



INDUSTRIE 4.0

Flexibel, effizient,
vernetzt: Die Zukunft
der Produktion
beginnt jetzt

EIN AUFZUG OHNE SEIL

Mit MULTI bringt ThyssenKrupp
die Transrapid-Technologie ins Hochhaus

MEILENSTEIN FÜR DIE CHLORPRODUKTION

Ein neues Verfahren kann den
Energieverbrauch fast halbieren

EIN TURM FÜR ALLE FÄLLE

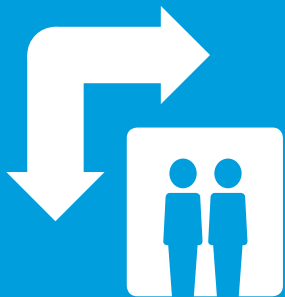
Das flexible TetraFlex-Konzept ist ideal für
das Repowering von Windparks

Bundesregierung und deutsche Industrie wollen gemeinsam bis zu **400 Millionen Euro** in die Entwicklung von **Industrie 4.0** investieren.

→ MEHR ZU DIESEM THEMA IN UNSERER TITELGESCHICHTE AB SEITE 8.

**DURCH INDUSTRIE 4.0 SOLL
DIE RESSOURCEN-EFFIZIENZ
IN DER FERTIGUNG UM
30 bis 40%
STEIGEN.**

→ SAGT ACATECH-PRÄSIDENT PROF. DR. HENNING KAGERMANN IM INTERVIEW AUF SEITE 16.



**DIE NEUE AUFZUGS-
TECHNOLOGIE
MULTI VON
THYSSENKRUPP
ELEVATORS EIGNET
SICH VOR ALLEM
FÜR HOCHHÄUSER
AB 300 METERN
HÖHE UND WIRD
VÖLLIG NEUE
GEBÄUDEKONZEPTE
ERMÖGLICHEN.**

→ WIR STELLEN DIE REVOLUTIONÄRE TECHNOLOGIE AUF SEITE 22 VOR.

→ Ein neues ziviles
Unterwasserfahrzeug
von ThyssenKrupp
Marine Systems ist fast
100 Meter lang – deutlich
länger als ein A380.

→ WIE WICHTIG ES FÜR DIE ÖLFÖRDERUNG IST, ERKLÄREN WIR AUF SEITE 36.

Dank der neuen Sauerstoffverzehrskathode von ThyssenKrupp Electrolysis verbraucht die Chlorproduktion künftig mindestens

**30 %
WENIGER
ENERGIE**

→ WIE SICH DAS ERREICHEN LÄSST, ERKLÄREN WIR AUF SEITE 32.

**ELEKTRISCHE
LENKUNGS-
SYSTEME VON
THYSSENKRUPP
PRESTA VERRINGERN
DEN KRAFTSTOFF-
VERBRAUCH
UM BIS ZU**

0,3
LITER
AUF
100
KILOMETER

→ DAS TEAM HINTER DIESER INNOVATION STELLEN WIR AUF SEITE 48 VOR.

Windkraftanlagen können durch die neuen TetraFlex-Türme von ThyssenKrupp Steel Europe bis zu **200 Meter** hoch werden.

→ MEHR DAZU AUF SEITE 38.

Liebe Leserinnen, liebe Leser,

Das Internet ist nur ein Hype.“ Der das sagte, war niemand Geringeres als Bill Gates. Man schrieb das Jahr 1993, und der sonst so erfolgreiche Microsoft-Gründer befand sich dieses Mal sehr im Irrtum: Schon 1994 surfen weltweit zehn Millionen Menschen im Internet, und inzwischen haben rund drei Milliarden einen Zugang zum weltweiten Netzwerk.

Heute, kaum 26 Jahre nachdem der Informatiker Tim Berners-Lee die Grundlagen für das World Wide Web legte, stehen wir wieder an der Schwelle eines neuen Technologiezeitalters. Das Projekt heißt „Industrie 4.0“, und die Diskussionen verlaufen ähnlich wie in der Frühzeit des Internets: Für die einen ist Industrie 4.0 nicht mehr als ein Modewort, ein neuer Hype. Für die anderen beginnt gerade die vierte industrielle Revolution.

Dabei ist Industrie 4.0 inzwischen klar definiert: Es geht um eine neue Stufe der Organisation und Steuerung der vollständigen Wertschöpfungskette über den gesamten Lebenszyklus von Produkten hinweg, einschließlich der mit ihnen verbundenen Dienstleistungen. Basis ist die Verfügbarkeit aller relevanten Informationen in Echtzeit durch die Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Instanzen. Dadurch entstehen dynamische und selbstorganisierende Wertschöpfungsnetzwerke, die sich nach unterschiedlichen Kriterien optimieren lassen.

Wir bei ThyssenKrupp sind überzeugt, dass Industrie 4.0 einen ähnlichen Siegeszug antreten wird wie das Internet. Die digitale Vernetzung von Fabriken und Maschinen, von Kunden, Lieferanten und Produzenten ist eine fundamentale Transformation. Deshalb engagieren wir uns nicht nur im eigenen Unternehmen, wir helfen auch mit, das Thema in Deutschland zu definieren. Unser Land gilt derzeit als Vorreiter bei der Fertigung der Zukunft und hat gute Chancen, hier eine dauerhaft führende Position zu erobern. Voraussetzung ist aber, dass sich die Industrie so schnell wie möglich auf die neuen Herausforderungen einstellt.

Ihr

DR. REINHOLD ACHATZ

Technologiechef der ThyssenKrupp AG





8

Zukunftsweisend:
ThyssenKrupp setzt auf Industrie 4.0 und optimiert seine Fertigung.

- 06 **Short Cuts**
Digitale Plattform zur Urbanisierung | Metallteile aus dem Drucker | Deutscher Verpackungspreis | Nockenwellen-Technologiezentrum unterstützt Weltklasse-Rodler | ThyssenKrupp konsolidiert seine IT

Titelthema

- 08 **Auf dem Weg zu Industrie 4.0**
Entwickler von ThyssenKrupp arbeiten an der Fertigung der Zukunft – für ihre eigenen Produkte und als Partner der Industrie.
- 16 **Kopernikanische Wende**
Hochgradig individuell, selbst organisiert und ressourcenschonend: Das ist die Fertigung der Zukunft, wie acatech-Präsident Prof. Henning Kagermann erklärt.
- 18 **World Wide Wettlauf**
Auch andere Nationen arbeiten an der Fertigung der Zukunft. Wir geben einen Überblick über die Aktivitäten in Europa, Asien und den USA.
- 20 **Industriearbeit wird attraktiver**
Für den Industriesoziologen Prof. Hartmut Hirsch-Kreinsen bieten sich durch Industrie 4.0 auch neue Chancen für die Mitarbeiter.



Vordenker: Für achatech-Präsident Prof. Dr. Henning Kagermann hängen von Industrie 4.0 unser Wohlstand und die künftige Vollbeschäftigung ab.



Revolutionär: Das neue Aufzugskonzept MULTI kommt erstmals ohne Seil aus.

Projekte

- 22 **Der Heilige Gral**
Mit seinem innovativen Aufzugskonzept MULTI läutet ThyssenKrupp eine Revolution ein: Transrapid-Technologie ersetzt das Seil.
- 28 **Batterien made in Germany**
Dank der Elektromobilität könnte in Deutschland wieder eine Batterieproduktion entstehen. ThyssenKrupp optimiert die Fertigung und verzeichnet Interesse der Autobauer.

HINTERGRUND

- 32 **Energiewende in der Chlorproduktion**
Ein neues Elektrolyseverfahren verringert den Energieverbrauch drastisch. Die erste Anlage beginnt noch 2015 mit der Produktion.
- 36 **Exploration unter Eis**
Ein neues Unterwasserfahrzeug von ThyssenKrupp kann bei jedem Wetter nach Öl- und Gasvorkommen suchen oder bei Unfällen eingreifen.
- 38 **Näher am Wind**
ThyssenKrupp hat ein innovatives Konzept für Windkrafttürme entwickelt: „TetraFlex“ senkt die Kosten und ist ideal für das Repowering bestehender Anlagen.

Panorama

- 42 **Legierungen aus dem Computer**
An der Universität Bochum wollen Forscher mit Simulationsmodellen neue Werkstoffe entwickeln. ThyssenKrupp fördert das Vorhaben und kooperiert mit den Wissenschaftlern.
- 46 **Raum für Innovationen**
Schneller und kostengünstiger von der Idee zum Produkt: Das ist das Ziel des neuen „Invention Centers“ auf dem Campus der RWTH Aachen.
- 48 **Software fürs Steuer**
Im Kompetenzzentrum für Elektrik und Elektronik entwickeln Ingenieure von ThyssenKrupp Presta eines der fortschrittlichsten Lenkungssysteme der Welt.
- 50 **Kolumne: Mein einmaliges Auto**
Chamäleon-Lackierung und Füßler-Antrieb: Peter Glaser träumt vom maßgeschneiderten Auto aus der Just-in-Time-Manufaktur.



Hoch hinaus: TetraFlex-Türme verbessern die Effizienz von Windkraftanlagen.



Megacities: Wohnstätte für Milliarden Menschen und zentrale Herausforderung unserer Zeit.

DIGITALE PLATTFORM ZUM MEGATREND URBANISIERUNG

Schätzungen zufolge werden bis Ende des Jahrhunderts zehn bis elf Milliarden Menschen auf der Erde leben – rund 70 Prozent von ihnen in urbanen Räumen. Die nachhaltige Gestaltung der künftigen Megacities ist darum eine zentrale Herausforderung unserer Zeit. Aus diesem Grund hat ThyssenKrupp auf der Smart City Expo in Barcelona die digitale Plattform Urban-Hub.com vorgestellt, auf der Ideen für alle Bereiche der Urbanisierung präsentiert werden – von innovativen Lösungen für den Personennahverkehr über intelligente Gebäude bis hin zu nachhaltiger Infrastruktur. Reportagen über Pioniere der intelligenten Urbanisierung runden das Themenangebot ab. Urban-hub.com steht zunächst auf Englisch, Deutsch, Französisch, Spanisch sowie Portugiesisch zur Verfügung und soll in der zweiten Phase auch auf Chinesisch angeboten werden.

Metallteile aus dem Drucker

ThyssenKrupp und das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik (ITL) in Aachen arbeiten gemeinsam in einem Projekt, um den breiten industriellen Einsatz des Laser Additive Manufacturing (LAM) zu untersuchen. Im Gegensatz zu den weitverbreiteten 3D-Druckern, die mit Kunststoffpulver arbeiten, wollen die Projektpartner aus Stahlpulver in Funktion und Form neuartige Metallteile herstellen. Für das Verschmelzen der einzelnen Pulverteilchen soll dabei ein Laser zum Einsatz kommen. „Wir wollen wissen: Ist LAM interessant für ThyssenKrupp? Bedroht es etablierte Verfahren, und welche Kundenwünsche kann die Technologie erfüllen?“, erklärt Markus Oles, Leiter Innovation Strategy and Projects bei ThyssenKrupp. Im ersten Schritt planen die Projektpartner ein LAM-Servicecenter – als Angebot für Unternehmen, für die sich die Anschaffung eines professionellen 3D-Druckers zum Preis von 600.000 bis einer Million Euro nicht rechnet. Eine Markt- und Kundenbedürfnisanalyse soll zeigen, ob eine ausreichende Nachfrage nach einem solchen Serviceangebot besteht. Gemeinsam mit Kunden sollen die Vorteile und Kosten LAM-gefertigter Teile auf den Prüfstand gestellt werden. Danach entscheidet sich, wie man weiter vorgeht.

DEUTSCHER VERPACKUNGSPREIS 2014 FÜR STEELCARE

Das Technologienetzwerk aus den Unternehmen Lanico, Schuler Pressen und ThyssenKrupp Rasselstein wurde mit dem Deutschen Verpackungspreis in der Kategorie Kosmetik- und Hygieneartikel ausgezeichnet. Die Experten-Jury aus den Bereichen Industrie, Forschung, Lehre und Fachpresse zeichnete damit die innovative Weißblechaerosoldose „SteelCare“ aus, die ihren Inhalt dank exzellenter Eigenschaften besonders gut schützt. Das Konzept vereint spezielles Maschinen-Know-how im Bereich der Pressen, eine gehobene Verschlusstechnologie und fundiertes Wissen im Bereich Verpackungsstahl. Die Auszeichnung gilt als angesehenster Verpackungspreis in Europa, für den es 2014 insgesamt 230 Bewerbungen von Herstellern und Lieferanten gab.

Renommiert: Die innovative Weißblechdose SteelCare erhielt den begehrten Deutschen Verpackungspreis.



Strahlende Sieger: Toni Eggert und Sascha Benecken feiern ihren Sieg in Calgary (Kanada).



Die entscheidenden Millisekunden

MEHR ALS
140
STUNDENKILOMETER
ERREICHTE DAS
RODEL-DUO BEI
SEINEM SIEG BEIM
WELTCUP-RENNEN
IN LAKE PLACID
(USA).

ThyssenKrupp hat das erfolgreiche Doppelsitzer-Rodelteam Toni Eggert und Sascha Benecken aus Thüringen noch schneller gemacht: Experten vom Nockenwellen-Technologiezentrum in Liechtenstein rund um den Maschinenbau-Ingenieur Alex Meier steuerten nicht nur ihr Know-how bei, um das Material für die Gleitschienen zu verbessern – sie bringen auch ihre Erfahrungen aus der Entwicklung und Fertigung von Nockenwellen in den Rodelsport ein und optimieren weitere metallische Komponenten des Schlittens. Der Einsatz des geballten Ingenieurwissens zahlt sich aus: Toni Eggert und Sascha Benecken fahren in dieser Saison von Erfolg zu Erfolg.

ThyssenKrupp konsolidiert seine IT

Datenverarbeitungssysteme und Dienstleistungen, die bisher in rund 700 Datenräumen und elf Rechenzentren von ThyssenKrupp beheimatet waren, werden seit Ende 2014 in fünf globale Rechenzentren überführt. Zudem verlagert der Konzern mehr als 80.000 Computerarbeitsplätze und 10.000 Serversysteme weltweit in die Cloud – von dort aus können die Mitarbeiter in Zukunft auf Dienste und Applikationen zugreifen, was den Austausch von Daten und Dokumenten sowie die internationale Zusammenarbeit erleichtert. Das Projekt wird von der Telekom-Tochter T-Systems durchgeführt und ist Teil der IT-Harmonisierung bei ThyssenKrupp.

Auf dem Weg zu

Industrie

4.0

Entwickler von ThyssenKrupp arbeiten an der Fertigung der Zukunft – für ihre eigenen Produkte und als Partner der Industrie.

TEXT: BURKHARD STRASSMANN

FOTOS: GÖTZ SCHLESER

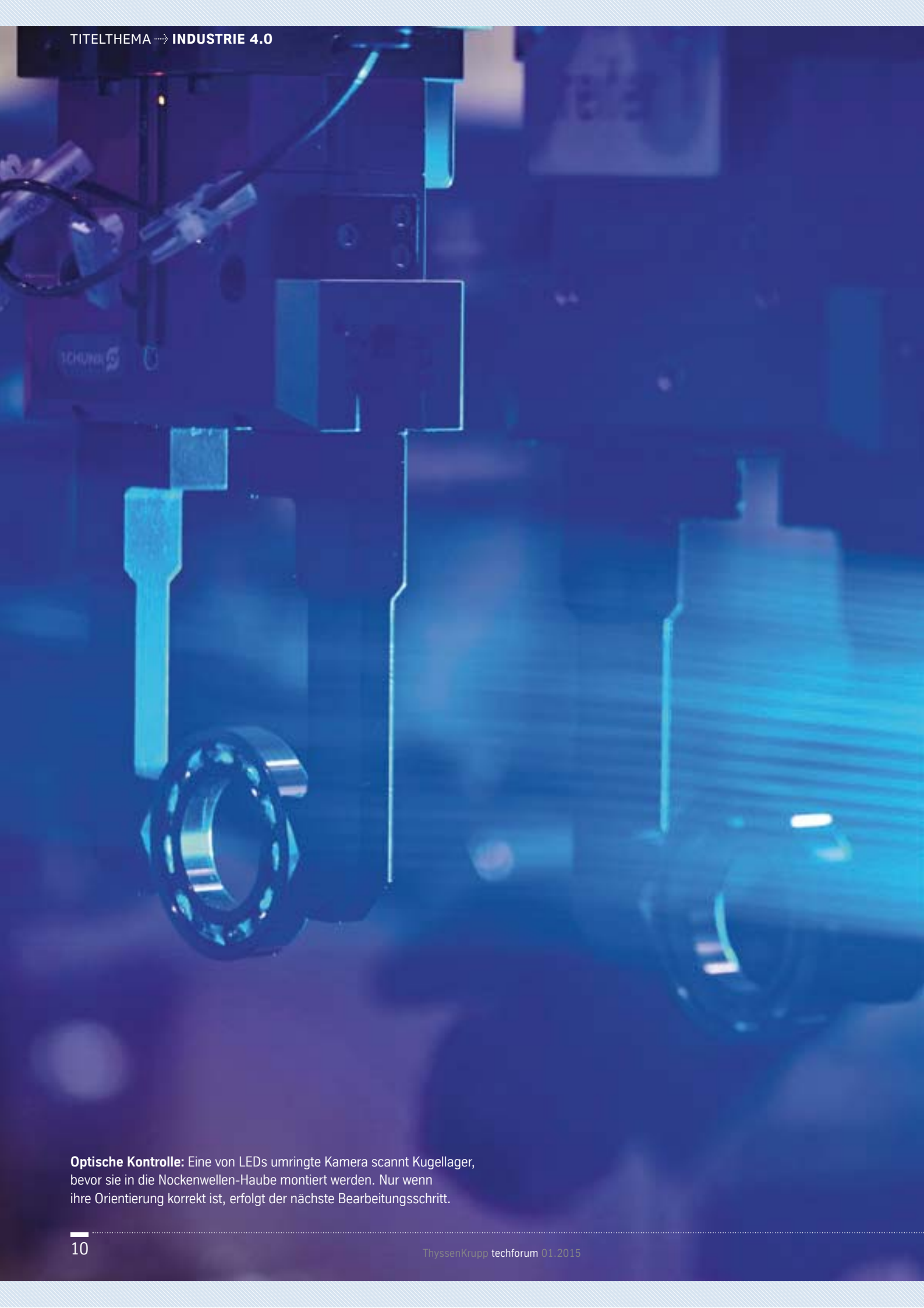
Ilsenburg am Rand des Ostharzes. Eine große Halle in einem Industriegebiet. Roboter bewegen sich schwungvoll in Montagezellen, rot und grün blinken Kontrollleuchten, und zwischen gelben Linien sind Gabelstapler unterwegs. Mittendrin brennt ein Laserpunkt codierte Informationen auf eine Nockenwelle. Ein scheinbar beiläufiger Prozess – für das Produkt ist es aber ein entscheidender Schritt in seinem jungen Leben. Und für ThyssenKrupp Presta in Ilsenburg symbolisiert diese Kennzeichnung, wie man sich die Fertigung der Zukunft vorstellt. Hier hat diese Zukunft schon begonnen.

Kurz zuvor lagen die Einzelteile der Nockenwelle – Stangen und Nocken – noch in großen Boxen, die ebenfalls mit einem Strichcode versehen waren: Die codierten Nummern der Charge hatte der Vorlieferant darauf geklebt. Bevor die Einzelteile in die erste Zelle durften, wurde ihre Chargennummer in einem RFID-Chip auf dem kleinen Montagewagen gespeichert. Stahlstange sowie Einlass- und Auslassnocken verschwanden danach in einer hermetisch verschlossenen Montagezelle, wo sie von einem Industrieroboter „verheiratet“ wurden, wie man hier sagt. Danach saßen die Nocken im richtigen Winkel und Abstand zueinander unverrückbar auf der Welle. Dann folgte die Rissprüfung.

„Bis hierher wissen wir von der Nockenwelle nur, aus welcher Charge ihre Einzelteile stammen“, sagt Manfred Muster, Bereichsleiter Projektabwicklung. Noch ist sie ein Nobody – aber wenn →



Eingespieltes Team: An dieser Arbeitsstation werden die Nockenwellen-Module befüllt und mit Öl besprüht. Zwei große Roboter transportieren die Module, während zwei kleinere Kollegen Fett und Öl aufbringen.



Optische Kontrolle: Eine von LEDs umringte Kamera scannt Kugellager, bevor sie in die Nockenwellen-Haube montiert werden. Nur wenn ihre Orientierung korrekt ist, erfolgt der nächste Bearbeitungsschritt.

→ keine Risse gefunden werden, erhält die Nockenwelle jetzt ihre Identität: Sie bekommt einen „Namen“ in ihre Flanke gelasert. In einem DataMatrix-Code (ähnlich wie ein QR-Code) trägt die Nockenwelle ab sofort und lebenslang Informationen mit sich wie Seriennummer, Zeichnungsnummer, Sachnummer und Kundenkennung. Sie hat jetzt einen Ausweis, denn namenlos geht es von hier aus nicht mehr weiter: Jede Nockenwelle muss sich bei der nächsten Maschine individuell anmelden. „So weiß die Anlage, ob das Produkt den richtigen Status hat und überhaupt auf dieser Anlage verbaut werden darf oder ob ein vorrangiger Prozessschritt fehlt“, sagt Muster.

Cyber-physische Systeme verschmelzen Dinge und Datennetze

In Ilsenburg verschmilzt auf diese Weise die physische Welt der Dinge mit den Datennetzen zu einem einzigen System, einem „cyber-physischen System“ – und genau so soll die Zukunft der industriellen Produktion aussehen. Voraussetzung ist, dass möglichst alle Elemente der Produktion einen Namen, eine Geschichte und eine Schnittstelle zum Web haben. Ziel ist die „intelligente Fabrik“ oder „Smart Factory“, die selbststeuernd, lernfähig und flexibel operiert. Dabei heißt Flexibilität unter anderem, dass auch kleine Losgrößen beherrscht werden. Das bedeutet: weg von der Massenproduktion, hin zu individualisierten Produkten.

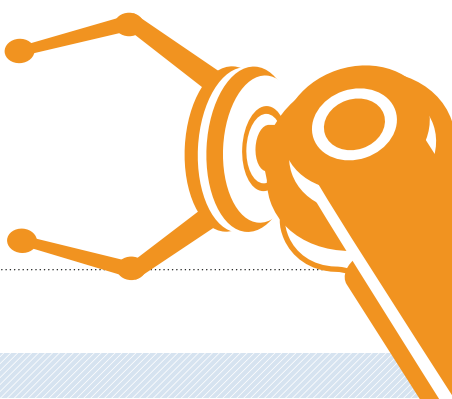
Ein schon sehr individuell hergestelltes Produkt ist das Auto, und entsprechend groß ist der Innovationsdruck in der Branche: Während nur 31 Prozent der Unternehmen im Maschinen- und Anlagenbau „intelligente“ Produktionsanlagen einsetzen, sind es bei Automobilzulieferern schon 80 Prozent – das geht aus einer Studie der Marktforschungsfirma Pierre Audoin Consultants hervor, die 2013 im Auftrag des IT-Dienstleisters Freudenberg IT erstellt wurde. „Automobilzulieferer müssen schon heute in der Lage sein, bei ihren Abnehmern eine bedarfssynchrone Produktion sicherzustellen“, heißt es dort. Bald wird das auch für viele andere Branchen gelten.

In Ilsenburg bekommt man schon einen Vorgeschmack davon. Dort reichen sich mancherorts in einer Zelle fünf große Industrieroboter in hohem Tempo Werkstücke an, die gekühlt, erhitzt, ausgerichtet und verpresst werden. Die Mitarbeiter haben hauptsächlich eine Aufgabe: Sie horchen in die automatisch ablaufenden Prozesse hinein. Mit Barcode- oder DataMatrixCode-Scannern, mit RFID-Lesegeräten und Tablets mit Datenerfassungsmodulen. Was sie da kontrollieren, sind nicht einzelne Maschinen oder Prozesse, sondern das System. Und zwar ein ziemlich modernes.

Etwa 650 Mitarbeiter sind in diesem Werk damit beschäftigt, Nockenwellen zu „bauen“. Im Gegensatz zum Gießen oder Schmieden erlaubt das Bauen, verschiedene Materialien zu kombinieren und beispielsweise hochfeste Werkstoffe für die Nocken zu verwenden. Das Verfahren ist billiger, und man kann das Gewicht reduzieren – aber dafür ist die Fertigung komplexer. Einen Kilometer entfernt, in der neuen Fertigungsanlage von ThyssenKrupp Valvetrain, werden komplette Module produziert, bei denen die Nockenwellen schon in die Zylinderkopfhäube integriert sind. Hier sind etwa 150 Mitarbeiter beschäftigt. In beiden Ilsenburger Werken zusammen entstehen jährlich rund 11,5 Millionen Nockenwellen. Man ist Weltmarktführer.

In beiden Werken wird immer wieder der Code auf den Modulen überprüft, bevor sich der nächste Produktionsschritt anschließt. Und sofort fällt dabei die Entscheidung: Stop or Go. „Es gibt verschiedene Ausschlusskriterien: NA, NIO oder „keine Nummer“, sagt Muster. NA bedeutet „not applicable“, NIO „not in order“. Zur Demonstration vertauscht er eine Einlass- mit einer Auslassnocke. Postwendend weist die nächste Montagezelle das falsch vorsortierte Modul zurück: „NA!“

Jede Nockenwelle hat eine Identität und ist über eine Schnittstelle →





Identitätscheck: Ein Mitarbeiter scannt den DataMatrix-Code auf der Haube eines Moduls. Er verleiht dem Produkt seine Individualität – so lässt sich später beispielsweise noch genau feststellen, mit welcher Kraft das Kugellager in das Modul gepresst wurde.



Eindeutige Kennzeichnung:
Der DataMatrix-Code erinnert an die weitverbreiteten 2D-Barcodes. Die mit ihm verknüpften Informationen lagern auf Servern von ThyssenKrupp und bilden eine Art „Biografie“ des Produktes.



→ mit dem Netz verbunden, zudem besitzt sie auch ein Gedächtnis. Muster nennt die dahinter liegende Datenbank „Rezeptur“, und weil sie jederzeit aktuell zugänglich ist, lassen sich nachfolgende Prozessschritte einfacher modifizieren, um zum Beispiel bessere Fertigungstoleranzen zu erreichen. Montagelinien und Maschinen können jederzeit mit einer neuen „Rezeptur“ beeinflusst werden. Das ist Flexibilität im Sinne von Industrie 4.0.

Virtuell: Roboter, Maschinen und Steuerungselemente

Zugegeben: Gebaute Nockenwellen werden aus einer eher überschaubaren Anzahl von Einzelteilen zusammengebaut. Ein großer Vorteil von Industrie 4.0 ist aber, dass sich die Grundprinzipien auf die Produktion von Maschinenelementen ebenso anwenden lassen wie auf komplette Produktionsprozesse mit hoher Komplexität. Dank steigender Rechnerleistungen und weiterentwickelter Software-Werkzeuge werden darum heute auch ganze Fabriken mitsamt Maschinen, Anlagen und Fertigungsstraßen am Rechner geplant.

Die Entwicklung solcher Systeme, zum Beispiel für die Serienproduktion von Automobilkarosserien, -motoren oder -getrieben, ist aufwendig und fordert die interdisziplinäre Zusammenarbeit unterschiedlicher Ingenieurdisziplinen. Erschwerend kommt hinzu, dass es während des Planungsprozesses und auch bei der Realisierung immer wieder Verbesserungen und Veränderungswünsche der Kunden gibt. Hier entscheidet Flexibilität, und ebendarum ist auch dieser Bereich ein Vorzeigethema von Industrie 4.0.

Zusammengefasst werden die Methoden und Werkzeuge, die bei der digitalen Anlagenentwicklung zum Einsatz kommen, unter dem Oberbegriff „Digitale Fabrik“. Eines der Werkzeuge dafür ist die Virtuelle Inbetriebnahme (VIBN): Die Planung einer Anlage erfolgt ausschließlich am Computer, und anschließend wird sie virtuell in Betrieb genommen – allerdings mit realen Bedieneinrichtungen und Steuerungsprogrammen für die Maschinen und Roboter. VIBN-Systeme kommen in letzter Zeit verstärkt zum Einsatz. „Thyssen-

»Uns geht es um die gesamte Wertschöpfungskette – von der Produktentwicklung bis zum Ende des Produktlebenszyklus. Industrie-4.0-Anwendungen sind für uns von großer Bedeutung, auch wenn es darum geht, beispielsweise unser Energiemanagement, die Wartung und Instandhaltung von Anlagen oder Logistik- und Serviceprozesse nachhaltig zu verbessern.«

DR. KARSTEN KROOS,
VORSITZENDER DES BEREICHSVORSTANDS
DER BUSINESS AREA COMPONENTS TECHNOLOGY
DER THYSSENKRUPP AG



Krupp nutzt diese Systeme nicht nur, sondern entwickelt auch die Methoden weiter“, sagt Matthias Hartmann, Vice President Produktmanagement von ThyssenKrupp System Engineering (TK SY). Kein Wunder, denn TK SY gehört weltweit zu den führenden Unternehmen, wenn es um Fertigungsanlagen für die Automobilindustrie geht. Das Unternehmen plant und realisiert weltweit Anlagen für die Aggregatmontage – den Zusammenbau von Motoren und Getrieben – sowie für den Karosserierohbau. Weltweit beschäftigt die ThyssenKrupp-Tochter 3.800 Mitarbeiter. Neben der Automobil- gehört auch die Luftfahrtindustrie zu ihren Kunden.

Virtuelle Absicherung senkt Inbetriebnahmezeit

Karosserie-Rohbauanlagen können eine Fläche von mehreren Fußballfeldern haben. Einige Hundert Roboter sind im Einsatz, um aus einzelnen Blechteilen eine komplette Rohkarosserie zusammenzufügen. Hinzu kommen unter anderem die Fördertechnik zwischen den einzelnen Stationen, Spannvorrichtungen zum Festhalten der Komponenten und Füge-technik – etwa Schweißzangen zum Verbinden der Blechteile. Hinter den komplexen Anlagen steht eine umfangreiche Steuer- und Regelungstechnik.

„Alle Roboter, Maschineninseln und Steuerungselemente werden in einer 3D-Simulation virtuell aufgebaut und getestet“, erklärt Hartmann. Das bedeutet: geringerer Entwicklungsaufwand, Verkürzung der Inbetriebnahmezeiten sowie Sicherung der Prozess- und Produktqualität – und natürlich die Reduzierung der Produktionskosten. Hauptmotivation für die virtuelle Entwicklung am Rechner sei es aber, „mit einer virtuell abgesicherten Anlage beim Kunden zu erscheinen und dort die Inbetriebnahmezeit zu verringern“.

Bei der Aggregatmontage zeigt Hartmann eine Turbolader-Teststation. Vor zwei Jahren hatte man die Idee, so eine Station nicht nur komplett digital zu entwickeln, sondern auch in einem Virtual-Reality-Werkzeug abzubilden. Dadurch ist die Anlage virtuell begehbar. „So lässt sich zum Beispiel der beste Ort für Wartungszugänge, Ventilanschlüsse oder die Idealposition für →

Geschäftsprozesse ohne Grenzen

Bei ThyssenKrupp gilt das
Warmwalzwerk Hoesch

Hohenlimburg in Hagen als ein gutes

Beispiel für das Zukunftsthema Industrie 4.0, denn es geht mit seiner prozessualen und digitalen Vernetzung weit über die eigenen Unternehmensgrenzen hinaus. Damit ist ein Aspekt von Industrie 4.0 umgesetzt: die geschäftsprozessübergreifende Integration über ganze Wertschöpfungsketten hinweg – zum Beispiel bei der engen Kooperation mit dem Vormalterallieferanten HKM (Hüttenwerke Krupp Mannesmann) aus Duisburg, einer 50-prozentigen Beteiligung von ThyssenKrupp.

Dort werden auf einer Stranggussanlage nahezu ausschließlich Brammen für Hoesch Hohenlimburg (HHO) produziert. Die Belegung erfolgt direkt durch HHO. Das ermöglicht, die Stahlblöcke nach den terminlichen Wünschen der HHO-Kunden (beispielsweise Kaltwalzer) kurzfristig gießen zu lassen.

Umgekehrt können die Kunden von Hoesch Hohenlimburg „just in time“ Einfluss auf die Produktion in Hagen nehmen. Neben dem direkten Einbuchen von Aufträgen in das HHO-System in Gestalt abgestimmter, fixer oder variabler Materialspezifikationen und der offenen Information über den internen Produktionsprozess legt in 65 Prozent der Aufträge der Kunde selbst fest, wann sein Warmband gewalzt wird.

Die Vorteile für die Kunden leuchten ein: einerseits die Flexibilität bei der Terminierung der eigenen Aufträge, andererseits die Möglichkeit, noch kurz vor Walzbeginn Materialeigenschaften wie zum Beispiel Dicke oder Breite seinen eigenen Bedürfnissen nochmals anzupassen.

Für die Produktion und Logistik von HHO ist das eine Herausforderung, die eine Integration von kaufmännischen, administrativen und technischen Daten erfordert („von Shop Floor bis Top Floor“).

→ das Bedienpult festlegen“, erklärt Hartmann. „Und wir können unseren Kunden weltweit unsere Produkte anschaulich und detailliert vorführen: Ein kompakter 3D-Beamer reicht.“

Trotz mancher Fortschritte hat Virtuelles Engineering aber noch viel Potenzial: Das Ziel heißt „Seamless Engineering“. „Seamless“ ist das englische Wort für „nahtlos“ und bedeutet, dass die virtuelle Entwicklung ganz ohne Daten- und Medienbrüche auskommt. „Heute gibt es für die Anlagenplanung am Rechner noch eine Vielzahl von Software-Werkzeugen, die nicht ausreichend vernetzt und aufeinander abgestimmt sind“, erklärt Hartmann. Sie arbeiten mit unterschiedlichen Datenformaten, und die Übertragung der Daten zwischen den Systemen verursacht zusätzlichen Aufwand – das ist nicht nur ein Zeitfaktor, sondern auch eine potenzielle Fehlerquelle.

Einheitlicher Datenbestand ohne Medienbrüche

Auch außerhalb der digitalen Welt der Anlagenentwickler, in der Wirklichkeit der Fertigungsanlagen, sind Daten und Medienbrüche ein Risiko, das auf Dauer vermindert werden soll. Beispiel: Eine Anlage wurde virtuell in einem 3D-CAD-System konstruiert, und danach liegt ein umfassender Datenbestand vor, der das gesamte System anhand ihrer technischen Daten, Zeichnungen, Fertigungsprozesse und Zulieferteile beschreibt. Dazu gehören auch Stücklisten, die jede einzelne Komponente auflisten.

Doch woran orientiert sich der Monteur in der Montagehalle? An Plänen, die auf Papier ausgedruckt sind. Ein solcher Medienbruch bewirkt, dass jede Konstruktionsänderung erst zeitaufwendig und mit vielen Prozessschritten kommuniziert werden muss. Und jeder Papierausdruck birgt das Risiko, dass er nicht mehr auf dem neuesten Stand ist. „Es entstehen redundante Daten, die sich widersprechen können“, beschreibt Hartmann das Problem. Die Lösung wird von Industrie-4.0-Experten „Single Point of Truth“ genannt, wohin-ter sich ein einziger Datenstand zu jedem Zeitpunkt verbirgt. Hartmann: „Wir suchen hier nach Möglichkeiten, auch die Mitarbeiter in der Montagehalle in

die Welt der digitalen Planung stärker mit einzubeziehen.“ Ansätze gibt es bereits: So arbeiten die Mitarbeiter in der Halle heute schon mit einem Tablet-PC, auf dem sie die aktuellen Planungsdaten ihrer Anlage direkt aufrufen können.

Zusammenführung mit kaufmännischen Daten

In Zukunft sollen auch die Konstruktions- und Prozessdaten mit den kaufmännischen Informationen zusammengeführt werden – dann könnten die Kaufleute mit ihren Rechnern auf Produktionsdaten zugreifen und die Montageplanung sich umgekehrt rasch einen Überblick über die Auftragslage verschaffen. Wie das konkret ablaufen kann, zeigt Hoesch Hohenlimburg, ein Konzernunternehmen der Business Area Steel Europe. Das Walzwerk ist ein Spezialanbieter für warmgewalzten Bandstahl im Lennetal. Gemeinsam mit IBM und in Kooperation mit Siemens hat das Werk eine Industrie-4.0-Lösung realisiert, die kaufmännische, administrative und technische Daten integriert und damit Geschäftsprozesse ermöglicht, die Wertschöpfungsketten miteinander verknüpfen (siehe auch den Kasten zu diesem Projekt): In der Mittelbandstraße von Hoesch Hohenlimburg werden aus Brammen Stahlringe (Coils) gewalzt. IBM verbindet mit dem „Integration Bus“ die Daten aus der Produktion (zum Beispiel von Beizen, Waagen, Messstationen und Laboren) mit dem übergeordneten Manufacturing-Execution- und Enterprise-Resource-Planning-System, ohne dass Zwischendatenbestände erforderlich sind. „Der Integration Bus ‚spricht‘ viele Sprachen und verknüpft semantisch Daten aus unterschiedlichen Quellen und Prozessebenen“, sagt Ulrich Schneppe, verantwortlich für die Informatik bei Hoesch Hohenlimburg.

Durch die Kooperation von IBM und Siemens im Rahmen des Hohenlimburger Projektes ist es nun möglich, die speicherprogrammierbaren Steuerungen Simatic S7 direkt auszulesen und die Informationen ohne Zwischenspeicherung unmittelbar in übergreifende Geschäftsprozesse einzubinden. „So kommt man dem ‚Highlander-Prinzip der Daten‘ immer näher: Es kann nur eine Wahrheit geben“, freut sich Schneppe. ←





Checkpoint: In Ilsenburg werden 25 verschiedene Arten von Nocken produziert. Hier überprüft ein Laserscanner anhand einer Vertiefung auf dem Produkt, ob der richtige Typ für den nächsten Bearbeitungsschritt auf der Transportplatte liegt.



Vernetzt: Ohne IT läuft nichts im Werk in Ilsenburg. Alle Produktionsanlagen sind Teil des Netzwerkes, was eine reibungslose und effiziente Fertigung garantiert.

AUFGEZEICHNET: CHRISTIAN BUCK
FOTOS: GÖTZ SCHLESER



Hopernikanische Wende in der Industrie

Die Fertigung der Zukunft ist hochgradig individuell, selbst organisiert und ressourcenschonend. Im Interview erklärt acatech-Präsident Prof. Dr. Henning Kagermann, wo Deutschland steht und warum Industrie 4.0 wichtig für unseren Wohlstand ist.

techforum: Warum ist Industrie 4.0 ein so wichtiges Thema?

Henning Kagermann: Weil Unternehmen dadurch individualisierte Produkte zum Preis eines Massenproduktes herstellen können, was ihnen eine neue Dimension der industriellen Fertigung eröffnet. Hinzu kommt ein hohes Maß an Flexibilität, sodass ihre Widerstandsfähigkeit gegenüber Schocks in den volatilen Weltmärkten steigt. Und schließlich können wir wieder mehr Produktion zurück in unser Hochlohnland holen, weil in der Industrie 4.0 das Wissen und Können zählen. Auch die Umwelt profitiert von Industrie 4.0: Nach Schätzungen könnte die Ressourceneffizienz in der Fertigung um 30 bis 40 Prozent steigen.

techforum: Wodurch lässt sich das erreichen?

Kagermann: Zum einen durch die weitere Verschmelzung der realen und der virtuellen Welt über die cyber-physischen Systeme. Dadurch wird es künftig für jedes Objekt ein digitales Modell geben, mit dem wir im virtuellen Raum viele Dinge tun können. Beispielsweise werden viel bessere Simulationen der Produkte und der Produktionsprozesse möglich, sodass weniger Energie und Ressourcen für Testläufe eingesetzt werden müssen. Ebenfalls neu ist die zunehmende Vernetzung innerhalb der Fertigung und entlang der Wertschöpfungsketten. Das führt zu einem noch höheren Grad an Automatisierung, einer besseren Fertigungsqualität, schnelleren Innovationszyklen und einem geringeren Ressourcenverbrauch. Da sich alle physischen Objekte über das Internet miteinander verbinden lassen, können wir zum Beispiel die Just-in-Time-Logistik noch besser machen und Maschinenausfälle durch vorausschauende Wartung verhindern. Beides verhindert Leerläufe in der Produktion und spart damit Ressourcen.

techforum: Die Fertigungssteuerung der Zukunft soll dezentral und autonom ablaufen. Wie realistisch ist dieses Szenario?

Kagermann: Das ist die logische Konsequenz aus dem Industrie-4.0-Ansatz, denn die zunehmende Vernetzung und eine zentrale Fertigungssteuerung vertragen sich nicht miteinander – ein solches System wäre zu starr und un-



»Wir sollten ein Leitmarkt der Industrie 4.0 sein.«

flexibel. Darum werden sich in Zukunft die klassischen Steuerungspyramiden auflösen: Die Intelligenz wird in kleine Einheiten wie Werkzeugträger oder Transportmittel wandern, die autonom interagieren. In diesem Sinne gleicht Industrie 4.0 einer kopernikanischen Wende. Die Selbstorganisation der Fertigung ist der einzige Weg, um Industrie 4.0 umzusetzen.

techforum: Droht den etablierten Anbietern von zentralen Steuerungssystemen der Fall in die Bedeutungslosigkeit?

Kagermann: Das glaube ich nicht, denn diese Unternehmen haben in den letzten Jahrzehnten sehr viel Know-how und praktische Erfahrung gesammelt, und sie verstehen die Prozesse in der Fertigung genau. Denkbar ist aber, dass sich neue Anbieter lukrative Teile aus der Wertschöpfungskette herausgreifen und besetzen. Das habe ich bei SAP bei den ERP-Systemen erlebt: Salesforce hat im Customer Relationship Management ein kleines und sehr attraktives Segment besetzt und die weniger attraktiven Teile anderen überlassen. Das kann auch bei Industrie 4.0 geschehen. Dazu trägt bei, dass wir heute verschiedene Basisdienste über softwaredefinierte Architekturen miteinander kombinieren

können. Das macht es neuen Anbietern leichter, sich einzelne Filetstücke herauszugreifen.

techforum: Wie stark ist Deutschland bei zentralen Technologien für Industrie 4.0?

Kagermann: Bei einigen sind wir weltweit führend. Unsere Unternehmen sind sehr stark bei eingebetteter Software, die Maschinen oder Autos steuert. Außerdem verstehen wir viel von Unternehmens-Software, die für die vertikale Integration der Daten von großer Bedeutung ist. Hinzu kommt unser großes Know-how bei semantischen Technologien für die Maschine-zu-Maschine-Kommunikation und bei der Echtzeitanalyse großer Datenmengen. Was uns etwas fehlt, sind große Anbieter von Internet-Technologien und Cloud-Computing sowie das Gespür für den B2C-Markt – das ist aber besonders wichtig, weil mit Industrie 4.0 auch individuelle Produkte möglich werden. Mehr noch, die Kunden werden weniger isolierte Produkte oder Dienstleistungen nachfragen, sondern sich individuelle Pakete aus Produkten, Diensten und Dienstleistungen zusammenstellen: Smart Services. Beispielsweise verliert das eigene Auto für junge Menschen an Bedeutung – sie kombinieren Carsharing und die anderen Verkehrsformen bedarfsweise, um bequem von A nach B zu kommen. Auf diese intelligenten Dienste und Geschäftsmodelle wird es ankommen. Erfolgreich kann nur sein, wer Smart Services und Industrie 4.0 intelligent miteinander kombiniert.

techforum: Auch andere Länder beschäftigen sich mit der Fertigung der Zukunft. Kann dieses Rennen nur einer gewinnen?

Kagermann: Nein, es werden sich mehrere Standorte etablieren. Unsere Aufgabe in Deutschland ist es, an der Spitze der Entwicklung zu bleiben und die Technologie erfolgreich umzusetzen. Wir sollten ein Leitmarkt der Industrie 4.0 sein – sonst werden wir im Ranking der wettbewerbsfähigsten Nationen schnell nach hinten durchgereicht. Und wir sollten ein Leitanbieter modernster Produktionstechnologien bleiben. Von Industrie 4.0 hängen darum auch unser Wohlstand und die künftige Vollbeschäftigung ab. Es ist also keine Option, nicht erfolgreich zu sein. <

World Wide Wettlauf

Auch andere Nationen arbeiten an der Fertigung der Zukunft. Ein Überblick über die Aktivitäten in Europa, Asien und den USA.

TEXT: CHRISTIAN BUCK

Natürlich ist Deutschland nicht der einzige Standort, an dem sich Unternehmen und Forscher Gedanken über die Zukunft der Industrie machen. „Überall auf der Welt stellt man sich in Politik und Wirtschaft die gleichen Fragen“, berichtet Professor Jürgen Jasperneite vom Institut für industrielle Informationstechnik an der Hochschule Ostwestfalen-Lippe und dem Lemgoer Fraunhofer-Anwendungszentrum Industrial Automation. „Im Mittelpunkt steht die zunehmende Digitalisierung und ihre Auswirkungen auf Produktionsprozesse und Industrien.“ Kein Wunder also, dass auch anderswo Regierungen und Unternehmen einschlägige Forschungsprogramme gestartet haben.

In der Zielsetzung sind sich alle einig: Die Produktion der Zukunft soll effizient, umweltschonend und hochgradig individualisierbar sein – das sind auch die zentralen Anliegen des deutschen Projektes „Industrie 4.0“. Allerdings haben die einzelnen Länder unterschiedliche Ausgangspositionen, die einen Einfluss auf die Schwerpunkte ihrer Forschungsprogramme haben. Während Deutschland als traditioneller „Ausrüster der Welt“ gilt und darum stark auf sein umfassendes Know-how aus einzelnen Branchen setzt, haben die USA den Ruf als „Vernetzer der Welt“ und betonen stärker die IT-Aspekte des Themas. Das zeigt sich auch am Namen und an den Mitgliedsunternehmen des „Industrial Internet Consortiums“, das das US-Gegenstück zur Initiative Industrie 4.0 in Deutschland ist.

Internet der Dinge als Plattform

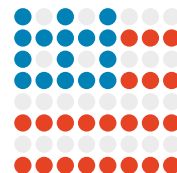
Experten glauben, dass die einzelnen Initiativen auf ähnlichen Basistechnologien aufsetzen werden – zum Beispiel auf dem Internet der Dinge als Plattform für die Vernetzung von Sensoren, Produkten und Anlagen. Und es ist durchaus wahrscheinlich, dass viele Länder einen Beitrag zur Produktion der Zukunft leisten werden. Dazu müssen aber grundlegende Standards definiert werden, um beispielsweise die Kommunikation von Maschinen untereinander zu ermöglichen. „Wir wollen Leitmarkt und Leitanbieter für die Produktionstechnik der Zukunft werden“, betont Professor Wolfgang Wahlster, Vorsitzender der Geschäftsführung des Deutschen Forschungszentrums für Künstliche Intelligenz in Saarbrücken, Kaiserslautern, Bremen und Berlin. „Davon werden auch andere Länder profitieren, weil sie durch Industrie 4.0 ihre Produktion auf ein neues Niveau heben können.“



USA

Industrial Internet Consortium

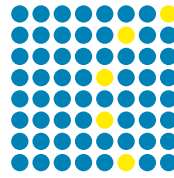
In den USA hat sich im März 2014 das Industrial Internet Consortium (IIC) gegründet, in dem mehr als 100 Unternehmen wie General Electric, IBM, Intel, AT&T und Cisco an Technologien für die Produktion der Zukunft arbeiten – unter ihnen auch deutsche Schwergewichte wie Siemens und Bosch. Da viele IT-Spezialisten am IIC beteiligt sind, liegt einer der Schwerpunkte auf dem Internet der Dinge und der Vernetzung der künftigen Fabriken. Die Vision des IIC deckt sich weitgehend mit den Zielen von Industrie 4.0: Die Produktion soll effizienter und Wertschöpfungsketten sollen optimiert werden, darüber hinaus streben die Unternehmen eine höhere Verfügbarkeit von Maschinen und die wirtschaftliche Herstellung individualisierter Produkte an.



Europa

Initiativen auf EU- und Länderebene

Neben dem deutschen Projekt „Industrie 4.0“ haben die EU und einzelne Länder des Kontinents eigene Aktivitäten ins Leben gerufen, um die Produktion der Zukunft vorzubereiten. Auf europäischer Ebene ist in den ICT Labs des European Institute of Innovation & Technology (EIT) eine „High Impact Initiative“ mit dem Namen „Industrie 4.0: Powering Europe“ unter deutscher Leitung gestartet, die einen Rollout cyber-physischer Plattformen in europäischen Smart Factories zum Ziel hat. Daneben gibt es die öffentlich-private Partnerschaft „Factories of the Future“, die vor allem kleine und mittelständische Unternehmen dabei unterstützen will, auf den Weltmärkten auch künftig erfolgreich zu sein. Einzelne Länder sind ebenfalls aktiv: Finnland will für sein „Industrial Internet Program“ bis 2019 rund 100 Millionen Euro ausgeben, Österreich für seine Version von Industrie 4.0 etwa 250 Millionen. Auch Frankreich, Großbritannien und die Niederlande haben eigene Initiativen gestartet.



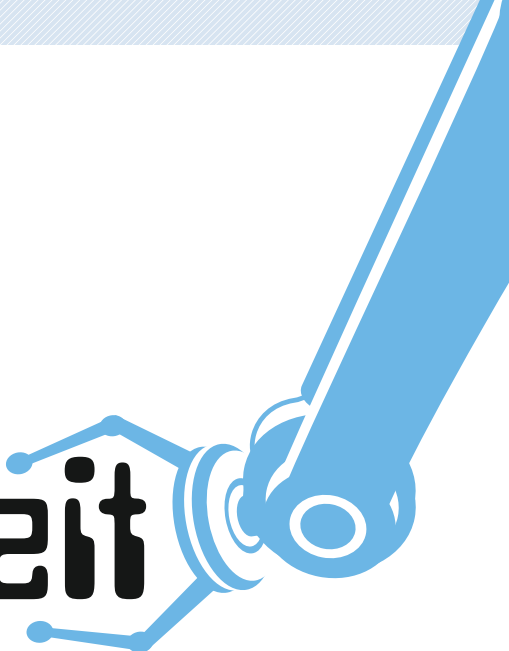
Asien

Aufholjagd bei Kerntechnologien

Die chinesische Regierung will intelligente Produktionssysteme auf der Basis allgegenwärtiger Informations- und Kommunikationssysteme aufbauen – das sieht ihre „Advanced Manufacturing Technology Roadmap“ vor, die bis ins Jahr 2050 reicht und Meilensteine für die Jahre 2020 und 2030 definiert. Ziel des Landes ist es, bei Kerntechnologien für die Produktion – beispielsweise in der Automobilbranche – weniger abhängig von Importen zu werden. Das spiegelt sich auch im aktuellen Fünfjahresplan wider, in dem „Advanced Manufacturing Equipment“ zu den Tätigkeitsfeldern mit besonders hoher Priorität zählt. Wenig bekannt ist über die Aktivitäten anderer Länder wie beispielsweise Japan oder Südkorea. Der Besuch zahlreicher Delegationen in Deutschland zeigt aber, dass das Interesse an diesem Thema auch dort sehr groß ist.



Industriearbeit wird attraktiver



Alle Ebenen sind von den Veränderungen betroffen, die Industrie 4.0 in der Arbeitswelt bringen wird. Für den Industriesoziologen Hartmut Hirsch-Kreinsen bieten sich dadurch neue Chancen für die Mitarbeiter.

TEXT: PROF. DR. HARTMUT HIRSCH-KREINSEN

ILLUSTRATION: BIANCA CLASSEN

Industrie 4.0 wird erhebliche Konsequenzen für die Arbeitswelt haben. Sie betreffen alle direkt und indirekt wertschöpfenden Tätigkeiten in Industriebetrieben – die operative Ebene des Fertigungspersonals ebenso wie das untere und mittlere Management von Produktionsprozessen sowie die technischen Experten.

Neue Anforderungen an die Mensch-Maschine- Schnittstelle

Die Mensch-Maschine-Interaktion wird eine der zentralen Herausforderungen sein. Hier geht es vor allem um die Frage, inwieweit die Beschäftigten noch in der Lage sind, das System zu kontrollieren und die Verantwortung für ihren Betrieb zu übernehmen. Grund dafür ist ihre wachsende Distanz zu den komplexen Abläufen im Produktionsprozess – dadurch kann das Bedienpersonal die

Anlagenzustände möglicherweise nicht mehr zutreffend einschätzen und trifft bei Eingriffen in den automatischen Prozess unter Umständen falsche Entscheidungen.

Die Forschung spricht hier von den „ironies of automation“: Automatisierte Prozesse erzeugen aufgrund ihres Routinecharakters bei Störungen nur schwer zu bewältigende Situationen. Die Mensch-Maschine-Schnittstelle muss darum sicherstellen, dass hinreichend qualifizierte Arbeitskräfte in der Lage sind, ihren Überwachungsaufgaben effektiv nachzukommen.

Die operative Ebene erfordert neue Qualifikationen

Eine weitere zentrale Herausforderung ist die Gestaltung der Aufgaben und Tätigkeitsstrukturen auf der operativen Ebene. Ich gehe davon aus, dass viele Arbeitsplätze mit niedrigen Qualifika-

tionsanforderungen und einfachen, repetitiven Tätigkeiten von intelligenten Systemen ersetzt werden – etwa in der Logistik, bei der Maschinenbedienung sowie bei der Datenerfassung und -eingeabe.

Zudem könnte es bei den Facharbeitern zu einer „Dequalifizierung“ von Tätigkeiten kommen: Denkbar ist, dass Aufgaben wie die Maschinenbedienung sowie verschiedene Kontroll- und Überwachungsfunktionen automatisiert werden. Das gilt auch für Dispositionsentscheidungen in der Produktionslogistik, denn die Anlagen können die benötigten Güter und Waren weitgehend selbstständig anfordern.

Zugleich erwarten wir an anderer Stelle aber auch eine Aufwertung von Qualifikationen und eine Anreicherung von Tätigkeiten. Gründe dafür sind die erhöhte Komplexität der Fertigung sowie die Dezentralisierung

von Entscheidungs-, Kontroll- und Koordinationsfunktionen – die betroffenen Beschäftigten müssen zunehmend eigenständig planen und Abläufe abstimmen, was beispielsweise ein breiteres Verständnis des gesamten Produktionsprozesses, der Logistik sowie der Lieferbedingungen verlangt. Neben Überblickswissen sind auch soziale Kompetenzen gefragt, weil mit der Integration einst getrennter Funktionsbereiche der Bedarf an Interaktion mit unterschiedlichen Personengruppen steigt.

Konsequenzen für indirekte Bereiche und Leitungsebenen

Mit Industrie 4.0 verbindet sich ein Dezentralisierungsschub und Hierarchieabbau innerhalb der oft ohnehin schon relativ flach strukturierten Fabrikorganisationen: Einiges deutet darauf hin, dass aufgrund der dezentralen Selbstorganisation der Systeme und einer flexiblen Arbeitsorganisation auf der operativen Ebene ein Teil der Planungs- und Steuerungsfunktionen „nach unten“ abgegeben wird – Aufgaben, für die heute technische Experten und das Produktionsmanagement verantwortlich sind.

Zudem könnte eine ganze Reihe von Aufgaben in indirekten Bereichen automatisiert und damit vereinfacht oder gar ersetzt werden. Je nach Systemauslegung kann es sich dabei um Planungs- und Steuerungsaufgaben, Tätigkeiten in der Instandhaltung und im Service, aber auch um qualitätssichernde Aufgaben handeln.

Und schließlich dürften wegen der steigenden Komplexität erweiterte und neue Planungsaufgaben auf diese Bereiche zukommen. Einiges deutet zum Beispiel darauf hin, dass Aufgaben des „Troubleshooting“ deutlich an Bedeutung gewinnen werden. Zudem dürften auf der Planungs- und Managementebene früher getrennte Aufgaben und Kompetenzen – beispielsweise IT- und Produktionskompetenzen – verschmelzen.

Diese Hinweise zeigen, dass die Planungs- und Managementbereiche durch Industrie 4.0 längerfristig ebenso nachhaltig betroffen sein werden wie die operative Ebene. Mehr noch: Ich gehe davon aus, dass dieser Wandel und eine neue Gestaltung der Leitungs-

ebenen eine unverzichtbare Voraussetzung für die Beherrschung der neuen Technologien ist.

Neue Formen der Arbeitsorganisation

Diese Befunde zeigen, dass die menschenleere Fabrik mit vollständiger Automatisierung aus technologischen und ökonomischen Gründen keine realistische Perspektive ist. Zugleich ist aber auch kein „Patentrezept“ dafür erkennbar, wie sich die Arbeit an smarten Produktionssystemen optimal organisieren ließe. Ich gehe darum von einem breiten Spektrum divergierender Muster der Arbeitsorganisation aus.

Ein Extrem ist die „polarisierte Organisation“: In ihr existiert einerseits eine geringe Zahl einfacher Tätigkeiten mit geringem oder keinem Handlungsspielraum – vor allem für standardisierte Überwachungs- und Kontrollaufgaben. Andererseits gibt es eine erweiterte oder auch neu entstandene Gruppe hoch qualifizierter Experten und technischer Spezialisten, deren Qualifikation deutlich über dem bisherigen Facharbeiterniveau liegt. Ihnen obliegen nicht nur Aufgaben wie die Störungsbewältigung – sie sind auch für Teile des Produktionsmanagements verantwortlich.

Das andere Extrem ist ein arbeitsorganisatorischer Gestaltungsansatz, der als „Schwarm-Organisation“ bezeichnet werden kann und durch eine lockere Vernetzung sehr qualifizierter und gleichberechtigt agierender Beschäftigter gekennzeichnet ist: Hier gibt es keine definierten Aufgaben für einzelne Beschäftigte mehr – vielmehr handelt das Arbeitskollektiv je nach den zu lösenden Problemen selbstorganisiert, hoch flexibel und situationsbestimmt. Dieses Muster der Arbeitsorganisation nutzt informelle soziale Prozesse der Kommunikation und Kooperation sowie das Prozesswissen der Beschäftigten.

Vermutlich werden sich langfristig Mischformen und Zwischenlösungen aus diesen beiden Extremen einspielen. Sie zeigen, dass Unternehmen bei der Einführung von Industrie 4.0 nicht nur organisatorische und personalpolitische Wahlmöglichkeiten haben, sondern damit auch je nach der konkreten betrieblichen Situation sich auch sehr verschiedene soziale und ökonomische Effekte verbinden können.

Prof. Dr. Hartmut Hirsch-Kreinsen

hat an der Technischen Universität Dortmund den Lehrstuhl für Wirtschafts- und Industriosozologie inne.

»Die menschenleere Fabrik ist keine realistische Perspektive.«

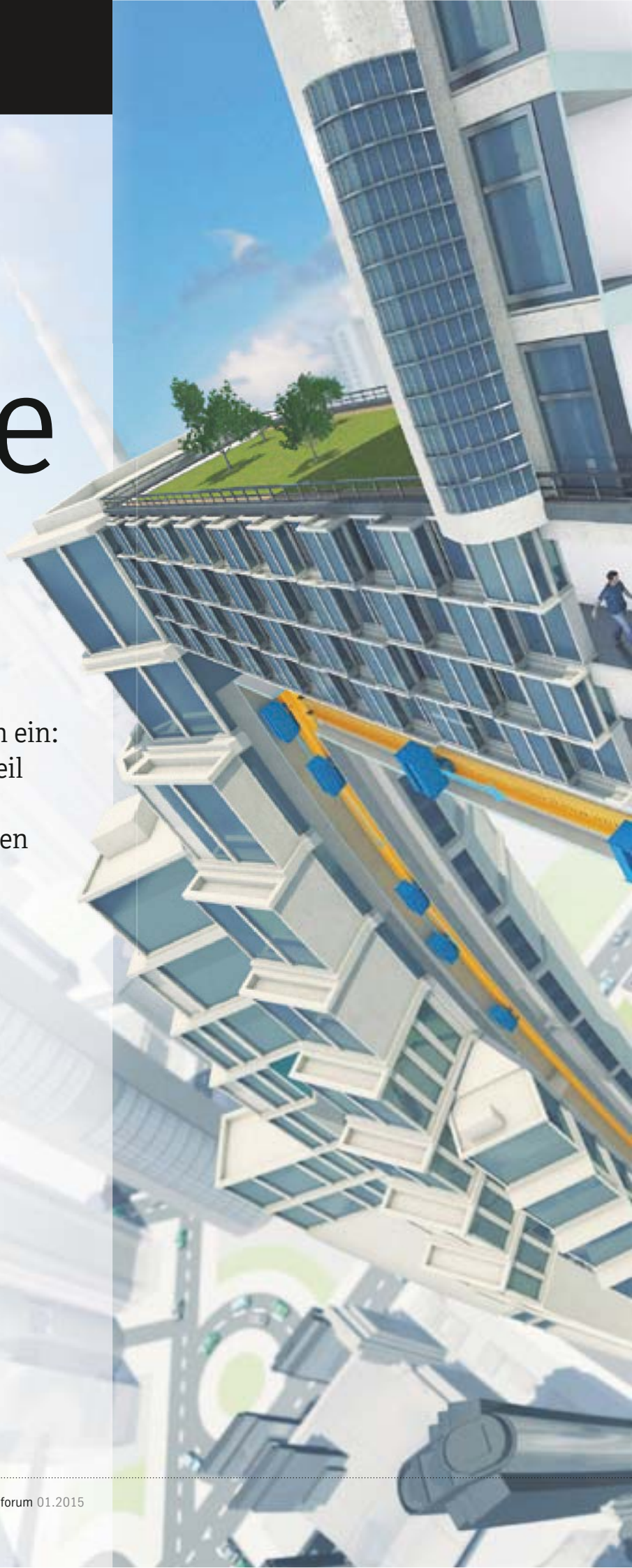
PROF. DR. HARTMUT HIRSCH-KREINSEN



Der Heilige Gral

Mit seinem innovativen Aufzugskonzept **MULTI** läutet ThyssenKrupp eine Revolution ein: Kabinen bewegen sich ohne Seil und können sogar horizontal fahren. Das eröffnet Architekten völlig neue Möglichkeiten.

TEXT: CHRISTIAN BUCK



Geschlossener Kreislauf:

MULTI kombiniert erstmals den Aufzug mit dem Pater-noster-Prinzip. Zudem können die Kabinen horizontal fahren und benachbarte Hochhäuser miteinander verbinden.



Mehr als 160 Jahre lang war die Sache klar: Ein Aufzug ist eine Kabine, die an einem Seil in einem Schacht nach oben gezogen oder heruntergelassen wird. Seit seiner Erfindung im Jahre 1853 hat sich an diesem Prinzip nichts Grundlegendes geändert, bis ThyssenKrupp im

November 2014 der Öffentlichkeit ein revolutionäres neues Konzept präsentierte: MULTI. Mit ihm will der Konzern nicht nur den Personentransport in Wolkenkratzen optimieren – er wird auch den Architekten völlig neue Möglichkeiten eröffnen. In Zukunft können sie noch höhere Gebäude bauen, weil sich deren Bewohner dank MULTI schneller und platzsparender selbst viele Hundert Meter in die Höhe und wieder nach unten transportieren lassen.

Der auffälligste Unterschied zwischen konventionellen Aufzügen und MULTI: Die Innovation von ThyssenKrupp kommt völlig ohne das vermeintlich unverzichtbare Seil aus. „Stattdessen nutzen wir einen Linearmotor, wie er auch im Transrapid zum Einsatz kommt“, erklärt Dr. Friedrich Löser, Leiter des ThyssenKrupp-TechCenters Control Technology in München. „Bewegliche Magnetfelder treiben die Kabine an, und Rollen in Schienen sorgen für eine stabile Führung. Der Aufzug fährt also ganz ähnlich wie ein Zug.“ Obwohl es kein Seil mehr gibt, droht den Passagieren selbst bei einem Stromausfall keine Gefahr: MULTI speichert genügend Energie, sodass jede Kabine die nächste Haltestelle sicher erreichen kann. Und auch das Bremsystem arbeitet dann noch einwandfrei, weil es ohne Strom selbstständig schließt.

Beliebig viele Kabinen pro Schacht

Das neue Antriebskonzept eröffnet völlig neue Möglichkeiten für den Personentransport: Durch den Wegfall des Seils können sich in Zukunft beliebig viele Kabinen einen Aufzugsschacht teilen, was die Flexibilität und Transportkapazität spürbar erhöht. Einen ersten Schritt in diese Richtung hat ThyssenKrupp bereits im Jahr 2003 unternommen: Damals stellte der Konzern das TWIN-System vor, bei dem zwei Kabinen unabhängig voneinander im gleichen Schacht unterwegs sind – allerdings immer noch angetrieben von einem

25

PROZENT

mehr Nutz- und Wohnfläche in Gebäuden: Das lässt sich mit MULTI erreichen.

Seil. Alleine dadurch verringerte sich der Platzbedarf bei gleichzeitig steigender Beförderungskapazität um bis zu 30 Prozent.

MULTI geht einen entscheidenden Schritt weiter, denn das System kombiniert den Aufzug mit dem Paternoster-Prinzip: Mehrere Kabinen nutzen einen Schacht für den Aufstieg und fahren in einem parallelen Schacht wieder nach unten. Hier kommt eine weitere einzigartige Eigenschaft von MULTI ins Spiel: Die Kabinen können dank ihres Linearantriebes nicht nur vertikal, sondern auch horizontal fahren – im Prinzip ist MULTI ein kleines Nahverkehrssystem, das sich aber nicht in einer Ebene erstreckt, sondern senkrecht nach oben ausgerichtet ist. Theoretisch ließen sich damit sogar benachbarte Hochhäuser miteinander verbinden.

„Bei MULTI sind in einem geschlossenen Kreislauf viele Kabinen gleichzeitig unterwegs, wodurch sich bei gleichem Platzbedarf wesentlich mehr Passagiere befördern lassen“, erklärt Markus Jetter, Leiter des Forschungszentrums von ThyssenKrupp Elevator in Pliezhausen bei Stuttgart. „Außerdem kann das System die Transportkapazität dem aktuellen Bedarf anpassen: Bei geringer Nachfrage werden einige der Kabinen einfach geparkt – so wie Züge auf einem Abstellgleis. Auch für Wartungsarbeiten können die Techniker einzelne Kabinen aus dem Verkehr ziehen, ohne den Betrieb unterbrechen zu müssen.“ Dabei lernt das System dank künstlicher Intelligenz, immer besser auf die jeweilige Situation zu reagieren und den Betrieb nach vorgegebenen Kriterien zu optimieren – etwa auf kurze Wartezeiten oder einen minimalen Energieverbrauch. Kollisionen sind dabei ausgeschlossen, weil das System jederzeit weiß, an welcher Stelle sich die einzelnen Kabinen befinden.

Leichtbau senkt den Energieverbrauch

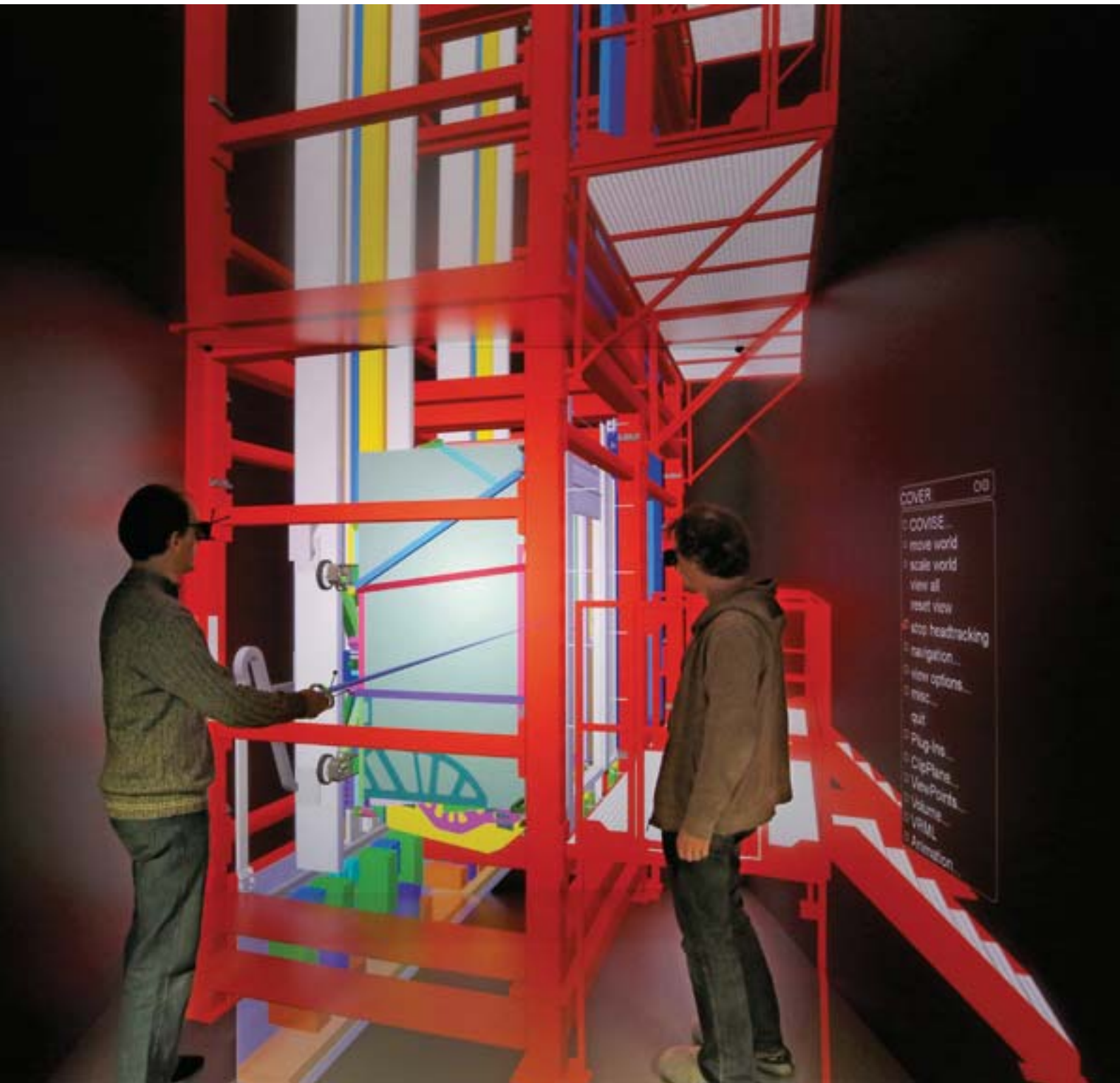
Die Energie für die Fortbewegung wird wie beim Transrapid in elektromagnetische Schienen eingespeist, die in diesem Fall an den Wänden des Aufzugsschachtes entlanglaufen (siehe auch den Kasten zum Linearmotor). Die anderen Systeme der Kabine – etwa Beleuchtung, Lüftung und Elektronik – erhalten ihre Energie berührungslos nach dem Transformatorenprinzip, ähnlich wie die elektrische Zahnbürste im Badezimmer. Um den Verbrauch auf ein Minimum zu reduzieren, setzen die Ingenieure auf Leichtbau. „Wir wollen das Gewicht der Kabine auf 800 Kilogramm begrenzen“, so Jetter. „Die Tür wird beispielsweise nur etwa 50 Kilogramm wiegen, weil sie aus Carbon besteht. Für die Wände und Decken setzen wir auf einen Mix aus Aluminium, Carbon und faserverstärkten Kunststoffen.“ Dabei arbeiten die Aufzugspezialisten mit den Experten vom ThyssenKrupp-TechCenter Carbon Composites in Dresden zusammen.

Neben dem Leichtbau ist ein intelligentes Energiemanagement wichtig für den effizienten Betrieb von MULTI: Beim Herunterfahren speisen die Kabinen Energie zurück ins System, wo sie entweder sofort für aufwärts fahrende →

»Die vertikalen und horizontalen Bewegungen des MULTI mit mehreren Kabinen pro Schacht sind ein Wendepunkt in der Geschichte der Aufzugssysteme.«

ANDREAS SCHIERENBECK, VORSTANDSVORSITZENDER DER THYSSENKRUPP ELEVATOR AG





Aufzug aus Licht: Im 3D-Visualisierungszentrum der Universität Stuttgart können die Ingenieure mit MULTI virtuelle Fahrten unternehmen, Montageprozesse simulieren und Kunden das neue System vorstellen.



Transrapid im Aufzugsschacht

Auch wenn sie äußerlich völlig verschieden sind: MULTI und Transrapid werden von der gleichen Technologie angetrieben, denn in beiden sorgt ein Linearantrieb für die Bewegung. Das Grundprinzip: In die Wände der Schächte sind Schienen („Langstatoren“) integriert, die mit in Harz vergossenen Kupferspulen ausgerüstet sind. Diese Spulen werden von Wechselströmen mit veränderlicher Frequenz durchflossen und erzeugen dadurch ein bewegtes Magnetfeld.

Die MULTI-Kabinen sind mit Permanentmagneten ausgestattet, auf die das magnetische Feld eine Kraft ausübt – so werden sie entweder in die Höhe gehoben oder bei der Fahrt nach unten abgebremst. Ihre Geschwindigkeit hängt von der Frequenz des Magnetfeldes ab: Je höher sie ist, desto schneller bewegt sich die Kabine. Elektronische Frequenzumrichter in den Schächten bestimmen das Tempo und sorgen dafür, dass die Passagiere sanft beschleunigt und abgebremst werden.



Trotz aller Parallelen gibt es aber auch einen grundlegenden Unterschied: Während ein Transrapid-Zug mit mehreren Hundert Fahrgästen an Bord für seine Fahrt mit maximal 500 Stundenkilometern Leistungen von rund 20 bis 50 Megawatt benötigt, kommt eine MULTI-Kabine mit nur 50 bis 100 Kilowatt aus.

→ Aufzüge genutzt oder zwischengespeichert wird – zum Beispiel in Batterien, Superkondensatoren oder Schwungrädern. Und schließlich trägt auch der flexible Betrieb zum Energiesparen bei: Während herkömmliche Aufzüge im Schnitt nur zu etwa zehn Prozent ausgelastet sind, erreicht die MULTI-Kabine mit ihrer Kapazität von acht Personen in Simulationen wesentlich höhere Werte.

Nicht nur Energie, auch den knappen Raum in Wolkenkratzern nutzt MULTI optimal aus: Durch die neue Antriebstechnologie nimmt die Transportkapazität pro Schacht künftig nicht mehr mit der Gebäudehöhe ab. Zudem spielt die Masse der Seile hier keine Rolle mehr, die ab einer bestimmten Höhe unter ihrem eigenen Gewicht reißen würden. Und schließlich sind auch die Schwingungen von Gebäuden und Seilen kein Thema mehr: Gerade bei hohen Schächten drohen Resonanzen, wodurch die Seile an die Wände schlagen und dort Schäden verursachen können. „Im windigen Chicago müssen bei Sturm oft Aufzüge gesperrt oder ihre Geschwindigkeit reduziert werden“, berichtet Jetter. „MULTI kann auch unter solchen Bedingungen ohne Probleme fahren.“ Zudem benötigt MULTI kleinere Schächte als konventionelle Lösungen: Statt neun Quadratmeter Grundfläche wie bei einem Doppeldecker-Aufzug sind es bei MULTI nur sechs Quadratmeter.

Ideal für Gebäude ab 300 Meter Höhe

All das erlaubt Architekten, in Zukunft noch weiter in die Höhe zu bauen – was technisch schon lange möglich wäre, durch die begrenzten Möglichkeiten der klassischen Aufzüge aber verhindert wird. Der Bedarf an solchen himmelsstürmenden Wolkenkratzern ist groß: Bis 2050 sollen weitere 2,5 Milliarden Menschen in Städten leben, und Hochhäuser sind die wirtschaftlichste und umweltfreundlichste Lösung, um ihnen ein Zuhause anzubieten. Denn sie ermöglichen ein intelligentes Energiemanagement und tragen dazu bei, dass es auch in den Megacities der Zukunft noch ausreichend Grünflächen geben wird. Der Trend zu immer höheren Gebäuden ist bereits in den letzten Jahren zu verzeichnen: Während die durchschnittliche Höhe der 50 größten Gebäude der Welt im Jahr 2000 bei 315 Metern lag, erreichte sie 2013 bereits 390 Meter – ein Zuwachs von rund 25 Prozent.

„MULTI ist ideal für Gebäude ab einer Höhe von 300 Metern und kann in Schächten von 600 Meter Länge und mehr fahren“, erklärt Jetter. „Bei einem klassischen Aufzugssystem wäre pro Schacht nur eine einzige Kabine unterwegs – das ist ungefähr so, als würde auf der Hochgeschwindigkeitsstrecke zwischen München und Stuttgart immer nur ein einziger ICE fahren.“ Ganz so schnell wie die flotten Züge der Bahn ist der MULTI allerdings nicht: Er befördert seine Passagiere mit einer Geschwindigkeit von fünf Metern pro Sekunde – Untersuchungen mit Hochgeschwindigkeitsaufzügen zeigen, dass alles darüber hinaus wegen des spürbaren Druckunterschiedes bei vielen Menschen

50

PROZENT
weniger
Gewicht im
Vergleich
zu einer
Standard-
kabine:
MULTI setzt
konsequent auf
Leichtbau.

zu Unwohlsein führt. Dafür gibt es aber viel mehr Verbindungen als beim ICE: MULTI soll nach den Vorstellungen der ThyssenKrupp-Experten in Abständen von 15 bis 30 Sekunden den Zugang zu einer Kabine ermöglichen, die ungefähr alle 50 Meter einen Umsteigestopp einlegt – die Stockwerke dazwischen lassen sich mit konventionellen Aufzügen erreichen. „Ein ICE hält schließlich auch nicht an jedem kleinen Bahnhof“, kommentiert Jetter. „Für die Strecken dazwischen gibt es die Regionalzüge.“

An der Entwicklung von MULTI war neben den Experten von ThyssenKrupp Elevator und ihren Kollegen von den TechCentern in München und Dresden auch die Universität Stuttgart beteiligt. Im dortigen 3D-Visualisierungszentrum konnten die Ingenieure unter anderem virtuelle Fahrten mit dem System unternehmen, Montageprozesse simulieren und Kunden von ihrem neuen Konzept überzeugen. Noch existiert MULTI nur im Computer und in Form von funktionsfähigen Prototypen verschiedener kritischer Komponenten, aber schon Mitte 2015 soll es ein verkleinertes Modell des Komplettsystems mit mehreren Kabinen in einem Doppelschacht geben. Und ab 2016 wird das System im neuen Testturm in Rottweil in drei 100 Meter hohen Schächten im Praxisbetrieb untersucht und zertifiziert. „Schon heute verzeichnen wir ein enormes Interesse“, sagt Jetter. „Täglich bekommen wir Anfragen von potenziellen Kunden, die uns auch laufend faszinierende Ideen mitteilen.“ Dank des flexiblen MULTI-Systems könnten viele von ihnen in einigen Jahren auch Realität werden. ←

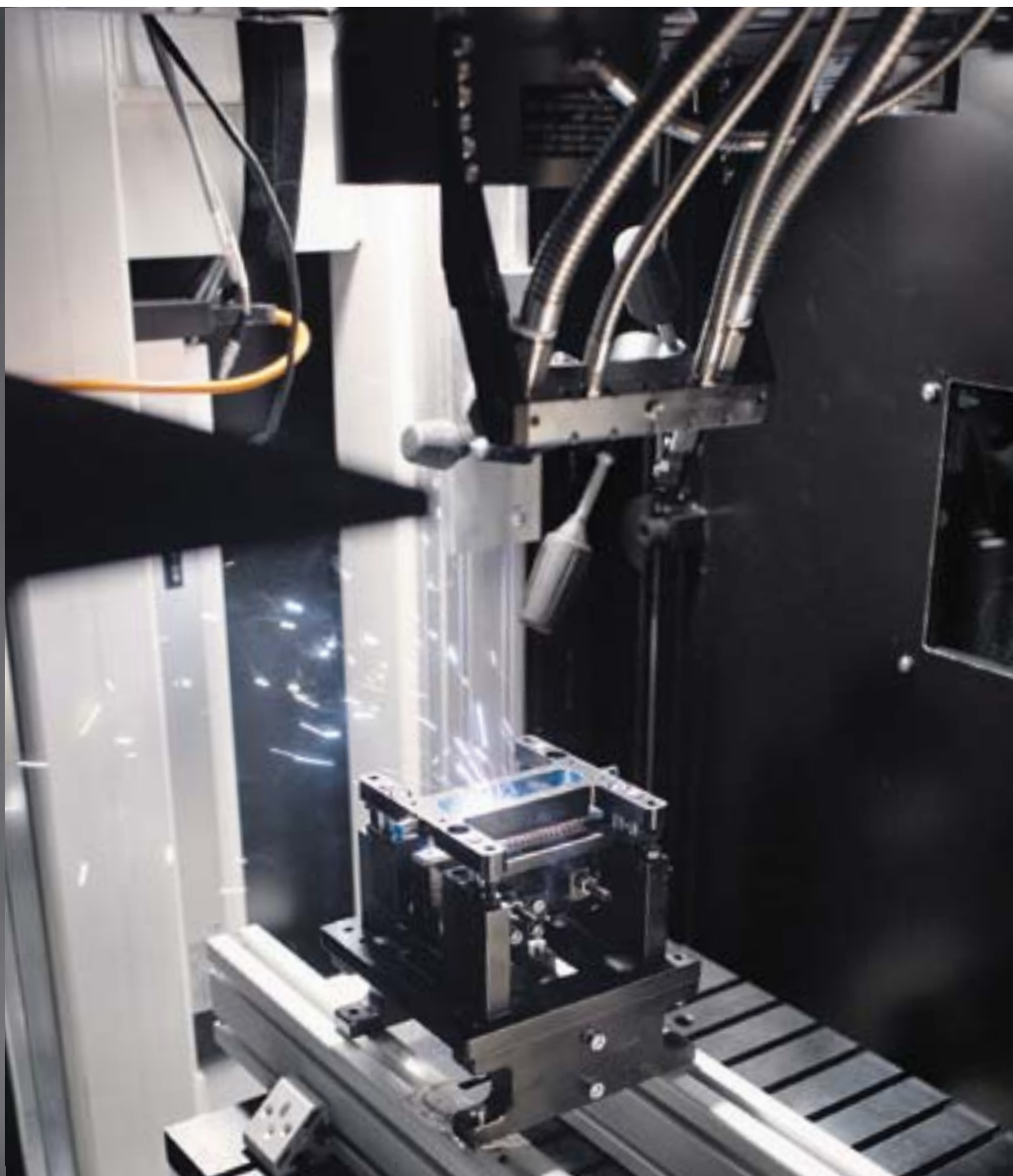
Ein Nahverkehrssystem für Wolkenkratzer

MULTI lässt sich gut mit einem Schienennetz vergleichen, das senkrecht steht: **1** Dank der neuen Antriebstechnologie kann die Kabine auf Wunsch auch horizontal fahren und benachbarte Gebäude verbinden. **2** Die Transportkapazität lässt sich dem

aktuellen Bedarf anpassen. Sind nur wenige Fahrgäste unterwegs, verringert MULTI die Zahl der Kabinen – ganz ähnlich wie die Eisenbahn.

3 Sobald die MULTI-Kabine das obere Ende eines Schachtes erreicht hat, fährt sie einige Meter seitwärts und transportiert in einem parallelen Schacht Fahrgäste nach unten.



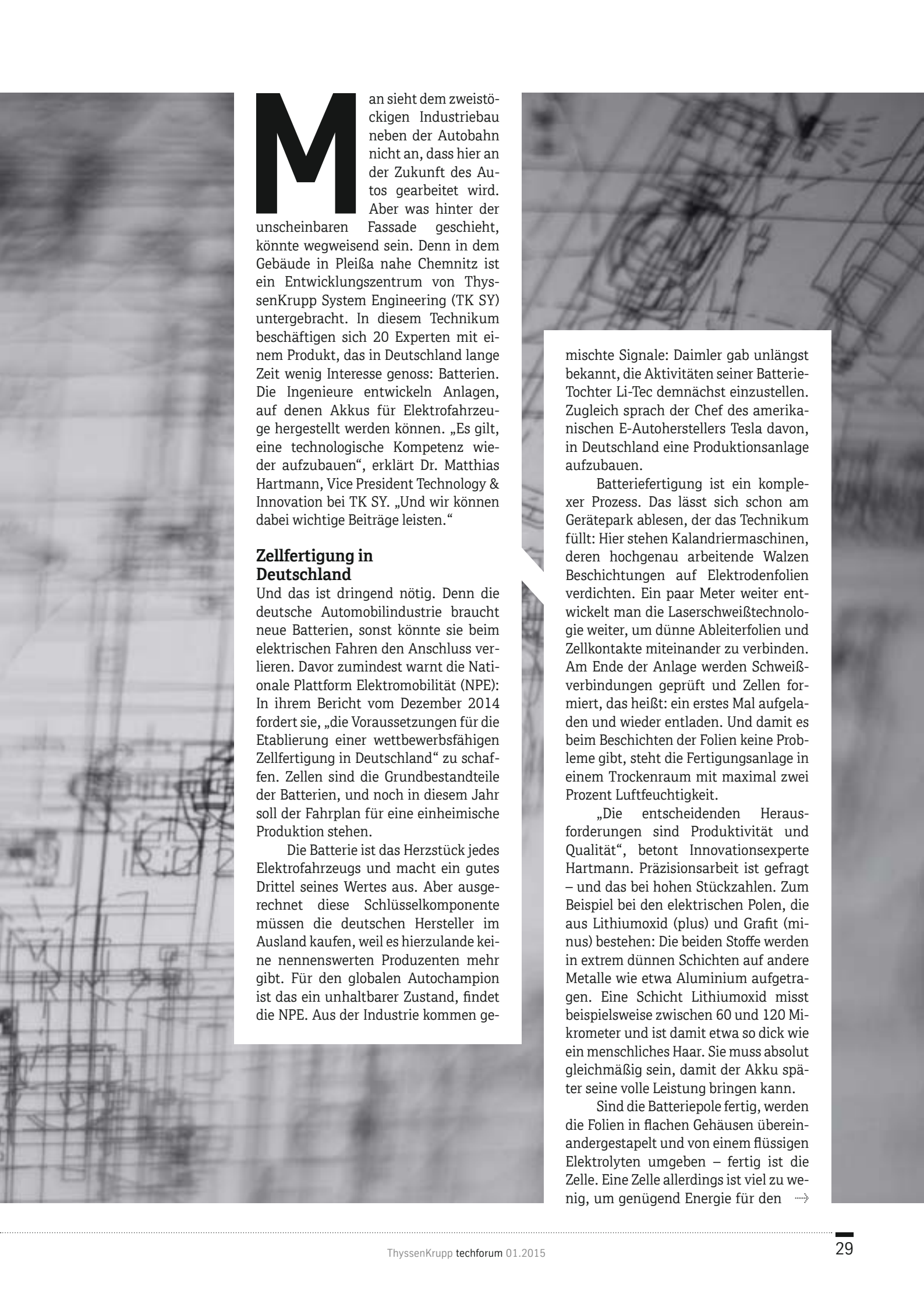


Präzisionswerkzeug: Eine von ThyssenKrupp Systems Engineering entwickelte Laserschweißanlage verbindet zwei Batteriezellen – äußerst genau und mit minimalem Energieaufwand.

Batterien made in Germany

Lange Zeit gab es in Deutschland keine nennenswerte Batterieproduktion. Im Zeitalter der Elektromobilität könnte sich das wieder ändern: ThyssenKrupp optimiert die Fertigung und verzeichnet Interesse deutscher Autobauer.

TEXT: CONSTANTIN GILLIES



Man sieht dem zweistöckigen Industriebau neben der Autobahn nicht an, dass hier an der Zukunft des Autos gearbeitet wird. Aber was hinter der unscheinbaren Fassade geschieht, könnte wegweisend sein. Denn in dem Gebäude in Pleiße nahe Chemnitz ist ein Entwicklungszentrum von ThyssenKrupp System Engineering (TK SY) untergebracht. In diesem Technikum beschäftigen sich 20 Experten mit einem Produkt, das in Deutschland lange Zeit wenig Interesse genoss: Batterien. Die Ingenieure entwickeln Anlagen, auf denen Akkus für Elektrofahrzeuge hergestellt werden können. „Es gilt, eine technologische Kompetenz wieder aufzubauen“, erklärt Dr. Matthias Hartmann, Vice President Technology & Innovation bei TK SY. „Und wir können dabei wichtige Beiträge leisten.“

Zellfertigung in Deutschland

Und das ist dringend nötig. Denn die deutsche Automobilindustrie braucht neue Batterien, sonst könnte sie beim elektrischen Fahren den Anschluss verlieren. Davor zumindest warnt die Nationale Plattform Elektromobilität (NPE): In ihrem Bericht vom Dezember 2014 fordert sie, „die Voraussetzungen für die Etablierung einer wettbewerbsfähigen Zellfertigung in Deutschland“ zu schaffen. Zellen sind die Grundbestandteile der Batterien, und noch in diesem Jahr soll der Fahrplan für eine einheimische Produktion stehen.

Die Batterie ist das Herzstück jedes Elektrofahrzeugs und macht ein gutes Drittel seines Wertes aus. Aber ausgerechnet diese Schlüsselkomponente müssen die deutschen Hersteller im Ausland kaufen, weil es hierzulande keine nennenswerten Produzenten mehr gibt. Für den globalen Autochampion ist das ein unhaltbarer Zustand, findet die NPE. Aus der Industrie kommen ge-

mischte Signale: Daimler gab unlängst bekannt, die Aktivitäten seiner Batterie-Tochter Li-Tec demnächst einzustellen. Zugleich sprach der Chef des amerikanischen E-Autoherstellers Tesla davon, in Deutschland eine Produktionsanlage aufzubauen.

Batteriefertigung ist ein komplexer Prozess. Das lässt sich schon am Gerätepark ablesen, der das Technikum füllt: Hier stehen Kalandriermaschinen, deren hochgenau arbeitende Walzen Beschichtungen auf Elektrodenfolien verdichten. Ein paar Meter weiter entwickelt man die Laserschweißtechnologie weiter, um dünne Ableiterfolien und Zellkontakte miteinander zu verbinden. Am Ende der Anlage werden Schweißverbindungen geprüft und Zellen formiert, das heißt: ein erstes Mal aufgeladen und wieder entladen. Und damit es beim Beschichten der Folien keine Probleme gibt, steht die Fertigungsanlage in einem Trockenraum mit maximal zwei Prozent Luftfeuchtigkeit.

„Die entscheidenden Herausforderungen sind Produktivität und Qualität“, betont Innovationsexperte Hartmann. Präzisionsarbeit ist gefragt – und das bei hohen Stückzahlen. Zum Beispiel bei den elektrischen Polen, die aus Lithiumoxid (plus) und Graphit (minus) bestehen: Die beiden Stoffe werden in extrem dünnen Schichten auf andere Metalle wie etwa Aluminium aufgetragen. Eine Schicht Lithiumoxid misst beispielsweise zwischen 60 und 120 Mikrometer und ist damit etwa so dick wie ein menschliches Haar. Sie muss absolut gleichmäßig sein, damit der Akku später seine volle Leistung bringen kann.

Sind die Batteriepole fertig, werden die Folien in flachen Gehäusen übereinandergestapelt und von einem flüssigen Elektrolyten umgeben – fertig ist die Zelle. Eine Zelle allerdings ist viel zu wenig, um genügend Energie für den ➔



Unter Druck: Eine Kalandriermaschine verdichtet die Batterie-Elektroden – ein wichtiger Bearbeitungsschritt auf dem Weg zum Batteriesystem.



ZEITSTRAHL

1888

Die Coburger Maschinenfabrik A. Flocken baut den vermutlich ersten Elektro-PKW der Welt.

1905

Die Siemens-Schuckertwerke in Berlin bauen die „Elektrische Viktoria“.

1971

Zum ersten Mal fährt das elektrisch betriebene „Lunar Roving Vehicle“ auf dem Mond.



1972

BMW baut für die Olympiade ein E-Fahrzeug, das den Marathon begleitet.



1996

General Motors bringt das Elektroauto EV1 auf den Markt.

2008

Der Newcomer Tesla Motors aus den USA startet die Serienproduktion seines Roadsters.



2014

Volkswagen führt den elektrisch betriebenen e-Golf in Europa ein.

2014

BMW bringt den Plug-in-Hybriden i8 auf den Markt, der zu großen Teilen aus CFK besteht.



→ Antrieb eines Autos zur Verfügung zu stellen. Darum werden im nächsten Schritt typischerweise zehn Zellen zu einem Modul zusammengefasst. Jeweils zehn Module bilden am Schluss dann die Batterie: ein Kraftwerk, das 300 Volt Spannung liefert.

Doch Automatisierung ist nur der erste Schritt. Die zweite Innovationsleistung liegt darin, dass trotz hoher Stückzahlen die Qualität immer perfekt ist. Um das zu gewährleisten, entwickelten die Ingenieure zum Beispiel neue Laserschweißverfahren und Prüfmethoden, bei denen unter anderem Thermografie (Wärmebilder) eingesetzt wird.

Batterieproduktion war einst eine Schlüsselindustrie

Käme die Fertigung von Batterien in Deutschland endlich voran, wäre das im Prinzip nur ein Revival – denn elektrisches Fahren hat hierzulande Tradition: Schon 1899 baute Ferdinand Porsche ein Hybridfahrzeug mit Allradantrieb, und bei der Olympiade 1972 begleitete ein Elektroauto von BMW die Marathonläufer. Seine Reichweite lag mit 60 Kilometern allerdings nur leicht über der der Sportler – mehr gab das halbe Dutzend Autobatterien unter der Haube einfach nicht her. Geliefert wurden sie von Varta, dem damals bekanntesten Batteriehersteller in Deutschland. Zusammen mit Unternehmen wie Sonnenschein, Hagen Batterie und Deta bildete Varta eine regelrechte Schlüsselindustrie.

In den 90-er Jahren wanderte die Branche nach Übersee ab, vor allem nach Asien. Von hier kamen in den folgenden Jahren auch die Innovationen bei den Stromspeichern. Der Lithium-Ionen-Akku zum Beispiel: 1991 baute ihn Sony erstmals in eine tragbare Videokamera ein, heute ist die Technik aus dem Alltag nicht mehr wegzudenken. Auch in Elektroautos, zumindest in den Modellen von Tesla: In den Fahrzeugen stecken jeweils rund 6.000 Batteriezellen, die in nahezu gleicher Form auch in Laptops zu finden sind. Experten schät-

zen, dass allein dieser Speicher 30.000 US-Dollar kostet.

Warum sind Akkus eigentlich so teuer? Technikum-Leiter Dr. Michael Roscher erläutert: „Weil alles, was in der Zelle steckt, teuer ist.“ Allein die Rohstoffe haben es in sich: Kobalt oder Lithium zum Beispiel sind in der Natur selten und entsprechend kostspielig. Hinzu kommen aufwendig hergestellte Materialien wie der Separator – eine dünne Folie aus Kunststoff zwischen Plus- und Minuspol, die Kurzschlüsse in der Zelle verhindert.

BMW nutzt bereits Anlagen von ThyssenKrupp

Lohnt es sich überhaupt, eine so aufwendige Produktion in Deutschland aufzubauen? Dafür spricht, dass die Batterieherstellung mittlerweile hochautomatisiert ist. Kein Mensch muss in der Montage noch Hand anlegen, ausschließlich für Qualitätskontrolle und Instandhaltung wird Personal gebraucht – die hohen deutschen Lohnkosten fallen also kaum ins Gewicht. Außerdem könnten die Automobilhersteller stark davon profitieren, wenn sie die Stromspeicher quasi vor der eigenen Haustüre herstellen würden. Allein der Transport aus Übersee dauert per Containerschiff etwa acht Wochen.

Erste Interessenten für die Produktionstechnik aus dem Technikum gibt es schon: BMW zum Beispiel setzt bei der Herstellung des Elektroflitzers i3 eine Anlage von ThyssenKrupp ein. Sie führt großformatige Zellen erst zu Modulen und schließlich zu ganzen Batteriepacks zusammen, die zum Schluss automatisch getestet werden. Doch das ist nur ein Anfang. Der Königsweg wäre, tatsächlich die gesamte Produktion – inklusive der Zellen – auf einer Anlage abzuwickeln, vom Ausgangsstoff Lithium bis zum einbaufertigen Akku. Bis zur Batterie „Made in Germany“ würde es nicht mal lange dauern: „Eine Produktion ließe sich in zwei Jahren aufbauen“, schätzt Hartmann. ←

Energiewende bei der Chlorproduktion

TEXT: KLAUS JOPP ILLUSTRATION: BIANCA CLASSEN



Versuchsanlage: Bei Bayer MaterialScience in Uerdingen wurde das neue Verfahren ausgiebig getestet. Durch seinen Einsatz könnte alleine Deutschland den Stromverbrauch von Köln einsparen.

Durch den Einsatz von Sauerstoffverzehrkathoden bei der Chloralkali-Elektrolyse sinkt der Energieverbrauch um bis zu 45 Prozent. Die erste Produktionsanlage nimmt noch 2015 in China ihren Betrieb auf.



Chlor ist einer der wichtigsten Grundstoffe der chemischen Industrie: Rund 70 Prozent ihrer Produkte werden auf Reaktionswegen synthetisiert, an denen das stechend riechende Gas bzw. seine Verbindungen direkt oder indirekt beteiligt sind – aus ihnen entstehen unter anderem Polymere wie Polyvinylchlorid (PVC), Polyurethane und Polycarbonate, aber auch Pflanzenschutzmittel, Arzneistoffe, Chemikalien zur Trinkwasseraufbereitung sowie hochreines Silizium für Fotovoltaik- und Elektronik-Anwendungen. Diese überragende Bedeutung verdankt Chlor seiner hohen Reaktivität: Es hat die Fähigkeit, sich mit vielen anderen Stoffen zu verbinden.

Entsprechend groß ist die Nachfrage rund um den Globus und speziell in der deutschen Chemieproduktion: Der weltweite Bedarf beträgt 70 bis 80 Millionen Tonnen pro Jahr, von denen rund 4,3 Millionen Tonnen in Deutschland produziert werden. Rund 95 Prozent des global benötigten Chlors entstehen heute durch Chloralkali-Elektrolyse aus Kochsalz (Natriumchlorid, NaCl). Die Hersteller setzen für die elektrolitischen Prozesse hauptsächlich das Membranverfahren ein, während das Diaphragmaverfahren und das besonders energieaufwendige Quecksilberverfahren (auch Amalgamverfahren genannt) eine geringere Rolle spielen.

Der vergleichsweise geringe Energieeinsatz des Membranverfahrens ist der entscheidende Grund für seine klare Dominanz: Der Prozess benötigt 2.400 Kilowattstunden (kWh) pro ECU – die „Electrochemical Unit“ steht für die Produktion von einer Tonne Chlor, 1,1 Tonnen Natronlauge und 0,028 Tonnen Wasserstoff. Die konkurrierenden Prozesse liegen deutlich darüber: Das Diaphragmaverfahren benötigt 2.600 kWh pro ECU, das Quecksilberverfahren sogar 3.400 kWh pro ECU. Egal, welches Verfahren zum Einsatz kommt: Die Chlorherstellung gehört zu den energieintensivsten chemischen Prozessen überhaupt.

Alle europäischen Chlorhersteller haben sich darum selbst verpflichtet, bis 2017 aus dem überholten Quecksilberverfahren auszusteigen. Dafür und für die bevorzugte Nutzung des Membranverfahrens gibt es inzwischen ein weiteres gewichtiges Argument: Gemeinsam ist es der ThyssenKrupp Electrolysis GmbH, UHDENORA und Bayer MaterialScience gelungen, die herkömmlichen Wasserstoff-erzeugenden Elektroden im klassischen Chloralkali-Elektrolyseverfahren durch Sauerstoffverzehrkathoden (SVK) zu ersetzen. Das reduziert den Energiebedarf deutlich.

Effiziente Elektrolyse

Der neue Prozess gliedert sich in drei Schritte: Zunächst wird in die eine Elektrolysezelle wässrige Kochsalz-Lösung gepumpt. Sie enthält die Chlorid-Ionen, die an der positiv geladenen Elektrode oxidiert werden und so Chlorgas bilden, das aus der Zelle ausgast. Die im Kochsalz ebenfalls vorhandenen Natrium-Ionen wandern durch die Membran, die beide Elektrolysezellen voneinander trennt. An der negativ geladenen Elektrode – der SVK – bilden sich aus Sauerstoff (er stammt aus einer Luftzerlegungsanlage) und Wassermolekülen Hydroxid-Ionen, die sich mit den Natrium-Ionen zu Natronlauge verbinden. Aus den Ausgangsstoffen Kochsalzlösung und Wasser entstehen also mithilfe von Energie und Sauerstoff die gewünschten Produkte Chlor und Natronlauge.

Durch die Umrüstung bestehender Membrananlagen auf die SVK-Technologie ließe sich ihr Energieverbrauch →

INFO

1. Chlorgas entsteht

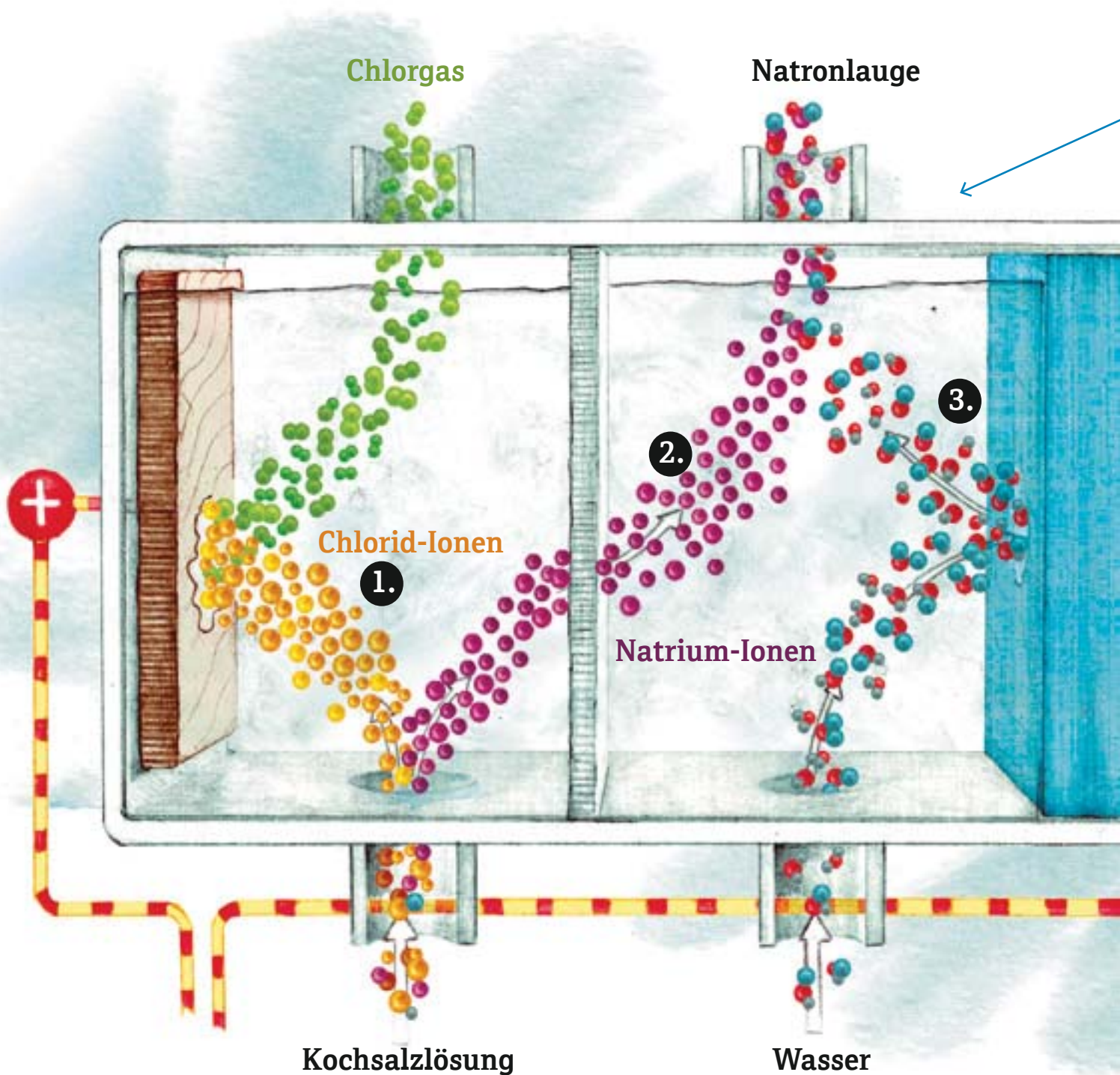
Kochsalz löst sich in Wasser in Chlorid- und Natrium-Ionen auf. In der Elektrolysezelle wandern die negativ geladenen Chlorid-Ionen zur Anode, verbinden sich dort paarweise zu Chlor und treten als Gas aus. Der begehrte Rohstoff ist entstanden.

2. Natronlauge entsteht

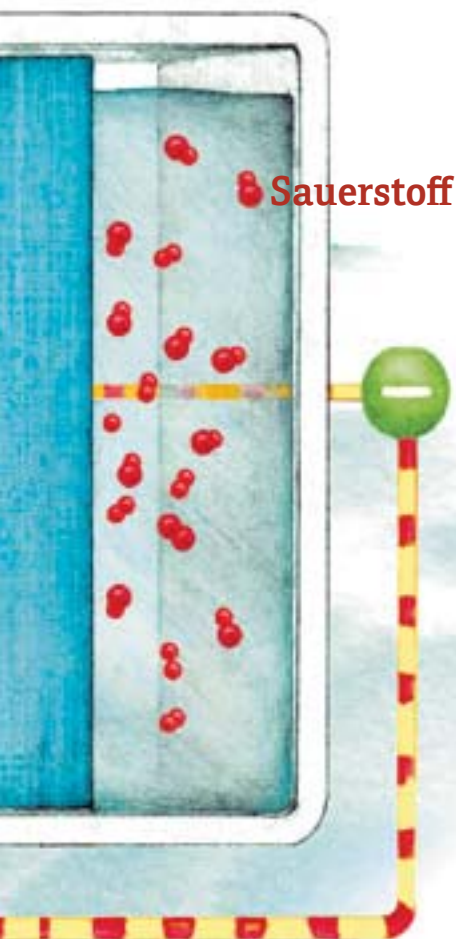
Die positiv geladenen Natrium-Ionen strömen durch die Membran in den rechten Teil und verbinden sich dort mit Hydroxid-Ionen zu Natronlauge (Natriumhydroxid). Auch Natronlauge ist ein wichtiger Grundstoff der chemischen Industrie.

3. Hydroxid-Ionen entstehen

Wasser fließt in den rechten Teil der Zelle und bildet an der Sauerstoff-verzehrkathode gemeinsam mit Sauerstoff negativ geladene Hydroxid-Ionen, die aus je einem Wasserstoff- und einem Sauerstoffatom bestehen. Sie verbinden sich danach mit den Natrium-Ionen.



Sauerstoff-Verzehrskathode



Meilenstein für die Chlorproduktion

Gegenüber bisherigen Standardlösungen spart der SVK-Prozess mindestens 30 Prozent Energie ein, weil die Chlor-entwickelnde Elektrode mit einer Sauerstoff-verzehrenden Kathode kombiniert ist. Die theoretische Differenz zwischen den Elektrodenpotenzialen beträgt nur noch 0,13 Volt, während die praktische Spannung der Zelle bei der technischen Stromdichte von vier Kiloampere pro Quadratmeter (kA/m^2) bei circa zwei Volt liegt. Bei der bisherigen Elektrolyse ist die Differenz der Standardpotenziale von Wasserstoff- und Chlorelektrode hingegen beträchtlich größer (1,36 Volt), was zu einer Zellspannung von drei Volt führt – aus diesem Unterschied von einem Drittel resultiert der geringere Energieverbrauch des neuen Verfahrens. „Damit konnte für die Chlorproduktion nach dem Membranverfahren ein weiterer Meilenstein erreicht werden“, urteilt Prof. Angelika Heinzl vom Institut für Energie- und Umweltverfahrenstechnik der Universität Duisburg-Essen.

Sauerstoffverzehrskathoden sind zwar schon lange aus der Brennstoffzellentechnologie bekannt. Sie können in Chloralkali-Elektrolysezellen aber nicht ohne Weiteres eingesetzt werden, weil sie unter den hier herrschenden physikalischen und chemischen Bedingungen nicht stabil wären. In Brennstoffzellen werden zudem in der Regel Zellgrößen und SVKs verwendet, deren Fläche kleiner als 0,05 Quadratmeter ist.

Für die Chloralkali-Elektrolyse mussten die Forscher ein Zelldesign sowie eine darauf abgestimmte SVK finden, die die Dreiphasenreaktion innerhalb der 0,2 Millimeter dicken Kathodenschicht auf einer Elektrodenfläche von rund drei Quadratmetern ermöglichen. Insbesondere wegen der großen SVK-Fläche, der speziellen chemischen Bedingungen und der besonderen Druckverhältnisse in Chloralkali-Elektrolysezellen mussten zahlreiche Parameter wie Porendurchmesser, Elektrokatalysator, Gasdichtigkeit und Benetzbarkeit mit Natronlauge angepasst werden. Die gesamte Entwicklung erfolgte durch ThyssenKrupp Electrolysis, UHDENORA und Bayer MaterialScience in Kooperation mit weiteren Industrie- und Hochschulpartnern im Rahmen des BMBF-Förderprogramms „Klimazwei“.

→ um 30 Prozent reduzieren – die weltweit mögliche Einsparung beträgt bis zu 35 Millionen Megawattstunden (MWh) pro Jahr bzw. 2,2 Millionen MWh pro Jahr alleine in Deutschland. Im Vergleich zum Diaphragmaverfahren könnte der Energieverbrauch sogar um 45 Prozent sinken, was weltweit 39 Millionen MWh pro Jahr bzw. 0,9 Millionen MWh pro Jahr in Deutschland entspräche. Das größte relative Einsparpotenzial von 50 Prozent besteht beim Quecksilberverfahren: Hier würden sich die globalen Einsparungen auf 17 Millionen MWh pro Jahr bzw. 0,5 Millionen MWh pro Jahr in Deutschland summieren. Alleine in Deutschland ließe sich ein Prozent des gesamten Strombedarfs einsparen, wenn die SVK-Technik flächendeckend eingesetzt würde – das entspricht dem Verbrauch einer Großstadt wie Köln.

Großes Marktpotenzial

Allerdings wäre bei Anlagen auf Basis des Diaphragma- und Quecksilberverfahrens der Neubau der Elektrolyse erforderlich – ein gravierender Kostenfaktor. „Dennoch wollten die Projektpartner eine SVK-Lösung entwickeln, die bei energieintensiven Alttechnologien eine Umrüstung ermöglicht, aber auch als Alternative für aktuelle Chloralkali-Projekte dienen kann“, erklärt Dr. Ulf-Steffen Bäumer, Forschungsleiter bei ThyssenKrupp Electrolysis.

Seit Mai 2011 wird die SVK-Technologie in einer Demonstrationsanlage am Standort Krefeld-Uerdingen von Bayer MaterialScience im industriellen Maßstab erprobt, die jährliche Kapazität beträgt 20.000 Tonnen Chlor. Dieser weltweit erste kommerzielle Elektrolyseur mit SVK lief so erfolgreich, dass die Technologie im Juni 2013 zur Vermarktung freigegeben wurde. Marktstudien zeigen ein großes Anwendungspotenzial: Experten der beteiligten Firmen rechnen mit einem Anstieg des Volumens von 100 Kilotonnen (kt) pro Jahr (2013) auf 2.200 kt im Jahr 2022. „Inzwischen wurde durch UHDENORA die erste Anlage nach China an die BEFAR Group verkauft“, freut sich Bäumer. „Sie soll noch im ersten Halbjahr 2015 in Betrieb gehen und in der letzten Ausbaustufe 100.000 Tonnen Chlor pro Jahr liefern.“

Unter den Eisschichten der Arktis schlummern riesige Öl- und Gasreservoirs. Sie mit heutiger Technik zu bergen, ist jedoch riskant. Entwickler des Projektbereichs „Zivile Meerestechnik“ haben darum in einer Konzeptstudie mit dem norwegischen Öl- und Gasunternehmen Statoil ein Mehrzweck-Unterwasserfahrzeug entworfen, mit dessen Hilfe die Vorkommen sicher, effizient und umweltschonend gefördert werden können.

Exploration unter Eis

TEXT: LENA BULCAK

ILLUSTRATION: NIKO WILKESMANN

Komfort

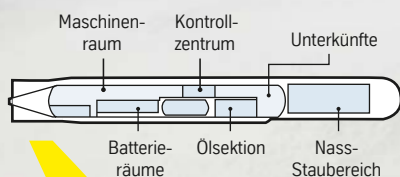
Die 19-köpfige Besatzung lebt zwar unter Wasser, aber ansonsten nahezu auf Kreuzfahrtniveau. Durch das Zwei-Schicht-System hat praktisch jeder eine Doppelkabine für sich. Ein Gemeinschaftsraum lädt zum Fernsehen ein, und auch ein Fitnessbereich samt Sauna ist an Bord.

Unterkunft

Fitnessbereich

Technische Daten

Länge:	99,7 m
Breite:	10 m
Höhe:	9,5 m
Tiefgang (aufgetaucht):	7,7 m
Betriebsgeschw. (aufget.):	10,5 kn
Betriebsgeschw. (unterget.):	6,5 kn
Schiffsvolumen	7000 t
Tauchtiefe:	150 m
Arbeitstiefe:	1500 m
Öl-Bekämpfungsfähigkeit:	2800 m ³
Traglast:	289 t
Dyn. Positioniersystem:	8 Strahlruder
Besatzung	19



Größenvergleich: Airbus A380

Unterwasser-Roboter

seismische Sensoren

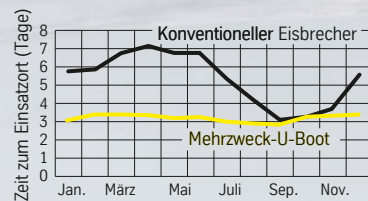
Tiefsee-Kartografie

Das Unterwasserfahrzeug macht selbst dort Untersuchungen des Meeresbodens möglich, wo Eis die Ozeane bedeckt – ohne dass die Eisschicht aufgebrochen werden müsste. Mithilfe seiner Tiefsee-Roboter, Echolote und bis zu 250 seismischen Sensoren können Reservoirs in 4D vermessen werden. So lässt sich aufspüren, wo sich Ölblasen befinden oder wo Lagerstättengestein zu kollabieren droht. Die Ölförderung in der Tiefsee wird damit nicht nur sicherer, sondern auch effizienter.



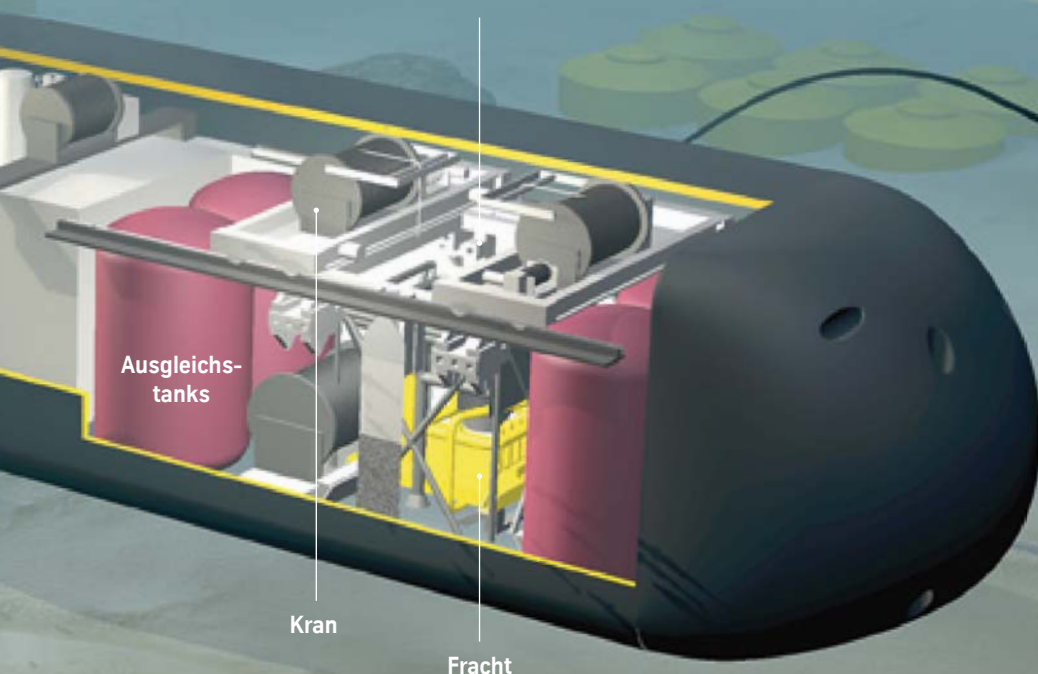
Allwettertauglichkeit

Ob Eis oder starker Seegang: Das Mehrzweck-Unterwasserfahrzeug ist das gesamte Jahr über in allen Wetterlagen einsetzbar. Und während ein konventioneller Eisbrecher für die 780 Seemeilen von Norwegen nach Nordgrönland im April etwa sieben Tage braucht, ist es schon nach drei Tagen vor Ort. Denn ab einer Tiefe von 60 Metern stören weder Wellen noch Eis.



Frachtraum

Zum ersten Mal kann ein Unterwasserfahrzeug mithilfe flexibler Laderaumsysteme Lasten von bis zu 289 Tonnen Gewicht und in der Größe eines Zweifamilienhauses transportieren. Der wasserdurchflutete Frachtraum alleine fasst 145 Tonnen, größere Lasten lassen sich außen anhängen. Ausgleichstanks sorgen für den nötigen Auftrieb, mit dem sich das Unterwasserfahrzeug schwebend ausbalanciert.



Umweltschutz

Auch Ölunfälle ließen sich mit dem Unterwasserfahrzeug wirkungsvoll bekämpfen. Giftige oder entzündliche Gase, die eine Beseitigung von Leckagen von einem Schiff aus um Wochen verzögern, können ihm nichts anhaben. Vor Ort spüren Sensoren undichte Stellen auf, die Tauchroboter mit Spezialgerät schließen. Das Ölbekämpfungstool OCTo saugt ausgetretenes Öl unter Eis wie ein Staubsauger auf.



Unterwasser-Roboter

Einsatzfelder

Potenzielle Einsatzgebiete sind all jene Öl- und Gasfelder, deren Exploration aufgrund rauer oder eisbedeckter See bisher technisch nicht sicher möglich war. Aber auch Meeresbiologen eröffnet die Technik des Unterwasserfahrzeugs neue Erkenntnisquellen.



Installation und Wartung

Um das Öl in der Tiefe sicher fördern und verarbeiten zu können, braucht es eine ganze Fabrik am Meeresboden – bestehend aus Gas-kompressoren, Separatoren mit Kühlern, Leitungen, einer Energieversorgung und einer Vielfalt von Steuerelementen. Das dynamische Positioniersystem balanciert das Unterwasserfahrzeug in 150 Meter Tauchtiefe so exakt aus, dass die Crew das Equipment in 1500 Meter Tiefe millimetergenau platzieren und warten kann – entweder mit dem Kran oder mit einem der zwei unbemannten Tauchroboter.

Näher am Wind

ThyssenKrupp hat ein innovatives Konzept für Windkrafttürme entwickelt: „TetraFlex“ senkt die Kosten über die gesamte Lebensdauer und ist ideal für das Repowering bestehender Anlagen.

TEXT: PETER HAHNE

ILLUSTRATION: JONAS SCHENK



16. Jahrhundert

Auch wenn WINDMÜHLEN möglicherweise im Orient erfunden wurden – die HOLLÄNDISCHEN sind die bekanntesten.

19. Jahrhundert

Das WESTERN-WINDRAD darf in keinem Spielfilm über den Wilden Westen fehlen. Es diente zum Pumpen und zur Stromerzeugung.

20. Jahrhundert

WINDSTROM wird zum wichtigen Energieträger. Weltweit entstehen Windparks mit den bekannten Rundtürmen aus Stahl.



Der Ausbau der Windenergie schreitet zügig voran: Allein im ersten Halbjahr 2014 gingen in Deutschland 650 neue Onshore-Anlagen mit einer Gesamtleistung von 1.700 Megawatt ans Netz, hinzu kamen 30 neue Offshore-Anlagen vor der Küste mit einer Leistung von 108 Megawatt. Das Bundeswirtschaftsministerium beziffert den geplanten jährlichen Zubau mit 2.400 bis 2.600 Megawatt – das entspricht rund 1.000 neuen Anlagen und einem Investitionsvolumen von mehr als einer Milliarde Euro pro Jahr. „Die Windenergiebranche bleibt ein Wachstumsmarkt mit vielen interessanten Ansatzpunkten für den Einsatz von Stahlprodukten“, sagt Adrian Paton, der bei ThyssenKrupp Steel Europe für Stahlkonzepte bei erneuerbaren Energien zuständig ist.

Neben der bloßen Zahl der Anlagen nehmen auch die Größe der Turbinen und die Höhe der Türme zu – denn je weiter die Rotorblätter in den Himmel ragen, umso größer wird die Ausbeute: In luftigen Höhen bläst der Wind nicht nur stärker, sondern auch konstanter. Dadurch steigen die Anzahl der Volllast-Stunden und der Stromertrag deutlich: Neuere Anlagen stoßen in die Drei-Megawatt-Klasse vor, während die derzeit rund 24.000 installierten Windräder im Schnitt weniger als 1,5 Megawatt liefern. Als Faustregel gilt: Jeder zusätzliche Höhenmeter bringt bei sonst gleicher Technik ein Prozent mehr Ertrag.

Höhere Ausbeute, geringere Kosten

Auch beim „Repowering“ zählt jeder Meter Höhe – dabei werden alte Anlagen mit kleiner Leistung durch neue Technik mit höherer Ausbeute ersetzt. Und das ist dringend nötig: Nach einer Untersuchung des Bundesverbandes Windenergie lässt die Rendite alter Anlagen, die bis 2006 ans Netz gingen, vielerorts zu wünschen übrig. Eine Auswertung der Jahresabschlüsse von 175 Windparks zeigt, dass lediglich ein Drittel aller Anlagen profitabel gearbeitet hat. Ein weiteres Drittel hat viel zu geringe Erlöse erwirtschaftet, die nicht einmal die Finanzierungskosten decken konnten. ➔

»Mit der klassischen Turm-Technologie lassen sich noch höhere Anlagen nicht mehr wirtschaftlich betreiben.«

PROF. HOLGER LANGE,
PROFESSOR AN DER HOCHSCHULE
BREMERHAVEN

21. Jahrhundert

Um die Ausbeute zu erhöhen und die Kosten zu senken, setzen Windpark-Betreiber auf innovative Turm-Technologien wie TETRAFLEX.

→ Kein Wunder also, dass das Repowering 2013 bereits ein Viertel des Gesamtmarkts ausmachte. Und auch für die kommenden Jahre rechnen Experten mit einem Anteil von rund einem Drittel. Branchenkenner schätzen in einer Studie der HSH Nordbank, dass Repowering zu einer Verdoppelung der Leistung und einer Verdreifachung der Stromerträge in Deutschland führen könnte – bei gleichzeitiger Halbierung der Anlagenzahl.

Höhere Türme mit größeren Turbinen, bei gleichzeitig günstigen Kosten: Mit diesem Rezept will die Windenergiebranche den Preis für den erneuerbaren Strom in Zukunft weiter senken und ihre Renditen steigern. Unter dem Projektnamen „TetraFlex“ arbeiten Paton und sein Projektteam darum seit zwei Jahren an einem innovativen Konzept für Windkrafttürme aus Stahl, die 120 bis 200 Meter in den Himmel ragen können – heute erreichen die bekannten Rundtürme aus Stahl maximal 120 Meter. „Mit der klassischen Turm-Technologie lassen sich noch höhere Anlagen nicht mehr wirtschaftlich betreiben, weil die exorbitant steigenden Bau-, Logistik- und Wartungskosten den Mehrertrag auffressen würden“, sagt Professor Holger Lange, der sich an der Hochschule Bremerhaven mit der Struktur von Windenergieanlagen beschäftigt.

Bewährte Technologien aus der Öl- und Gasindustrie

Im Mittelpunkt von TetraFlex steht darum eine deutliche Kostensenkung bei der Produktion, beim Transport, beim Aufbau und dem späteren Abbau der Türme – sie tragen immerhin rund ein Viertel zu den Gesamtkosten einer Windkraftanlage bei. „Wir wollen durch TetraFlex die Kosten im Vergleich zu Wettbewerbslösungen senken“, erläutert Paton. „Dazu haben wir neue konstruktive Ansätze und alternative Fertigungsverfahren entwickelt, die in anderen Branchen bereits etabliert sind.“ Ein ambitioniertes Projekt, denn höhere Türme, größere Turbinen und längere Rotorblätter stellen große Anforderungen an die Struktur der Windkraftanlagen.

Bei TetraFlex kommen spiralnahtgeschweißte Rohre – die seit vielen Jahren aus der Öl- und Gasindustrie bekannt sind und nun für die Anforderungen in der Windbranche ertüchtigt und zertifiziert werden – sowie innovative Knotenkonzepte zur Verbindung der Rohre zum Einsatz. Das Windturmkonzept hat eine Reihe von Vorteilen gegenüber alternativen Lösungen: Das Gewicht und somit der Materialeinsatz sind geringer, weil sich durch die Form und Struktur des Turms eine kraftflussoptimierte Bauweise realisieren lässt – er besteht oben aus einem Rundturm, unten aus einer aufgelösten Struktur aus vier Beinen.

Vorteile bei Produktion, Transport, Aufbau und Recycling

„Andere Turmkonzepte benötigen größere Wandstärken und damit mehr Material, um die geforderte Stabilität zu erreichen“, erklärt Paton. „Zudem ist der Verschnitt bei der kontinuierlichen Produktion spiralnahtgeschweißter Rohre aus Coils geringer als bei anderen Fertigungsverfahren.“ Rohre von Stahlcoils können zudem mit sehr hoher Prozessgeschwindigkeit gefertigt werden, und das Produktionsverfahren erlaubt ein einfaches und flexibles Einstellen der Rohr-



120 Meter

HEUTIGE WINDPARKS

Begrenzte Höhe und hohe Kosten senken die Ausbeute. Darum wird Repowering immer wichtiger.

längen. Und schließlich benötigt man weniger Bauteile als etwa bei einem hohen Gitterturm – denn Gittertürme sind aus vielen kleinen L-Profilen und Schrauben zusammengesetzt, TetraFlex hingegen aus wenigen großen Rohren. Das alles spart Kosten, weil sich die Produktion individueller Windkrafttürme für unterschiedliche Höhen standardisieren lässt.

Auch beim Transport kann TetraFlex Vorteile gegenüber anderen Konstruktionen ausspielen. Im Vergleich zu Hybridtürmen aus Beton und Stahl haben TetraFlex-Türme einen erheblichen Gewichtsvorteil: Sie wiegen nur rund ein Drittel dieser Mischkonstruktionen, die mit mehreren teuren Sondertransporten zu ihrem Einsatzort gefahren werden müssen. Beim Aufbau am Einsatzort spart TetraFlex ebenfalls Geld, denn die neuartigen Türme benötigen bis zu 90 Prozent weniger Schraubverbindungen als alternative Konstruktionen – zum Beispiel im Vergleich zur längsorientierten Bauweise aus Stahl. Das beschleunigt die Montage und senkt die Kran- und Personalkosten. Zudem sind die Punktfundamente aus Beton wesentlich kleiner als die massiven Fundamente bei den konkurrierenden Hybridtürmen, die ein deutlich größeres Betonvolumen benötigen.

Auch am Ende ihrer Lebensdauer sparen die neuartigen Türme Geld: Während sich bei TetraFlex die einzelnen Baugruppen an den Schraubverbindungen einfach demontieren und anschließend vollständig recyceln lassen, müssen die einzelnen Betonsegmente von

Beton- und Hybridtürmen geschreddert werden und eignen sich danach bestenfalls noch als minderwertiges Produkt wie etwa Verfüllmaterial im Straßenbau.

Die TetraFlex-Türme sollen künftig vor allem in Schwachwind-Gebieten an Land zum Einsatz kommen, um an diesen Standorten den Energieertrag zu erhöhen. Die Konzeptentwicklung ist inzwischen abgeschlossen, und potenzielle Kooperationspartner aus der Windbranche senden positive Signale: „Die Kunden können die Wirtschaftlichkeit von TetraFlex nachvollziehen“, berichtet Paton. In einem nächsten Schritt soll in Zusammenarbeit mit ihnen ein Prototyp aufgebaut werden. „2016 wollen wir den ersten Turm aufstellen und testen“, so Paton. Mit dem Projekt beabsichtigt ThyssenKrupp Steel Europe, die Wertschöpfungskette im Unternehmen zu verlängern.

»Wir wollen durch TetraFlex die Kosten im Vergleich zu Wettbewerbslösungen senken.«

ADRIAN PATON,
THYSSENKRUPP STEEL EUROPE



157 Meter
KÖLNER DOM

Die Türme des architektonischen Meisterwerkes können gerade noch mit Windrädern konkurrieren.



150 bis 200 Meter
TETRAFLX THYSSENKRUPP

Hohe Flexibilität und geringe Kosten: Das neue Turm-Konzept verbessert die Rendite von Windkraftanlagen.



324 Meter

EIFFELTUM PARIS

Das Wahrzeichen der französischen Hauptstadt überragt bis auf Weiteres selbst die höchsten Windtürme.

Legierungen aus dem Computer

In Bochum hat ein neues Zeitalter der Materialwissenschaft begonnen. Mehr als 80 Forscher entwickeln an der Ruhr-Universität Simulationsverfahren, um neue Werkstoffe künftig im Computer zu entwickeln.

TEXT: HANS SCHÜRMANN

FOTOS: NATALIE BOTHUR

So sieht Materialforschung im 21. Jahrhundert aus: In dem dreistöckigen Gebäude auf dem Campus der Ruhr-Universität Bochum findet man weder ausgedehnte Labore noch komplizierte Apparaturen, in denen Wissenschaftler in weißen Kitteln neue Werkstoffe aus bekannten Zutaten mischen und anschließend auf ihre Eigenschaften untersuchen. Stattdessen sitzen die Forscher an Computerbildschirmen, programmieren Software, analysieren Grafiken und diskutieren über die Ergebnisse ihrer Berechnungen und Simulationen.

Das ICAMS (Interdisciplinary Centre for Advanced Materials Simulation) in Bochum ist eines der ersten Institute in Deutschland, die sich ausschließlich mit der Entwicklung von Simulationsmodellen für die Erforschung von Werkstoffen beschäftigen. Mit ihnen wollen die Wissenschaftler künftig die Eigenschaften und das Verhalten von neuen Materialien voraussagen und so viele aufwendige Experimente überflüssig machen. Ihre chemischen und physikalischen Modelle starten bei der Beschreibung der Bindungen auf atomarer Ebene – und geben damit Auskunft über das Verhalten eines Materials. „Auf der Basis dieser Theorien entwickeln wir Simulationsmodelle, mit denen wir die Eigenschaften von Werkstoffen berechnen können“, erläutert Professor Ralf Drautz, Direktor am ICAMS.

Das hört sich einfach an, ist aber hochkomplex. Denn bei der Berechnung der Materialeigenschaften müssen die Wissenschaftler eine Vielzahl von Variablen berücksichtigen. Mit normalen Computern aus dem Elektronikmarkt ist das nicht

Forscher im Labor:

Statt im weißen Kittel neue Werkstoffe zu mischen, setzt Prof. Ralf Drautz auf einen Großrechner mit 4.500 Prozessor-Kernen.







**»Nur mit atomaren
Berechnungen wird es uns
gelingen, wichtige Effekte
komplexer Werkstoffe zu
verstehen.«**

DR. THOMAS PRETORIUS

Anwender:
Dr. Thomas Pretorius
von ThyssenKrupp
ist davon überzeugt,
dass die Werkstoffent-
wicklung von Simula-
tionsverfahren stark
profitieren wird.

→ möglich – darum benötigen die Bochumer Forscher einen Großrechner für ihre Arbeit, ähnlich wie Meteorologen für die Prognose des Wetters oder Autoentwickler für ihre Crashtests. Durch paralleles Rechnen sind diese Computer in der Lage, in kurzer Zeit riesige Datenmengen zu verarbeiten. Der ICAMS-Clustercomputer „Vulcan“ besteht aus einem Netz von 4.500 Prozessor-Kernen, die alle über ein Hochgeschwindigkeitsnetz miteinander verbunden sind. „Der Großrechner ist unser wichtigstes Werkzeug“, sagt Drautz. „Nur mit ihm ist es uns überhaupt erst möglich, unsere Berechnungen durchzuführen.“

Das Bochumer Simulationszentrum für die Materialwissenschaft besteht seit 2008 und geht auf eine Idee des Initiativkreises Ruhr, des Max-Planck-Instituts für Eisenforschung und des von ThyssenKrupp geleiteten Impulskreises „Werkstoffinnovation“ zurück. Während der Startphase wurde das Zentrum in einem fünfjährigen Anschubprogramm mit 24,2 Millionen Euro gefördert – von einem Industriekonsortium aus ThyssenKrupp, der Salzgitter Mannesmann Forschung, Robert Bosch, Bayer MaterialScience, Bayer Technology Services, Benteler und dem Land Nordrhein-Westfalen. Seit 2013 ist ICAMS ein Institut der Ruhr-Universität Bochum und finanziert sich neben den

Landesmitteln aus Drittmitteln der Industrie und der öffentlichen Hand.

Brückenschlag

Computergestützte Simulationsverfahren sind in vielen Technikbereichen bereits heute weit verbreitet – dennoch lassen sich wesentliche Materialeigenschaften wie Festigkeit, Zähigkeit oder Korrosionsbeständigkeit auch heute noch nicht mit ausreichender Genauigkeit vorhersagen und müssen immer noch in langen und aufwendigen Versuchsreihen bestimmt werden. „Das werden wir ändern“, sagt Drautz.

Das Besondere am Bochumer Institut ist nicht nur die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Ingenieuren, Physikern, Chemikern, Informatikern und Mathematikern – auch die Bündelung wissenschaftlicher Kompetenzen ist einmalig: Professor Drautz und seine zwei Kollegen Professor Ingo Steinbach

und Professor Alexander Hartmaier decken mit ihren Lehrstühlen gleich drei Bereiche der Materialwissenschaft ab. Die Bochumer Forscher setzen bei ihrer Arbeit auf das sogenannte „Scale-Bridging“ – den Brückenschlag von der atomaren über die mesoskopische auf die makroskopische Ebene. „Ingenieure erfassen Werkstoffeigenschaften im Millimeter- bis Meterbereich“, erklärt Drautz. „Ihren Ursprung haben sie aber auf der atomaren Ebene: Sie werden durch die Bindungen der Atome bestimmt, die ungefähr einen zehntel Nanometer voneinander entfernt sind.“

Die ICAMS-Wissenschaftler können durch ihre Berechnungen aus den Verhältnissen im Mikrokosmos auf das makroskopische Verhalten der Materialien schließen. Mit diesem ganzheitlichen Ansatz wollen sie einen Paradigmenwechsel bei der Entwicklung neuer Werkstoffe und im Verständnis von Werkstoffeigenschaften herbeiführen. „Wir wollen dazu beitragen, dass beispielsweise Unternehmen wie ThyssenKrupp Steel Europe bei der Entwicklung von hochfesten Stählen bereits am Computer sehen können, welche Phasen sich ausbilden und wie sie diese verändern können“, erläutert Drautz den Nutzen der neuen Technik.

Dass die Werkstoffentwicklung von den Simulationsverfahren stark profitieren wird, davon ist Dr. Thomas Pretorius überzeugt. Er leitet bei ThyssenKrupp Steel Europe das Team „Werkstoffmodellierung und Simulation“ und ist seit den Anfängen die Kontaktperson zum ICAMS. Pretorius spricht gemeinsame Forschungsprojekte ab und kommuniziert die Forschungsergebnisse innerhalb des Konzerns. „Die atomaren Berechnungen sind zwar eine große Herausforderung – aber nur mit ihnen wird es uns gelingen, wichtige Effekte komplexer Werkstoffe zu verstehen, um diese Erkenntnisse auch in der Makrowelt nutzen zu können“, so Pretorius.

Die Arbeitsgruppe von Professor Steinbach hat dafür die Open-Source-Software „OpenPhase“ entwickelt. Das Programm berechnet komplexe Vorgänge bei der Mikrostrukturbildung während der Phasenumwandlung und stellt die Ergebnisse als Grafiken dar: Auf dem Bildschirm können die Wissenschaftler das Wachstum der Kristallkörner in Form von farbigen Netzstrukturen beobachten und einzelne Phasen sowie

mikrostrukturelle Defekte erkennen. Die Abteilung von Professor Hartmaier nutzt diese berechnete Mikrostruktur, um daraus mit weiteren Simulationen das mechanische Werkstoffverhalten vorherzusagen.

Schnellere Programme

In einem Kooperationsprojekt mit dem ICAMS testet das Team von ThyssenKrupp Steel Europe um Pretorius derzeit, wie sich OpenPhase bei der Beantwortung von Fragestellungen aus der Praxis bewährt. Ein Doktorand aus seinem Team beschäftigt sich mit der Software und meldet den Bochumer Forschern zurück, wie praktikabel der Umgang mit dem Programm ist – dadurch soll es praxisgerecht weiterentwickelt werden. Es gebe bereits kommerzielle Programme, die Ähnliches leisten, sagt der Teamleiter von ThyssenKrupp Steel Europe. Der große Vorteil gegenüber bisherigen Tools sei aber, dass der Programmcode verändert werden kann. „Dadurch lässt sich die Software unseren Bedürfnissen anpassen“, erläutert Pretorius. „Das ist beispielsweise dann wichtig, wenn Parameter, die für eine aktuelle Fragestellung wichtig sind, von den Entwicklern nicht vorgesehen wurden.“

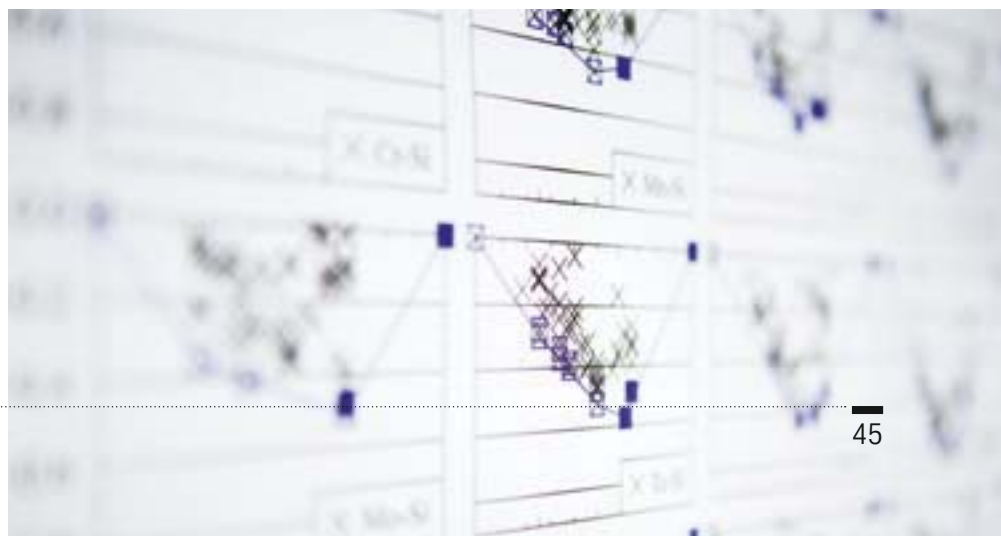
Neben der Evaluierung der Simulationsmodelle beschäftigen sich die ICAMS-Forscher auch mit der Verkür-

zung der Rechenzeiten. „Wir haben zunächst Theorien in Rechenmodelle transformiert, um Vorgänge zu simulieren“, berichtet Drautz. „Bei den Berechnungen zeigte sich dann, dass sie gerade bei Legierungen aus vielen verschiedenen Bestandteilen zu komplex wurden.“ Viele Unternehmen haben keine eigenen Großrechner – und dort, wo es sie gibt, sind die Nutzungszeiten in den Rechenzentren häufig begrenzt: Die Abteilungen dürfen nur eine bestimmte Anzahl an Prozessoren für eine gewisse Zeit nutzen, beispielsweise sechs oder zwölf Stunden. „Damit unsere Software später in der Industrie genutzt werden kann, arbeiten wir jetzt daran, die Effizienz der Programme zu steigern und die Modelle zu vereinfachen, ohne ihre Aussagekraft zu schmälern“, sagt Drautz.

In der Startphase haben sich die Forscher vor allem damit beschäftigt, Simulationsmodelle zu entwickeln. „Jetzt müssen sich diese in der Praxis bewähren“, sagt Drautz. Um die Funktionsfähigkeit der skalenübergreifenden Simulation praxisnah zu überprüfen, führt das ICAMS in Kooperation mit ThyssenKrupp Steel Europe und einem großen deutschen Automobilzulieferer ein Projekt durch, das sich mit der Berechnung der Mikrostruktur- und Eigenschaftsentwicklung von Vergütungsstahl beschäftigt. Dabei werden vor allem die Eigenschaften martensitischer Gefüge – das sind Gitterstrukturen im Stahl, die sich durch eine hohe Härte und Festigkeit auszeichnen – und ihre Veränderung durch Wärmebehandlung simuliert. Die Forscher starten dafür mit atomaren Berechnungen und arbeiten sich schrittweise bis zur Makroebene vor. Die dabei entstehenden hochfesten Stähle werden unter anderem für die Konstruktion von leichteren Autos sowie für die Herstellung von crash- und festigkeitsrelevanten Bauteilen benötigt. ←

Atome auf Partnersuche

Mit ihren Computermodellen berechnen die ICAMS-Forscher die Bildungsenergie zwischen zwei Atomen (blaue Linien). Je kleiner sie ist, desto stabiler ist die Verbindung – was wiederum Aufschlüsse über die Eigenschaften neuer Materialien zulässt, etwa über ihre Festigkeit oder ihre Wärmeleitfähigkeit.





Raum für Innovationen

Schneller und kostengünstiger von der Idee zum Produkt: Das ist das Ziel des neuen „Invention Centers“ auf dem Campus der RWTH Aachen. Dabei spielt die Architektur eine Hauptrolle.

Es soll eine Geburtsstätte für neue Ideen sein: das Invention Center auf dem Campus der RWTH Aachen. Verschiedene betriebswirtschaftliche und ingenieurwissenschaftliche Lehrstühle wollen dort gemeinsam mit Unternehmen daran arbeiten, Innovationen schneller auf den Markt zu bringen und schon in frühen Phasen der Entwicklung die Bedürfnisse des Marktes zu berücksichtigen. Neben RWTH- und Fraunhofer-Forschern beteiligen sich auch bereits rund 25 Unternehmen an dem Projekt, bis Mitte 2015 sollen es mehr als 50 sein. ThyssenKrupp ist neben Daimler, Johnson Controls, 3M und Hilti einer der Premium-Partner des Invention Centers und verspricht sich viel von der neuen Einrichtung: „Im Rahmen des Invention Centers sollen die Entwicklungszeiten um 75 Prozent und die Entwicklungskosten um 90 Prozent gesenkt werden“, sagt Dirk Bartels, Head of Processes, Tools and Standards.

Dazu soll nicht nur der interdisziplinäre Ansatz des Invention Centers beitragen, sondern auch die Architektur des deutschlandweit einmaligen Projektes: Wenn es Ende 2015 seine Räume im neuen Produktionstechnik-Cluster des Campus der RWTH Aachen bezogen hat, steht den Forschern und Ingenieuren auf 1.000 Quadratmetern eine Technikwelt zur Verfügung, die den Innovationsprozess real in der Architektur abbildet. In einem Parcours aus mehreren Räumen können sie alle Phasen des Entwicklungsprozesses durchlaufen – dafür wird es beispielsweise einen „Ideen-

TEXT: CHRISTIAN BUCK



Generierungsraum“ für Kreativ-Sessions geben, der die großen Megatrends unserer Zeit aufzeigt, in dem Ingenieure und Designer ihre Innovationen entwickeln und visualisieren können. In einem anderen Raum können sie sich mit dem konkreten Konzept beschäftigen und darüber diskutieren, wie und mit welchen Technologien es sich am besten umsetzen lässt. Als Inspiration soll dort gezeigt werden, wie andere Branchen an ähnliche Herausforderungen herangehen – eine Einladung zu Analogiebetrachtungen. Weitere Räume sind Konstruktion und Design sowie der Entwicklung von Geschäftsmodellen gewidmet. „Mit jedem Raum nimmt die Idee konkretere Gestalt an“, erklärt Toni Drescher, der das Invention Center leitet. „Dabei sind wir durchaus flexibel: Zahl und Themen der Räume lassen sich individuell an die Projekte anpassen. Im Vordergrund steht die Geschwindigkeit und Effizienz: schneller und kostengünstiger von der Idee zum Produkt.“

Marktperspektive und Geschäftsmodelle immer im Blick

„Die Architektur spiegelt ein neues Entwicklungsverständnis wider“, so Professor Frank Piller, der an der RWTH Aachen den Lehrstuhl für Technologie und Innovationsmanagement innehat. „Wir setzen von Anfang an auf eine interdisziplinäre Zusammenarbeit, bei der immer auch die Marktperspektive und erfolgversprechende Geschäftsmodelle berücksichtigt werden.“ Mögliche Themen sind die Entwicklung komplexer Produkte wie Werkzeugmaschinen, Ver-

packungsanlagen oder Schiffsantriebe. Die Partner können beim Jahrestreffen im September eigene Projekte vorschlagen und wie in der Spielbank „Jetons“ auf ihre Favoriten setzen – eine neue Form, finanzielle Ressourcen zu allokalieren. Neben den Partnern des Invention Centers steht die Einrichtung aber auch anderen Interessenten offen, die sich zeitweise dort einmieten können und auf Wunsch bei ihrer Arbeit von Mitarbeitern der Einrichtung unterstützt werden. Die Initiatoren rechnen damit, dass ein typischer Entwicklungsprozess in ihrem Innovations-Parcours zwischen drei und sechs Wochen dauern wird – dann sollte es einen ersten Prototyp geben. Bei Bedarf unterstützen Experten der RWTH Aachen oder Fraunhofer-Institute die Projekte, etwa durch technische Lösungsvorschläge oder Machbarkeitsstudien innerhalb der Labore und Werkstätten. Geistiges Eigentum an den Ergebnissen von Gemeinschaftsprojekten sollen sich die beteiligten Partner teilen, etwa indem sie die Rechte für die Grundlagenentwicklungen gemeinsam nutzen können und nur die Anwendungen individuell schützen lassen.

Die RWTH Aachen ist der größte Kooperationspartner von ThyssenKrupp unter den deutschen Universitäten. Weltweit arbeiten die Geschäftsbereiche des Konzerns mit weiteren Hochschulen wie der Georgia Tech in Atlanta, USA, der University of Northampton in England, der Universidad de Oviedo in Spanien sowie in China mit der Tsinghua-Universität in Peking und der Tongji-Universität in Shanghai zusammen. ←

Die Initiatoren des Invention Centers (v.l.):

Prof. Dr. Günther Schuh, Prof. Dr. Daniel Wentzel, Prof. Dr. Frank Piller, Prof. Dr. Malte Brettel, Dipl.-Ing. Markus Wellensiek, Toni Drescher und Christian Gülpén.

Software fürs Steuer

Im Budapester Kompetenzzentrum für Elektrik und Elektronik entwickeln Ingenieure von ThyssenKrupp Presta eines der fortschrittlichsten Lenkungssysteme der Welt.

TEXT: CHRISTIAN BUCK

Gefragt nach den wichtigsten Zentren der internationalen Automobilentwicklung würden den meisten Autofahrern wohl Orte wie Stuttgart, München, Wolfsburg oder Detroit einfallen. Auf Budapest kämen wahrscheinlich die wenigsten – völlig zu Unrecht: Denn im elften Bezirk der Hauptstadt entsteht eines der fortschrittlichsten Lenkungssysteme der Welt, das ganz wesentlich zur Fahr-sicherheit und zum Fahrgefühl in vielen Produkten von BMW oder Daimler beiträgt. Hier, ganz in der Nähe der Budapester Universität, unterhält ThyssenKrupp Presta sein Kompetenzzentrum für Elektrik und Elektronik, in dem rund 300 Ingenieure Hard- und Software für die intelligente Lenkung der Zukunft entwickeln. Es ist das größte Entwicklungszentrum für Software und Elektronik im gesamten ThyssenKrupp-Konzern. Längst haben sich Autofahrer an die bequeme Servolenkung gewöhnt, mit der sich Fahrzeuge heute fast ohne Kraftaufwand steuern lassen. Dafür sorgten in den vergangenen rund 60 Jahren vor allem hydraulische Systeme, die den Fahrer mithilfe eines Ölkreislaufs unterstützen. Die Zukunft gehört aber den elektrischen Lenkungssystemen (Electric Power

Steering, EPS), bei denen ein Elektromotor die erforderliche Kraft auf die Vorderräder bringt. „Etwa 80 Prozent aller neuen Fahrzeuge werden 2018 mit EPS ausgestattet sein“, berichtet László Naszádos, Department Manager E/E-Hardware im Budapester Kompetenzzentrum und schon seit 2003 Teil des Teams. „Dadurch können wir den Kraftstoffverbrauch um bis zu 0,3 Liter auf 100 Kilometer verringern, denn der Elektromotor benötigt nur dann Energie, wenn der Fahrer eine Lenkbewegung macht. Im Gegensatz dazu ist die Hydraulikpumpe ständig in Betrieb – selbst wenn sie gerade nicht gebraucht wird.“ Zudem ist die elektrische Lösung umweltfreundlicher, weil sie völlig ohne Öl auskommt. Und schließlich ist EPS auch zuverlässiger und lässt sich einfacher mit neuen Komfortfunktionen wie Einpark-Assistenten kombinieren.

Maßarbeit für alle Kunden

In Budapest entwickeln die Ingenieure alle Komponenten für die intelligenten Lenkungssysteme, bauen EPS-

Teamarbeit: Rund 300 Ingenieure entwickeln in Ungarn die Hard- und Software für die Lenk-systeme der Zukunft.





Vordenker:
László Naszádos ist
Department Manager
E/E-Hardware und
schon seit 2003 Teil des
Teams in Budapest.



Prototypen, simulieren und testen deren Funktion und passen ihre Lösungen penibel den spezifischen Anforderungen ihrer Kunden an – denn jede Marke definiert sich ganz wesentlich über das Lenkverhalten ihrer Modelle. Ein Schwerpunkt liegt hier auf der Software-Entwicklung, denn erst die ausgefeilten Programme der Ingenieure verleihen dem System die nötige Intelligenz. „Ein Computer erfasst die Lenkbewegungen des Fahrers und berechnet, wie sehr der Motor ihn unterstützen muss“, erklärt Naszádos. „Dabei berücksichtigt die Software auch andere Variablen wie die Geschwindigkeit, den Seitenwind und Informationen anderer Computersysteme im Fahrzeug.“ So kommt es, dass das Fahrzeug je nach der aktuellen Situation unterschiedlich auf die Aktionen des Fahrers antwortet – also beispielsweise bei hoher Geschwindigkeit auf der Autobahn weniger sensibel auf Lenkbewegungen reagiert als beim Einparken vor dem Supermarkt.

Rund die Hälfte seiner Rechenzeit verbringt der Computer des Lenkungssystems damit, die Sicherheit des Systems zu überwachen. „Unser Algorithmus enthält dafür verschiedene Diagnosefunktionen,

die die korrekte und sichere Arbeit aller Funktionen überwachen“, sagt Naszádos. „Er wurde hier in Budapest entwickelt und zählt zu den zentralen Innovationen von ThyssenKrupp Presta, weil er das elektromechanische Lenkungssystem erst möglich macht. Er ist eines der wichtigsten Kaufargumente für unsere Kunden.“ Und eines, das offensichtlich überzeugt: Mittlerweile finden sich die Lösungen aus Budapest in mehr als einer Million Fahrzeuge weltweit. Aber natürlich ruhen sich die Entwickler in Ungarn nicht auf ihren Lorbeeren aus: Als nächste große Herausforderung beschäftigen sie sich mit dem autonomen Fahren, bei dem sich das Auto mithilfe von Sensoren wie Radarsystemen und Videokameras ganz ohne Eingriffe des Fahrers durch den Verkehr bewegt – natürlich zuverlässig gesteuert durch ein intelligentes Lenkungssystem aus Budapest.



Mein einmaliges Auto

Chamäleon-Lackierung und Füßler-Antrieb: Kolumnist Peter Glaser träumt von seinem maßgeschneiderten Auto aus der Just-in-Time-Manufaktur.

Wir schreiben das Jahr 2030, und ich freue mich auf mein neues Auto. Heute ist der große Tag: Die Fabrik wird vorbeikommen, um es mir zu bringen. Früher wurden Autos in riesigen Anlagen am Fließband hergestellt – inzwischen ist die Produktion aber derart individuell geworden, dass es nur noch Einzelstücke gibt. Die alten Autowerke haben sich darum in Schwärme kleiner, mobiler Superwerkstätten verwandelt, die jeweils einen einzigen Wagen maßfertigen. Seit sie selbst fahrbar sind, übernehmen die miteinander vernetzten Werkstätten auch Transportaufgaben wie die Teilebeschaffung und die Auslieferung des fertigen Wagens. Ökonomen nennen das „Just-in-time-Manufaktur“.

Dem Anlass entsprechend will ich mir etwas Passendes anziehen. Aber erst einmal gibt es eine längere Diskussion mit meinem Lieblingsjackett, das schlechte Laune hat – alle Alltagsgegenstände haben inzwischen ein raffiniertes technisches Innenleben. So sind auch Textilien hochgradig vernetzt und mit eigener Intelligenz ausgestattet. Kleidungsstücke können nun manchmal schlauer sein als die Leute, die sie tragen.

Vor der Ankunft der autonomen Fabrik unterhalte ich mich per Bildverbindung mit dem Betriebspersonal. Fabrikarbeiter nennen sich nun stolz „Manufaktoren“ und sehen sich als moderne Nachfahren der alten Handwerksmeister. Entscheidende Hilfe bekommen sie dabei von den Robotern, die sie bei ihrer Arbeit unterstützen.

Die maschinellen Helfer können sich je nach Bedarf in kürzester Zeit umkonfigurieren. Jetzt gerade hat der Roboter Menschengestalt angenommen, wie bei der Produktübergabe an Kunden üblich. „Können Sie Herrn Eigenstein sehen?“, fragt er mich grinsend und zeigt hinter sich auf den leeren Platz vor einer Werkzeugwand. Ich weiß, dass da mein neues Auto steht, und grinse zurück.

Wie aus dem Nichts taucht plötzlich die obere Hälfte von Herrn Eigenstein auf. Er ist Chefkonstrukteur und Montageleiter in einer Person und hat gerade die Chamäleon-Lackierung getestet. Ist der Effekt ausgeschaltet, hat der Wagen eine fixe Farbe. Ist er eingeschaltet,

nimmt die Karosserie die Muster und Farben der Umgebung an. Man wird praktisch unsichtbar. Da das auf öffentlichen Straßen zu gefährlich wäre, darf die Chamäleon-Lackierung nur bei Geländefahrten aktiviert werden. Und genau das ist es, was ich geordert habe: den ultimativen Geländewagen.

Gerührt bedanke ich mich bei den beiden Autobauern. Der Roboter macht eine wegwerfende Geste und scheppert: „War doch nur eine Kleinigkeit.“ Herr Eigenstein blickt seinen Roboterkollegen mit einem zusammengekniffenen Auge an. „Er muss nicht essen, nicht schlafen, und er braucht sich nicht zu rasieren“, lobt er. „Aber trotzdem habe ich es mit ihm nicht immer leicht.“ Kein Wunder: Ingenieure haben herausgefunden, dass man Robotern einen gewissen Eigensinn zugestehen muss – sonst entwickeln sie nicht die höchsten Formen der Maschinenintelligenz. Ohne menschliche Launen können sie ihre volle Leistungsfähigkeit nicht erreichen.

„Hören Sie nicht auf ihn!“, knurrt der Roboter und schiebt Herrn Eigenstein mit einem seiner Greifarme ein Stück weg. Die beiden beginnen sich zu zanken, und ich sehe, wie der Roboter genervt die Augen verdreht und „Oh Mann!“ stöhnt. Mein Jackett gibt mir ein Signal, dass es dazu auch gerne etwas sagen würde. Aber ich schalte es stumm – obwohl ich weiß, dass ich mir dafür später Vorwürfe anhören muss.

Zum Glück hält gerade die Fabrik vor dem Haus, und ich werde in den Werkstatttraum eingelassen. Mein neues Auto steht nun sichtbar vor mir – mit montierten Füßlern, wie ich es mir gewünscht habe. Diese biomechanischen Fortbewegungshilfen sehen wie kleine Füße aus, und jeweils ein Dutzend davon ersetzt einen Reifen. Echte Maßarbeit: Die Füßler wurden speziell für mich entwickelt.

In den Simulationen während der Bestellung hat mich das Auto immer an einen Tausendfüßler erinnert. Da die Füßler ungleich flexibler sind als herkömmliche Reifen, eignen sie sich hervorragend im Gelände. Das will ich jetzt gleich ausprobieren: Ich lasse Mensch und Roboter weiter diskutieren und watschle mit meinem neuen Gefährt davon. ◀

Peter Glaser

ist Autor und Journalist.

Er schreibt unter anderem

für die „Neue Zürcher Zeitung“

und die „Technology Review“.

2002 gewann er den Ingeborg-Bachmann-Preis.





Umfassende Einführung

Warum ist Industrie 4.0 wichtig für Deutschland? Auf welchen Feldern besteht der größte Handlungsbedarf? Und wie sehen sinnvolle Use Cases für Industrie 4.0 aus? Die Umsetzungsempfehlungen der Forschungsunion Wirtschaft und Wissenschaft sowie der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften bieten eine umfassende Einführung in alle Facetten des Themas.

UMSETZUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DAS ZUKUNFTSPROJEKT INDUSTRIE 4.0

<http://tinyurl.com/techforum1>



Milliardenschwere Investitionen

In den kommenden fünf Jahren wird mehr als die Hälfte der Ausrüstungsinvestitionen deutscher Industrieunternehmen in Industrie-4.0-Lösungen fließen – so das Ergebnis einer TNS-Emnid-Umfrage unter 235 deutschen Industrieunternehmen. Das entspricht bis 2020 jährlichen Investitionen von rund 40 Milliarden Euro. Wie Industrie 4.0 die Unternehmen transformiert und welche Auswirkungen dieser Prozess auf die Wertschöpfungsketten haben wird, beschreibt die Studie „Industrie 4.0: Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution“ von PwC und Strategy&.

INDUSTRIE 4.0: CHANCEN UND HERAUSFORDERUNGEN DER VIERTEN INDUSTRIELLEN REVOLUTION

<http://tinyurl.com/techforum2>



Britischer Blickwinkel

Auch in Großbritannien machen sich Experten Gedanken über die Zukunft der Fertigung. Ihre Vision für die Fabriken und die Industrie der Zukunft haben sie in einem umfangreichen Bericht für die britische Regierung entwickelt. Er bietet eine interessante Ergänzung zur deutschen Diskussion über das Zukunftsthema Industrie 4.0.

THE FUTURE OF MANUFACTURING

<http://tinyurl.com/techforum3>



Amerikanische Perspektive

Die USA sind weltweit führend bei Netzwerktechnologien – kein Wunder also, dass Experten dort bei der Diskussion um die Zukunft der Produktion großen Wert auf den industriellen Einsatz des Internets legen. Welche Potenziale sich durch die Kombination aus dem Internet der Dinge und Big-Data-Analysen ergeben, haben General Electric und die Unternehmensberatung Accenture in einer gemeinsamen Studie untersucht.

INDUSTRIAL INTERNET INSIGHTS REPORT

<http://tinyurl.com/techforum4>

IMPRESSUM

HERAUSGEBER:

ThyssenKrupp AG,
Corporate Function
Communications,
ThyssenKrupp Allee 1,
45143 Essen

VERANTWORTLICH:

Bernd Overmaat (V.i.S.d.P.),
contact.techforum@thyssenkrupp.com
thyssenkrupp.com

COPYRIGHT:

© ThyssenKrupp AG 2015

Für Nachdruck ist die Einwilligung des Herausgebers erforderlich. ThyssenKrupp **techforum** wird über eine Adressdatei versandt, die mithilfe der automatisierten Datenverarbeitung geführt wird. Informationen zu ThyssenKrupp finden Sie auch im Internet unter www.thyssenkrupp.com. Eine digitale Version des ThyssenKrupp **techforum** finden Sie unter www.thyssenkrupp.com/techforum

REALISATION:

Axel Springer SE
Corporate Solutions

PROJEKTLEITUNG:

Christopher Brott

REDAKTIONSLEITUNG:

Christian Buck

ART-DIREKTION:

Christian Hruschka &
Stefan Semrau (twotype design)

BILDREDAKTION:

Bianca Classen

DRUCK:

Neef & Stumme
premium printing GmbH & Co. KG
Schillerstraße 2
29378 Wittingen

ISSN:

1612-2763

BILDNACHWEISE

THYSSENKRUPP:

S. 4–5, 14, 22–34, 48–49,

BIANCA CLASSEN:

(Illustration) S. 3, 21, 34, 50.

BMW-GROUP:

S. 30.

NATALIE BOTHUR:

S. 42–45.

DVI:

S. 7.

ESLAGE & VOSS:

S. 7.

FOTOLIA:

S. 46–47.

GETTY IMAGES:

S. 1, 6, 8, 11, 13, 14, 16, 19, 20, 30.

SARAH RUBENS DÖRFFER:

S. 52.

JONAS SCHENK:

(Illustration) S. 5, 38–41.

GÖTZ SCHLESER:

S. 4–5, 8–15, 16–17.

TESLA MOTORS:

S. 30.

NIKO WILKESMANN:

(Infografik) S. 36–37.





»Mehr Effizienz und bessere Lösungen – das verspreche ich mir vom ‚Single Point of Truth‘: Alle Beteiligten greifen auf eindeutige Produkt- und Prozessdaten aus einer einzigen Quelle zu.«

Die Beschäftigung mit Industrie 4.0 ist für **Dr. Matthias Hartmann** immer wieder Anlass, bestehende Produkte und Prozesse zu hinterfragen. Den Vice President Technology & Innovation bei ThyssenKrupp System-Engineering fasziniert dabei, dass dank der steigenden Rechenleistung heute Dinge möglich sind, von denen die Ingenieure früher nur träumen konnten – etwa dass der Monteur in der Werkhalle mit dem Tablet-PC direkt auf Planungsdaten einer Montageanlage zugreifen kann. **Seite 8.**