Zadmard musste mit seiner Familie aus dem Kriegsgebiet Afghanistans fliehen

Management und wird gleichzeitig Vollzeitmanager bei Eisen Wagner – einem Mittelständler, der zum weltgrößten Stahlkonzern ArcelorMittal gehört. Dem Weltkonzern fällt der Strebsame schnell auf. Als Zadmard mit der Aufgabe betraut wird, die Zukunft der Abteilung Technischer Handel auszuloten, schlägt seine Stunde. Der Macher mit Migrationshintergrund entwickelt einen Businessplan und kauft die Abteilung mit 30 Mitarbeitern aus dem Konzern heraus. Heute wird das Buy-out-Projekt von Zadmards jüngeren Brüdern geführt – für ihn war der Millionendeal mit ArcelorMittal der Startschuss ins Unternehmertum und gleichzeitig für ein noch größeres Projekt: Alveri.

die Mobilität von morgen errichten", sagt Ehsan Zadmard. Eine "All-in-one-App-Lösung" als 360-Grad-Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine, die zur Buchungs- und Bezahlplattform werden soll. Nutzer sollen sich mit einer App umweltfreundlich von Tür zu Tür bewegen können. Ob sie dafür Bus und Bahn, E-Scooter, E-Bikes oder das Alveri-Elektroauto benutzen, ist zweitrangig.

www.alveri.at



Beim Elektro-Kombi namens Falco setzt Alveri auf Refurbishing



Ein Airbnb für Parkplätze

Das Start-up: Peuka (Deutschland, seit 2023)

Das Business: Leitsystem für (Privat-)Parkplätze.

Die Strategie: Mithilfe einer datenbankgestützten App sollen private Vermieter von Parkplätzen, Hauseinfahrten sowie Hinterhöfen und Parkplatz-Suchende zueinanderfinden. Die Plätze sollen stunden- oder tageweise gemietet werden können. Auch gewerbliche Flächen, die nachts leer stehen, können über Peuka verwaltet werden.

Die Köpfe dahinter: Drei norddeutsche junge Männer aus Kiel ärgerten sich tagtäglich schwarz, weil sie erst mal 30 Minuten um den Block kurven



"Sobald ein
Parkplatz
gebucht ist,
wird eine
Chatfunktion
zwischen Mieter
und Vermieter
aktiviert"

Malte Wussow, Peuka-Gründer

mussten, um einen freien Parkplatz zu ergattern. Dabei sahen
sie an jeder Ecke Lücken vor
Büros, in Garageneinfahrten
usw. Mit ihrer digitalen Lösung
bringen sie nun Anbieter und
Nutzer zusammen. In einem
ersten Aufschlag zunächst in
der deutschen Ostseestadt
Eckernförde.

Die Vision: Ziel ist es, die angespannte Stellplatz-Situation in vielen Kommunen Deutschlands mit einer smarten Lösung zu entlasten. Eine Art Airbnb für Parkplätze, deren Vermieter sich ein paar Taler dazuverdienen können. "Mittlerweile haben wir mehr als 1.500 User. Das Interesse ist da. Jetzt brauchen wir die Anbieter", sagt der Mitgründer Christopher Gruber.

www.peuka.com

Malte Wussow (l.) und Christopher Gruber (r.) haben zusammen mit Andreas Görtzen die App Peuka entwickelt

1.000 Einwohner, 0 Autos



Keine 15-Minuten-Stadt, eine 5-Minuten-Stadt soll Culdesac Tempe sein. Im Frühjahr sind die ersten Bewohner eingezogen

Das Start-up: Culdesac (USA, seit 2019)

Das Business: Entwicklung autofreier Stadtteile.

Die Strategie: Ja, die allermeisten Amerikaner brauchen immer noch Autos, um überall hinzukommen. Ja, die allermeisten haben auch eines. Doch selbst in einer stolzen Autonation wie den USA bewegt sich was. Das meint das Start-up Culdesac erkannt zu haben. Die alte Gleichung ein Amerikaner = ein Auto geht ihrer Ansicht nach nicht mehr auf. Der Besitz eines Autos weiche (langsam) einer Mobilität nach Bedarf. Shared sei bei jungen Leuten Trumpf. Das Immobilienprojekt Culdesac Tempe nahe Phoenix preist sich selbst als "erstes autofreies Viertel der USA, das von Grund auf neu gebaut wurde". Hier lautet die Gleichung: 1.000 Einwohner, 0 Privatwagen. Culdesac Tempe soll keine 15-Minuten-, sondern eine 5-Minuten-Stadt sein, in der alle Bewohner ihre Wege des Alltags in weniger als fünf Minuten entweder zu Fuß, mit dem Rad oder mit öffentlichen Verkehrsmitteln erledigen können. Privatautos sind verboten, dafür dürfen Residenten kostenlos Bahn fahren und erhalten Rabatt auf Mietroller.

Der Kopf dahinter: Ryan Johnson verbrachte selbst seine halbe Kindheit gefühlt hinter einer Windschutzscheibe. Zur Schule ging's mit dem Auto, zum Sport, zum Eisessen, einfach überall hin ... Amerikanische Innenstädte, die zu großen Teilen aus grauen Parkplatzwüsten bestehen, sind Johnson ein Graus: "Phoenix ist für Autos gebaut. Deshalb haben alle Menschen ein Auto.

Deshalb muss Phoenix weiter für Autos gebaut werden. Bei Culdesac sehen wir einen Ausweg aus diesem Kreislauf. Wir beginnen beim Transport. Wie wir uns bewegen, bestimmt, wie wir leben, und wie wir uns bewegen, verändert sich."

Die Vision: Pkw-Emissionen haben auch in den USA einen Löwenanteil an der Luftverschmutzung. Studien ergaben, dass in den Vereinigten Staaten dreimal so viele Menschen an den Folgen verschmutzter Luft sterben wie bei Autounfällen. Culdesac will für Menschen eine gesündere und umweltfreundlichere Option sein. "Wir erleben die erste große Verkehrswende seit dem Autobahnsystem der Bundesstaaten", sagt Ryan Johnson.

www.culdesac.com

STARTUP AUTOBAHN mit Schaeffler

STARTUP AUTOBAHN ist ein Netzwerk, das innovative Start-ups aus verschiedenen Tech-



nologiebereichen mit etablierten Unternehmen wie Schaeffler zusammenbringt. Schaeffler ist offizieller Partner. Scannen Sie hier für weitere Details.

Nicht alle Wege führen zum Ziel

Von Turbine bis Atomkraft, von vielversprechend bis skurril – ein Kompendium der Antriebsarten aus 150 Jahren Automobilgeschichte.

Ab den 1860er-Jahren tüftelte der junge, technikbegeisterte Handelsvertreter Nikolaus Otto an der Optimierung des vom Franzosen Étienne Lenoir erfundenen Gasmotors. Das Ergebnis war der sogenannte Flugkolbenmotor, der durch ein geändertes Gas-/Luftgemisch und die Nutzung des Umgebungsdrucks zwei Drittel weniger Kraftstoff verbrauchte als Lenoirs Ursprungsversion. 700 Kilo wog Ottos erster Motor und leistete 0,5 PS. Für die Mobilität war er nicht geeignet, wohl aber als Antrieb für Produktionsmaschinen. Otto forschte weiter, entwickelte unter anderem die elektrische Zündung und brachte 1876 zusammen mit Wilhelm Maybach und Gottlieb Daimler einen Viertaktgasmotor mit verdichteter Ladung zur Serienreife. "Otto's neuer Motor", so der Vermarktungsname, bildete die Grundlage für heutige Verbrennungsmotoren. Gottlieb Daimler erkannte schnell das Potenzial des neuen Aggregats als Fahrzeugantrieb zu Lande und Wasser, optimierte zusammen mit Maybach weiter. Carl Benz kombinierte den Verbrennungsmotor mit einem kutschenartigen Dreirad und brachte so das erste Automobil auf die Straße. Bis heute ist der mit fossilen Brennstoffen wie Benzin, Diesel oder Gas befeuerte Verbrenner das dominierende Antriebskonzept für Pkw und Lkw. Dabei gab es in rund eineinhalb Jahrhunderten Mobilität diverse Abweichungen von der Norm. Die Mehrzahl der historischen Entwicklungspfade führte jedoch immer wieder in Sackgassen. Aber es gab auch vielversprechende Ausnahmen. Ein Überblick.





50

bis 150 Kilometer betrug die Reichweite von Autos mit Holzvergaser. Alle 20 bis 30 Kilometer mussten die Verbrennungsrückstände entfernt werden.

Festbrennstoffe

In fast eineinhalb Jahrhunderten Automobilgeschichte galt mehr als einmal das Sprichwort "Not macht erfinderisch". In Kriegszeiten mit Treibstoffknappheit zwangen Engpässe zu energetischen Alternativen. Der im Zweiten Weltkrieg vor allem in Deutschland eingesetzte Holzvergaser wandelt Holz bei hohen Temperaturen in Holzkohle um. Diese Holzkohle reagiert mit Wasserdampf zum Generatorgas, dem eigentlichen Treibstoff für den konventionellen Verbrennungsmotor. Die ungünstige Energiedichte zweieinhalbmal geringer als bei Benzin - bedeutete allerdings, dass Holz im Zweifel auf einem Anhänger mitgenommen werden musste, um ans Ziel zu kommen. Auch die Idee, Kohlenstaub als Kraftstoff zu verwenden, brachte nur mäßige Ergebnisse: Die Leistungsausbeute fiel zu gering aus.

Dampfkraft

Sie galt als technische Revolution:
Im 18. Jahrhundert ermöglichte die
Dampfmaschine die Mechanisierung
der Industrie. Dank der Verbrennung
der fossilen Energieträger Koks,
Braunkohle, Holz oder Öl war es
möglich, Dampf entstehen zu lassen
und Kolben zu bewegen. Über eine
Kurbel ließ sich der Hub der Kolben
in eine Drehbewegung verwandeln.
Neben dem Stationärbetrieb war
diese Technik bald auch bei der
Fortbewegung gefragt, etwa in
Schiffen, Lokomotiven, Automobilen
und Nutzfahrzeugen. Der
benzinbetriebene Verbrennungsmotor
mit seinem deutlich besseren
Wirkungsgrad und der kompakteren
Bauweise begann die Dampfmaschine
jedoch ab Ende des 19. Jahrhunderts
im Straßenverkehr abzulösen.



Knoten schnell war 1889 der White-Star-Liner
Teutonic – der erste Hochsee-Dampfer ohne jegliches Segel, der in Dienst gestellt wurde.

Schwungrad oder Druckluft als Hybridspeicher

Während in Hybridantrieben batterieelektrische Akkumulatoren heute die Regel sind, haben sich andere Speicherlösungen nicht durchgesetzt. Bereits in den 1950er-Jahren liefen in der Schweiz und später in Belgien Gyrobusse. Ihre rund 1,5 Tonnen schweren Schwungräder ließen sich an den Haltestellen über ausfahrbare Pantografen auf dem Dach durch Energieaufnahme an Netzabnehmern in Minuten wieder beschleunigen. Sie ermöglichten eine Reichweite der Gyrobusse von mehreren Kilometern bis zum Wiederaufladen an der nächsten Haltestelle. Für den Motorsport entstanden sogenannte Flybrid-Systeme – ein Kunstwort aus Flywheel (Schwungrad) und Hybrid – ergänzend zu Verbrennungsmotoren. Sie kamen ab 2008 in der Formel 1 zum Einsatz und ab 2011 in Le Mans, zum Beispiel bei Audi, sie setzten sich im Straßenverkehr jedoch nie durch. Ebensowenig war der Drucklufthybrid reif für die Serienproduktion. Peugeot hatte sein

beanspruchte, den Verbrauch der Baureihe 2008 damit auf 2,9 Liter verringert zu haben. Die komprimierte Luft war über eine Hydraulik und ein Getriebe mit dem Antriebsstrang verbunden. Rein pneumatisch angetriebene Leichtbau-Konzepte wie der Volvo Air Motion (siehe Abbildung), der Honda Air oder der AirPod von Motor Development

400 kg

wog der ultraleichte Volvo Air Motion (Bild) nur etwa, der zu 100 % pneumatisch angetrieben wurde.



1899

erreichte der Belgier Camille Jenatzy mit seinem E-Fahrzeug "La Jamais Contente" (siehe Foto) 105,88 km/h. Es war die erste Autofahrt mit dreistelliger Geschwindigkeit überhaupt.



E-Motor

1835 lässt Thomas Davenport, ein Schmied aus Vermont, eine kleine Eisenbahn über einen Gleiskreis mit einem Durchmesser von etwa einem Meter fahren. Das interessiert freilich wenige, ist aber im Nachhinein eine Weltsensation: Denn Davenport hat das erste Elektromobil gebaut. 1837 sichert er sich das weltweit erste Patent auf einen Elektromotor. Seitdem sinnen Ingenieure darüber nach, wie Strom den Menschen bewegen kann lange vor dem ersten Verbrennungsmotor. Als 1882 der österreichische Elektroingenieur Nikola Tesla den Wechselstrommotor erfindet, scheint Strom endgültig die antriebsseitige Mobilitätslösung zu sein. Als erstes vierrädriges E-Auto der Welt gilt der deutsche Flocken Elektrowagen aus dem Jahr 1888. Um 1900 waren in den USA 40 Prozent der Automobile Dampfwagen, 38 Prozent Elektrowagen und 22 Prozent Benziner, die ihren Treibstoff flaschenweise in der Apotheke nachtanken mussten. Kurz vor Beginn des Ersten Weltkriegs wendete sich das Blatt zugunsten des Verbrenners. Das Tanken wurde durch erste Zapfstellen erheblich vereinfacht, die durch Henry Ford eingeführte Fließbandproduktion machte das Verbrennerauto deutlich erschwinglicher als den Batteriekonkurrenten. Der Rest ist Automobilgeschichte. Doch mittlerweile zeichnet sich überdeutlich ab, dass das E-Auto das Blatt wieder zu seinen Gunsten wendet. Experten von Schaeffler gehen davon aus, dass 2035 weltweit "nur noch" rund 15 Prozent aller neu zugelassenen Autos rein verbrennungsmotorisch angetrieben sein werden.



24

Feststoffraketen brennen während einer halsbrecherischen Fahrt auf der Avus-Rennstrecke im Rücken von Fritz von Opel ab.

Raketenantrieb

Autos mit Raketenantrieb gab und gibt es tatsächlich – allerdings nicht im Straßenverkehr, und das ist auch besser so. Fritz von Opel jagte 1928 mit dem Opel RAK 2 über die Berliner Avus. Und wenn es um Geschwindigkeitsrekorde zu Lande geht, geben Raketenantriebe etwa auf dem Salzsee von Utah schon seit Mitte des vergangenen Jahrhunderts den Ton an. Im Verkehrsalltag freilich ist die Rakete nicht zu gebrauchen: Die austretenden Abgase sind viel zu heiß, und das Rückstoßprinzip ist mit Tempo und Rhythmus im Straßenverkehr nicht kompatibel. Dass Raketenantriebe dennoch eine konkrete Rolle für die Verbesserung der Sicherheit im Straßenverkehr gespielt haben, ist eine historische Tatsache. So setzte Mercedes-Benz von 1962 bis 1973 Heißwasserraketen ein, um Versuchsfahrzeuge bei Crashtests zu beschleunigen. Längst haben Schleppseile diese Aufgabe der Beschleunigung übernommen.



Solarantrieb

Die Sonnenenergie als Antrieb zu nutzen klingt verlockend. Doch der Wirkungsgrad von Solarzellen ist mit nur rund 20 Prozent so gering, dass es trotz angekündigter Modelle wie Sono Sion, Lightyear One oder Aptera Sol bis heute kein Solarauto im Handel gibt. Aktuell in Serienfahrzeugen angebotene Solardächer – etwa im Hyundai loniq 5 – dienen nur als Ergänzung zum Ladestrom aus der Steckdose. Das vom Schaeffler-Partner ABT e-Line angebotene Solardach für den VW ID. Buzz kann mit einer Spitzenleistung von 600 Watt aber laut Hersteller pro Jahr immerhin Energie für bis zu 3.000 Kilometer liefern. Bei extremen Leichtbau-Prototypen hingegen genügt der Strom aus bordeigenen Solarzellen durchaus zur Fortbewegung: Seit 1987 messen sich etwa in der World Solar Challenge in Australien die besten Teams miteinander (www.worldsolarchallenge.org), das Konzeptauto Sun Favor (siehe Foto oben) belegte 1993 den 12. Platz. Auch zu Wasser findet die Solaridee Freunde: Dank großer Dachflächen haben Solarboote, teils mit Platz für eine dreistellige Passagierzahl, den Weg auf die Gewässer der Welt gefunden.

17.000

Solarzellen beförderten den Schweizer Bertrand Piccard 2016 mit seinem Flugzeug Solar Impulse 2 einmal um die gesamte Erde



120 km/h

das Konzeptauto **Simca Fulgur** aufs Tacho bringen müssen, dann wäre es – theoretisch – nur auf den Hinterrädern weitergefahren. Der Heckflügel soll so ausbalanciert gewesen sein, dass der Fulgur seine Vorderräder dank eines stabilisierenden Kreiselsystems hätte einziehen können.

Atomantrieb

Ungebrochener Fortschrittsglaube begünstigte es, dass Ford 1958 der Welt die Studie Nucleon vorstellte. Ein Kernreaktor hätte das Auto in den Vorstellungen der Entwickler antreiben sollen. Wie eine solche Anlage hätte miniaturisiert und kostengünstig betrieben werden können, bleibt ein Geheimnis – vom Sicherheitsaspekt im Straßenverkehr einmal abgesehen. Auch der Simca Fulgur (siehe Foto) und der Studebaker-

Packard Astral stellten in dieser Epoche lediglich Visionen für Atomantriebe dar. Dass sich Kernkraft dennoch nicht nur stationär im Kraftwerksbetrieb nutzen lässt, beweisen Schiffe mit Atomantrieb: U-Boote, Flugzeugträger oder das frühere deutsche Frachtschiff Otto Hahn vertrauen auf Kernspaltung.



1954

wurde der Fiat Turbina

fertiggestellt und erprobt. Für die Großserie jedoch war der Jetantrieb unbrauchbar.



Gasturbine

Verdrängte der Turbinenantrieb in Flugzeugen nach dem Zweiten Weltkrieg rasant die Kolbenmotoren, so schlug die Übertragung dieser Technik in den Straßenverkehr fehl. Die Studie Rover Jet 1 und der Fiat Turbina (siehe Foto) blieben zu Beginn der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts Einzelstücke. Wenige Dutzend Versuchsfahrzeuge des Chrysler Turbine überließ die Marke Anfang der Sechzigerjahre ausgewählten Kunden zur Erprobung. Sie beendete das Programm jedoch nach Abschluss dieses Langzeittests. Hoher Treibstoffverbrauch und verzögerte Beschleunigung sind nur einige Nachteile der Turbine. Jaguar integrierte diese Technik 2010 im Sportwagen C-X75 in einen Hybridantrieb: Zwei Mikrogasturbinen dienten als Reichweitenverlängerer zum Aufladen der Traktionsbatterie, die die Energie für vier Radnabenmotoren lieferte. Auch dieser Versuch blieb im Stadium der Studie stecken.

Propellerantrieb

Völlig vergessen sind heute Propellerautos der 1920er-Jahre des vergangenen Jahrhunderts. Die französische Konstruktion Leyat Hélica besaß einen riesigen Propeller am Bug, ähnlich einem Kleinflugzeug. Ohne Kupplung, Getriebe und Achsantrieb sparte das Modell zwar einiges an Gewicht ein. Doch das Geräusch des motorbetriebenen Propellers, die Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmer durch den Rotor und die verzögerte Beschleunigung und schwierige Dosierbarkeit verhinderten eine größere Verbreitung solcher Antriebe im Straßenverkehr. Weitere Propellerautos im Versuch waren die Traction Aérienne und der Helicron. Auch dem 1939 auf der IAA als Forschungsfahrzeug vorgestellten Schlörwagen (siehe Foto) wurde 1942 ein Propellerantrieb aufgeflanscht. Das ebenso monströs wie



In Motion

Batterien, Brennstoffzellen, Sharing, autonomes Fahren – der Verkehr macht sich mit vielen innovativen Ideen fit für die Zukunft.



Doppelter Nutzen

In Südostasien ist individuelle Mobilität ohne Motorroller
kaum vorstellbar. In Ländern
wie Thailand oder Vietnam
besitzen hochgerechnet fast
80 Prozent aller Familien eines
der flinken Zweiräder. Aber
auch in europäischen Metropolen wie Rom oder Paris ist
der Motorroller fest ins Verkehrsgeschehen integriert.
Und wie beim Pkw sind elek-

trische Antriebe in diesem Sektor auf dem Vormarsch. Einer der Antreiber der Transformation ist der taiwanesische Anbieter Gogoro. Das Unternehmen setzt statt fest verbauter Akkus auf ein Wechselsystem mit Ladestationen. Diese Stationen sollen vermehrt als Pufferspeicher in moderne Stromnetze integriert werden. Dort sollen sie Lastspit-

zen und -senken abfedern, die beim Nutzen nachhaltiger Energiequellen häufig auftreten. Allein im Mutterland Taiwan gibt es bereits rund 2.500 solcher Wechselstationen. In anderen Ländern wie den Philippinen oder Indien soll das System Fuß fassen und doppelt als **Transformationskatalysator** dienen: in der Verkehrs- und in der Energiewende.

Sauberer Versorger

Fragt man Passagiere, wie viele Triebwerke ein Passagierjet hat, werden meist nur die sichtbaren Aggregate gezählt, die an den Tragflächen hängen. Aber es gibt noch ein fast unsichtbares Triebwerk am Heck (Foto): eine Gasturbine, die das Flugzeug unabhängig von den Antriebsturbinen mit Strom und Druckluft versorgt. Diese Auxiliary Power Unit (kurz APU) will Airbus auf emissionsund lärmreduzierenden Brennstoffzellenbetrieb umrüsten. Bereits Ende 2025 soll der Testbetrieb beginnen. Die Probeläufe der Brennstoffzellen-APU sollen auch Aufschlüsse über das Wasserstoff-Handling am Boden und in der Luft liefern. Das Ziel: H, als Treibstoff für die Haupttriebwerke.



Ca. 1,4 Mrd.

Pkw und Transporter sind weltweit zugelassen, davon 25,9 Mio. rein elektrische und Plug-in-Pkw. Bis 2030 soll ihr Anteil laut der Internationalen Energie Agentur auf bis zu 350 Mio. bei einem Gesamtbestand von 2 Mrd. anwachsen.

"Das Auto ist erfunden worden, um den Freiheitsspielraum des Menschen zu vergrößern, aber nicht, um den Menschen zum Wahnsinn zu treiben"

Enzo Ferrari (1898-1988)

Mehr Komfort, Agilität und Sicherheit

Mehr Agilität in Kurven, mehr Manövrierfähigkeit in der Stadt: Die neue mechatronische Hinterachslenkung von Schaeffler feierte jüngst ihre Premiere im elektrischen SUV eines renommierten Herstellers. Noch im Jahr 2023 sowie 2024 gehen weitere Modelle mit der Lenkung von Schaeffler in Serie. Dank des neuen Lenksystems für die Hinterachse gewinnen die Fahrzeuge im Stadtverkehr an Wendigkeit, bei Spurwechseln an Stabilität und beim Parken an Manövrierbarkeit. Das Besondere an der neuen Hinterachslenkung des Unternehmens ist der Planetenwälzgewindetrieb, eine weltweit einzigartige Entwicklung, die auf hochpräziser Mechanik aus der hauseigenen Industrietechnik beruht. Damit gelingt es Schaeffler, ein System herzustellen, das besonders klein, leise und leicht ist und sich einfach in Fahrzeuge integrieren lässt.



Science vs. Fiction

Schaefflers Automotive-Vorstand Matthias Zink ordnet zehn Thesen zur Mobilität von morgen ein.

These 1 2025 können E-Autos in fünf Minuten vollgeladen werden und bis zu 1.000 Kilometer weit fahren.

Da muss ich leicht auf die Euphoriebremse treten: Ganz so schnell wird das leider nix werden. E-Fahrzeuge mit 1.000 Kilometer Reichweite, die in nur fünf Minuten vollgeladen werden können, werden auf jeden Fall kommen, aber nicht bis 2025.

Hierfür ist eine gänzlich neue Generation Batterien – Stichwort Feststoffbatterien – erforderlich, und auch die entsprechenden Fahrzeugsysteme zur Ladung müssen angepasst werden, bevor eine solche – natürlich hochattraktive und ja auch bahnbrechende – Technologie in Serie gehen wird.

Aber bevor jetzt die E-Auto-Skeptiker jubilieren: An diesen Zielen wird in Forschungszentren und Entwicklungsabteilungen schon intensiv gearbeitet, und ich kann verraten, dass man unter Laborbedingungen davon nicht weit entfernt ist. Ich halte 2030 für realistisch.

Prognose: "Daumen hoch" in Arbeit





These 2 Wasserstoff wird im PkwSektor nie in die Großserienfertigung kommen.

Immer langsam mit dem Wort nie – ich würde Wasserstoff im Pkw-Sektor so explizit zum jetzigen Zeitpunkt nicht ausschließen. Solch eine These kommt viel zu früh. Denn hauptsächlich ist das eine Verfügbarkeitsfrage. Und zwar nach der Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff und der entsprechenden Infrastruktur. Solange dies beides noch Mangelware ist, wird sich H₂ nur im Bereich Nutzfahrzeuge oder bei stationären Anwendungen durchsetzen.

Für Pkw ist das Thema Großserienfertigung von Brennstoffzellensystemen somit noch zu früh, ich würde es aber absolut nicht ausschließen. Es ist eben keine Technologiefrage, sondern eine Frage der Verfügbarkeit.

Prognose: Wenn ... dann



Zur Person: Matthias Zink

Matthias Zink (geb. 1969) studierte Maschinenbau mit Schwerpunkt Kraftfahrzeugtechnik an der Universität Karlsruhe und schloss 1994 erfolgreich mit einem Diplom ab. 1994 begann er als Versuchsingenieur bei LuK. In den Folgejahren hatte Matthias Zink verschiedene Führungspositionen inne, bevor er 2006 den Geschäftsbereich Kupplungssysteme verantwortete. Nach sieben Jahren erfolgreicher Leitung des Geschäftsbereichs übernahm er 2012 die Leitung von Schaeffler Automotive Asien/Pazifik in China. 2014 kehrte Matthias Zink zurück und führte zunächst den Geschäftsbereich Getriebe-Technologien. Im Juli 2014 wurde er zum Geschäftsführer des Unternehmensbereichs Getriebesvsteme ernannt.

Matthias Zink verantwortet seit Januar 2017 als CEO Automotive den Unternehmensbereich Getriebesysteme und den Bereich Forschung und Entwicklung der Sparte Automotive Technologies sowie den im Januar 2018 etablierten Unternehmensbereich E-Mobilität. Seit Januar 2019 ist er alleiniger CEO der Auto-Sparte und übernahm zusätzlich die Verantwortung für die Unternehmensbereiche Motor- und Fahrwerksysteme und das Global Key Account Management. Hauptsitz der Sparte Automotive Technologies ist der Schaeffler-Standort Bühl.

Auch bei Lkw werden batterieelektrische Antriebe das Rennen machen.

Für die Mehrheit der Nutzfahrzeuge: ein eindeutiges und kräftiges Ja! Die Entwicklung und Einführung der Antriebstechnik für E-Lkw macht große Fortschritte.

Nun muss man aber differenzieren: Bei Langstreckentransporten – also bei schweren Lkw – werden sich künftig auch Brennstoffzellen durchsetzen oder Nutzfahrzeuge mit Verbrennungsmotoren, die mit Wasserstoff betrieben werden.

Prognose: Ja ... teils, teils

These 4

2030 rauschen in Großstädten die ersten Flugtaxen durch den Luftraum.

Bis 2030 sehe ich das flächendeckend für den Personentransport noch nicht. Ich glaube aber an die Technologie vom elektrischen Fliegen. Was man auch daran sieht, dass wir uns in diesem spannenden Zukunftssektor mit unserem Know-how und auch ganz konkret mit Komponenten von uns engagieren.

Zwei Beispiele dafür: Unsere Tochterfirma Compact Dynamics arbeitet an Elektroantrieben für E-Flugzeuge, und bei der Entwicklung des Flugtaxis von FlyNow steuern wir ein Steer-by-wire-System bei.

Prognose: Work in good progress

Auf der letzten Meile werden keine Lieferwagen mehr fahren, sondern Drohnen werden übernehmen.

Ein klares Ja! Wir werden sehen, dass Amazon und Co. in den kommenden Jahren auch per Drohne ausliefern werden. Ich sehe sogar Last-Mile-Auslieferungen via E-Flugzeug.

Prognose: Kommt sicher!

These 6

Das Auto von morgen wird per Joystick gefahren.

Ich bin der tiefen Überzeugung, dass Autos der Zukunft kein Lenkrad haben müssen. Das muss auch kein Joystick sein, aber neue Bedien- und HMI-Konzepte [HMI: Human Machine Interface, übersetzt: Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine] werden in Serie gehen und kein Lenkrad mehr brauchen. Auch Flugzeuge fliegen ohne Lenkrad.

Durch den Entfall der mechanischen Verbindung zwischen Lenkradaktuator und Zahnstangenaktuator entstehen viele neue Freiheiten zur Gestaltung des Fahrzeuginnenraumes sowie bislang nicht mögliche Funktionen und Features für mehr Sicherheit, Komfort und Agilität, die mit bisherigen, konventionellen Lenksystemen nicht möglich waren.

Prognose: Fakt

Das erste Auto aus 100 % recycelten Materialien ist bald serienreif.

Leider nein, das dauert noch. Die Kreislaufwirtschaft im Automobilbau nimmt massiv zu und gewinnt an Momentum – und das ist richtig gut so.

Aber heutige Fahrzeuge sind insbesondere in Sachen Festigkeit und Gewicht so entwickelt und ausgereift, dass sie sicher und dynamisch unterwegs sind. Hier entsprechende Materialien aus der Kreislaufwirtschaft zu entwickeln und in den automobilen Entwicklungsprozess einzubringen wird noch dauern.

Man muss quasi das Auto in vielen Aspekten neu definieren, um mit den Eigenschaften der neuen – recycelten – Materialien anders zu designen.

Aber noch mal: Die Wichtigkeit der Themen Kreislaufwirtschaft und Recycling-Materialien wird vor dem Hintergrund des Themas Nachhaltigkeit exponentiell zunehmen.

Prognose: Wird kommen

These 8

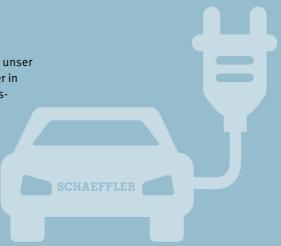
Schaeffler entwickelt ein eigenes, vollständiges E-Auto.

Wir sind kein Automobilhersteller und wollen das auch nicht werden.

Als Motion Technology Company ist Bewegung aller Art unser Geschäft. Egal ob in rotierenden Windkraftanlagen oder in Form elektrischer Antriebe, mechatronischer Fahrwerkselemente oder auch kompletter Chassisplattformen für neue Mobilitätskonzepte: Schaeffler entwickelt immer mehr hochfunktionale und komplexe Systeme.

Wir sind da wirklich zu allen Seiten offen, aber Schaeffler wird keine Autos bauen.

Prognose: Fehlanzeige





Das 24-Stunden-Rennen auf dem Nürburgring wird 2030 von einem E-Auto gewonnen.

Nein, so weh es mir als Motorsport-Enthusiast tut. Aber noch stimmt der Leistungsdurchsatz bei elektrifizierten Fahrzeugen für ein 24-Stunden-Rennen nicht.

Fahren und Laden müssen bei einem solchen Rennen in einem ausgewogenen Verhältnis stehen. Noch sind wir da aber nicht, weil die Ladezeiten zu lang sind.

Aber – siehe These 1 – wenn es die Batterietechnik gibt, die in fünf Minuten 1.000 Kilometer Reichweite laden kann, dann sähe meine Antwort anders aus.

Prognose: (Noch) Science-Fiction

These 10 Der Verkehrssektor wird die vorgegebenen EU-Klimaziele erreichen.

Leider nein, denn es bedarf einer weiteren gemeinsamen Kraftanstrengung, um diese Ziele zu erreichen.

Die Automobilindustrie hat es sehr schnell geschafft, eine große Palette an E-Automodellen aller Arten zu entwickeln und sie den Kunden zum Kauf anzubieten.

Aber wir brauchen auch Kaufbereitschaft, die Verfügbarkeit von grünem Strom, Lade-infrastruktur und gegebenenfalls weitere Incentivierungen, damit die Fahrzeuge noch besser angenommen und genutzt werden.

Nur so erreichen wir die Klimaziele ... es geht einfach wirklich nur gemeinsam.

Prognose: So wie bisher nicht



Kein Rappeln in der Kiste

Störende Geräusche beim Fahren haben schon immer genervt, durch den Wechsel vom verbrennungsmotorischen zum leisen elektrischen Antrieb gewinnt das Thema Akustik massiv an Bedeutung. Schaeffler-Experte Carsten Mohr gibt Einblicke.

Von Volker Paulun

Der Ton macht die Musik, heißt es im Volksmund. Auch bei der Fortbewegung kommt es auf den Ton an, darauf, ob er als störend oder gar betörend wahrgenommen wird. "Jedes Geräusch ist unweigerlich der Überbringer einer Botschaft", sagt Carsten Mohr, Leiter der Akustik-Abteilung am Schaeffler-Automotive-Standort Bühl. Ob Töne als angenehm oder störend empfunden werden, hänge auch von der Erwartungshaltung ab, sagt Mohr: "Wenn ich ein Auto mit V8-Motor fahre, dann will ich meist auch etwas von seinem Sound, den Ansaugund Auspuffgeräuschen hören. Das ist im Elektroauto ganz anders. Da ist geräuscharmes Dahingleiten häufig sogar ein wesentliches Kaufargument. Entsprechend wichtig ist, dass alle Komponenten geräuschseitig gut aufeinander abgestimmt sind."

Mohr ist seit 1996 bei Schaeffler. Früher war er Einzelkämpfer, heute hat allein seine Abteilung 23 Mitarbeitende. Auch das unterstreicht die stetig wachsende Bedeutung des Themas, zu dem nicht nur die Geräusche selbst zählen, sondern vor allem auch ihre Entstehungsmechanismen und Ausbreitungspfade. Entsprechend oft fällt in Gesprächen mit Akustikexperten die Abkürzung NVH, die für "Noise, Vibration and Harshness" steht.

Im Vergleich zum tief und damit angenehmer klingenden verbrennungsmotorischen Antrieb verursacht das Elektroauto konzeptbedingt viel Pfeifen und Sirren. Diese höheren Frequenzen können schnell nerven. Um dem einen Riegel vorzuschieben, steuern Mohr und seine Kollegen so früh wie möglich gegen. "Gerade für unsere Kunden ist es wichtig, bereits in einem frühen Entwicklungsstadium abschätzen zu können, welchen Einfluss elektrische Komponenten auf das spätere Gesamtklangbild im Fahrzeuginnenraum haben", sagt Mohr. Er weiß: "Nur durch frühzeitige akustische Optimierung lässt sich aufwendiges Troubleshooting in späteren Entwicklungsphasen vermeiden." Weil Geräuschquellen sich überlagern und damit





"Es ist wichtig, bereits früh in der Entwicklungsphase sicher abschätzen zu können, welchen Einfluss elektrische Komponenten auf das spätere Klangbild im Fahrzeuginnenraum haben"

Carsten Mohr, Leiter der Akustik am Schaeffler-Automotive-Standort Bühl

verstärken, abschwächen oder maskieren können, simulieren die Schaeffler-Akustiker immer auch vollumfänglich Fahrzeuginnengeräusche, um Störfaktoren zu identifizieren und zu bewerten. Vergleiche haben gezeigt, dass diese Simulationen sehr dicht an das real gemessene Fahrzeuginnengeräusch herankommen.

Aber warum nicht einfach jedes Teil so leise wie möglich bauen? Mohr: "Wie bei vielen Entwicklungen müssen auch wir in der Akustik aus vielen zu berücksichtigenden Faktoren den bestmöglichen Kompromiss finden. Was nützt die leiseste E-Achse, wenn sie viel zu schwer, zu teuer oder nicht performant genug ist? Geräuschoptimierung muss immer in Relation zu Bauraum, Gewicht, Leistung und Wirkungsgrad umgesetzt werden."

Dass Hersteller bei ihren E-Autos oft künstliche Soundteppiche ausbreiten, kann Mohr verstehen: "Autos werden nicht nur wegen ihrer technischen Eigenschaften gekauft, sondern fast immer auch aufgrund von Emotionen. Und mit Klang kann man sehr positive Emotionen wecken. Es hat sich aber gezeigt, dass sich ein klassisches V8-Wummern im E-Auto plötzlich falsch anhört und vom Kunden abgelehnt wird."

Dass der Kunde einen eigenen Sound wie ein Klingelton herunterladen kann, sei technisch zwar denkbar, wird aber von Mohr eher als unrealistisch beurteilt: "Der signaltechnische Aufwand zur Gestaltung eines auf allen Sitzplätzen des Fahrzeugs zufriedenstellenden Geräuschbildes ist sehr hoch und zur Sicherstellung der markentypischen Geräuschqualität bieten die Fahrzeughersteller heute ja bereits je nach Ausstattungslinie unterschiedliche designte Innengeräusch-Varianten zur Auswahl an." Wohin genau die Reise beim E-Autosound gehen wird, weiß auch der Schaeffler-Experte nicht: "Wir sind noch am Anfang des Antriebswechsels im Pkw. Nicht nur wir müssen uns da neu sortieren, sondern auch unsere Ohren."

Multitalent

Mit einem neuen vollelektrischen Radnabenantrieb ermöglicht Schaeffler neue Fahrzeugarchitekturen und beschleunigt die Elektrifizierung von Kommunalfahrzeugen.

Von Jan Horst

Elektrifizierung mal anders: Bei gleich drei Kunden aus dem Segment kompakter Kommunalfahrzeuge bringt Schaeffler 2023 seine hocheffizienten Radnabenantriebe in Serie. Vollelektrisch angetrieben fahren die Kehrmaschinen, Transporter und Schneeräumfahrzeuge damit lokal CO₂-frei und tragen zu einer besseren Luftqualität in Städten bei. Eines der ersten Unternehmen, die in diesem Jahr ein Multifunktionsfahrzeug mit einem Radnabenantrieb von Schaeffler auf den Markt bringen, ist Jungo. "Durch die elektrische Einzelradansteuerung gewinnen unsere Maschinen deutlich an Leistung. Das beinhaltet einen höheren Wirkungsgrad, weniger Gewicht, mehr Sicherheit, bessere Fahreigenschaften, keinen Ölwechsel und eine sichere elektrische Bremse", sagt Nicolas Jungo, Firmengründer und Geschäftsführer von Jungo.

Mit der neuen Antriebstechnologie erschließt sich Schaeffler einen neuen und stetig wachsenden Markt und will künftig immer mehr Arbeitsfahrzeuge für Städte und Kommunen, auf Werks- und Logistikhöfen, an Häfen, auf großen Parkplätzen und Flughäfen mit dem Radnabenantrieb ausstatten. "Auch in diesem Fahrzeugsegment stellt sich die Frage, wie wir möglichst schnell und effizient CO₂-Emissionen reduzieren. Elektrifizierung ist die Antwort", sagt Dr. Jochen Schröder, Leiter des Unternehmensbereichs E-Mobilität bei Schaeffler.

Die Betreiber der Fahrzeuge profitieren zudem davon, dass die Antriebseinheit auf eine besonders lange Lebensdauer ausgelegt ist. Für Hersteller entsteht durch die kompakte Bauform des innovativen E-Antriebs zudem mehr Gestaltungsspielraum für die Entwicklung vielfältiger Mobilitätskonzepte.



"Mit Radnabenantrieben verbessern wir die Manövrierbarkeit der Fahrzeuge – eine wichtige Voraussetzung, um sie künftig automatisiert fahren zu lassen"

Dr. Jochen Schröder, Leiter des Unternehmensbereichs E-Mobilität bei Schaeffler Der vollelektrische Antrieb ermöglicht geräuscharmes Arbeiten in Fußgängerzonen, auf Straßen sowie in Wohngebieten und erweitert so die Betriebszeiten.

Da sich Drehmoment- und Drehrichtungsregelung für jedes Rad individuell steuern lassen, sind die Fahrzeuge mit einem Allradantrieb unterwegs. Berganfahrten sind also selbst bei winterlichen Straßenbedingungen kein Problem.

Das Besondere des vollelektrischen Radnabenantriebs ist die Anordnung der Antriebseinheit: Der Elektromotor (Stator und Rotor) wird samt Getriebe und mechanischer Reibungsbremse platzsparend um das Radlager herum innerhalb der Felge untergebracht. Das schafft Freiraum im Fahrzeug – beispielsweise für die Batterie oder als zusätzlicher Stauraum für Transporte.

Schaeffler entwin Radnabenmotors

Die Antriebsleistung des Motors kann – je nach Anwendung – skaliert werden. Sie reicht von 7 bis 26 Kilowatt (nominal) und erreicht in der Spitze bis 60 Kilowatt. Das vom E-Motor erzeugte Drehmoment wird über das Getriebe direkt an das Rad übertragen. Diese direkte Kraftübertragung bedeutet einen besonders hohen Wirkungsgrad des

Radnabenmotoren für elektrische Spannungen von 48 Volt und 400 Volt. Perspektivisch sind auch höhere Spannungen möglich.



Dieses Multifunktionsfahrzeug des Herstellers Jungo (hier die Version für die Straßenreinigung) ist eines der ersten mit Schaeffler-Radnahenantrieh

Aufbruch zum Umbruch

E-Mobilität, Digitalisierung, Automatisierung der Produktion: Die Automobilindustrie erlebt aktuell einen fundamentalen Umbruch – und mit ihr die Jobs in der Branche. Welche Kompetenzen sind jetzt gefragt?



Fit for Future: Neben der Elektromobilität stehen dabei vor allem die großen Zukunftsthemen Digitalisierung und Vernetzung im Fokus von Fort- und Weiterbildung

Der globale Klimawandel und der sich daraus ergebende Handlungsbedarf sowie eine Vielzahl technischer Innovationen verändern bereits heute die Vorstellung der Menschen, wie eine zukunftsgerichtete Mobilität aussehen sollte. Experten sehen die Automobilbranche daher inmitten einer grünen und digitalen Revolution, deren nächste Entwicklungsstufe das vernetzte, autonom fahrende Elektroauto ist. Diese Transformation hat auch erhebliche Auswirkungen auf die weltweit rund 14 Millionen Beschäftigten bei den Fahrzeugherstellern und in der Zulieferindustrie sowie die vielen weiteren Millionen Menschen, deren Arbeitsplätze indirekt mit dem Automotive-Sektor verbunden sind (unter anderem Vertrieb, Werkstätten, Rohstoffzulieferer, Dienstleister).

Trotz des grundlegenden Strukturwandels bleibt die Zahl der Arbeitsplätze im Automobilsektor insgesamt bis 2030 voraussichtlich konstant. Zu diesem Ergebnis kommt auch eine Studie des Thinktanks Agora Verkehrswende und der Strategieberatung Boston Consulting Group (BCG). "Allerdings führt der Wandel zwangsläufig zu erheblichen Verschiebungen in der automobilen Arbeitswelt", sagt Fanny Tausendteufel, Projektleiterin Industriepolitik bei Agora Verkehrswende.

Der Strukturwandel betrifft in erster Linie Arbeitsplätze, die direkt mit der Herstellung oder Wartung des traditionellen Antriebsstrangs vom Verbrennungsmotor über Kupplung und Getriebe bis zur Abgasanlage zusammenhängen. Im Gegenzug entstehen an anderer Stelle bei Automobilproduzenten, Zulieferern oder Drittparteien neue, vom klassischen Antriebsstrang unabhängige Arbeitsplätze. Ein Großteil davon entfalle laut der Studie auf Batterieherstellung, Softwareentwicklung sowie Aufbau und Wartung der Ladeinfrastruktur. In geringerem Maß wird laut Studie auch der Maschinen- und Anlagenbau profitieren.

Für ein Beschäftigungsplus in der automobilen Kernbranche sorgen zudem das laut Prognosen erwartete steigende Marktvolumen bis zum Ende der 2020er-Jahre sowie der Trend zu immer hochwertigeren Fahrzeugausstattungen. Die negativen Auswirkungen auf die Beschäftigung durch die zunehmende Automatisierung der Produktion werden allein dadurch kompensiert. Es kann auch



Job-Motor E-Mobilität: Für Batterieherstellung und -recycling sowie Aufbau und Wartung der Ladeinfrastruktur werden weltweit Hunderttausende Fachkräfte gebraucht

Länder geben, in denen leichte Zugewinne an Stellen verbucht werden. In Deutschland zum Beispiel könnte es laut Studie in der Kernbranche und angrenzenden Bereichen per Saldo sogar ein leichtes Plus von 25.000 Arbeitsplätzen geben.

Jeder zweite Arbeitsplatz ändert sich

Hinter diesem positiven Saldo verbergen sich jedoch große Umbrüche in der Beschäftigungsstruktur der Automobilwirtschaft. Vor allem die beruflichen Fähigkeiten eines Teils der Shopfloor-Beschäftigten passen immer weniger zu den Qualifikationen, die in der gerade entstehenden automobilen Arbeitswelt von morgen wichtig sind. Folglich müssen Hersteller und Zulieferer in den nächsten Jahren erhebliche Anstrengungen im Bereich Fort- und Weiterbildung unternehmen. Neben der Elektromobilität stehen dabei vor allem die großen Zukunftsthemen Digitalisierung und Vernetzung im Fokus. Die Branche braucht zunehmend Softwareentwickler, Informationstechniker, Mechatroniker sowie Elektro- und IT-Ingenieure. Sie sind der Schlüssel für die Automobilhersteller und die Zulieferbetriebe, um als Gewinner aus dem Strukturwandel hervorzugehen. Klassische Berufsbilder wie Karosseriebauer oder Mechaniker verlieren dagegen an Bedeutung.

Wie groß die Herausforderung für OEMs und Zulieferer im Bereich Qualifizierung ist, belegen Zahlen für das Automobil-Mutterland Deutschland aus der Agora-Studie: Für knapp die Hälfte der dortigen rund 1,7 Millionen Mitarbeitenden in

der Automobilindustrie und der angrenzenden Industriezweige wird sich das Berufsbild im Zuge des Strukturwandels verändern. Rund eine halbe Million Beschäftigte müssen sich durch berufsbegleitende Trainings an leicht veränderte Anforderungen anpassen. Weitere 190.000 benötigen eine Umschulung, um in ein ähnliches Berufsbild wechseln zu können. Etwa 70.000 Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern, also rund vier Prozent, steht eine komplette Neuqualifikation mit Jobwechsel bevor.

Modulare Weiterbildung

Angesichts des hohen Qualifizierungsbedarfs in Kombination mit dem Fachkräftemangel müssen Automobilhersteller und Zulieferer in den nächsten Jahren die Investitionen in Fort- und Weiterbildung ihres Personals deutlich erhöhen. Die Schaeffler-Gruppe hat ihr Trainingsangebot in der Schaeffler-Academy gebündelt, einem internen Weiterbildungs- und Qualifizierungsportal. "Das Academy-Angebot ist bedarfs- und geschäftsgerecht genau daran ausgerichtet, welche Fähigkeiten und Kenntnisse unsere Mitarbeitenden jetzt und in Zukunft brauchen", erklärt Michael Kickert, Senior Vice President Human Resources Automotive Technologies bei Schaeffler.

Das Schaeffler-Weiterbildungspaket besteht aus einer Vielzahl einzelner Module, wie Face-to-Faceund Online-Trainings oder Knowledge Nuggets. "Der Qualifikationstrend geht ganz klar in Richtung Elektrifizierung und das neue E-Mobility-Geschäft. Das hört nicht bei dem elektrischen Motor auf, sondern umfasst die gesamten Fahrzeugsysteme mit Themen wie Software, Elektronik und Datenanalyse bis hin zum Einsatz künstlicher Intelligenz", sagt Kickert. Die Qualifikationsanforderungen verschöben sich vor allem im klassischen Shopfloor-Bereich. "Der Trend geht beispielsweise von der Mechanik zur Mechatronik, von der Elektronik zur Leistungselektronik und von der einfachen Maschinenbedienung zu automatisierten Transportsystemen in der Produktion."

Die Transformation betrifft jedoch nicht nur die Beschäftigten in den Werkshallen. Das Academy-Angebot ziele darauf ab, allen Mitarbeitenden, vom Azubi über die Team-Assistenz bis zum Management, ein viel tieferes Verständnis für elektrische Antriebe, Batterietechnologien, Hybridsysteme und die Digitalisierung zu vermitteln. Und zwar nicht nur punktuell, sondern kontinuierlich. Denn mit den immer kürzer werdenden Innovationszyklen in der Automobilindustrie müsse auch das Personal stetig über alle relevanten Entwicklungen informiert und fortlaufend geschult werden.

Software-Kompetenzen immer wichtiger

Die Bedeutung von Weiterbildung und Qualifizierung für Automobilhersteller und Zulieferindustrie ist kaum zu überschätzen. Kickert: "Es reicht ein Blick auf die Personalstruktur eines OEM in China: Ein Drittel der Beschäftigten sind Software-Fachleute. Das sagt alles darüber, wohin sich der Schwerpunkt bei der Entwicklung von Autos

Durch immer kürzere Innovationszyklen in der Automobilindustrie muss auch das Personal stetig über alle relevanten Entwicklungen informiert und fortlaufend geschult werden





"Der Qualifikationstrend geht klar in Richtung Elektrifizierung und das neue E-Mobility-Geschäft. Das hört nicht beim E-Motor auf, sondern umfasst das gesamte Interieur mit Themen wie Software, Elektronik und Datenanalyse bis hin zum Einsatz von KI"

Michael Kickert, Senior Vice President Human Resources Automotive Technologies bei Schaeffler

aktuell verlagert – und damit auch die benötigten Kenntnisse und Fähigkeiten der Mitarbeitenden. Es geht um die Wachstumsfelder wie Digitalisierung, Vernetzung und Software und darum, dass wir unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auf dem Weg durch die Transformation mitnehmen."

Dies gelingt der Automobilbranche bislang recht gut. Im Zuge der sich verändernden personellen Anforderungen ist die dortige Beschäftigung im Bereich Informations- und Kommunikationstechnik bereits deutlich gestiegen. Das spiegelt sich beispielsweise auch in einer aktuellen Arbeitgeberkampagne von Audi wider, die vor allem Talente im IT- und Tech-Bereich anspricht und drei Handlungsfelder fokussiert: New Work, E-Mobilität und Digitalisierung. Dass die Job-Verschiebungen im Automotive-Sektor in vollem Gange sind, bestätigt auch Dr. Nina Czernich, stellvertretende Leiterin des ifo-Zentrums für Industrieökonomik und neue Technologien. Mit Blick auf Deutschland sagt sie: "Seit einigen Jahren sehen wir ein stabiles Plus im Bereich der Emerging Jobs. Es sind vor allem Arbeitsplätze entstanden, die mit der Digitalisierung in Verbindung stehen, wie Software und Entwicklung oder Daten und Analyse." Zudem steige die Zahl der Fachkräfte im Bereich Verwaltung und Personal, die dringend für den Strukturwandel gebraucht werden. Fazit der Expertin: "Deutschland scheint im globalen Vergleich relativ gut aufgestellt zu sein."

Fachkräfte bleiben weiter gefragt

Der künftige Personalbedarf lässt sich jedoch nicht allein mit den vorhandenen Beschäftigten und Qualifizierungsmaßnahmen decken, zumal viele Beschäftigte aus geburtenstarken Jahrgängen in den kommenden Jahren in Rente gehen. Der Automobilsektor wird zunehmend hoch qualifizierte Spezialisten von außen benötigen. Woher nehmen, wenn nicht abwerben? Denn gerade in den zentralen Wachstumsbereichen Software und Digitalisierung sind Spezialisten knapp. Interessant könne sich die Automobilbranche durch attraktive Entlohnung, moderne Arbeitszeit- und Arbeitsplatzmodelle, umfassende Weiterbildungsmöglichkeiten, Mentorship-Betreuung oder internationale Einsatzmöglichkeiten in globalen Teams machen, sagt auch Schaeffler-Experte Kickert.

Dass Transformation eine echte Chance für Arbeitnehmer sein kann, zeigt auch ein Blick in den Rückspiegel: Zwischen 2010 und 2016 vervielfachte sich die Zahl der im Automotive-Bereich eingesetzten Roboter massiv auf 52.000 Stück. Das führte nicht etwa zu einem von vielen prognostizierten Verlust an Arbeitsplätzen, vielmehr entstanden laut US-Arbeitsministerium in der Zeit 260.000 neue Stellen – positive Signale für den Aufbruch zum aktuellen Umbruch.



Der Autor

Der Journalist und Buchautor Jens Lehmann ist in der Automobilregion Braunschweig aufgewachsen und beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit

Energie-, Umwelt- und Automobilthemen. Zwischen seiner journalistischen und der automobilen Arbeitswelt sieht er deutliche Parallelen: In beiden Bereichen spielt die Digitalisierung eine immer größere Rolle. Das hält den Freiberufler aber nicht davon ab, in seiner Freizeit ganz analog dem Fußball nachzujagen oder in Hamburg an der Elbe zu laufen.

Think Green

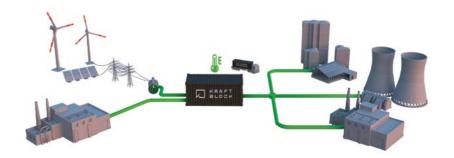
Ob fahrende Reinigungsroboter, zweckentfremdete Windradflügel oder transportable Energiecontainer – Bewegungsapparate können viel für die Umwelt tun.

Solarsäuberer

Durch eine verschmierte Brille lässt sich schlecht gucken – und mit einer verdreckten Solarzelle schlecht Strom produzieren. Bis zu 25 Prozent können die Einbußen betragen. Besonders betroffen sind flach stehende Zellen, die nicht regelmäßig vom Regen saubergespült werden. Der sizilianische Roboter- und KI-Spezialist Reiwa hat sich dieses Problems angenommen und jetzt eine Lösung präsentiert, die die Reinigung von großen Solarkraftwerken revolutionieren soll: den Roboter SandStorm. Der batterielektrisch angetriebene SandStorm arbeitet vollautomatisch und vorzugsweise nachts. Nach getaner

Arbeit fährt er zu seiner Ladestation, um Energie für den nächsten Einsatz zu tanken. SandStorm ist so beweglich, dass er Höhenunterschiede und Abstände zwischen einzelnen Solarpanelen von mehr als 50 Zentimeter überwinden kann. Weiterer Öko-Vorteil: Er arbeitet ohne Wasser, fegt Staub und Dreck einfach mit weichen Bürsten weg. Gegenüber klassischen Verfahren soll Sand-Storm bis zu 80 Prozent an Reinigungskosten einsparen. Der italienische Energiekonzern Enel hat nach erfolgreichen Probeläufen 150 Solarsäuberer für seine spanischen Solarkraftwerke Totana und Las Corchas geordert.





Wärmespeicher für knackige Chips

Um die überschüssige Energie – vor allem Abwärme aus der Industrie, aber auch Überschussstrom – besser nutzen zu können, hat das saarländische Start-up Kraftblock einen Energiespeicher entwickelt, der Wärme in einem mit Granulat gefüllten Container speichert und bei Bedarf wieder freigibt. Die Speichermasse kann im Kern bis zu 1.300° Celsius einspeichern. Bei einem 10-Fuß-Standardcontainer lassen sich so immerhin bis zu zehn Megawattstunden Energie maximal zwei Wochen speichern und – dank Containerverpackung – sowohl zeit- als auch raumversetzt nutzen. Ein erster Praxistest läuft am Standort einer Kartoffelchips-Produktion nördlich von Amsterdam. Kraftblock-Gründer Martin Schichtel erklärt: "Statt das Fett in der Fritteuse mit Erdgas zu erhitzen, nutzen wir Grünstrom. Unser Speicher dient dabei als Puffer. Wenn die Kosten am Stromnetz hoch sind, wird Energie aus dem Speicher genutzt, um das Frittierfett zu erhitzen."



Aus Windrad wird Wetterschutz

Viele Rotorblätter von Windkraftanlagen der ersten Generationen erreichen jetzt das Ende ihrer Lebensdauer. Das Problem: Auch wenn an Recyclingverfahren geforscht wird, sind die meist aus glasfaserverstärktem Kunststoff gefertigten Flügel noch kaum recyclingfähiger Sondermüll. Es sei denn, man nutzt sie zweckentfremdet und nachhaltig weiter, zum Beispiel wie hier gezeigt in der dänischen Stadt Aalborg als stylischer Fahrradunterstand.

2,1 Mio.

Kilowattstunden Strom pro Jahr liefert die neue Solarstromanlage auf dem Dach des Montage- und Verpackungszentrums des Schaeffler Automotive Aftermarket in Halle/Saale. Genug Strom, um 700 Einfamilienhäuser zu versorgen. Und tatsächlich nutzt Schaeffler den Strom nicht nur für den Eigenbedarf (u. a. auch für zwölf neu errichtete E-Auto-Ladesäulen), sondern auch, um ihn ins öffentliche Netz einzuspeisen.

"Die Welt verändert sich durch dein Vorbild und nicht durch deine Meinung"

Paulo Coelho (*1947), brasilianischer Schriftsteller

Zwischen Anode und Kathode: die Zukunft

Als Energiespeicher für E-Autos rücken die Antriebsbatterien immer mehr in den Fokus. Sie sind Herausforderung und Schlüsseltechnologie für eine klimaschonende Mobilität. Ein Blick auf den aktuellen Entwicklungsstand und technologische Perspektiven.

Von Kay Dohnke

Die Transformation hat längst begonnen. Um den Auswirkungen des Klimawandels bestmöglich entgegenzuarbeiten, muss die Emission von Treibhausgasen global radikal reduziert werden. Im Blickpunkt steht dabei auch die Dekarbonisierung des Verkehrs: Autos, Lkw, Schiffe und Flugzeuge emittieren noch massiv CO₂.

Eine Schlüsseltechnologie auf dem Weg zu klimaverträglicher und ressourcenschonender Mobilität ist der Elektroantrieb. Die großen Autohersteller bieten inzwischen eine breite Palette von E-Fahrzeugen an. Das Ziel ist anspruchsvoll: Bis 2030, so der Plan der Bundesregierung, sollen allein in Deutschland 15 Millionen Fahrzeuge mit vollelektrischem Antrieb zugelassen sein. Weltweit sollen es laut Internationaler Energie Agenur IEA sogar 175 Millionen sein. Eine technologische wie auch politische Mammutaufgabe, die ähnlich auch in zahlreichen anderen Ländern in Angriff genommen werden muss.

Pole-Position für Batterien

Standen ursprünglich noch zwei Konzepte im Wettbewerb miteinander, hat sich derzeit die wiederaufladbare Antriebs- oder auch Traktionsbatterie als Quelle für die Antriebselektrizität im Pkw-Bereich gegenüber der wasserstoffgespeisten Brennstoffzelle durchgesetzt. Das spiegelt sich sowohl im Fahrzeugangebot als auch in der Versorgungsinfrastruktur wider.

Dabei kommt es auch zu einem Paradigmenwechsel in Wahrnehmung und Bewertung: Standen früher bei Autos mit Verbrennungsmotor Motorgröße und -leistung im Blickpunkt, richtet sich die Aufmerksamkeit bei E-Fahrzeugen fast ausschließlich auf die Antriebsbatterie – in erster Linie sind Reichweite und Ladezeit für eine Kaufentscheidung ausschlaggebend, die Leistung des verbauten E-Motors ist sekundär. Was unterstreicht, dass die Antriebsbatterie nicht nur technisch die wichtigste Komponente eines Elektrofahrzeugs darstellt.

Spitzenstellung des Li-Ionen-Akkus

Antriebsbatterien sind inzwischen hunderttausendfach im Einsatz. Längst hat sich dabei der Typ des großdimensionierten Lithium-Ionen-Akkus durchgesetzt. Für den Batteriespezialisten Markus Hölzle vom Zentrum für Sonnenenergie und Wasserstoffforschung Baden-Württemberg ist sie "ein funktionsfähiges Arbeitspferd", denn die Verwendung von Lithium-Ionen als Energieträger in verschiedenen Set-ups hat sich als praxistauglich bewährt, und die entsprechenden Akkus lassen sich in großer Stückzahl produzieren. In Hölzles Sicht wird die Lithium-Ionen-Batterie "immer noch besser und immer noch günstiger werden, auch nach 30 Jahren Entwicklung".

"Die Kennzahlen für Energiedichte pro Kilogramm oder Liter haben sich verdoppelt bis verdreifacht", lobt Hölzle, ohne dass bereits das Ende der Entwicklung erreicht wäre. Tatsächlich lassen sich





Saskia Wessel

noch eine Reihe Faktoren optimieren, bis Antriebsbatterien ihr volles technisches Potenzial erreicht haben. Weltweit arbeiten Batterieentwickler, wissenschaftliche Forschungsinstitute, Start-ups, Autohersteller und Batterieproduzenten separat oder in Kooperationen mit Hochdruck daran, durch Veränderung der Komponenten, andere Materialien und Modifikationen der Batteriearchitektur die relevanten Parameter zu optimieren.

Diese Faktoren stehen dabei nicht nur bei der Lithium-lonen-Batterie, sondern auch bei anderen Batteriespeichertechnologien im Blickpunkt:

Kapazität: Wie viel elektrische Energie eine Antriebsbatterie in Relation zu ihrem Gewicht bereithalten kann, wird als gravimetrische Energiedichte bezeichnet. Die Maßeinheit hierfür ist Wattstunde pro Kilogramm Batteriegewicht (Wh/kg). Bei einer hochwertigen Lithium-Ionen-Batterie liegt der Wert in der Größenordnung von 250 Wh/kg.

Aus diesem Faktor resultiert automatisch die für mögliche Käufer zentrale Frage nach der Reichweite: Sie ist von der Kapazität der Batterie, den Fahrzeugcharakteristika und den Einsatzbedingungen abhängig. Wie bei Verbrennern gilt: Je schwerer ein Fahrzeug ist und je zügiger und schneller es gefahren wird, desto höher ist der Energieverbrauch – und desto geringer ist bei E-Fahrzeugen die tatsächliche Reichweite. Zusätzlich spielt die Außentemperatur eine Rolle: Bei niedrigen Temperaturen reduziert sich die Reichweite.

Ladegeschwindigkeit: Lässt sich eine Traktionsbatterie binnen einer Stunde vollständig ent- oder wieder aufladen, hat sie eine C-Rate von 1. Wird nur eine halbe Stunde benötigt, liegt der Wert bei 2 C, bei einer Viertelstunde wären es 4 C. Dabei ist die Stärke des Ladestroms von Bedeutung: An einem Supercharger von Tesla geht es deutlich schneller als an einer heimischen Wallbox. Grundsätzlich ist die Ladegeschwindigkeit auch von den Temperaturen der Umgebung und der Batterie abhängig.

Zahl der möglichen Ladevorgänge: Sie gilt als ein Parameter für die Lebensdauer einer Batterie. Derzeit soll nach einer Nutzungsdauer von zehn Jahren und 1.000 kompletten Ladezyklen ein Akku noch mindestens 70 Prozent seiner ursprünglichen Kapazität aufweisen. Erste Langzeiterfahrungen mit dieser noch jungen Technik deuten aber auf

geringere Alterungsverluste hin. Das bestätigen aktuelle Tests des TÜV München.

Größe und Gewicht der Antriebsbatterie sind für deren Einsatzmöglichkeiten entscheidend: In großen, höher motorisierten Fahrzeugen kann eine große und damit schwere Batterie baulich problemlos untergebracht werden. Bei kleineren Mittelklasse- oder Kleinwagen gibt es hier derzeit nur ein sehr begrenztes Raumpotenzial. Auch deshalb gehen die Bestrebungen dahin, den Anteil passiven Materials durch veränderte Konstruktion zu verringern, wie die Cell-to-Pack-Architektur (siehe S. 51) verdeutlicht.

Preis: Da E-Motoren relativ klein sind, sich einfach und kostengünstig herstellen lassen und ein aufwendiger Antriebsstrang überflüssig ist, stellt die Traktionsbatterie die teuerste Komponente eines E-Fahrzeugs dar. Lassen sich hier die Kosten durch Verwendung billigerer Materialien und optimierter Herstellungsverfahren signifikant senken, wächst automatisch auch das Einsatzpotenzial, weil sich dann auch niedrigerpreisige Fahrzeuge elektrifizieren lassen.

Aspekte der Herstellungsweise und der Ökologie spielen bei der Produktion von Traktionsbatterien ebenfalls eine große Rolle. Je weniger kritische Rohstoffe – deren Exploration, Abbau und Transport ökologisch belastend ist – für eine Batterie benötigt werden, desto zukunftssicherer und autonomer kann eine Batteriefabrik produzieren. Das Bewusstsein für die Abhängigkeit von wenigen Lieferländern sowie Nachhaltigkeitsaspekte haben die Suche nach Ersatzmaterialien in Schwung gebracht.

Weitere zu optimierende Parameter der Traktionsbatterie sind die Temperaturabhängigkeit des internen chemischen Prozesses (vor allem das Ladeverhalten auch bei niedrigen Minusgraden), die Selbstentladung, die Brennbarkeit bei mechanischer Beschädigung oder Kurzschluss innerhalb der Batteriezellen sowie die Alterung.

Sprunghafte Innovationen

Während an Lithium-Ionen-Batterien technische Feinheiten optimiert und neue Produktionsstätten geplant werden, kommt es mitunter zu unerwarteter Dynamik: So präsentierte die chinesische Firma CATL im Frühjahr 2023 als spektakuläre Neuerung

Schaeffler in der Batteriefertigung

Schaeffler kann nicht nur E-Antriebssysteme – die Special Machinery, der Sondermaschinenbau der Schaeffler Gruppe, ist zu einem gefragten Ansprechpartner für den international wachsenden Antriebsbatterie-Markt geworden. "Wir haben bereits erfolgreich Projekte für externe Kunden umgesetzt", sagt Bernd Wollenick, Senior Vice President Schaeffler Special Machinery. Zum Angebot gehören beispielsweise Anlagenkonzepte zur Modulmontage für alle gängigen Batteriezellen-Formate mit Skalierbarkeit auf verschiedene Ausbringungsleistungen. Schaeffler

Special Machinery realisiert hier agil und in kurzer Lieferzeit schlüsselfertige Systeme mit Simultaneous-Engineering nach Kundenstandard. Für die Isolierung prismatischer Zellen entstanden bisher zehn kundenspezifische Anlagen für Automobilhersteller und Automotive-Zulieferer. Highlights sind hier die Kombination hochdynamischer Roboter und direktangetriebener Transfersysteme, die Integration von Laserstrukturierung und Plasmaaktivierung sowie der High-Voltage-Test der gesamten Batteriezellenoberfläche nach der Lackierung.

Erweiterter Einsatzbereich



Traktionsbatterien werden eher kurz- als mittelfristig auch außerhalb des Pkw ein Einsatzgebiet finden. Je leistungsfähiger sie sind, also je mehr Strom sie bei geringerem Gewicht bereithalten können, desto interessanter werden sie auch für den Einsatz in Lkw, Booten und sogar Flugzeugen.

Im Transportwesen steht eine breitere Einführung der Elektrifizierung kurz vor dem Start. Das Schweizer Unternehmen Designwerk aus Winterthur – Mitglied der Volvo Group – hat Traktionsbatterien im Portfolio, die hinter der Fahrerkabine auf der Zugmaschine von Sattelzügen oder unterflur bei Lastkraftwagen untergebracht werden und inzwischen Tagesfahrleistungen von bis zu 1.000 Kilometern ermöglichen. Dabei, so der Produktmanager Batteriesysteme Thomas Prohaska, ist "das Thema Reichweite jetzt nicht mehr ein so zentrales Thema, wie es das noch vor ein paar Jahren war". Prohaska verweist auf die deutliche Verbesserung der Batterieparameter: "Von 2016 bis 2023 konnte die Energiedichte unserer Akkus um 85 Prozent gesteigert werden." Mittlerweile kommt bei der Elektrifizierung des Straßentransportwesens den Gewichtsfragen die zentrale Bedeutung zu. Die Vollausstattung eines DesignwerkTrucks mit vier Batterien zu je 257 kWh bedeutet ein Zusatzgewicht von 5,6 Tonnen, was Prohaska jedoch relativiert: "Durch Fortfall der Dieselmotoren und Tanks sinkt das Leergewicht", zudem sei in der Schweiz und in der EU für E-Fahrzeuge ein um zwei Tonnen erhöhtes Gesamtgewicht erlaubt. Auch die durch Batteriepacks nötige Verlängerung der Sattelzüge soll legitimiert werden.

Aber wie praxistauglich sind E-Trucks mit Lithiumlonen-Batterien tatsächlich? Prohaska sieht den limitierenden Faktor hierbei nicht in der Batteriekapazität, sondern in den Ladeoptionen. Wettbewerber MAN will 2024 einen vollelektrischen Lkw auf den Markt bringen, der Reichweiten bis 500 Kilometer erreichen soll. Bei einer ausreichenden Ladenetzabdeckung ließen sich, so MAN, die vorgeschriebenen Ruhezeiten der Fahrer zum Nachladen nutzen. 1.000 Kilometer am Tag seien so schon bald batterieelektrisch realisierbar.

Akku-Container mit je 6,8 MWh versorgen die beiden 900-Kilowatt-E-Maschinen eines 120-Meter-Frachters mit Strom. Das Schiff ist im August in Dienst gestellt worden. Sind die Akkus leer, werden sie durch aufgeladene Container ersetzt. CO₂-Ersparnis: täglich bis zu 32 Tonnen.

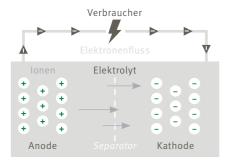
eine Natrium-Ionen-Batterie, die umgehend in chinesischen E-Fahrzeugen verbaut wurde. Die Natrium-Ionen-Batterie hat zwar einen vergleichbaren Aufbau wie die Lithium-Ionen-Batterie, verwendet aber das namensgebende Natrium als Transportmedium für die Ladung. Markus Hölzle sieht darin einen grundlegenden Vorteil: "Die Natrium-Ionen-Batterie enthält im best case keine kritischen Metalle, oder nur in sehr geringen Anteilen. Der CO₂-Footprint – oder Environmental Footprint – wird dadurch deutlich besser."

Pluspunkt: Natrium-Ionen-Batterien Weiterer sind fast identisch aufgebaut wie Lithium-Ionen-Batterien, sodass sie auf vorhandenen Produktionsanlagen hergestellt werden können. Durch eine clevere Zusammensetzung des Elektrolyten ist sie bei Minusgraden leistungsfähiger als eine Lithium-Ionen-Batterie, und sie hat kürzere Ladezeiten. Mehrere große Autohersteller in China, aber auch in Europa und den USA werden Natrium-Ionen-Batterien schnellstmöglich verbauen. Weil sie sich noch dazu wesentlich kostengünstiger herstellen lassen, empfielt sich der Speichertyp besonders für die nur schleppend in Gang kommende Elektrifizierung kleinerer, preiswerterer Automodelle. Dort wiegt der aktuell größte Nachteil der Natrium-Ionen-Batterien auch nicht so schwer: Noch liegt die gravimetrische Energiedichte einer Natrium-Batterie mit 160 Wattstunden pro Kilogramm unter der einer gewöhnlichen Lithium-Ionen-Batterie. Aber CATL hat bereits 200 Wh/kg für die zweite Generation seines neuen Akkus angekündigt.

Außerdem hat CATL im August einen zweiten Pfeil aus seinem Entwicklungsköcher Richtung Markt geschossen und für mächtig Wirbel gesorgt: einen ultraschnell aufladbaren Lithium-Eisenphosphat-Akku (LFP) namens Shenxing. Damit sollen in zehn Minuten Strom für 400 Kilometer geladen werden können. Zum Vergleich: Tesla gibt beim Model 3 an, innerhalb von 15 Minuten bis zu 275 Kilometer Reichweite laden zu können.

Möglich wurde der Entwicklungssprung vor allem durch nano-kristallisiertes Kathodenmaterial und den Einsatz einer sogenannten Ring-Technologie der zweiten Generation an der Graphit-Anode. Die Maßnahmen führen dazu, dass die Lithium-Ionen schneller extrahiert und – für eine bessere Reichweite – in höherer Zahl eingelagert werden können.

Batteriewissen: Von A wie Anode bis Z wie Zelle



Funktionsweise

Jede Batteriezelle besteht aus vier Grundelementen: zwei unterschiedlich geladenen Elektroden (Graphit- und Mischoxidelektrode) und einem meist flüssigen oder gelförmigen Elektrolyt, in dem sich Ionen (aufgeladene Atome, zum Beispiel Lithium) bewegen können. Das vierte Element ist ein für den Ionenfluss durchlässiger Separator zwischen den beiden Elektroden. Er schützt vor Kurzschlüssen. Beim Entladen, also der Nutzung, wird ein chemischer Oxidationsprozess in Gang gesetzt. Dabei werden an der Gitterstruktur der Graphitelektrode Elektronen freigesetzt, die wie die Ionen zur anderen Mischoxidelektrode wollen, um das beim Laden in Schieflage geratene Spannungsgleichgewicht wiederherzustellen. Aber im Gegensatz zu den Ionen ist den Elektronen der direkte Weg durch den Separator versperrt. Sie können nur über einen Bypass auf die andere Seite gelangen. Diesem Bypass zwischengeschaltet ist ein elektrischer Abnehmer, der durch den Elektronenfluss mit elektrischer Energie versorgt wird, im Falle eines E-Autos der Motor. Sind Ionen und Elektronen an der Mischoxidelektrode rekombiniert, kommt der Stromfluss zum Erliegen. Beim Aufladen wird erneut ein Oxidationsprozess aktiviert, allerdings in die andere Richtung. Deswegen spricht man bei Akkus auch von Redox-Speichern. Im E-Auto kann dieser Prozess während der Nutzung permanent die Richtung ändern: Beim Beschleunigen wird entladen, beim Bremsen durch Energierückgewinnung (Rekuperation) geladen. Dabei wechseln auch Anode und Kathode ihre Rolle: Während des Entladungsvorgangs fungiert die negative Elektrode als Anode und die positive Elektrode als Kathode. Beim Laden wird die Anode positiv und die Kathode negativ.

Batteriezelle

Es gibt unterschiedliche Typen, die nach ihrer Form bzw. Bauart benannt sind, aktuell hat sich wegen verschiedener Stärken und Schwächen keine Bauform durchgesetzt.

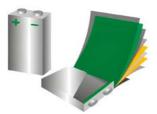
Zylindrische oder Rundzellen (u. a. von Tesla und BMW genutzt) haben eine hohe Energiedichte pro Zelle, sind leicht und kostengünstig herzustellen. Die benötigten Schichten werden übereinandergelegt, aufgerollt und mit einem schützenden Metallmantel umhüllt. Hohe Steifigkeit und Dichtigkeit. Hauptnachteile: schwierige Kühlung, insbesondere im Zellkern; durch die Rundungen hohes Bauvolumen. Bei prismatischen Zellen (unter anderem Audi) werden die verschiedenen Schichten ebenfalls aufgerollt, allerdings nicht zu einem Zylinder, sondern boxförmig und anschließend in einem eckigen Aluminiumgehäuse verstaut. Das erhöht die Stabilität und bringt Vorteile bei Einbau (minimaler Raumverlust), Reparatur und Recycling. Die Energiedichte ist allerdings verhältnismäßig niedrig. Eine Form der prismatischen Zelle ist die Blade-Zelle des chinesischen Batterie- und Fahrzeugbauers BYD. Die Hülle des Lithium-Eisenphosphat-Akkus (LFP) ist sehr langgezogen und gleicht einer Schwertklinge ("Blade"). Als Vorteile nennt BYD kurze Ladezeiten, Langlebigkeit, durch LFP hohe Sicherheit und kostengünstige Produktion.

Pouch-Zellen (unter anderem VW, Smart, Hyundai) sind in weiche Aluminiumverbundfolie verschweißte Zellen in rechteckiger Form. Sie zeichnen sich vor allem durch ihr niedriges Gewicht und sehr gute Wärmeleitfähigkeit aus. Die weiche Hülle ermöglicht flexible Einbaumöglichkeiten und effiziente Raumnutzung, kann sich aber aufblähen und undicht werden, insgesamt bauartbedingt die instabilste Variante.

Zylindrische Zelle

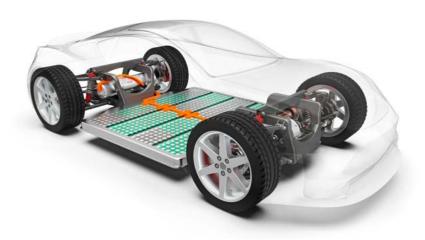


Prismatische Zelle



Pouch-Zelle





Zellen, Module & Packs

Aktuell ist es üblich, einzelne Batteriezellen in Reihe zu schalten und zu Modulen mit separaten Gehäusen zu verbinden, was die Montage vereinfacht. Mehrere Module bilden dann die Batterie. Allerdings bedeutet das einen ansehnlichen Anteil an passivem Material, also für Gehäuse, Stützvorrichtungen usw. Um den Anteil aktiven Materials am Gesamtgewicht und -volumen zu erhöhen, wird die Pack-Architektur dahingehend verändert, dass Batteriezellen in größerer Zahl direkt gekoppelt und im Batteriegehäuse untergebracht werden. Dieser Bautyp heißt Cell-to-Pack (CTP).

Direktverpackt

Bei direkt ins Chassis verbauten Batteriezellen – bei denen dann das **Fahrgestell** eine Schutzfunktion für die Batterieelemente übernimmt spricht man von Cell-to-Body (CTB), Cell-to-Chassis (CTC) oder auch Cell-to-Vehicle (CTV). Werden solche hochintegrativen Systeme optimiert, verschmelzen die Funktionen der Fahrzeugkomponenten miteinander, indem Batteriezellen auch tragende Funktionen und Chassiselemente thermische Funktionen im Rahmen der Energiespeicherung übernehmen. Weitere Vorteile sind eine Verringerung der Komponentenanzahl und eine effizientere Platzausnutzung im Fahrzeug. Reparaturen und Recycling dürften aber deutlich erschwert sein.

Lebensverlängernde Maßnahmen

Anders als bei vielen Industrieprodukten werden Traktionsbatterien in einer breiteren Perspektive wahrgenommen: Neben zentralen Aspekten der Vornutzungsphase wie etwa Rohstoffgewinnung und ökologische wie soziale Herstellungsbedingungen kommt hier vor allem der Nachnutzungsphase eine große Bedeutung zu; Stichworte sind Second Life und vor allem das Recycling.

Der erste Schritt in der Nachnutzung – wenn die Restkapazität eines Akkus als für den Fahrbetrieb nicht mehr ausreichend angesehen wird – ist der Einsatz als stationärer Energiespeicher, etwa für Elektrizität aus Solarkollektoren oder Windkraftanlagen bzw. als Pufferspeicher für Schnelladestationen. Traktionsbatterien könnten in einem solchen Second Life noch weitere zehn bis zwölf Jahre genutzt werden. Der Bedarf ist da: Unternehmen suchen händeringend ausrangierte Akkus.

Doch die Nutzungsdauer einer Traktionsbatterie lässt sich auch auf anderem Wege verlängern. Derzeit werden noch komplette Batterien ausgemustert, doch erste Unternehmen haben ein Refurbishing im Blick, also eine Generalüberholung, bei der einzelne leistungsschwache oder defekte Batteriezellen durch andere gebrauchte Zellen ersetzt werden und so die Nutzung der Traktionsbatterie länger möglich wird.

Da eine Traktionsbatterie eine Menge nutzbarer Stoffe enthält, gilt als sicher, dass sie recycelt werden wird. Schon jetzt – noch ehe ausgediente Traktionsbatterien in nennenswerter Menge anfallen – gibt es mehrere Unternehmen, die auf diese sekundäre Rohstoffquelle warten und die im Recyclingprozess wiedergewonnenen Materialien vermarkten wollen.



CATL will die Massenproduktion der neuen Lithium-Eisenphosphat-Zelle noch in diesem Jahr beginnen und ab dem ersten Quartal 2024 ausliefern.

Kommender Batterietyp Solid State?

"Aktuell nehmen wir neben der Weiterentwicklung der Lithium-Ionen-Zelle wahr, dass die Feststoffzellchemie und die Natrium-Ionen-Chemie an Bedeutung gewinnen", konstatiert Saskia Wessel. Als Bereichsleiterin Produkt- und Produktionstechnologie an der Fraunhofer-Forschungsfertigung Batteriezelle beobachtet sie das Geschehen mit großer Expertise. Auch in den Medien wird immer wieder über die Solid-State-Wunderbatterie berichtet, also einen Feststoff-Akku, der ohne flüssigen oder gelförmigen Elektrolyten funktioniert.

Tatsächlich gibt es vielversprechende Perspektiven für Antriebsbatterien, die mit festen Elektrolyten etwa aus poröser Keramik arbeiten. Die deutlich vergrößerte Kapazität wird unter anderem durch vermehrtes Kathodenmaterial möglich. Als Anode kann das effiziente, weil hochbindungsaktive Lithium eingesetzt werden. Und weil es keinen entflammbaren Elektrolyten mehr gibt, werden die Sicherheitsaspekte ein weiterer Trumpf sein. Volkswagen will zusammen mit Entwicklungspartner QuantumScape 2025 mit einer Feststoffbatterie an den Start gehen. VW-Batteriechef Frank Blume hält ein Reichweitenplus von 30 Prozent und eine Halbierung der Ladezeit durch die neue Technik für möglich.

Mercedes-Benz hat unter dem Namen Lithium-Polymer-Batterie bereits ein Festkörper-System im Linienbus eCitaro in Serie. Um für die Ionen leitfähig zu sein, muss der hier als Festkörper genutzte Kunststoff allerdings zunächst auf 70 bis 80 Grad vorgeheizt werden. Ein Nachteil, der im planbaren Linienverkehr abgefedert werden kann, im Alltag eines Pkw jedoch eher nicht. So weit die technischen Aspekte. Hinzu kommt: "Bei der Feststoffzelle handelt es sich um einen disruptiven Produktionsprozess, bei dem deutlich in die Anlagentechnik investiert werden musss", hebt Saskia Wessel einen zentralen Punkt hervor. Um in Großserie zu gehen, müssten also mit Milliardeninvestitionen völlig neue Akku-Fabriken gebaut werden – Kosten, die sich auch im Fahrzeugpreis wiederfinden werden. Nichtsdestotrotz: Toyota hat bereits Fahrzeuge mit Festkörperbatterien angekündigt.



Die Anoden- und Kathodenschichten werden beidseitig auf dünne Kupfer- bzw. Alufolien gedruckt. Anschließend werden Folie und Auftrag mit 200 Tonnen Gewicht aneinandergepresst. Maximal erlaubte Dickenabweichung: 0,004 mm

Hochdynamisches Marktsegment

Wenn so viele Player in einem zukunftsträchtigen Markt agieren (und zukunftsträchtig heißt hier: einem Markt mit sehr großem wirtschaftlichen Potenzial), ist es logisch, dass eine Innovation die nächste jagt und es fast im Tagesrhythmus Neues zu vermelden gibt. BASF startet in Schwarzheide mit Partnern die Produktion von Kathodenmaterial und nimmt zugleich ein Recyclingzentrum für Traktionsbatterien in Betrieb. Swiss Clean Battery kündigt den Bau einer Fabrik für Feststoffakkus an. Saaku – ein Hersteller mit Fokus auf 3D-gedruckte Festkörperbatterien – plant mit Porsche Consulting den Bau gleich mehrerer Gigafabriken weltweit. Stellantis vermeldet die Markteinführung von Elektrofahrzeugen mit wesentlich verbesserter Reichweite. Erste Prototypen von Lithium-Luft-Batterien mit dreifacher Energiedichte funktionieren im Labor, Nios SUV EL6 soll mit einer Semi-Solid-State-Batterie mehr als 900 Kilometer Reichweite schaffen. Ein Konsortium um den Schaeffler-Partner ABT entwickelt eine Batterie, die Wechselstrom ausgibt und den Wechselrichter überflüssig macht. Auch das dehnt die Reichweite. Und aus Südkorea kommt die Kunde, dass ein siliziumbasiertes Polymerbindemittel einer neu entwickelten Anode die Verzehnfachung der Reichweite ermöglichen soll. Und so weiter.

Allerdings: Vielfach handelt es sich noch um Planungen und Ankündigungen. Erst die tatsächliche Marktentwicklung wird zeigen, welches System und welche Lösung im Endeffekt erfolgreich sein und die neuen Standards setzen wird. Denn nicht die beste Lösung setzt sich durch, sondern die stärkste Firma setzt ihre Lösung durch, weil eine einmal getroffene Investitionsentscheidung (Stichwort: Fabrikbau) die Weichen gestellt hat. Markus Hölzle bestätigt, dass "die Industrie bei der Entwicklung das Tempo vorgibt".

Wohin die Reise der Traktionsbatterien also gehen wird, ist nicht endgültig absehbar, da einerseits angesichts der großen Entwicklungsintensität durchaus mit neuen Lösungen gerechnet werden muss: "Vorhersagen sind weiterhin schwierig", schätzt Markus Hölzle die Situation ein, "weil der Markt immer für Überraschungen gut ist – und immer in die positive Richtung. Da ist wirklich viel los, und da werden noch Dinge passieren, die wir heute noch für unmöglich halten." Was die auch für Experten unerwartet schnelle Markteinführung der Natrium-lonen-Batterie durch CATL eindrücklich vorgeführt hat.

Und andererseits sind es nicht selten externe Faktoren, die eine Lösung durchsetzen helfen. Mag der Brand auf dem Autofrachter Freemantle Highway im Juli 2023 nun von einer Traktionsbatterie ausgegangen sein oder nicht: Die Havarie des Schiffes hat die Aufmerksamkeit auf das Brandpotenzial von Lithium-Ionen-Batterien mit flüssigem Elektrolyten gelenkt. Solche Diskussionen könnten die Entwicklung der Feststoffbatterien zusätzlich beschleunigen. Es bleibt dabei: Die Zukunft liegt zwischen Anode und Kathode.



Der Autor

Kay Dohnke ist als Redakteur auf Technikthemen spezialisiert und verfolgt die Batterieentwicklung seit Langem. Kaum war dieser Artikel fertig, tauchten erste

Meldungen über Flüssigmetallbatterien auf – das Thema ist eine dynamische Never-Ending-Story mit vielen Überraschungen, die, so die Meinung des Autors, leider erst 30 Jahre zu spät Fahrt aufnimmt.

Woraus besteht das Auto der Zukunft?

Die Automobilindustrie sucht ständig nach neuen Materialien. Leichter, hitzebeständiger, widerstandsfähiger, natürlicher – oder einfach nur etwas ganz Besonderes. Wir zeigen, woran in Interieur und Exterieur gerade geforscht wird.

Nanotechnologie

Willkommen in der Welt des Winzigen. Unterhalb von etwa 50 Nanometern (Milliardstel Meter) werden klassische physikalische Gesetze außer Kraft gesetzt. Stoffe verhalten sich vielmehr nach quantenphysikalischen Gesetzen und können andere optische, magnetische oder elektrische Eigenschaften entwickeln, zum Beispiel reflektierend statt lichtdurchlässig sein. Die wohl bekannteste Nano-Anwendung ist der der Lotusblüte nachempfundene Abperleffekt von entsprechend behandelten Oberflächen. Hyundai-Vizepräsident Hong Seung-Hyun hält die Technologie laut Korea Times für einen "entscheidenden Schlüssel, um die Transformation der Automobilindustrie anzuführen". Noch in diesem Jahr will der Konzern, zu dem auch die Marke Kia gehört, ein Polymer in seinen Fahrzeugmodellen einführen, das Öl einkapselt und bei zu großer Reibung freisetzt. 2026 soll eine selbstheilende Schutzschicht auf Polymerbasis für sensible Lidar- und Kamera-Sensoriken von Fahrassistenzsystemen folgen, die Kratzer bei Raumtemperatur eigenständig verschwinden lässt. Auf einer solchen Polymer-Nanotechnologie basieren auch selbstheilende Lackschutzschichten, an denen schon seit einigen Jahren geforscht wird, allerdings noch ohne marktdurchdringenden Erfolg. Ebenfalls mit Nanotechnologie will Hyundai Solarzellen transparent und flexibel machen. Sie könnten so auf Autoscheiben und Karosserieflächen aufgebracht werden. Das Ziel: 20 bis 40 Kilometer Reichweite mit einem Tag Lichternte.

Recycelte Kunststoffe

Der Drang, leicht zu bauen, lässt den Anteil an Kunststoffteilen im Auto, die mit einer Dichte von rund 1 g/cm³ achtmal leichter als Stahl sind, kontinuierlich wachsen. Doch kann der vielseitige Werkstoff auch nachhaltig sein? Ja – wenn er nicht in der Müllverbrennungsanlage endet, sondern einem Wertstoffkreislauf zugeführt wird. Das Hauptproblem: Recyceltes Plastik ist wegen der meist inhomogenen Wertstoffe fast immer minderwertiges Plastik. Genau hier setzen viele Verfahrenstechniker an. Der deutsche Folien- und Kunststofflieferant Südpack beispielsweise investiert in die sogenannte Carboliq-Technologie. Dort werden gemischte und kontaminierte Kunststoffe unter Atmosphärendruck und verhältnismäßig niedrigen Temperaturen unter 400 °C in einem chemischen Prozess in eine Flüssigressource umgewandelt, aus der neue Kunststoffe hergestellt werden können. Dieses Recyclingverfahren ermöglicht sogar ein Upcycling von minderwertigeren hin zu Hochleistungskunststoffen.

Bioverbundstoffe

Bereits 1941 stellte Henry Ford ein Auto mit hanffaserverstärkter Kunststoffkarosserie vor. Es wird vermutet, dass Stahl- und Ölriesen einer Ausbreitung der Idee aus Eigenschutz einen Riegel vorschoben. Doch das Bestreben der Automobilbranche, nachhaltiger zu agieren und leichter zu bauen, machte Bioverbundstoffe aus schnell nachwachsenden Rohstoffen wie Cellulose, Bambus, Hanf oder auch Mais wieder en vogue. Im Innenraum "grünt" es schon seit einigen Jahren in Serienautos (siehe nächste Doppelseite), aber auch für die Außenhaut sprießen die Ideen. 2013 präsentierte Toyota die Studie ME.WE, bei der horizontale Flächen wie Bodengruppe, Motorhaube und Dach aus einem Bambuslaminat bestanden. Ein kürzlich von einer Maschinenbau-Universität in Indien präsentiertes E-Auto besteht sogar hauptsächlich aus Bambus. Das ist möglich, weil Verbundstoffe aus Naturfasern trotz des niedrigen Gewichts eine sehr gute Festigkeit aufweisen. Henry Ford vemeldete bereits damals, seine Hanf-Karosse sei zehnmal aufprallfester als eine gleichwertige Stahlvariante. Neue Materialien, neue Mitspieler? Möglicherweise. 2019 präsentierte der japanische Papierkonzern Oji eine Sportwagen-Studie mit einer scharfkantig gezeichneten Karosserie aus Zellulose-Nanofasern. Gewichtsvorteil: 150 Kilogramm. Um Gewicht zu sparen, verpasste auch Citroën seiner Fahrzeugstudie Oli Motorhaube und Dach aus Pappe. Papierschöpfer statt Stahlpresser? Das könnte neben Gewicht allein in der Produktion 20 bis 50 Prozent an CO₂-Emissionen einsparen. Mit Naturharzen zum Härten der Fasermatten ließe sich auch ein mögliches Recyclingproblem lösen. Der aktuell größte Nachteil von Bioverbundstoffen: Die Herstellungskosten sind noch nicht wettbewerbsfähig.

Scheiben aus Polycarbonat

Im Motorsport ist Leichtbau noch mehr Trumpf als in der Serienfertigung, daher sind Scheiben aus Polycarbonat (PC) dort längst Standard. PC ist zwar nicht so kratzfest wie Glas, aber rund 50 Prozent leichter, dazu gut form- und einfärbbar. Das ermöglicht eine große Gestaltungsfreiheit. Schon heute setzen Automobilhersteller auf PC-Glas für Heck- und Seitenscheiben sowie für Panoramadächer und Scheinwerfer. Das nächste Entwicklungsziel: die in Sachen Bruch- und Kratzfestigkeit besonders anspruchsvolle Windschutzscheibe.

Stahl vs. Leichtbaumetalle

Rund 50 bis 60 Prozent eines modernen Autos bestehen aus dem klassischen Werkstoff Stahl. Doch der Abnehmtrend in der Automobilindustrie setzt Stahllieferanten unter Druck. Ihre Antwort: ultrahochfeste und damit sehr dünnwandige Stahlsorten, Sandwichverbundlösungen mit Kunststoff oder auch hochfeste Warmumformstähle, für sicherheitsre $levante \ Strukturbauteile. \ Damit \ l\"{asst} \ sich \ bis \ zu \ einem \ Drittel \ an \ Gewicht \ gegen \ \"{u}ber \ klassischen \ Stahlkonstruktionen$ einsparen. Vorteil Stahl gegenüber Leichtbauteilen aus Aluminium oder Carbon: Er ist preiswert, weniger energieintensiv zu produzieren und sehr gut recycelbar. Seit zwei Jahrzehnten wird Magnesium, eines der zehn häufigsten Materialien der Erde, als kostengünstiges Ultraleichtbaumaterial (75 % leichter als Stahl) für den Autobau ins Spiel gebracht. In vielen Bereichen des Automobilbaus wird das Metall bereits eingesetzt, überwiegend als Gussteil, etwa als Getriebegehäuse, aber zum Beispiel auch als Druckgussteil in A- und B-Säulen oder in Bodenblechelementen. Das Helmholtz-Institut ließ 2015 gar verlauten: "Das Auto der Zukunft ist aus Magnesium." Dort und anderswo arbeiten Forschende daran, durch die Entwicklung neuer Legierungen die ungünstigen Materialeigenschaften von Magnesium (Korrosionsanfälligkeit, Nachteile bei Verformbarkeit und Festigkeit) zu verbessern und es so auch für großflächige Karosserieteile anwendbar zu machen. Entscheidend für ein optimales Ergebnis ist laut Helmholtz-Institut aber nicht nur die Kombination der einzelnen Elemente, sondern auch der Herstellungsprozess, etwa die Prozesstemperatur oder die Geschwindigkeit beim Auswalzen der Bleche. Anbieter Thyssen Krupp nennt zwei weitere Vorteile von Magnesium: So lasse sich Magnesium selbst im lackierten Zustand zu 100 Prozent wiederverwerten und biete eine edel anmutende Oberfläche.



Vegan und vegetarisch

Apps

Wer kein Fleisch auf dem Teller mag, setzt sich im Auto auch ungern auf Tierhäute. Noch zählen Autohersteller zu den größten Lederverarbeitern der Welt, aber auch hier ist ein Transformationsprozess im Gange. Dabei geht es längst nicht nur ums Tierwohl. Um aus Tierhaut Leder zu machen, sind nicht nur Unmengen von Wasser nötig, sondern laut der Tierschutzvereinigung PETA etwa 130 Chemikalien bis hin zum hochgiftigen Cyanid. Auf klassisches Kunstleder zurückzugreifen ist aber nur bedingt zielführend, da es - von funktionalen Schwächen wie mangelnder Atmungsaktivität ganz abgesehen – auf latex- oder erdölbasierten Trägern aufbaut. Der Leipziger Anbieter Scoby Tec züchtet im Labor mit bakterieller Zellulose eine optisch und haptisch attraktive, komfortable, reißfeste und atmungsaktive Lederalternative. Nachhaltig ist die vegane "Haut" obendrein. Gehen laut Scoby Tec 7.550 Liter Wasser und 4.800 Kilo Futter auf einen Quadratmeter Kuhhaut, seien es bei dem Derivat aus dem Labor nur 60 Liter und sechs Kilo Nährmasse. Gleich mehrere Autohersteller haben sich bereits nach dem Lederersatz erkundigt.

lutonomous dri

Rattan

Der chinesische Elektroautobauer NIO hat in einigen Modellen Teile des Kunststoffs im Innenraum mit einem patentierten Material namens karuun ersetzt, das aus Rattan besteht. Der auf Kunststoffe spezialisierte indische Automobilzulieferer Motherson hat zusammen mit den karuun-Entwicklern sogar bereits smarte, interaktive Bedienoberflächen umgesetzt.

Der Autor

Autor **Christian Heinrich** hat kein eigenes Auto mehr, er verwendet ausgiebig Carsharing und im Urlaub gerne Mietwagen. Dafür hat er beim Fahrrad aufgerüstet,

und zwar beim Material: Sein Mountainbike besteht aus Carbon und ist gefühlt mindestens so leicht wie das Rennrad seines Nachbarn. Seitdem fährt er nur noch mit dem Fahrrad ins Büro – und kommt leicht und beschwingt an.

Digital

Die Digitalisierung ist ein Bewegungsbeschleuniger: ob mithilfe vernetzter Systeme, künstlicher Intelligenz oder in Form von Fahrassistenzsystemen.



Energieverbrauch im Vollgasmodus

Würde ChatGPT gefragt werden, wer einer der größten Energie- und Wasserverbraucher der Welt werden könnte, müsste die Antwort lauten: künstliche Intelligenzen, wie ich eine bin. Schon vor dem durch ChatGPT beschleunigten Boom der künstlichen Intelligenz verschlangen digitale Welten und Dienste Unmengen an Energie. Wäre das Internet ein Land, hätte es den weltweit sechstgrößten Stromverbrauch und läge mit einem Anteil von 2,8 Prozent am weltweiten CO₂-Ausstoß auf Platz sechs nach China, den USA, Indien, Russland und Japan. Besondere Energiefresser sind das Videostreaming, Kryptowährungen – und in zunehmendem Maße KI-Anwendungen. Der US-Marktforscher Gartner prognostizierte im Oktober 2022, dass KI-Anwendungen im Jahr 2030 3,5 Prozent des weltweiten Strombedarfs verschlingen werden. Um die benötigten Rechenleistungen für immer komplexere Datensysteme bereitstellen zu können, werden immer mehr sogenannte

Hyperscale-Rechenzentren errichtet. Diese haben die Größe mehrerer Fußballfelder und den Stromverbrauch einer Stadt. 2022 gab es etwa 800 von ihnen, laut der Synergy Research Group werden es bis Ende 2026 sogar 1.200 sein. Und die brauchen nicht nur Unmengen Strom, sondern auch Wasser zum Kühlen. **Schon heute zählt die IT-Branche zu** den Top 10 der Industrien mit dem höchsten Wasserverbrauch weltweit. Allein in den USA soll sich der Wasserverbrauch der Rechenzentren im Jahr 2020 auf schätzungsweise 660 Milliarden Liter belaufen haben. Auf die Frage, wie die IT-Branche Strom- und Wasserverbrauch senken könne, hatte ChatGPT zum Bereich Wasser übrigens nur eine Idee: "Installieren Sie wassersparende Technologien wie wasserlose Urinale, sparsame Toilettenspülungen und effiziente Kühlungssysteme, um den Wasserverbrauch zu reduzieren." Den ökologischen Fußabdruck für die Antwort hätten wir uns sparen können ...



Maschinen in Bewegung halten

Das OPTIME-Ecosystem vereint Schaefflers langjähriges Know-how in den Bereichen Lagertechnik, Schwingungsanalyse und Schmierung mit einem konsequent an den täglichen Aufgaben der Instandhaltungsteams ausgerichteten Produktdesign. Das System unterstützt Anlagenbetreiber durch eine besonders komfortable Inbetriebnahme. Dank Plug-&-Play-Funktion lassen sich Hunderte von OPTIME-Elementen in kürzester Zeit installieren und integrieren. Eine spätere Erweiterung ist jederzeit schnell und sicher möglich. Geringe Investitionskosten, Einsparungen durch weniger Maschinenausfälle und eine effizientere Gestaltung der Wartungsabläufe garantieren eine schnelle Investitionsrendite. Ein smartes Bedienkonzept und die intuitive mobile App mit preisgekrönter Benutzeroberfläche macht es den Nutzern leicht, sich einen Überblick zu verschaffen.

20%

soll der **Anteil der Halbleitertechnik** an der Materialliste von
Premiumfahrzeugen im Jahr 2030
voraussichtlich betragen. 2019 lag
der Anteil noch bei 4 Prozent.

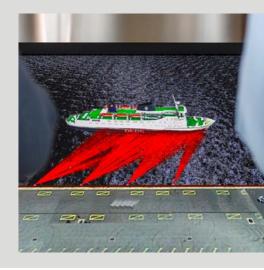
Quelle: elektroniknet.de

"Wer sich nicht digitalisiert, wird ausgeknockt"

Wladimir Klitschko (*1976), ehemaliger Boxweltmeister

Digitaler Hafenlotse

Allein in Europa gibt es über 1.200 Seehäfen. Mehr als 300 davon stuft die EU als systemrelevante Infrastruktur ein. Eine Herausforderung: Bei Anlegemanövern beschädigen Schiffe immer wieder die Hafeninfrastruktur. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) hat nun im Projekt SmartKai ein hafenseitiges Assistenzsystem entwickelt, das Schiffsführende beim Manövrieren unterstützt. Die "Einparkhilfe" für Schiffe funktioniert wie folgt: In die Kaimauer sind Laser-, Radar- und Umweltsensoren integriert. Sie bestimmen sehr präzise die Geschwindigkeit des Schiffs, dessen Abstand zur Kaimauer und Umweltdaten wie Wind oder Strömung. Diese Informationen werden über eine im Hafen installierte SmartKai-Box mit weniger als einer Sekunde Verzögerung zur Schiffsbrücke gefunkt. Ohne zusätzliche Hardware an Bord werden die Daten dann auf einer Karte angezeigt und können bei Anlegemanövern eingesehen werden.





Aus hard wird soft

Bildete früher das Chassis das Rückgrat eines Autos, wird es zukünftig die Software sein. Maria Anhalt, CEO des Automotiv-Softwarespezialisten Elektrobit, gibt aufschlussreiche Einblicke.

Elektrifizierung, Vernetzung, Internet of Things: Längst haben wir uns daran gewöhnt, dass Automobile Teil dieser Ökosysteme sind. Was aber heißt das für ihre Entwicklung? Geht sie evolutionär weiter? Oder ist die Entwicklung so disruptiv wie in der IT-Industrie, im Handel, bei Musik oder Film? Tatsächlich beeinflusst die Elektronikarchitektur immer stärker den Entwicklungsprozess von Autos.

Expertin Maria Anhalt nennt Transformationsfelder.

Veränderte Kundenwünsche

Leistungsstärke oder Wirtschaftlichkeit, Sportlichkeit oder Komfortmerkmale waren rund ein Jahrhundert lang ganz typische Kriterien, nach denen Kunden Autos beurteilt und gekauft haben. Bei einer jüngeren Generation aber gewinnen andere Nutzererlebnisse die Oberhand. Worum geht es heute? Maria Anhalt sagt: "Es geht den Kundinnen und Kunden nicht mehr nur um PS, sondern um das Erleben im Fahrzeug. Die ,Digital Life Experience', der Wunsch nach Software-basierten Erlebnissen. ist zunehmend ein Treiber der Automobilbranche. Das Beratungsunternehmen Capgemini schätzt, dass führende Automobilhersteller ihren Umsatz, der auf Software basiert, von 2021 bis 2031 fast verdreifachen, nämlich von acht Prozent Anteil am Gesamtumsatz auf 22 Prozent."

Ein Blick nach China unterstreicht die Aussagen der Expertin. Dort verbringen junge Menschen bereits über 90 Minuten am Tag im Auto – nicht um damit zu fahren, sondern um dort parkenderweise zu surfen, zu spielen, zu kommunizieren.

Umgekehrter Ansatz bei der Grundstruktur

Der digitale Vormarsch im Pkw hat erhebliche Auswirkungen auf Geschäftsmodelle und Entwicklungsorganisationen im Automotive-Sektor: Statt komponentenbasierter Lösungen mit integrierter Software müssen domänenübergreifende Softwarelösungen entstehen. Deswegen gewinnen jetzt Softwarearchitekten deutlich mehr Einfluss auf die Produktentwicklung. Maria Anhalt: "Eine solche Transformation, die in dieser Relevanz nur alle 30 Jahre vorkommt, erfordert ein weitreichendes Umdenken, ein neues Mindset: Vorbei ist die Zeit der Einzelkämpfer – Zusammenarbeit und neue Allianzen sind entscheidend, um im Wandel zu bestehen."

Neue Marken wie Tesla denken und konstruieren bereits nicht vom Chassis aus, sie setzen von vornherein eine innovative Elektrik-Elektronik-Architektur um. Ist das eine Chance für neue Marktteilnehmer? Maria Anhalt bejaht und nennt ein Beispiel: "Elektrobit ist Partner des neuen Joint Ventures Sony Honda Mobility (SHM). Für den neuen EV-Prototyp AFEELA entstand zuerst die Software und anschließend die Hardware – das ist völlig neu. Elektrobit entwickelte nicht nur die Softwarearchitektur für die User-Experience, sondern gestaltet auch das Cockpitsystem mit, etwa die Software für Hochleistungsprozessoren von Qualcomm. Das Auto ist binnen zwei Jahren um eine innovative Software herum entstanden und nicht von Hardware-Ingenieuren entwickelt worden. Am Anfang stand die Software, das Nutzererlebnis, die Vernetzung – alles andere, auch die Hardware, hat sich dem untergeordnet. Das hat die Zusammenarbeit von Sony Honda Mobility und uns auf Augenhöhe gebracht. Die Tech-Riesen wie Microsoft, Meta oder Apple kommen – die Software gibt ihnen Auftrieb. Früher oder später werden weitere führende Tech-Konzerne mit eigenen Produkten auftreten. Dafür brauchen sie allerdings einen langen Atem."

Geänderte Lieferketten

Die Umwälzungen in der Automobilentwicklung fallen so fundamental aus, dass davon auszugehen ist, dass sich die Geschäftsmodelle einzelner Marktteilnehmer deutlich ändern werden. Bislang stand komponentenbasierte Software im Vordergrund. Motor, Getriebe, Komfortfunktionen oder Thermomanagement: Jede Baugruppe hatte ein eigenes Steuergerät mit eigener Software. Bis zu 150 Stück sind in einem modernen Auto verbaut. Diese "Kleinstaaterei" der Software-Landkarte werde verschwinden, ist sich Anhalt sicher. Dafür werden domänenübergreifende Lösungen entstehen. Das heißt auch, dass Softwarearchitekten deutlich stärker als früher die Produktentwicklung beeinflussen.

Maria Anhalt: "Schon seit einigen Jahren geht es um das Automotive Operating System (Automotive OS), das viel mehr ist als ein Betriebssystem. Es umfasst eine komplette Umgebung zur Entwicklung von Software für Fahrzeuge, Cloud-Ökosysteme, Datenmanagement, Entwicklungstools, Update- und Upscale-Systeme und vieles mehr. Diese Umgebung muss Echtzeit- und Sicherheitsanforderungen sowie ansprechende kundenorientierte Funktionen für das Entertainment und die Unterstützung des Fahrers umfassen. Ein Automotive OS als einheitliche Vermittlungsschicht zwischen Software und Hardware wird sich auch in den Lieferketten entsprechend positionieren: also zwischen Automobilherstellern und klassischen Tier-1-Zulieferern. Auch Elektrobit liefert daher zunehmend direkt an die Autoindustrie."

Bedeutung konzernübergreifender Lösungen

Geht es um neue Fahrzeugarchitekturen, steht wie bei allen technischen Umbrüchen und Neuerungen die Frage im Raum: gemeinsame Normen oder individuelle Lösungen der Hersteller? Maria Anhalt erkennt folgenden Trend: "60 Prozent der Software im Auto sind nicht differenzierend. Das heißt: Sie sind generisch, unabhängig von der Marke. Das ist ein starkes Argument für einen standardisierten Ansatz. Man muss das Rad nicht mit großem Kosten- und Ressourcenverbrauch neu erfinden, wenn es Lösungen gibt. Über die restlichen 40 Prozent lassen sich markenspezifische Besonderheiten definieren. Wir glauben fest an Open-Source-Software als potenziellen Gamechanger."

"Das Auto ist mit Updates und vor allem auch Upgrades der Software immer auf dem neuesten Stand und damit wertstabiler"

Maria Anhalt

Cybersicherheit von Autos

Bei der zunehmenden digitalen Interaktion mit breiten Software-Ökosystemen geht es beim Fahrzeug auch immer mehr um Datensicherheit, aber auch um Zugriffsberechtigungen. Es gilt, Cybersicherheit zu garantieren, aber auch die Persönlichkeitsrechte des Nutzers im Sinne des Dateneigentums zu wahren. Maria Anhalt sagt: "Der große Unterschied entsteht durch die partielle Update-Fähigkeit der Steuergeräte. Softwarekomponenten werden erst im Fahrzeug durch eine Software-Aktualisierung integriert - im Gegensatz zur Integration ganzer Steuergerätesoftware zum Zeitpunkt der Entwicklung und zum Einspielen durch geschultes Personal. Entlang dieser Update-Kette eröffnen sich natürlich neue Angriffsvektoren, die berücksichtigt werden müssen. Die Entwicklungsstandards sind hierauf vorbereitet, und auch die restlichen Randbedingungen wurden mit den UNECE-Cybersecurity-Regularien entsprechend angepasst."

Vorteile für den Endverbraucher

Die neuen Architekturen kommen mit weniger komplexen Kabelbäumen aus, Entwicklung und Fertigung vereinfachen sich, Updates "over the air" verringern die Kosten. Dass sich Neuwagen dadurch für den Endverbraucher verbilligen, erwartet Maria Anhalt allerdings nicht. Sie sagt: "Diese Vorteile gelten hauptsächlich für die Produktion. Die Entwicklungskosten werden nicht nennenswert sinken, da die Anforderungen an Safety und Cybersecurity steigen. Wir werden also eher eine Verschiebung der Wertschöpfung von der Hardware

zur Software sehen. Der Vorteil für den Kunden wird daher eher im Werteversprechen liegen. Das Auto ist mit Updates und vor allem auch Upgrades der Software immer auf dem neuesten Stand und damit wertstabiler. Es ist auch zu erwarten, dass sich die Wartungskosten reduzieren, da die neuen Architekturen weniger komplex sind, und dass den Kunden neue Funktionalitäten angeboten werden können."

Apps fürs Auto

Es ist zu erkennen, dass die Option "Function on demand" für die Automobilhersteller neue Geschäftsbereiche erschließt: Technologien sind bereits eingebaut und lassen sich auf Wunsch und gegen Aufpreis freischalten. Können die Hersteller durch neue Architekturen ihre bisherigen Geschäftsmodelle weiter verändern? Neben der Einbindung solcher neuen Geschäftsbereiche in bestehende Prozessstrukturen der Automobilhersteller sieht Maria Anhalt eine weitere große Hürde: "Bei den Smartphones konnten sich mit Android und iOS grundsätzlich zwei Ökosysteme etablieren. Im Automotive-Bereich zählen wir derzeit 15 Softwareplattformen. De-facto-Standards sind dringend nötig, um ein Ökosystem aufzubauen oder hinreichend große Stückzahlen einzelner Hersteller. Der Smart-TV-Markt kann hier als negatives Beispiel gelten. Viele Hersteller, die ein eigenes App-Ökosystem aufbauen, wollten es nicht über mehrere Gerätegenerationen pflegen. Zudem hatten sie kein Geschäftsmodell, um die Entwicklung der Apps für ihre Plattform monetarisieren zu können. Das sind die Hindernisse, die überwunden werden müssen."

Herausforderungen beim Übergang

Aktuell setzen die Hersteller auf ihre bestehenden Plattformen mit traditionellen Steuergeräte-Architekturen, entwickeln gleichzeitig aber bereits neue Softwareplattformen. Maria Anhalt sagt: "Eine Softwareplattform ist ein eigenständiges Softwareprodukt, das unabhängig vom Lebenszyklus der darunterliegenden Hardware weiterentwickelt werden muss. Um wieder die Smartphone-Analogie zu bemühen: Es würde niemand auf die Idee kommen zu fragen, wann das Ende des Lebenszyklus für iOS vorgesehen ist. Zwar werden einzelne Versionen im Lauf der Zeit nicht mehr weiterentwickelt und neue Versionen werden freigegeben, aber das Ziel ist es nicht, das Projekt abzuschließen.

Im Gegensatz zu Steuergeräteprojekten wird eine Softwareplattform nicht mit dezidiertem Enddatum entwickelt. Aktuell vermischen viele Hersteller diese Denkweisen allerdings stark. Das zeigt sich dann, wenn solche Softwareplattformen auf mehrere Fahrzeuggenerationen ausgerollt werden sollen."

Klassische Ingenieurskunst

Die Idee, ein Auto von der Softwarearchitektur her zu entwickeln, erweckt den Eindruck einer Konkurrenzsituation zu tradiertem Ingenieurwissen. Zählen Fahrwerke, Fahrdynamik oder Karosseriebau in Zukunft weniger als Software? Sollten angehende Ingenieure sich anders spezialisieren? Maria Anhalt bewertet die Entwicklungen so: "Der Ehrgeiz, sichere, leistungsstarke und attraktive Fahrzeuge zu entwerfen und zu bauen, lässt nicht nach. Tatsächlich wird die Weiterentwicklung der elektrisch-elektronischen Architektur (E/E) und der softwaregesteuerten Funktionalität - insbesondere wenn wir die potenziellen Auswirkungen hoch entwickelter autonomer Funktionen berücksichtigen - völlig neue Möglichkeiten für das Fahrzeugdesign und die Raumnutzung eröffnen. Wenn ich als Ingenieurstudentin über eine Zukunft im Mobilitätsbereich nachdenken würde, würde ich mit Sicherheit viele Möglichkeiten in der Informatik und Elektronik sehen."



Die Expertin

Maria Anhalt (Jahrgang 1970) ist CEO der Elektrobit Automotive GmbH. Sie studierte in Sofia, am K.I.T in Karlsruhe sowie den

US-Universitäten Harvard und Stanford unter anderem Computer Science und General Management. In ihrer früheren Laufbahn war Maria Anhalt bei Hewlett Packard Enterprise, Micro Focus und Continental in verschiedenen Positionen der Geschäftsführung, Unternehmensentwicklung und Leitung der Forschung & Entwicklung tätig. Dabei hat sie sich zu einer zukunftsorientierten Führungskraft entwickelt, die Innovationen vorantreibt und ungekannte Wege zum Erfolg beschreitet.

Virtuelle Probeläufe für die harte Realität

Ob Windkanal, Fahrversuch oder Crashtest – bei der Fahrzeugentwicklung kommen für Testzwecke immer wieder physische Prototypenmodelle zum Einsatz. Ein langwieriger und teurer Prozess, der immer mehr durch die Arbeit mit digitalen Zwillingen ersetzt wird. Das große Ziel: die prototypenfreie Entwicklung.

Von Alexander von Wegner und Volker Paulun

Houston, wir haben ein Problem: Die Astronauten der im April 1970 spektakulär gescheiterten Mondmission Apollo 13 verdanken der "Spiegelungstechnologie", wie es die NASA damals nannte, wahrscheinlich ihr Leben. Seit den 1960er-Jahren forschte die US-Weltraumbehörde an komplexen Simulationsmodellen, um Weltraumtechnologie zu testen. Als an Bord von Apollo 13 auf dem Weg zum Mond ein Sauerstofftank explodierte und sich die Havaristen in die Mondlandefähre Aquarius flüchteten, erarbeitete die Bodenkontrolle in Houston auch anhand von 15 computergesteuerten Modellen einen Rettungsplan.

Heute heißt die "Spiegelungstechnologie" digitaler Zwilling und ist um ein Vielfaches komplexer geworden, aber dank immer leistungsfähigerer Rechner dennoch längst auf großer Breite in der irdischen Produktionswelt angekommen. Produkte, Prozesse, Orte, ja in der Medizin inzwischen sogar Menschen: Der Zwillingsgraph dient dazu, Verfahren, Objekte oder Subjekte aus der physischen Welt zu spiegeln. In der virtuellen Welt können mit dem digitalen Duplikat Tests durchlaufen, das wahrscheinliche Verhalten von Materialien und Objekten unter verschiedensten Bedingungen simuliert und dabei Unmengen an Daten eingesammelt und analysiert werden. Das beschleunigt Entwicklungen und Transformationsprozesse.

Gerade für die Automobilindustrie ist Entwicklungstempo mehr denn je das Gebot der Stunde. Egal ob Elektrifizierung, Automatisierung oder Vernetzung – wer als Hersteller oder Zulieferer im Transformationsrennen der Mobilität nicht abgehängt werden will, muss Innovationen schnellstmöglich zur Marktreife entwickeln.

Defizite aufspüren, bevor sie in Serie gehen

Digitale Zwillinge sind echte Turbolader in Entwicklungsprozessen, vor allem auch, weil sie helfen, Problemfelder früh aufzudecken. "Und je früher man Probleme findet, desto einfacher ist es, sie zu lösen", sagt Guido Bairati in einem Beitrag für die globale Ingenieursvereinigung SAE. Der Italiener ist Managing Director beim weltweit tätigen Simulationsspezialisten VI-grade. Einige seiner Kunden aus dem Automotive-Sektor sollen dank immer realitätsnäherer Simulationen schon heute so weit sein, dass der erste physisch greifbare Prototyp bereits dem Stand eines Vorserienmodells entspricht.

Bei komplizierten und teuren Entwicklungen wie im Automobilbau sparen virtuelle Erprobungen aber nicht nur Zeit, sondern auch Kosten. So will Volvo den Entwicklungszyklus der aktuellen SUV-Plattform durch den Einsatz moderner Simulationstechnologien halbiert haben. Simulatoren ermöglichen es den Ingenieuren, mit ihren digitalen Zwillingen Hunderttausende von "Was wäre, wenn"-Szenarien zu testen und validieren, die während der Fahrzeugentwicklung auftreten – eine Bandbreite, die mit realen Versuchsträgern nicht möglich wäre. "Ein Monat realer Tests kann in weniger als

einer Woche im Simulator durchgeführt werden", sagt Louis Jamail, Simulationsleiter bei Ford in den USA. Und warum zehn Prototypen bauen, von denen neun nicht wie gewünscht funktionieren? "Wir sparen mit jedem einzelnen Prototyp, den wir nicht erstellen müssen, Geld", unterstreicht Jamail. Die Zeit- und Kostenersparnis übersteige bei Weitem die Millionen, die für den Simulator ausgegeben wurden, sagt er.

Hallenfüllende Simulatortechnologie

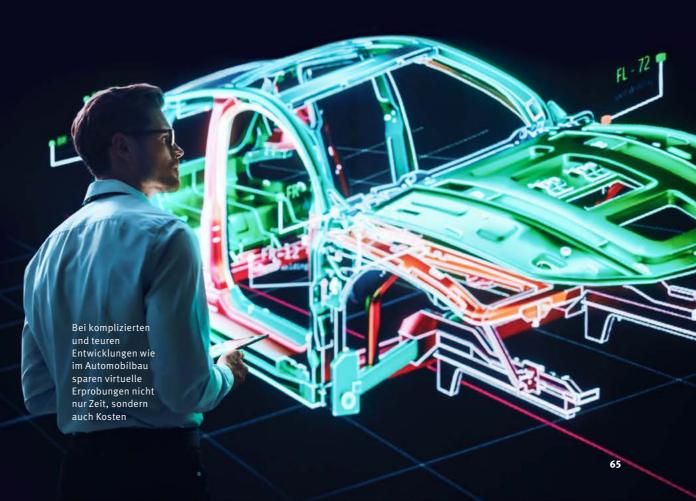
Die Hightech-Anlage von VI-grade im Ford-Entwicklungszentrum im US-amerikanischen Dearborn gleicht einem Flugsimulator. Nur dass auf dem komplexen elektrohydraulischen Bewegungsapparat statt eines Jetcockpits eine hinter dem Fahrersitz abgeschnittene Autokarosserie aufgebaut ist. Die halbkreisförmige Monitorleinwand, die sich vor der Fahrzeughülle ausgebreitet hat, weckt Assoziationen mit einer Spielekonsole. Nur im XXL-Format. Hinter einer großen Scheibe im Rücken des Simulators befindet sich das mit Monitoren befüllte Kontrollzentrum der Versuchsingenieure. In Anlagen wie diesen werden die am

Computer entwickelten digitalen Fahrzeugzwillinge zum Leben erweckt. Rüttelnd, schüttelnd, bremsend, beschleunigend.

Bei Autoherstellern gehört es heute zum Standard, mehrere High-End-Fahrsimulatoren in Betrieb zu haben. Und das nicht nur in Forschung und Entwicklung. Virtual-Reality-Fahrsimulatoren können auch genutzt werden, um Prototypen noch im virtuellen Stadium an potenziellen Kunden zu testen. Dieses Feedback kann ebenfalls sofort im Designund Fertigungsprozess berücksichtigt werden und so zum Qualitäts- und Zeitgewinn in der Gesamtentwicklung beitragen.

Auf dem Weg zum industriellen Metaverse

Der virtuelle Zwilling eines Fahrzeugs lässt sich nicht nur anstelle des physischen Prototyps in alle möglichen Testsimulationen "einspannen", sondern darüber hinaus in abgebildete Produktionsprozesse. Kann die Montage der Karosserie wie geplant erfolgen? Wie wirken sich geplante Toleranzen auf das Erscheinungsbild aus? Anhand solcher



Fragen können Produktionsexperten das Design und die Entwicklung eines neuen Automodells schon in einem frühen Stadium des Entstehungsprozesses nach Kriterien der Fertigung begutachten und erforderliche Veränderungen anstoßen.

Im Idealfall werden digitale Produktzwillinge Teil eines umfassenden industriellen Metaverse. Eine Voraussetzung dafür: Über System- und idealerweise auch Unternehmensgrenzen hinweg müssen Daten lesbar und interpretierbar sein. Diese Interoperabilität ist erst erreichbar durch eine sogenannte Verwaltungsschale (Asset Administration Shell - AAS). Darin sind Anforderungen zur Modellierung von Komponenten in der digitalen Welt ebenso festgelegt wie Freigabebeschränkungen, schließlich will keine Firma all ihr wertvolles Know-how preisgeben. Ohne solche Standards lassen sich digitale Zwillinge nicht miteinander verbinden. Solche Verknüpfungen sind aber wichtig. "Sonst können wir unser Ziel, sukzessive ein ganzheitliches Datenmodell des kompletten Lebenszyklus eines Produkts zur Verfügung zu haben, nicht erreichen", sagt auch Rainer Eidloth, Leiter Engineering IT bei Schaeffler (siehe auch beigestelltes Interview).

Prozesse virtuell vorwegnehmen

An solch komplexen digitalen Zwillingswelten wird rund um den Globus gearbeitet. Zum Beispiel bei Volkswagen. Das Produktionsnetz des Konzerns umfasst weltweit 118 Standorte. Viele davon finden sich bereits in einer virtuellen Welt wieder. So nutzt die Konzerntochter Audi die Kombination aus digitalen Zwillingen und Virtual Reality, um realitätsnah zu visualisieren, wie die geplante Fertigung eines neuen Modells als Ganzes später

aussehen wird. Andrés Kohler, Leiter der Virtuellen Montageplanung bei Audi, berichtet: "Der Moment fasziniert immer wieder aufs Neue, wenn wir uns die VR-Brillen aufsetzen und unsere Kolleginnen und Kollegen in Form von Avataren in der virtuellen Welt treffen. Wir bauen dort erstmals unseren neuen Audi oder schauen einem computergenerierten Avatar zu, wie er dies als Echtzeitsimulation übernimmt. Und wenn nötig, diskutieren und optimieren wir in der Szene miteinander die Abläufe und das Umfeld des Arbeitsplatzes, etwa die Materialanstellung oder benötigte Werkzeuge."

Der Blick in die virtuellen Welten soll den Produktionsverantwortlichen des Konzerns auch ermöglichen, die Abläufe in verschiedenen Werken miteinander zu vergleichen. Werden die Ingenieure auf der Suche nach einer guten Lösung in einem anderen Werk fündig, können sie die Idee für ihre eigenen Planungen übernehmen. Auch das kann helfen, Innovationen schneller in die Serie zu überführen.

Herausforderung Elektromobilität

Neben der Fertigungs- und Fahrzeugentwicklung kommt der digitale Zwilling im Zeitalter der Elektromobilität für neue Aufgaben wie gerufen. Dort beschäftigen die Ingenieure nach mehr als 130 Jahren mit Verbrennungsantrieben ganz neue Herausforderungen. Etwa bei der Antriebsstrangprüfung: Elektrische Maschinen sind weitaus dynamischer. Die Stromer arbeiten in einem elastischeren Betriebsbereich und verlangen nach neuer Prüfstandstechnik. So gewinnt die modellbasierte Validierung an Bedeutung. Ein weiterer wichtiger Aspekt: das Lademanagement. Dort entsteht eine wechselseitige Herausforderung. Die Anbieter von

Ladestationen müssen sich auf alle Fahrzeuge im Markt einstellen. Digitale Zwillinge anstelle echter Autos erledigen die Arbeit effizienter. Umgekehrt müssen die Autohersteller die Aufgabe bewältigen, ihre Produkte für vielfältige Ladesysteme und Normen rund um den Globus auszulegen. Auch hier wären breit angelegte physische Tests nur mit hohem Aufwand zu bewältigen. Stattdessen zahlen sich virtuelle Abbilder viel eher aus als echte Ladesäulen.



Die E-Mobilität bietet viele weitere Anwendungsfelder digitaler Simulationen – auch bei Schaeffler. Zum Beispiel in den Bereichen Leistungselektronik und Thermomanagement. "Die Vielfalt der bereits jetzt oder zukünftig am Markt befindlichen Zellformate oder Kathoden- und Anodenchemien in unterschiedlichsten Einbaubedingungen sowie Kundenanforderungen von der Mikromobilität bis zu Heavy Duty erfordern einen hochgradig skalierbaren und anpassbaren Simulationsprozess, der Design und Engineering nahtlos miteinander verbindet", erklärt der Schaeffler-E-Mobilitätsexperte Jens Schäfer. "Wir bei Schaeffler identifizieren damit bereits in der frühen Entwicklungsphase Lösungen und entwickeln Produkte für neue Antriebsbatterien, die die zukünftigen Anforderungen beispielsweise an das Ultra Fast Charging, eine erhöhte

Lebensdauer oder auch die verschärften Anforderungen an die Sicherheit im Betrieb erfüllen." Auch dieser Teilaspekt macht deutlich: Der technologische Wandel im Turbo-Tempo ist ohne Simulationen mit digitalen Zwillingen nicht realisierbar.

Zukunftsmusik

Wohin wird sich der digitale Zwilling entwickeln? Experten prognostizieren, dass auch die virtuelle Doublette durch das Aufbauen von digitalem Wissen mehr und mehr zu einem lernenden System wird, das eines Tages völlig autonom agieren kann. Der Mensch konzentriert sich dann vor allem auf komplexere Aktivitäten und die Weiterentwicklung solcher Systeme.

4 Fragen an ...



... Rainer Eidloth, Senior Vice President Engineering IT & Digitalization bei Schaeffler

Erinnern Sie sich, wann Schaeffler damit begonnen hat, digitale Zwillinge für die Produktion oder für konkrete Produktentwicklungen zu verwenden?

Seit 2016 arbeiten wir daran, digitale Zwillinge im Bereich der Produktentwicklung von mechanischen Komponenten zu erstellen. Der Bereich "Operation" nutzt diese Zwillinge aus Forschung und Entwicklung, um damit die Digitalisierung der Fertigung weiter voranzutreiben und sukzessive ein ganzheitliches Datenmodell des kompletten Lebenszyklus zur Verfügung zu haben.

Welches Zwillingskonzept hilft Ihnen heute schon, Budget und Zeit einzusparen?

Aktuell lösen wir den manuellen Prozess der Wareneingangskontrolle gemeinsam mit der Qualitätssicherung durch einen datenbasierten digitalen Prozess ab. Hier entsteht also ein weiterer Baustein des Zwillings, nämlich die Anbindung an die

Messdaten-Systeme. Was heute aufwendig in Excel-Dateien aufbereitet wird, um zugekaufte Teile bewerten zu können, kann in Zukunft digital passieren. Dadurch sparen wir Zeit und erhöhen die Qualität.

Welche Zukunftsszenarien sehen Sie bei dieser Entwicklung?

Durch die Anwendung der digitalen Zwillinge für Simulationen lassen sich teure und langwierige Versuche mit realen Produkten einsparen. Das senkt die Kosten und ist nachhaltiger. Digitale Zwillinge können physische Produkte nicht ersetzen, helfen aber, sie zuverlässiger, langlebiger und ressourcenschonender zu gestalten und zu betreiben. Der Einsatz digitaler Zwillinge für Reporting und Steuerung wird auch einen signifikanten Anteil zum Erreichen unserer ambitionierten Nachhaltigkeitsziele beitragen.

Wie hat sich für Sie persönlich die Arbeitswelt durch diese neuen Trends verändert?

Die Zusammenarbeit mit den Kunden wird durch gemeinsame Datenmodelle enger und das gemeinsame simultane Arbeiten in der Entwicklung real. Derzeit entstehen entsprechende Plattformen, um dies zu ermöglichen – etwa Catena-X als offenes Datenökosystem für die Automobilindustrie.

Hightech im Härtetest

Fahren auf allerhöchstem Niveau ohne mechanische Lenksäule: Die digitale Steer-by-Wire-Technologie Space Drive von Schaeffler ByWire stellt sich der Herausforderung Rallyesport.

Von Andrea Neumeyer

Brutale Schotterpisten, extreme Hitze, Schnee und Eis, topfebener Asphalt oder spektakuläre Sprungkuppen – im Rallyesport müssen Fahrer und Autos bei extremen und sich ständig verändernden Bedingungen Höchstleistungen bringen. Und in diesem Umfeld bewährt sich die Steer-by-Wire-Technologie Space Drive von Schaeffler ByWire seit 2021 auch im Wettbewerb.

Space Drive kommt ganz ohne mechanische Verbindung zwischen Lenkeinheit und Lenkgetriebe aus. Die Signale von der Lenkung werden per Sensoren erkannt und elektronisch an das Lenkgetriebe übermittelt. Das digitale Lenksystem ist eine Zukunftstechnologie, die in selbstfahrenden Pkw ebenso zum Einsatz kommen kann wie in zahlreichen Nutzfahrzeug-Segmenten.

Um die Entwicklung des Systems zu beschleunigen, nutzt Schaeffler ByWire den Motorsport als Testfeld. Nachdem die Technologie auf der Rundstrecke im GT3-Sport – unter anderem in der DTM – eingesetzt wurde, laufen nun unter Leitung des ehemaligen deutschen WM-Piloten Armin Schwarz die Tests im Rallyesport. Sein Sohn Fabio Schwarz, mit 18 Jahren einer der talentiertesten deutschen Nachwuchsfahrer, pilotiert einen Ford Fiesta Rally2 mit Space Drive in der Deutschen Rallye-Meisterschaft. Das nächste Ziel ist schon im Visier: die Weltmeisterschaft.

Wo keine Lenksäule vorhanden ist, können keine mechanischen Teile brechen: Besonders bei harten Schotterrallyes kann Space Drive diesen Vorteil ausspielen.

Mehr als 10.000 Kilometer auf Rallyestrecken hat Space Drive bisher bei Tests und Wettkämpfen bewältigt. Am Steuer saßen dabei auch ehemalige Konkurrenten von Projektbetreuer Armin Schwarz. Er sagt: "Besonders fasziniert hat uns ein Test auf Eis mit Spikes, da hat das Space Drive schneller reagiert als eine herkömmliche Lenkung."



"Die Digitalisierung im Automotive Aftermarket richtig angehen"

Innovation, Agilität und Effizienz: Jens Schüler, CEO des Automotive Aftermarket bei Schaeffler, erläutert im Interview, wie sich die digitale Transformation auf das Ersatzteilgeschäft auswirkt, welche Herausforderungen zu bewältigen sind und welche Meilensteine bisher erreicht wurden.

Interview: Katja Wild

Herr Schüler, die Digitalisierung ist zu einem zentralen Trend im Automotive Aftermarket geworden. Wie wirkt sich die digitale Transformation aus Ihrer Sicht auf die Branche aus?

Die Digitalisierung eröffnet dem automobilen Ersatzteilmarkt neue Möglichkeiten und Wachstumschancen und ist daher auch ein zentraler Bestandteil der Geschäftsstrategie von Schaeffler. Dabei umfasst die Digitalisierung ein weites Feld – von der Automatisierung bis zur Konnektivität, von besseren Einblicken bis zu höherem Kundenkomfort, und auch neue Geschäftsmodelle sind in diesem Zusammenhang denkbar. Unser Ziel ist es, bis spätestens Ende dieses Jahrzehnts in vielen der

genannten Bereiche mit einem zukunftsweisenden Produkt- und Serviceportfolio vollumfänglich digitalisiert zu sein. Die dazu notwendigen Entwicklungen werden wir im Rahmen unserer Initiative "Digitale Transformation" angehen – die Digitalisierung fördert eine ganzheitliche Denkweise und lehrt uns eine höhere Geschwindigkeit bei der Umsetzung. Im Kern geht es bei der Initiative darum, die Kundenerfahrung zu verbessern und neben unserem Kerngeschäft neue software- und datenbasierte Lösungen zu entwickeln.

Was konkret sind die Meilensteine bei der Digitalisierung der Angebote des Automotive Aftermarket? Die digitale Transformation gibt uns die Möglichkeit, unser Serviceportfolio zu erweitern und unser



Geschäft gemeinsam mit unseren Kunden und Geschäftspartnern weiterzuentwickeln. Indem wir digitales Neuland betreten, können wir flexibler und agiler auf die sich verändernden Bedürfnisse und Verhaltensweisen der Kunden reagieren. Mit unserem "Konnektivitätsansatz" wollen wir über die bloße Bereitstellung von Produkten hinausgehen und unsere Dienstleistungen und Prozesse von der Produktentwicklung bis zur Kundenerfahrung mitdenken. Unser digitaler End-to-End-Ansatz wird in Zukunft ein wesentlicher Differenzierungsfaktor für Schaeffler Automotive Aftermarket als Premiumpartner sein.

Wir haben bereits eine Reihe digitaler, integrierter Services implementiert. Mit unserer Aftermarket-Cloud haben wir für unsere Kunden eine zentrale Plattform geschaffen, die alle unsere Online-Aktivitäten bündelt und den Kunden integrierte digitale Serviceleistungen bietet. Wir haben

"Unser Ziel ist es, bis spätestens Ende dieses Jahrzehnts in vielen der genannten Bereiche mit einem zukunftsweisenden Produkt- und Serviceportfolio vollumfänglich digitalisiert zu sein"

Jens Schüler, CEO Schaeffler Automotive Aftermarket



Von einer Vorab-Fehlerdiagnose über die Teilebestellung bis hin zum Buchen des Werkstatttermins: Die Digitalisierung kann die Effizienz im Reparatur- und Servicebereich massiv erhöhen

datengetriebene Analysetools und Software-Services entwickelt, um unsere eigenen Prozesse zu optimieren und die Erfahrungen unserer Kunden zu verbessern, zum Beispiel durch die Digitalisierung unseres technischen Serviceangebots rund um unsere Marke REPXPERT. Die Ausweitung und Entwicklung unserer digitalen Marketingaktivitäten hat ebenfalls zu mehr Effektivität und Wachstum beigetragen.

Vor welchen Herausforderungen steht der Automotive Aftermarket aktuell in Bezug auf die Digitalisierung?

Der freie Zugang zu Daten ist ein entscheidender Punkt, um die Digitalisierung im automobilen Ersatzteilgeschäft voranzutreiben. Derzeit fehlt der Branche noch eine einheitliche Plattform, die allen Beteiligten einen gleichberechtigten Datenzugang ermöglicht. Einerseits gibt es für den Datenzugang im Mobilitätssektor noch keine definierte Regelung bezüglich der Zugriffsrechte, des Formats und der Infrastruktur. Andererseits hat jedes Unternehmen seine eigenen Anforderungen an die Qualität der Daten, was zu einer sehr fragmentierten Datenlandschaft führt.

Um diese Herausforderungen zu meistern, ist Schaeffler Automotive Aftermarket Teil des digitalen Datenmarktplatzes CARUSO. Als zentrale Plattform für den freien Ersatzteilmarkt stellt CARUSO standardisierte Fahrzeugdaten zur Verfügung und verbindet so Datenanbieter und -nutzer. Die Erhöhung der Datenverfügbarkeit und der Ausbau unseres digitalen Angebots haben für Schaeffler höchste Priorität. Wir sind und bleiben ein starker und verlässlicher Partner für Handel und Werkstatt.

Was bedeutet die Digitalisierung für das Tagesgeschäft von Schaeffler Automotive Aftermarket?

Wir verstehen die digitale Transformation als einen langfristigen Kulturwandel hin zu einem "Digital Mindset", der für unsere Mitarbeitenden zu einem wesentlichen Bestandteil des Tagesgeschäfts geworden ist. Darüber hinaus wollen wir neue Formen der funktionsübergreifenden, prozessorientierten Zusammenarbeit jenseits traditioneller Organisationsstrukturen implementieren, Trainings und Initiativen zur persönlichen Weiterentwicklung anbieten und eine innovations- und entwicklungsgetriebene Unternehmenskultur etablieren.

Zur Person: Jens Schüler

Jens Schüler (geb. 1974) studierte von 1996 bis 2002 Volkswirtschaftslehre an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz. Seine berufliche Karriere begann er 2002 an der Deutschen Börse AG als Spezialist XETRA Market Supervision. 2003 wechselte er als Assistent des Vorstandes zu Schaeffler Automotive Aftermarket GmbH & Co. KG. Es folgten berufliche Etappen im Aftermarket, in denen er in leitender Funktion für strategische Projekte innerhalb der Vertriebsorganisation zuständig war.

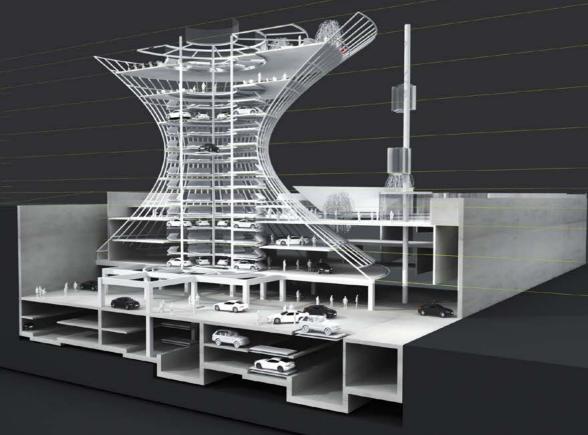
2009 wurde er zum Mitglied des Global Boards des Unternehmensbereichs Automotive Aftermarket ernannt und verantwortete als Vice President die strategische Planung und das Projektmanagement. Zwei Jahre später übernahm er die Leitung des Geschäftsbereichs Automotive Aftermarket in Nordamerika. 2014 wurde ihm zusätzlich die Verantwortung für das Aftermarket-Geschäft in Südamerika übertragen.

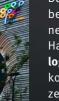
Mit der Etablierung des Automotive Aftermarket zum eigenständigen Vorstandsressort der Schaeffler Gruppe 2018 übernahm Jens Schüler die Leitung des Global Sales and Marketing. 2022 wurde Jens Schüler in den Vorstand der Schaeffler AG berufen und verantwortet seitdem das globale Automotive-Aftermarket-Geschäft der Schaeffler Gruppe.



Future Life

Parkhaus trifft Dachgarten, fliegende Lebensretter, visionäre Brillen und Turbo-Internet aus dem All – zukunftsweisende Technologien beflügeln unser Leben immer wieder aufs Neue.





Schöner parken

Dass Funktion auch in einer schönen Hülle zu Hause sein kann, beweist das Architekturbüro Daniel Statham Studio. Die Londoner Baumeister haben den Future Car Park im Stadtzentrum von Hangzhou (China) entworfen, der vollautomatisierte Parktechnologie mit öffentlichen Grünflächen kombiniert. Der vertikale Parkkomplex bietet in seinen taillierten Türmen Platz für 500 Fahrzeuge. Für maximale Raumnutzung sorgt ein dort integriertes Aufzugs- und Stapelsystem. Am oberen Rand vereinen sich die Türme und tragen auf ihren Schultern eine zusammenhängende Dachform, die Unterhaltungseinrichtungen und Dachgärten beherbergt.



Feuer-Flieger

Brennt ein Gebäude oder auch ein Waldstück, werden Retter oft vor eine lebenswichtige Frage gestellt: Ist dort noch jemand drin? Um Gefahrenherde aus nächster Nähe begutachten zu können, ohne das eigene Leben zu riskieren, haben Forscher der Schweizer Wissensschmiede Empa und des Imperial College London eine feuerfeste Drohne entwickelt. Eine mit Aluminium ummantelte Schicht aus Spezialgel plus Kühlsystem schützt den Miniflieger selbst gegen Gluthitze. So kann die FireDrone Brandbekämpfer dabei unterstützen, die Strategie eines Hochrisiko-Einsatzes zu optimieren, bevor sie die Gefahrenzone betreten.

Schlauer sehen

Auf Schritt und Tritt die neuesten Informationen direkt im Sichtfeld: Mit der Datenbrille von Google sollte das möglich werden. Doch nach elf Jahren des Herumtüftelns hat der Internetgigant die Entwicklung des Projekts Google Glass im Frühjahr 2023 eingestellt. Ist die Idee damit tot? Nein. Zumindest nicht, wenn es nach dem Start-up Minimis geht. Unternehmensgründer Joseph Guo zielt mit seiner Datenbrille auf Wanderer, Läufer und Radfahrer, die Leistungs- und Navigationsdaten auf die Gläser direkt ins Sichtfeld projiziert bekommen. Guo schwärmt: "Dies ist der Beginn einer neuen Ära für Sport-Wearables; eines Tages werden wir auf Laufuhren und Fahrradcomputer zurückblicken, wie wir es heute auf Disketten und Pager tun." Kostenpunkt: rund 1.000 US-Dollar.



1 TB/Sek.

soll ein satellitengestütztes
Datenübertragungssystem transferieren können – nicht etwas per Funk, sondern mit Laserlicht. Mit einer Bündelung der Strahlen sei sogar eine Skalierung nach oben möglich, sagen Forschende an der ETH Zürich, die an der Entwicklung arbeiten. Das Ziel: teure Überseekabel ersetzen. In einer Mitteilung der ETH heißt es dazu: "Mit dieser Terabit-Datenübertragung werden künftig wesentlich kostengünstigere und auch viel schneller erstellbare Backbone-Verbindungen über erdnahe Satelliten-Konstellationen möglich."

"Veränderungen begünstigen nur den, der darauf vorbereitet ist"

Louis Pasteur (1822–1895), französischer Chemiker

Bewegung im Hinterland

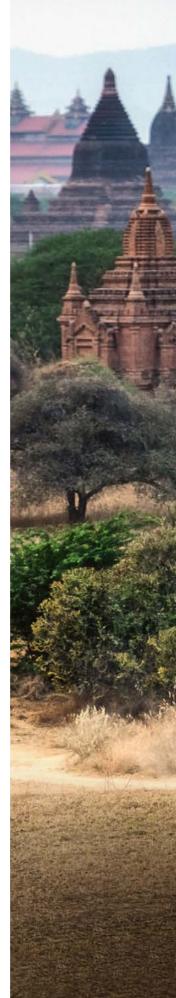
Der Transport von Menschen und Gütern ist in ländlichen Regionen oft schwierig. Vielerorts fehlt es an Busund Bahnverbindungen, im globalen Süden oft sogar an Straßen und Fahrzeugen. Abgehängten Regionen Anschluss zu verschaffen ist eine weltweite und vielschichtige Herausforderung.

Von Fritz Vorholz

Die Welt wird zwar immer mehr Stadt, trotzdem leben 44 Prozent aller Menschen noch in ländlichen Regionen. In den am wenigsten entwickelten Ländern sind es deutlich mehr, doch selbst in der Europäischen Union wohnt noch jeder Vierte auf dem Land. Dort, in den dünn besiedelten Gebieten, ist die Versorgung mit öffentlichen Verkehrsmitteln eine technische, aber vor allem auch eine finanzielle Herausforderung. Taktung und Bedienzeiten sind eingeschränkt, die Gebietsabdeckung ist unzureichend. Als wichtigstes Transportmittel herrscht deshalb insbesondere in Industrienationen uneingeschränkt der private Pkw. Auf dem Land verfügen viele Haushalte über zwei oder gar drei Autos, der öffentliche Verkehr spielt fast keine Rolle. Die Dominanz des Pkw beeinträchtigt die Umwelt – und sie benachteiligt ganze Bevölkerungsgruppen: Kinder, Ältere, Kranke, Menschen mit Behinderung und solche ohne Führerschein oder ohne die nötige Kaufkraft.

In den Ländern des globalen Südens ist die Situation ungleich schwieriger: Besonders prekär ist die Lage in einigen Ländern Afrikas. Dort kommen die Menschen nur so weit, wie ihre Füße sie tragen – und das bedeutet: Sie sind wirtschaftlich und sozial vom Rest der Welt abgeschnitten, besonders während der Regenzeit. Sind Märkte, Schulen und Krankenstationen nicht erreichbar, stagniert die wirtschaftliche Entwicklung, frisst sich die Armut fest.

Lesen Sie auf den kommenden Seiten, mit welchen Lösungen das Hinterland rund um den Globus mobil machen will.





1 Mrd. Menschen in den Ländern des globalen Südens leben in Dörfern, die mehr als zwei Kilometer von der nächsten ganzjährig befahrbaren Straße entfernt liegen. Quelle: Weltbank



Ein Multicopter des deutschen Unternehmens Wingcopter im Einsatz im kaum erschlossenen Outback Malawis. 450 junge Frauen und Männer wurden dort zu Drohnenpiloten ausgebildet

Luftpost 4.0

Nicht nur der Transport von Menschen gerät auf dem Land schnell ins Stocken. Auch der Warentransport wird im Hinterland holperiger. Ob deutsche Hallig, italienisches Bergdorf oder Steppenoase in der argentinischen Pampa – dort wird jede Warenzustellung zum Zubrotgeschäft. Um Mensch und Ware trotzdem zuverlässig zueinander kommen zu lassen, wäre der Lufttransport per Drohne eine Möglichkeit. Im südostafrikanischen Malawi, dessen Feldwegenetz durch Überschwemmungen regelmäßig unpassierbar ist, fliegen die unbemannten Multicopter seit einigen Jahren mit wertvollen Gütern an Bord: Antibiotika, Schmerzmittel, Infusionen, Laborproben – Dinge, die auf dem Landweg nicht schnell genug ihren Empfänger finden würden. Gemeinsam mit UNICEF und dem Luftfahrtunternehmen Wingcopter setzt die Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) das Projekt um. Die mit medizinischen Gütern beladenen Drohnen haben bisher rund 2.100 Lieferflüge absolviert und mehr als eine Viertelmillion Menschen in der Region Kasungu erreicht. Getrieben durch die hohen Kosten in der Landbelieferung, beschäftigen sich Versender rund um den Globus mit der Möglichkeit, Drohnen in ihre Lieferketten einzubinden. Doch die Hürden sind hoch. "Es ist nicht schwer, ein Paket per Drohne auszuliefern – ein ganz anderes Problemfeld ist es, ein autonomes, sicherheitskritisches System zu entwickeln, zu bauen, zu zertifizieren und zu betreiben, das über dicht besiedelten Gebieten im nationalen Luftraum operieren

kann", sagt Amazon-Manager David Carbon. Gerade in dünn besiedelten Flächenländern wie beispielsweise Australien, Kanada, den USA, Chile oder Norwegen, in denen viele Siedlungen heute hauptsächlich durch Flüge mit Propellermaschinen mit dem Rest der Welt verbunden sind, gibt es darüber hinaus Überlegungen, elektrisch angetriebene Lufttaxis als fliegenden ÖPNV einzusetzen. So können entlegene Regionen, die trotz ihrer Abgeschiedenheit wirtschaftlich, kulturell oder aus strategischer Sicht von Bedeutung sind, mit geringerem Aufwand als zurzeit am Leben gehalten werden. Die neuseeländische Regierung hat untersuchen lassen, ob sich mit autonomen Lufttaxis eines Tages abgelegene Siedlungen kosteneffizient mit dem nächsten Flugplatz verbinden ließen. Ergebnis: Könnte sich lohnen, eines Tages.

> "Es ist nicht so schwer, ein Paket per Drohne auszuliefern. Das Problemfeld liegt woanders"

Amazon-Manager David Carbon

Wie von Geisterhand

Fahrerlose Minibusse werden bereits vielerorts erprobt. In Australien, in Deutschland, in den Niederlanden, vor allem in Japan – allerdings meist im urbanen Umfeld. Dabei unterstreicht eine Studie der Unternehmensberatung Roland Berger, dass Robomobile vor allem ländlichen Regionen mit meist ungenügendem Angebot öffentlicher Verkehrsmittel wieder Anschluss verschaffen könnten: besonders den dort lebenden älteren Menschen, jungen Leuten ohne Führerschein und Personen mit Behinderung.

Mehr Lebensqualität dank autonomer Shuttles, so die Verheißung. Die Hoffnung beruht vor allem auf einem Umstand: Im herkömmlichen Busbetrieb in Industrieländern schlagen die Personalkosten mit einem Anteil von rund 45 Prozent zu Buche, ohne Fahrer wird das Gros dieser Kosten eingespart. Eine Untersuchung der Technischen Universität Hamburg ergab, dass störungsfrei autonom fahrende Shuttles tatsächlich fast ein Drittel günstiger wären als klassische Diesel-Minibusse. Experten erwarten, dass solche Robomobile womöglich schon ab 2025, spätestens aber bis 2040 marktreif sein könnten. Aber auch auf dem Dorf?



Schaeffler-Technologien für Robotaxis

Vollautomatisch und fahrerlos: Das öffentlich geförderte Projekt UNICARagil demonstriert, wie fahrerlose Mobilität im Mischverkehr aussehen kann. Schaeffler war mit acht Universitäten und acht weiteren Unternehmen an dem Technologieprojekt beteiligt und lieferte vollelektrische Radnabenmotoren für alle vier Prototypenfahrzeuge (gr. Foto). Dieser In-Wheel-Elektroantrieb macht die Fahrzeuge wendiger, und sie fahren lokal emissionsfrei. Über dieses Projekt hinaus treibt Schaeffler gemeinsam mit dem Partner Mobileye die Entwicklung autonomer Transportlösungen weiter voran. Dazu erstellt Schaeffler ein Rolling Chassis (unten), das alle für die Fahrfunktionen relevanten Komponenten (Antrieb, Bremse, Lenkung und Batterie) modular zusammenfasst und eine ideale Grundlage für neue Mobilitätskonzepte mit fahrerlosen Systemen ist.





Mit sogenannten Schienenbussen wie dem hier gezeigten französischen Projekt DRAISY soll verwaisten Bahnstrecken in ländlichen Gebieten neues Leben eingehaucht werden. DRAISY soll batterieelektrisch bis zu 100 km/h schnell und 100 Kilometer weit fahren. 80 Fahrgäste sollen mitfahren können

Comeback der Gleise

Der Trend zur Wiedereröffnung stillgelegter Eisenbahnlinien lässt sich vielerorts auf der Welt beobachten. Um abgehängten Dörfern "wieder Leben einzuhauchen", will zum Beispiel die britische Regierung Strecken wiedereröffnen. In den USA, wo bis Mitte der 1990er-Jahre rund 725 Dörfer und Städtchen ihren Gleisanschluss verloren hatten, haben die ersten inzwischen wieder Anschluss gefunden. In Frankreich, um ein weiteres Beispiel zu nennen, bieten sich 9.000 Gleiskilometer zur Wiederbelebung an. Welche Effekte Schienenreaktivierungen haben, hat das deutsche Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung untersuchen lassen. Zwar stellen sich nicht alle erhofften Effekte ein, so bilanziert eine Studie, viele aber schon: Ländliche Regionen werden für Bürger und Unternehmen attraktiver. Der Wohnungsmarkt in Ballungsgebieten wird entlastet. Transport kommt mit weniger Fläche aus, die beispielsweise für Parks genutzt werden kann. Freizeitregionen werden umweltverträglich erschlossen, vor allem für den Fahrradtourismus.

Als Transportmittel für wenig frequentierte Hinterlandstrecken **empfiehlt sich die neue Fahrzeug-**

kategorie des Schienenbusses. Dieser ist, wie der Name es andeutet, eine Mischung aus Zug und Bus. Noch gibt es keine einsatzbereiten Angebote, aber vielversprechende Entwicklungsprojekte, die in naher Zukunft den Weg auf die Schiene finden können, zum Beispiel in Frankreich das Projekt DRAISY oder in Deutschland FlexSBus, an dem auch Schaeffler beteiligt ist. Beide Projekte nutzen auch Technik aus Nutzfahrzeugen und Pkw, wodurch sich Entwicklungs-, Betriebsund Wartungskosten gegenüber klassischen Zug-Lösungen halbieren könnten.

90.000

Wohnungen im Hinterland und milliardenschwere Impulse für die Wirtschaft im gesamten Königreich soll die neue Ost-West-Bahnverbindung bringen, die im Großraum London Vororte mit der Metropole verbindet.



Carpooling in Echtzeit. Das Covoiturage in Frankreich funktioniert fast wie ein Bus: mit festen Haltepunkten und Fahrtstrecken, aber ohne Fahrplan und lange Wartezeiten

Nimm mich mit

Ecov, ein französisches Start-up, entwickelte eine innovative Alternative zum Busfahren: Carpooling in Echtzeit. Mitfahrgelegenheit gesucht? Dank digitaler Unterstützung geht das sehr spontan. Das Covoiturage genannte System funktioniert fast wie ein Bus: mit festen Haltepunkten und Fahrtstrecken, aber ohne Fahrplan und lange Wartezeiten. Fahrtwünsche und -ziele werden per App oder SMS angemeldet, an mit Rufsäulen ausgestatteten Haltepunkten auch per Knopfdruck; teilnehmende Autofahrer werden umgehend informiert, ebenfalls per App oder durch beleuchtete Schilder an den Haltepunkten. Aus einem privaten Pkw wird auf diese Weise ein teilöffentliches Fahrzeug. 60 Linien in verschiedenen Regionen Frankreichs hat Ecov gemeinsam mit den für den Nahverkehr zuständigen Behörden inzwischen entwickelt. Die bezahlen den Fahrern für jeden mitgenommenen Passagier einen Euro, mancherorts auch zwei, während die Passagiere meist nichts zahlen müssen. Wartezeiten von oft nur wenigen Minuten machen das System attraktiv. Bei einer Befragung von Teilnehmern eines der Ecov-Netzwerke gaben 80 Prozent an, zuvor als Solo-Fahrer unterwegs gewesen zu sein. **Mehr als jeder Fünfte hat nach eigenen Angaben ein Auto verkauft,** berichtet Thomas Matagne, Präsident von Ecov. Für gesellschaftlichen Mehrwert ist laut Ecov ohnehin gesorgt: weniger Verkehr, weniger Stau, weniger CO₂-Emissionen – aber mehr Kaufkraft. 1.500 Euro spart ein durchschnittlicher Nutzer jährlich.

200 Millionen

Pkw-Sitze fahren allein in Frankreich jeden Tag unbesetzt herum, viele davon in ländlichen Regionen. In den meisten Autos sitzt nur eine Person – der Fahrer.

Quelle: Ecov

I want to ride my bicycle

Fahrräder machen Dörfer mobil – wenn sie billig, robust und einfach zu reparieren sind. Buffalo ist ein solches Fahrrad. "Weil es Leben verändert", gehöre es zu den besten Fahrrädern der Welt, schrieb ein Nachrichtenmagazin. Buffalo ist speziell für holperige, sandige oder steinige Wege konstruiert, der Gepäckträger trägt 100 Kilogramm. 147 Euro finanzieren ein Buffalo, das viel in Bewegung bringt, zum Beispiel im zentralafrikanischen Sambia: Nachdem sie per Fahrrad unterwegs sein konnten, brachen dort 19 Prozent weniger Mädchen die Schule ab. Außerdem fehlten sie seltener, hatten bessere Mathematik-Noten und wurden auf dem Schulweg deutlich seltener belästigt. In Kenia konnten Krankenpfleger fast doppelt so viele Patienten besuchen, nachdem sie mit einem Buffalo unterwegs waren. Und Bauern ermöglichten die Fahrräder, fast ein Viertel mehr Milch auszuliefern und ihr Einkommen entsprechend zu steigern. Nicht auf zwei Räder und Muskelkraft, sondern auf drei und elektrischen Antrieb setzt das Start-up Mobility for Africa, ein gewinnorientiertes Sozialunternehmen aus Simbabwe. Hamba ("Let's go") heißt das dreirädrige, mit Wechselbatterien ausgestattete Offroad-Gefährt, dessen Ladefläche bis zu 400 Kilogramm trägt. Per Mietkauf nutzen es vor allem meist von Frauen gemanagte Kleinbauern-Kooperativen. Die so weit möglich mit Strom aus Wasser- und Sonnenkraft betriebenen Hambas sind zwar deutlich teurer als ein Fahrrad, schleppen dafür aber auch größere Lasten und schaffen weitere Wege in kürzerer Zeit. Vor Kurzem investierte ein mit öffentlichem Geld ausgestatteter britischer Infrastrukturfonds zwei Millionen Dollar in das Start-up – für 400 weitere Hambas, 600 Wechselbatterien und acht neue Ladestationen.

> 700.000

robuste Buffalo-Fahrräder (Foto) hat die Hilfsorganisation World Bicycle Relief weltweit bisher unter die Leute gebracht

Der Autor

Der Berliner Journalist

Fritz Vorholz schreibt seit
mehr als 30 Jahren über die
Themengebiete Umwelt,
Energie, Klima und natürliche

Ressourcen. Von 2016 bis 2020 war er für die strategische Kommunikation der Initiative Agora Verkehrswende zuständig – eines Thinktanks für klimaneutrale Mobilität.



Einmal abheben, bitte!



Drohnen und hoch automatisierte Flugtaxis haben das Potenzial, den urbanen Verkehr mit neuen Möglichkeiten zu bereichern. Doch welche Voraussetzungen müssen erfüllt sein, damit wir in einigen Jahren die sogenannte Urban Air Mobility (UAM) tatsächlich nutzen können? Das Forschungsprojekt HorizonUAM des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt hat sich auf die Suche nach Antworten begeben.



Schnell über den Stau hinwegfliegen, um den wichtigen Termin zu erreichen – wer von uns hat nicht schon davon geträumt. Mit einem Lufttaxi können solche Mobilitätsträume wahr werden. Dafür bedarf es aber einiger wichtiger Bausteine wie Verfügbarkeit, Sicherheit, Effizienz, Nachhaltigkeit und Bezahlbarkeit.

Um sich ein umfassendes Bild zu machen, entwickelten die Forschenden des Projekts HorizonUAM eine Gesamtsystemsimulation sowie eine Methodik zur Prognose der weltweiten Nachfrage nach UAM-Verkehrsdiensten. Diese Methode wandten sie auf 990 städtische Gebiete mit jeweils mehr als 500.000 Einwohnern weltweit an. "Die Ergebnisse zeigen, dass die Nachfrage mit einer steigenden Zahl an Haltepunkten und deren leichter Erreichbarkeit klar zunimmt", berichtet Dr. Bianca

Schuchardt vom DLR-Institut für Flugführung und Projektleiterin von HorizonUAM. "Bezahlbare Preise spielen dabei eine entscheidende Rolle."

Über 200 Städte sind UAM-geeignet

Anhand der Methodik identifizierten die Forschenden mehr als 200 Städte weltweit als "UAM-geeignet", darunter Metropolen wie New York, Tokio und Hamburg. Wichtige Faktoren sind dabei unter anderem die Bevölkerungszahl, die Ausdehnung der Stadt sowie das Bruttoinlandsprodukt.

Auch die Kosten nahmen die Forschenden unter die Lupe. Dafür entwickelten und untersuchten sie verschiedene Einsatzszenarien: den innerstädtischen Lufttaxi-Verkehr, Flughafen-Shuttles und den Regionalverkehr. Das Ergebnis: Um die Betriebskosten zu decken und einen Gewinn zu erzielen, müssten eVTOL-Betreiber (Akronym aus electric Vertical



Das Deutsche Luft- und Raumfahrtzentrum (DLR) hat verschiedene Vorentwürfe für ein senkrecht startendes Lufttaxi angefertigt, so sieht der Favorit mit sechs schwenkbaren Rotoren aus

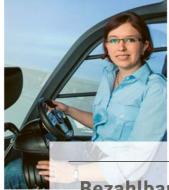


Starten und Landen im Herzen der Stadt: DLR-Entwurf eines Vertidroms auf der Hamburger Binnenalster

Take-Off and Landing) für Shuttle-Services je nach Gegebenheiten Preise in einer Spanne von vier bis acht Euro pro Kilometer veranschlagen.

Pilot? Muss nicht sein!

Wie sollte ein Vehikel, das einen Personentransport im städtischen Luftraum von A nach B ermöglicht, idealerweise aussehen? Auch dieser Frage gingen die Forschenden im Projekt HorizonUAM nach. "Wir haben verschiedene Vorentwürfe für senkrecht startende Lufttaxis angefertigt. Zu einem der Konzepte mit sechs schwenkbaren Rotoren wurde auch ein detailliertes Kabinendesign angefertigt, das wir hinsichtlich Sicherheit, Passagierkomfort und Betriebsabläufen für den UAM-Betrieb optimierten", erklärt Schuchardt. In einem am DLR-Standort Braunschweig neu aufgebauten Kabinensimulator wurde der Flug in einem Lufttaxi für 30 Probandinnen und Probanden mittels Mixed-Reality erlebbar durchgespielt. Dabei zeigten sich die Probanden sehr offen gegenüber einem ferngeführten Lufttaxiflug ohne Piloten an Bord. Im Falle von unerwarteten Ereignissen, wie einer Streckenänderung, konnte das gefühlte Wohlbefinden jedoch tendenziell gesteigert werden, wenn ein Crewmitglied mit an Bord war.



"Bezahlbare Preise spielen dabei eine entscheidende Rolle"

Dr. Bianca Schuchardt, DLR-Projektleiterin HorizonUAM

Sicher, zuverlässig und weitestgehend autonom – so sollte das Lufttaxi der Zukunft aussehen. Wie es gelingen kann, es sicher aus der Ferne zu betreiben und zu überwachen und wie die Zertifizierung für diese Fluggeräte ablaufen müsste, untersuchten die Forschenden ebenfalls. Es zeigte sich schnell, dass bei Lufttaxis zwei große Herausforderungen der bemannten und unbemannten Luftfahrt zusammenkommen: der Wunsch nach vergleichbarer Autonomie wie in der unbemannten Luftfahrt und der nach gleich hohen Sicherheitsstandards wie in der bemannten Luftfahrt. "Die Zertifizierbarkeit von Lufttaxi-Komponenten, wie zum Beispiel des Batteriesystems, konnten wir erfolgreich

nachweisen. Für die deutlich komplexere Zertifizierung von Autonomiefunktionen haben wir Teillösungen erarbeitet, hier besteht aber weiterhin Forschungsbedarf", erläutert Schuchardt.

Haltestellen für Lufttaxis

Damit Lufttaxis im städtischen Raum überhaupt zum Einsatz kommen können, brauchen sie Haltepunkte, also kleine innerstädtische Flugplätze, sogenannte Vertidrome. Diese müssen sich in die vorhandene urbane Infrastruktur und das jeweilige Stadtbild integrieren lassen. In diesem Zusammenhang errichteten die Forschenden am

Schaeffler-Antriebstechnologien für die Urban Air Mobility

Basierend auf der Kompetenz und dem Knowhow der Division Automotive Technologies entwickelt Schaeffler verschiedene elektrische Antriebsstränge beispielsweise für senkrecht startende und landende Lufttaxis (eVTOLs) und elektrische Starrflügler. Die Motion Technology Company bietet ein umfassendes Spektrum an Systemen und Produkten für (Hybrid-)Elektroantriebe, einschließlich leistungsstarker Elektromotoren und vollständig integrierter Baugruppen. Auf der Pariser Luftfahrtschau 2023 zeigte Schaeffler ein Exponat, das die hohe Kompetenz des Unternehmens auf dem Gebiet der

elektrischen Antriebssysteme unter Beweis stellt: zwei vollredundante, also ausfallsichere Elektromotoren mit je 150 kW, Siliziumkarbid-Leistungselektronik, Getriebe und Propellerlager inklusive Regler. Dieses Antriebssystem wurde nach den Anforderungen eines Kunden dimensioniert, entwickelt, konstruiert und optimiert. Anders das Antriebssystem für das österreichische Start-up FLYNOW (flynow-aviation.com): Hier treiben zwei 26-kW-Elektromotoren ein kompaktes Fluggerät für eine Person oder Transportgut an, das wie eine Seilbahnkabine von A nach B schwebt – aber ohne Seil. Stattdessen geben fixe Wegpunkte die Strecke vor. Der FlyNow fliege daher nicht autonom, sondern automatisch, wie der Hersteller betont. Sollte ein Eingriff notwendig sein, können Flugzeugführer von einer Leitstelle aus das Fly-by-wire-System bedienen und sicher landen.



Das Start-up FlyNow hat eine eigene Lufttaxi-Idee mit Schaeffler-Technologie an Bord entwickelt: einsitzige Flugkabinen, die automatisiert, führerlos, aber überwacht entlang von Wegpunkten feste Strecken abfliegen



DLR-Standort Cochstedt eine Modellstadt im Maßstab 1:4, in der sie auch das Management eines Vertidroms untersuchten.

Schuchardt berichtet: "In der Modellstadt konnten wir als prägnantes Beispiel ein Lufttaxi-Szenario für Hamburg erproben. Konkret ging es um eine Luftverbindung zwischen dem Hamburger Flughafen und einem in der Binnenalster positionierten Vertidrom. Die nachgestellte Flugstrecke durch Hamburg ließ sich günstig entlang der bestehenden S-Bahn-Trasse legen. Sensible Gebiete oder solche mit höherem Flugverkehrsaufkommen, wie beispielsweise rund um das Hamburger Universitätsklinikum, wurden dabei ausgespart."

Wahrnehmung und Akzeptanz

Ein städtischer Luftverkehr kann ohne eine breite Akzeptanz in der Bevölkerung nicht umgesetzt werden. Deshalb führten die Forschenden dazu

mehrere Studien zum Feedback von Bürgerinnen und Bürgern durch. Dabei zeigte sich ein breites Stimmungsbild. Für zivile Drohnen (zum Beispiel für medizinische Transporte) zeigte sich im Allgemeinen eine Tendenz zu einem eher positiven Meinungsbild, bei Flugtaxis waren die Befragten im Schnitt eher zurückhaltender.

Der Blick aus der Perspektive von Anwohnerinnen und Anwohnern wurde in einer weiteren Studie erfasst. Hier wurde Teilnehmenden mithilfe von Virtual-Reality-Technologie ein Eindruck vermittelt, wie man sich als Passant oder Passantin in einer Stadt fühlt, über der zivile Drohnen fliegen. Zusätzlich entwickelten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eine App, mit der die Geräuschkulisse von Drohnen nicht nur gemessen werden kann, sondern bei der die nutzende Person auch subjektive Bewertungen dazu abgeben kann.

Impressum

Herausgeber

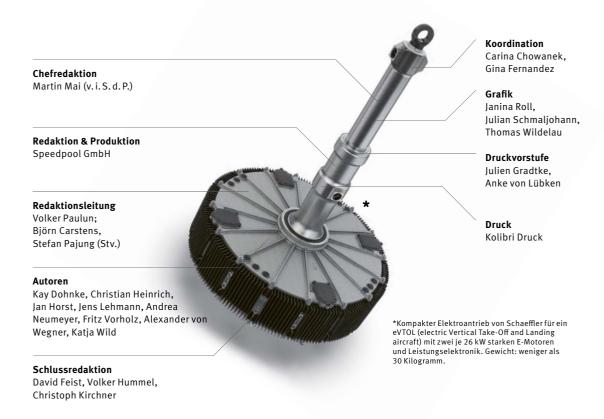
Schaeffler AG Industriestraße 1–3 D-91074 Herzogenaurach www.schaeffler.com

Projektleitung "tomorrow"

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

Kontakt mit der Redaktion

tomorrow@speedpool.com



Fotos/Illustrationen

Titel: DrAfter123/Getty; S. 3: Schaeffler; S. 4: Kuka Group, Stellantis/Opel, iStock; S. 5: iStock, Draisy/Groupe SNCF; S. 6: Lookheed Martin; S. 7: Pontificia Universidad Católica de Chile, Schaeffler, Oliver Dietze; S. 8–11: Kuka Group; S. 12: DLR; S. 13: Schaeffler; S. 14/15: Einride; S. 16: Levante; S. 17: Neptech; S. 18/19: Johannes Jank, Alveri; S. 20: Peuka; S. 21: Culdesac; S. 22: Mercedes-Benz; S. 23: Bundesarchiv; gemeinfrei; S. 24: Volvo, gemeinfrei; S. 25: Stellantis/Opel; S. 26: Nissan, Milko Vullle/Wikipedia, Ampnet; S. 27: Wikipedia, DLR/Wikipedia; S. 28: Gogoro; S. 29: Airbus, Schaeffler; S. 30–35: Janina Roll, Freepik, rawpixel.com, Schaeffler; S. 36/37: Schaeffler; S. 38/39: Schaeffler, Jungo; S. 40–43: iStock, Schaeffler, privat; S. 44: Reiwa; S. 45: Kraftblock, Henrik Eller/metal-supply.dk; S. 46/47: iStock,

Fraunhofer; S. 49: Depositphotos; S. 50/51: Thomas Soellner/iStock, Speedpool; S. 52: IStock; S. 53: Sebastian Dorbrietz/Volkswagen; privat; S. 54-57: Gorodenkoff Productions/iStock, privat; S. 58: Allvisionn/IStock; S. 59: Schaeffler, Andreas Burmann/DLR; S. 60-63: Elektrobit; S. 64-67: Gorodenkoff Productions/iStock, Schaeffler; S. 68: Lars Krone/Power Stage Images; S. 69: Sascha Dörrenbacher/Schaeffler; S. 70-73: Schaeffler; S. 74: Daniel Statham Studio; S. 75: Empa, Minimis; S. 76/77: Depositphotos; S. 78: Ahmed Abudu/Satellite Entertainment; S. 79: UNICARagil Schaeffler; S. 80: Depositphotos; S. 81: Draisy/Groupe SNCF; S. 82: Depositphotos; S. 83: Gareth Bentley; S. 84/85: Kin Wun/iStock; S. 86/87: DLR; S. 88: FlyNow; S. 89: Azman Jaka/iStock; S. 90 Schaeffler

© 2023 Alle Rechte vorbehalten Nachdruck nur mit Genehmigung

tomorrow Alle bisher erschienenen Ausgaben



01/2015 **Mobilität für morgen**



02/2015 **Produktivität**



03/2015 Unterwegs



01/2016 Innovationen



02/2016 Nachhaltigkeit



03/2016 **Digitalisierung**



01/2017 **Energie**



02/2017 **Bewegung**



03/2017 **Maschinen**



01/2018 Transformation



02/2018 **Urbanisierung**



03/2018 Beschleunigung



01/2019 Herausforderungen



02/2019 **Holismus**



03/2019 **Arbeit**



01/2020 **Chancen**



02/2020 Innovation



01/2021 **Agilität**



02/2021 Effizienz



03/2021 Pioniergeist



01/2022 Reduktion



02/2022 Sustainable Transportation



03/2022 **Systeme**



01/2023 **Resilienz**



02/2023 **Motion**

tomorrow

im Internet



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



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

tomorrow

im Abonnement



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



