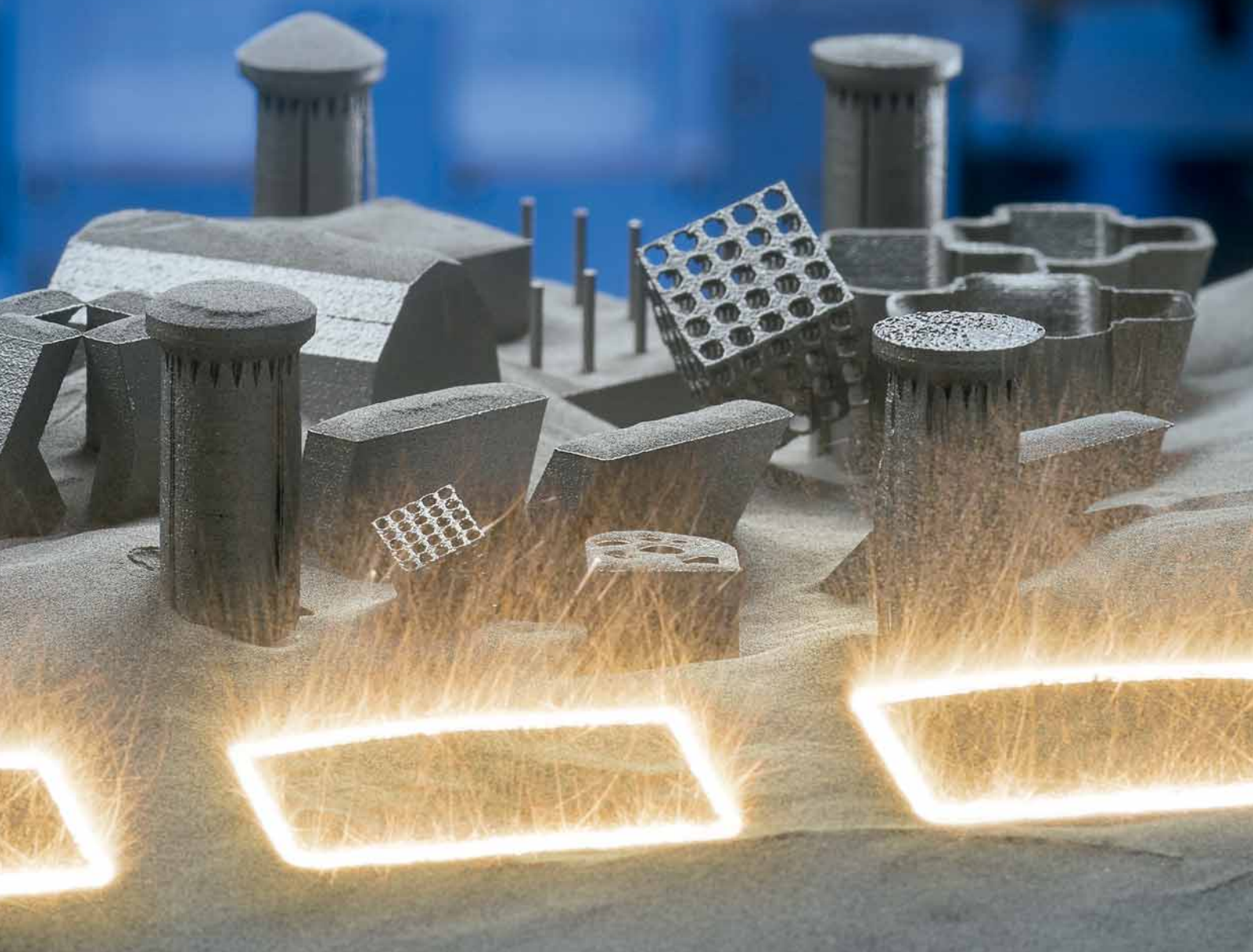


# Pictures of the Future

Die Zeitschrift für Forschung und Innovation | Frühjahr 2013



Lösungen  
für die Welt  
von morgen

Zukunft der  
Fertigung

Wie digitale, virtuelle und  
reale Welten verschmelzen

Maximierte  
Effizienz

Ressourcen aller Art lassen  
sich deutlich besser nutzen

Mobilität von  
morgen

Straße, Schiene, Luft und  
Wasser: Effizienz ist Trumpf



**Dr. Wolfgang Heuring**  
leitet die Konzernforschung  
von Siemens.

## Individuelle Kundenwünsche erfüllen und effizienter fertigen – beides ist gleichzeitig machbar

**Vor genau 100 Jahren** – 1913 – führte Henry Ford für die Produktion seines T-Modells die Fließbandfertigung ein. So senkte er den Preis für die „Tin Lizzy“ um fast 60 Prozent und legte die Basis für die Massenproduktion von Automobilen. Doch zugleich beendete Ford damit, was seit Jahrtausenden galt: Wann immer Menschen etwas geschaffen hatten – ob Töpfe, Möbel oder Kleidungsstücke –, waren es Unikate gewesen, geprägt vom Können des Handwerkers oder Künstlers. Mit der 15-millionen-fachen Fertigung des T-Modells war das vorbei: Die Produkte wurden austauschbar, und Henry Ford selbst schrieb in seinen Lebenserinnerungen im Kapitel „Das Geheimnis der Produktion“ den oft zitierten Satz: „Jeder Kunde kann seinen Wagen beliebig anstreichen lassen, wenn dieser nur schwarz ist.“ Und tatsächlich: Die meisten der von Ford produzierten Wagen gab es damals nur in Schwarz.

Diese Einschränkungen gelten im heutigen Zeitalter der automatisierten Massenfertigung längst nicht mehr: Fasst man alle Farben und Sonderausstattungen zusammen, kann ein Kunde bei vielen Automodellen unter Millionen Varianten wählen. Und dennoch: Es gibt nach wie vor einen fast unlösbar scheinenden Widerspruch zwischen Produktivität und Flexibilität. Will man möglichst flexibel auf die individuellen Wünsche der Kunden eingehen, so scheint das mit einer zugleich extrem effizienten, kostengünstigen

Fertigung kaum vereinbar. Wie wird die Zukunft der Fertigung aussehen? Dies ist das übergreifende Thema eines der Schwerpunkte in dieser Ausgabe von *Pictures of the Future* (S.10-43). Denn wir stehen heute vor einem erneuten Umbruch bei der Herstellung von Produkten – in Deutschland ist diese Entwicklung mit der Initiative „Industrie 4.0“ (S.19) verbunden, in anderen Ländern wird oft der Begriff Advanced Manufacturing verwendet. Darunter versteht man die nächste Generation von Produktionsprozessen, die auf einer intelligenten Kombination aus Software, Sensor-, Prozessor- und Kommunikationstechnik zur Verbindung der digitalen, virtuellen und realen Welten der Fertigung basieren.

Das Ziel ist die durchgehende informationstechnische Verknüpfung der Wertschöpfungskette von Design und Produktentwicklung bis hin zur eigentlichen Produktion, der Wartung und dem Service. Siemens mit seiner führenden Stellung in der Automatisierungstechnik, aber auch in den nötigen Software-Lösungen – etwa fürs Product Lifecycle Management –, wird ein wesentlicher Wegbereiter dieser flexiblen Produktionsprozesse sein. Etliche Projekte, unter anderem mit Herstellern wie Ford (S.18), zeigen bereits erhebliche Effizienzgewinne. Kosten, Ressourcen- und Energieverbrauch sinken – bei zugleich steigender Qualität. Und die Entwicklung geht noch weiter: Sie reicht von Fahrzeugen, die in weltweiter „Co-Creation“ durch Tausende von Enthusiasten entstanden sind (S.15), bis zum Additive Manufacturing (S.31). Siemens-Forscher verbinden damit per Laser Metallpulver zu hochkomplexen Werkstücken – direkt gesteuert aus Computerdaten. Ideal etwa für die Fertigung von Ersatzteilen vor Ort, on demand sozusagen.

Insgesamt zieht sich das Thema Effizienz wie ein roter Faden durch diese Ausgabe von *Pictures of the Future*. Neben der Fertigung geht es im Schwerpunkt „Maximierte Effizienz“ (S.46-75) auch darum, wie Kraftwerke durch Modernisierung ihre Stromausbeute steigern und wie Stromnetze und Städte insgesamt nachhaltiger gestaltet werden können. Und auch der Schwerpunkt „Mobilität von morgen“ (S.80-113) lenkt den Blick auf die Effizienz von Transportsystemen zu Wasser, zu Lande und in der Luft: von elektrisch angetriebenen Bussen und Schiffen bis hin zur Frage, wie sich durch neue Verkehrssysteme oder intelligente Telematikdienste die Mobilität in den Städten verbessern lässt. Denn auch das beste, individuell gefertigte Fahrzeug nützt wenig, wenn man damit nur steht statt fährt.

**Titelseite:** Ein computergesteuerter Laser schmilzt Metallpulver und verbindet dadurch die feinen Partikel zu neuen Bauteilen. Dieses Additive Manufacturing wird nun für Industrieanwendungen interessant – etwa um Ersatzteile vor Ort zu fertigen, schnell, kostengünstig und „on demand“ (S.31).



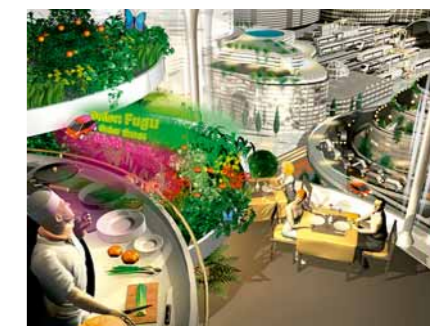
### Zukunft der Fertigung

- 10 **Szenario 2060**  
Wirtschaft unter der Erde
- 12 **Trends**  
Fabrik im Umbruch
- 15 **Neue Produktionsprozesse**  
Software verbindet
- 16 **Interview John Rogers**  
Die Explosion der Produktvielfalt
- 19 **Industrie 4.0**  
Virtuelle Welt und reale Fertigung
- 22 **Akquisitionen**  
Software ist der Schlüssel
- 23 **Interview Prof. Dr. Michael Zäh**  
Der Kollege Roboter ist unsere Vision
- 24 **Interview Prof. Dr. Dieter Spath**  
Neue Formen flexiblen Arbeitens
- 24 **Fabrikarbeit der Zukunft**  
Arbeitsplatz nach Maß
- 26 **Weißer Riesen produzieren**  
Rückenwind für Windkraftanlagen
- 28 **Neue Werkstoffe**  
Gemischte Verbindung
- 31 **Additive Manufacturing**  
Ersatzteile aus der Laserkammer
- 34 **Service der Zukunft**  
Besserer Service gefällig?
- 35 **Sichere und effiziente IT**  
Riegel im Rechner
- 36 **Fakten und Prognosen**  
Die Renaissance der Fertigung
- 38 **Biomining**  
Die kleinsten Kumpels der Welt
- 39 **Neue Recyclingverfahren**  
Kreislauf statt Mülldeponie
- 42 **Mehr Milch für Indien**  
Indiens goldene Kühe



### Maximierte Effizienz

- 46 **Szenario 2040**  
Der Effizienz-Guru
- 48 **Trends**  
Tor zur Nachhaltigkeit
- 51 **Gasturbinen**  
Auf den Punkt entwickelt
- 52 **Kraftwerksmodernisierung**  
Marathonläufer mit Sprinterqualitäten
- 54 **Lastabwurf fürs Stromnetz**  
Balance statt Blackout
- 56 **Türkei und Windkraft**  
Frischer Wind aus Kleinasien
- 58 **Fakten und Prognosen**  
Effizienz: Noch viel Luft nach oben
- 60 **Kraftwerke in Asien**  
Asien gibt Gas
- 62 **HGÜ-Fernleitungen in Indien**  
Gleichstrom bringt Licht ins Dunkel
- 63 **Start-up-Unternehmen Arelion**  
Software vom „Silicon Hill“
- 65 **Wettbewerb Solardecathlon**  
Licht, Luft, Laune
- 66 **Ressourceneinsatz optimieren**  
Wertvolle Ressourcen effizienter nutzen
- 68 **Effiziente Autofertigung**  
Da geht noch was
- 70 **Elektronische Auktionen**  
Drei, zwei, eins...meins!
- 71 **Städte und ihr CO<sub>2</sub>-Fußabdruck**  
Von Hundert auf Null
- 73 **Interview Bürgermeister Parks Tau**  
Vision eines lebenswerten Johannesburgs
- 74 **Neue Steuerung von U-Bahnen**  
Mehr Platz im Flaschenhals



### Mobilität von morgen

- 80 **Szenario 2050**  
Wettlauf mit der Zeit
- 82 **Trends**  
Wandern zwischen den Welten
- 85 **150 Jahre U-Bahn London**  
Eine Zeitreise durch den Untergrund
- 86 **Interview Isabel Dedring**  
Effizienter wirtschaften in klammen Zeiten
- 87 **Warenfluss und Warenzentren**  
Drehkreuze für Megacities
- 88 **Bahnverkehr intelligent steuern**  
Mit Blick zum Optimum
- 90 **Flughäfen besser managen**  
Luft und Land in einer Hand
- 92 **Fakten und Prognosen**  
Die Grenzen der grenzenlosen Mobilität
- 94 **Istanbul**  
Gegen das Chaos auf zwei Kontinenten
- 94 **Interview Mehmet Cahit Turhan**  
Nur neue Straßen genügen nicht
- 97 **Dominikanische Republik**  
Metro zwischen den Meeren
- 98 **Bangkok und Kuala Lumpur**  
Nahverkehr gegen Dauerstau
- 100 **Interview R. Chase, H. Dalkmann**  
Durch Teilen Ressourcen besser nutzen
- 102 **Elektronisches Ticket**  
Smartere Reisen
- 104 **Neue Telematiksysteme im Test**  
Der perfekte Beifahrer
- 106 **Elektromobilität**  
Österreich steht unter Strom
- 108 **Elektrische Antriebe**  
Mehr Kilowatt je Kilogramm
- 110 **Elektrofähren**  
Schwimmende Stromer
- 112 **Containerschiffe**  
Giganten der Meere

### Rubriken

- 4 **In aller Kürze**  
Neues aus den Siemens-Labors
- 6 **Forschungsstadt Skolkovo**  
Russlands Silicon Valley
- 7 **Bolschoi im neuen Gewand**  
Großes Theater
- 8 **Neue Teilchenbeschleuniger**  
Surfen auf der Mikrowelle
- 44 **„Öldorado“ Katar**  
Wüstenperle mit Gewissen
- 76 **Alzheimer-Forschung Kolumbien**  
Das Dorf des Vergessens
- 114 **Feedback**
- 115 **Vorschau**



Spezialschiff der Superlative: Die Sea Installer errichtet erstmals vor der britischen Küste Windturbinen.

## Koloss auf Stelzen

Vor der britischen Küste kam Anfang Januar 2013 erstmals das neue Offshore-Installationsschiff Sea Installer zum Einsatz. Das Schiff ist eine Spezialanfertigung der Superlative: 132 Meter lang und 39 Meter breit kann es unabhängig vom Wasserstand und Untergrund bei Wassertiefen bis zu 45 Meter arbeiten und dabei bis zu zehn Windturbinen gleichzeitig transportieren. Siemens Industry hat die Sea Installer zudem mit einem dieselelektrischen Antriebssystem ausgestattet, das Treibstoff spart und Emissionen reduziert. Um in stabiler Lage Windturbinen zu errichten, richtet sich das Schiff mit über 80 Meter langen Stelzen auf dem Meeresboden auf. Der Hauptkran an Bord kann mehr als 800 Tonnen heben. Gleich beim ersten Einsatz des Montageschiffs wurden zwei Siemens-Windturbinen der Sechs-Megawatt-Klasse im Offshore-Windpark Gunfleet Sands III vor der Küste von Essex installiert. Dank der neuen Technologie konnten die Ingenieure die beiden Windräder in einer Rekordzeit von unter 24 Stunden aufbauen. DONG Energy hat für Gunfleet Sands III bereits 300 der neuen getriebelosen Sechs-Megawatt-Turbinen bestellt. Im Demonstrationsprojekt bei Gunfleet Sands werden jetzt die beiden 6-MW-Maschinen auf Herz und Nieren getestet. Die Serienproduktion soll 2014 starten.

Die Sea Installer wurde in einer Werft im chinesischen Nantong gebaut und im dänischen Esbjerg beladen. An der Herstellerfirma A2SEA ist Siemens mit 49 Prozent und DONG Energy mit 51 Prozent beteiligt. Im Offshore-Bereich werden immer größere Rotoren und leistungsstärkere Turbinen installiert.

Der Hintergrund: Die Windenergie muss günstiger werden. Damit dies gelingt, werden Fertigung, Installation und Betrieb möglichst effizient gestaltet (S.26). Dabei hilft auch der Sea Installer. Das Schiff wurde speziell für die Installation großer Offshore-Windanlagen in tiefen Gewässern gebaut.



## Materialforschung für CO<sub>2</sub>-arme Energien

Die europaweite Energy Materials Industrial Research Initiative (EMIRI) widmet sich der Erforschung von Materialien für CO<sub>2</sub>-arme Energielösungen. Siemens ist über seine globale Forschung, Corporate Technology (CT), als Mitbegründer unter den fast 40 Mitgliedern vertreten. EMIRI ist eine von der europäischen Industrie getragene Initiative mit dem Ziel, Fähigkeiten und Expertise von Forschung und Industrie in Europa stärker zu bündeln und die



Neue Materialien: wichtig auch bei Rotorblättern

Umsetzung von Forschungsergebnissen in die industrielle Anwendung gezielt voranzutreiben. „Die Initiative soll dazu beitragen, das Bewusstsein bei der Europäischen Kommission und den Mitgliedstaaten für die Relevanz der Materialforschung für zukunftsfähige, klimaschonende Energieanwendungen weiter zu schärfen“, sagt Dr. Ulrich Bast vom Technologiefeld Materials bei Corporate Technology. Ziel der Forscher von Siemens ist es, die Weiterentwicklung von Material-Querschnittstechnologien mit Relevanz für mehrere Geschäftsbereiche des Unternehmens zu unterstützen und zu sichern. So überspannen die Themen von EMIRI das gesamte Feld von CO<sub>2</sub>-armer Stromproduktion über Energiespeicherung und -transport bis zu Energieeinsparungen beim Verbrauch.



## Fit bis unter die Krone

Lady Liberty thront seit dem Jahr 1886 auf Liberty Island vor New York City und begrüßt seitdem Besucher und Einwanderer aus aller Welt. Doch das Monument ist etwas in die Jahre gekommen. Anlässlich ihres 125. Geburtstags wurde die Freiheitsstatue daher für 27 Millionen Dollar saniert. Auch der 30 Jahre alte Notfallaufzug wurde fit für das 21. Jahrhundert gemacht. Bei der Modernisierung der Anlage half eine Software-Lösung von Siemens: Mit dem sogenannten TIA Portal konnte das Unternehmen Tower Elevator Systems Inc. energieeffiziente Automatisierungssysteme im Aufzug planen und umsetzen. Tower Elevator Systems Inc. konnte dabei auf den bereits bestehenden Software-Code für Aufzüge zurückgreifen und diesen für die Freiheitsstatue anpassen. Der neue Aufzug ist nicht für die Öffentlichkeit gedacht, sondern für Service- und Rettungspersonal. Feuerwehrleute oder Ärzte sollen



Frisch gemacht: Lady Liberty wurde renoviert – auch mit Hilfe von Siemens.

damit im Notfall schnell bis unter die Krone der Statue gelangen können. Bei dem Lift handelt es sich um einen maßgeschneiderten Aufzug, der weltweit einzigartig ist. Die integrierten Sicherheitsfeatures sorgen dafür, dass der Aufzug in jedem erdenklichen Notfall zuverlässig läuft – und nun wieder fit ist, für mehr als vier Millionen Besucher im Jahr.

## Unterwasser-Kraftwerke: die nächste Generation

Seit 2008 produziert das im nordirischen Strangford Lough errichtete Gezeitenströmungskraftwerk SeaGen mit einer Gesamtleistung von 1,2 Megawatt (MW) Strom für 1.500 Haushalte (Pictures of the Future, Frühjahr 2011, S.29). Ein neues Modell wird durch eine optimierte Konstruktion künftig noch mehr Leistung bei geringeren Kosten liefern. Fünf dieser Turbinen mit jeweils zwei MW Leistung sollen für ein Kraftwerk vor der Nordwestküste von Wales im Jahr 2015 in Betrieb gehen und rund 10.000 Haushalte mit grünem Strom versorgen. Die auffälligste Änderung: Die Rotoren sind mit 20 Metern Durchmesser 25 Prozent länger als bisher, und pro Turbine werden wie bei Windrädern drei statt zwei Rotorblätter eingesetzt. Der Vorteil: eine bessere Verteilung des Strömungsdrucks, wodurch der Verschleiß sinkt und die Lebensdauer der Anlage steigt. Bis 2020 rechnen die Fachleute mit jährlich zweistelligen Zuwachsraten für dieses Segment. Schätzungen zufolge liegt das weltweite Potenzial für die Stromerzeugung mithilfe von Gezeitenkraftwerken bei 800 Terawattstunden jährlich. Dies entspricht drei bis vier Prozent des weltweiten Stromverbrauchs.



Rotoren im Meer: wie ein Windrad unter Wasser

## Effizientere Fertigung großformatiger Batterien

In Zukunft wird ein steigender Bedarf für große Lithium-Ionen-Batterien als Energiespeicher – speziell für die Elektromobilität – erwartet. Mit Automatisierungslösungen von Siemens können Batteriehersteller ihre Kosten senken und die Produktivität steigern. Siemens kombiniert dazu seine Expertise in der Energiespeicherfertigung mit seinem technologischen Know-how in der Automatisierungs- und Steuerungstechnik. Zusammen mit dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) will Siemens die Prozesse für die Batteriehersteller künftig weiterentwickeln. Das KIT und Siemens vereinbarten in einem kürzlich geschlossenen Kooperationsvertrag, an einem übergreifenden Konzept für eine durchgängige Fertigungssteuerung und -überwachung des gesamten Maschinenparks einer Batteriefabrik zu arbeiten. Es soll eine übergeordnete Steuerung entstehen, mit der alle Prozesse von einem zentralen Computer aus online überwacht werden können. Noch im Jahr 2013 wird die Steuerung in die ersten Lithium-Ionen-Zellfertigungsanlagen des KIT integriert, um die Vorteile in puncto Produktivität und Kostensenkung zeigen zu können.



Wichtig für Elektroautos: Lithium-Ionen-Batterien

**Russlands Antwort aufs Silicon Valley** heißt Skolkovo. In der Nähe von Moskau entsteht auf einem 380 Hektar großen Gelände zur Zeit das „Skolkovo Innovation Center“ – unterstützt von der Regierung mit rund drei Milliarden Euro (*Pictures of the Future*, Frühjahr 2011, S.74). Russische Wissenschaftler genießen einen exzellenten Ruf, etwa in Mathematik und Physik. In Skolkovo sollen sie mit internationalen Kollegen an Informations- und Biotechnologien, Energieeffizienz, Medizin- und Nukleartechnik sowie Raumfahrt forschen. Ausländische Firmen und Start-ups, die bis zu zehn Jahre von der Steuer befreit werden, sollen die neuen Erkenntnisse schnell in Produkte und Dienstleistungen umsetzen. Die Skolkovo-Stiftung unter Leitung von Viktor Vekselberg kofinanziert zudem einzelne

wohl erst 2015 fertiggestellt sein. Doch bereits im September 2012 wurde als Wahrzeichen der „Hypercube“ (Bild unten) feierlich eröffnet: ein würfelförmiges futuristisches Gebäude des Architekten Boris Bernaskoni, das neben einem Konferenzzentrum Start-ups und Büros von Partnerfirmen wie Siemens, IBM und Cisco beherbergt.

Das Gebäude setzt auf umweltfreundliche Technik: Solarzellen erzeugen einen Teil des Stroms, und das Wasser wird vom Regen und aus einem artesischen Brunnen geliefert. Die Heizenergie stammt teils aus einer Fernwärmeleitung und teils aus 13 Bohrungen, wo Wärmepumpen Erdwärme nach oben fördern. Große Fenster und Lichtleiter sorgen dafür, dass die künstliche Beleuchtung minimiert werden kann – für Russland

Wenn die ökologische Modellstadt fertig ist, werden Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor keinen Zugang haben. Bewohner und Besucher sollen sich zu Fuß, per Fahrrad oder in Elektromobilen bewegen. Letztere werden – wie auch der Hypercube, der die modernsten Stromverteilungslösungen von Siemens enthält – Teil des ersten Smart Grids in Russland sein. „Siemens hat ein Konzept für das intelligente Stromnetz präsentiert und will es in den kommenden Jahren aufbauen“, sagt Averianov. „Dazu gehört das komplette Energienetz von der Hoch- über die Mittel- bis zur Niederspannung aus einer Hand.“

Ab Ende 2013 sollen zwei Siemens-Umspannstationen mit je 63 Megawatt Leistung sicherstellen, dass künftig alle Einwohner und Unternehmen zuverlässig mit Strom versorgt



## Leuchtturm der Forschung

**In der Forschungsstadt Skolkovo nahe Moskau will Siemens in einem eigenen Forschungs- und Entwicklungszentrum nicht nur neue Technologien entwickeln, sondern auch mithelfen, dass Skolkovo selbst ein Vorbild für Energieeffizienz wird.**

Projekte mit bis zu 50 Prozent der Kosten. Siemens ist im Jahr 2010 eine strategische Partnerschaft mit Skolkovo eingegangen und will dort rund 40 Millionen Euro in ein Forschungs- und Entwicklungszentrum für bis zu 150 Wissenschaftler investieren. „Siemens war das erste internationale Unternehmen, das beschlossen hat, hier ein Entwicklungszentrum aufzubauen“, erklärt Alexander Averianov, Siemens-Projektleiter für Skolkovo. „Wir wollen Projekte auf fast allen der fünf Themenfelder durchführen: zum Beispiel Energieeffizienz, Informationstechnologie und Nuklearmedizin.“ So entwickeln Siemens-Forscher bereits mit russischen und deutschen Wissenschaftlern neuartige Mikrowellen-Generatoren (S.8).

Skolkovo hat also Fahrt aufgenommen – obwohl vor Ort noch Bagger und Kräne die Szene beherrschen. Die neue Universität, der Industriepark sowie die Bereiche für Büros, Gäste und 21.000 Einwohner werden

ungewöhnlich: Üblich sind hier kleine Fenster, um unnötige Wärmeverluste zu vermeiden. Im Hypercube erzeugen Wärmekonvektoren aber einen dämmenden Vorhang aus Luft, der mit den Dreifach-Glasscheiben die Temperaturen stabil hält.

Kontrolliert wird der Bau von einem Gebäudemanagementsystem von Siemens, das die Klimaanlage, die Beleuchtung und die Stromverteilung steuert. Das Ziel: Der Hypercube soll möglichst ökonomisch, ökologisch, ergonomisch und energieeffizient sein. Derzeit wird er als eines der ersten russischen Gebäude nach den LEED-Standards (Leadership in Energy and Environmental Design) des U.S. Green Building Council zertifiziert. Auch zum Blickfang auf der Gebäudehülle hat Siemens beigetragen: Eine 250 Quadratmeter große „Medienfassade“ zeigt Imagefilme über Skolkovo. Sie besteht aus fast 60.000 dreifarbigem Leuchtdioden der Osram-Tochter Traxon Technologies.

werden. „Sie werden erstmals in Russland komplett unterirdisch gebaut“, sagt Averianov. Dabei werden gasisolierte Übertragungsleitungen der neuesten Generation von Siemens eingesetzt. Mit ihnen lassen sich große Ströme verlustarm und sicher unterirdisch transportieren – und dank ihrer Hülle aus Aluminium treten dabei nur minimale magnetische Felder auf.

„Insgesamt soll Skolkovo ein Ökosystem schaffen, in dem aus Ideen innovative neue Produkte entstehen“, fasst Averianov zusammen. Es gibt daher wohl in Russland keinen besseren Ort für den vierten „Future Dialogue“ von Siemens und der Max-Planck-Gesellschaft, der am 9. und 10. April 2013 im Hypercube in Skolkovo stattfindet. Das übergreifende Thema, das von internationalen Fachleuten aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik hier diskutiert wird: „The Innovation Engine – from Science to Solutions“.

■ Christian Buck



## Großes Theater

**Das Bolschoi-Theater im Herzen Moskaus steht wie kaum eine andere Institution für die russische Kultur. Bei den sechs Jahre dauernden Restaurationsarbeiten kamen auch Lösungen von Siemens zu Einsatz.**

Neuer Glanz: Nach 150 Jahren war eine Sanierung des Hauses mehr als überfällig. Bühnen- und Gebäudetechnik sind von Siemens.



**Hier ein kurzes Räusperrn**, da ein Hüstel, plötzlich alles still. Der in Gold und Purpurrot gehaltene Seidenvorhang öffnet sich. In tänzelnden Schritten erscheinen – nur durch einen Scheinwerfer erhellt – die Ballerinen. Auf dem Programm steht „Schwanensee“, das Ballett des russischen Komponisten Tschaikowski. In einem der berühmtesten Schauspielhäuser der Welt: dem Bolschoi-Theater, das 1780 in Moskau eröffnet wurde. Abend für Abend stehen hier die Stars aus dem Opern-, Ballett- und Theater-Geschäft auf den Brettern, die die Welt bedeuten.

Bolschoi bedeutet „groß“ und tatsächlich zählt das Theater zu einer der größten Institutionen ihrer Art weltweit – mit 3.100 Mitarbeitern: Orchester, Tänzer, Sänger, Schauspieler und die vielen Helfer hinter der Bühne. Eine Hauptbühne, eine obere Bühne, ein Backstage-Bereich und drei Ballettstudios sind hier untergebracht. 1856, unter Zar Alexander II., war das Theater nach einem Brand neu aufgebaut worden, „doch die letzten 150 Jahre wurde es nicht mehr restauriert“, sagt Bolschoi-Mitarbeiterin Katherina Novikova. „Bis zu 70 Prozent der aus Ziegelstein gemauerten Außenwand waren marode, einige Teile einsturzgefährdet.“ 2005 gab das Kultusministerium der Russischen Föderation daher den Startschuss zur Rekonstruktion des Theaters.

Dem Ambiente des 19. Jahrhunderts tat die Restauration keinen Abbruch. „Für uns war es extrem wichtig, dass wir dieses einzigartige Gebäude erhalten konnten“, erklärt

Novikova. Doch mindestens genauso wichtig waren alle Arbeiten für Sicherheit und Komfort der Zuschauer. „Wir haben das Sicherheitskonzept überarbeiten lassen und die Fundamente – ursprünglich Eichenpfähle, die im sumpfigen Boden zu faulen begannen – erneuert. Zugleich schufen die Architekten auch unterirdisch mehr Raum.“ Das Gebäude steht auf festem Boden in einer Tiefe von 20 Metern. Der Teil, der überirdisch sichtbar ist, hat ungefähr die gleiche Höhe wie der Teil unter der Erde. „Darüber hinaus wurde das Theater mit neuen Aufzügen und Toiletten für Behinderte ausgestattet, und es wurde mehr Platz zwischen den Parkettreihen geschaffen.“

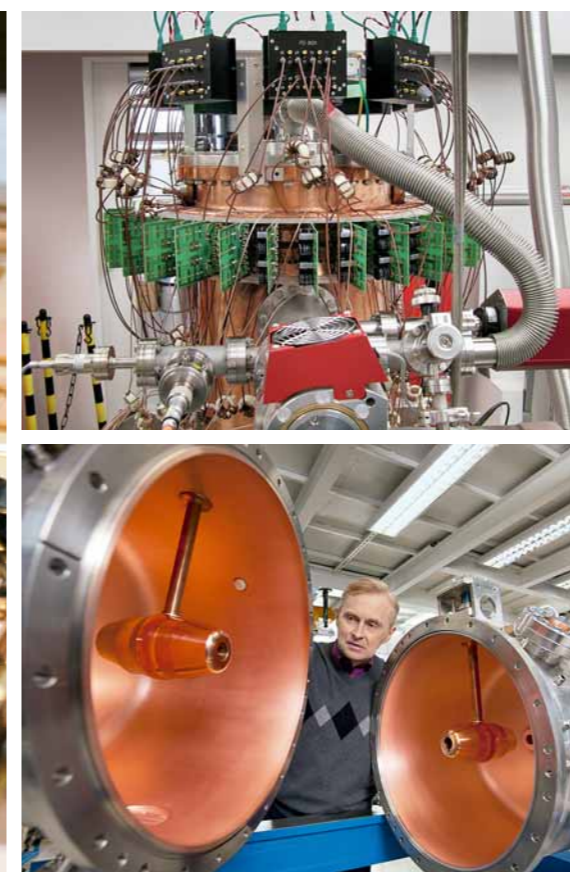
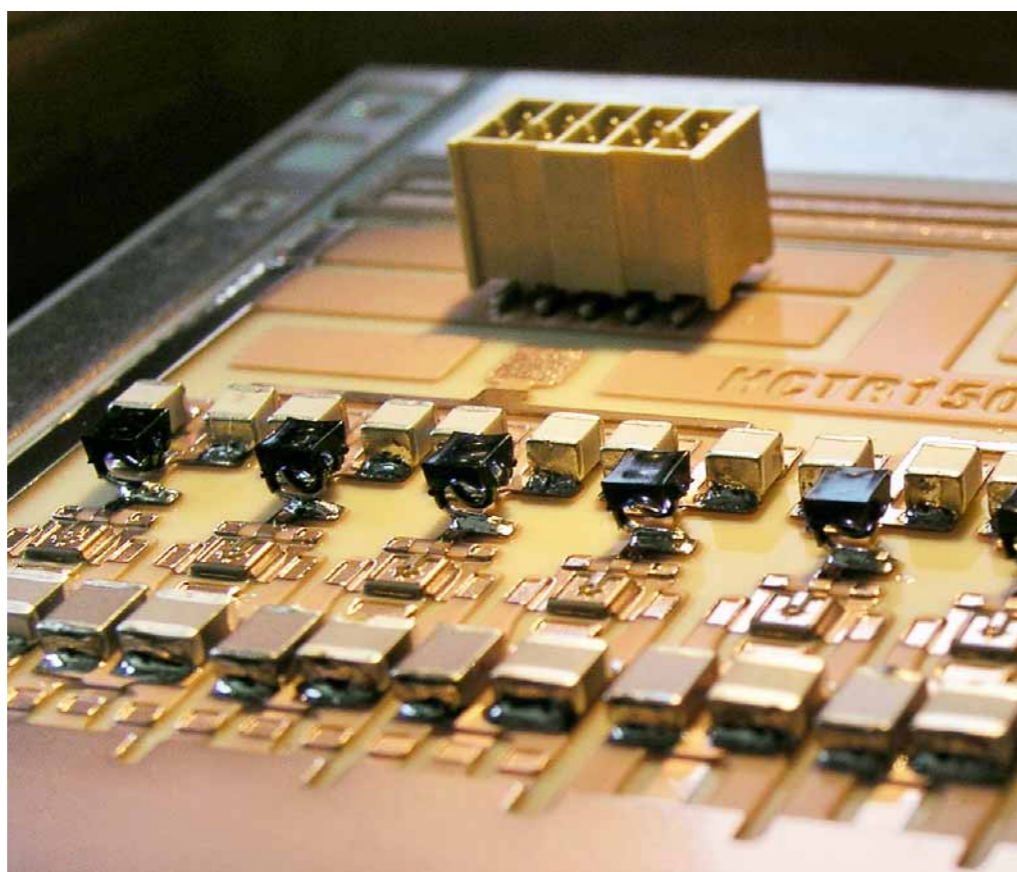
Die Restaurationsarbeiten dauerten sechs Jahre – von 2005 bis 2011. Dabei musste auch die Raum- und Bühnentechnik auf den neuesten Stand gebracht werden. Die Erneuerung der technischen Ausrüstung lag in den Händen von Siemens. „Wir haben viel Erfahrung, wenn es darum geht, Theater überall auf der Welt technisch innovativ auszustatten“, erklärt Dmitri Podgorbunsky, der bei Infrastructure & Cities in Russland den Bereich der Nieder- und Mittelspannung verantwortet. „Siemens-Lösungen für eine durchgängige Energieverteilung sind in der Mailänder Scala, im italienischen Theater Archimboldi und in der Semperoper in Dresden im Einsatz und nun auch im Bolschoi-Theater.“

Dahinter steckt das Siemens-Konzept der Totally Integrated Power (TIP). Hier sind die Produkte und Systeme alle so aufeinander

abgestimmt, dass der Strom zuverlässig vom Netz bis zum Endverbraucher transportiert wird. Unter anderem installierte Siemens im Bolschoi Mittel- und Niederspannungsschaltanlagen und Transformatoren sowie Komponenten zur Automatisierung. Sie sorgen dafür, dass sich die Bühne hinauf- und hinunterfahren lässt oder die Beleuchtung gezielt gesteuert werden kann. Außerdem installierte Siemens zentral geregelte Belüftungssysteme für die Klimatisierung und Fernwärmeeinrichtungen. „Mit all dem trug das Unternehmen wesentlich dazu bei, dass die Energie nun effizienter genutzt werden kann und die Betriebskosten niedriger ausfallen. Dabei ist es uns gelungen, das Flair des altherwürdigen Gebäudes zu erhalten und es gleichzeitig mit State-of-the-art-Technologien auszustatten“, erklärt Novikova. Und Podgorbunsky fügt an: „Um es in Zahlen auszudrücken: Unser Kunde kann bis zu 30 Prozent sowohl bei der Energie als auch bei den laufenden Kosten einsparen – und das ohne auf den Komfort und die Zuverlässigkeit der Systeme verzichten zu müssen.“

Im Theatersaal haben sich die Zuschauer mittlerweile von ihren Samstühlen erhoben und jubeln den Darstellern zu. Die kleinen „Schwäne“ auf Spitzenschuhen verbeugen sich und verlassen die Bühne. Für heute schließt sich der Vorhang des „großen Theaters“ in Moskau – doch sicher ist: Dank der umfassenden Restaurationen wird er sich auch in den nächsten Jahren noch unzählige Male heben. ■ Mirjam Blaum

Siemens entwickelt gemeinsam mit Forschern aus Russland und Deutschland neuartige Mikrowellen-Leistungsverstärker aus Siliziumkarbid. Mit ihnen könnten in Zukunft Teilchenbeschleuniger energieeffizienter, zuverlässiger und kostengünstiger werden. Neben der Grundlagenforschung könnten auch die Medizin und die Industrie profitieren. Und vielleicht sogar die Küche.



Winzige Energielieferanten: Transistoren aus Siliziumkarbid (links) mit fünf Kilowatt Leistung brauchen nur sechs Quadratmillimeter Fläche – ideal für kompakte und energieeffiziente Teilchenbeschleuniger (rechts).

# Surfen auf der Mikrowelle

**Teilchenbeschleuniger** sind die Superstars unter den wissenschaftlichen Instrumenten: Mit ihrer Hilfe haben Forscher den Aufbau der Materie entschlüsselt, die fundamentalen Kräfte der Natur erforscht und die Geburt des Universums nachgestellt. Aber nicht alle Teilchenbeschleuniger dienen der Grundlagenforschung: Die meisten der weltweit mehr als 30.000 Anlagen werden von Medizinern und der Industrie genutzt, beispielsweise um Krebspatienten zu bestrahlen, Radioisotope für Therapie und bildgebende Verfahren herzustellen, Nahrungsmittel und medizinische Geräte zu sterilisieren oder die Eigenschaften von Kunststoffen zu verändern. Die vermeintlich exotischen Geräte spielen also auch im täglichen Leben eine große Rolle – umso wichtiger ist es deshalb, ihre Herstellungs- und Betriebskosten zu senken.

Genau das wollen Forscher von Siemens Corporate Technology (CT) gemeinsam mit

Kollegen vom Budker-Institut für Kernphysik in Novosibirsk, dem Institut für theoretische und Experimentalphysik in Moskau, der Gesellschaft für Schwerionenforschung in Darmstadt und der Universität Frankfurt am Main erreichen: Im Rahmen der strategischen Partnerschaft zwischen Siemens und dem Forschungszentrum Skolkovo nahe Moskau (S.6) entwickeln sie einen Hochfrequenz-Generator für hohe Leistungen, der auf neuartigen Siliziumkarbid-Transistoren basiert und sehr kompakte, robuste und energieeffiziente Teilchenbeschleuniger ermöglichen soll. Die Kooperation mit Russland ist kein Zufall: Hier werden seit Jahrzehnten viele Teilchenbeschleuniger betrieben, und russische Wissenschaftler haben mit ihren Ideen immer wieder zur Weiterentwicklung der Technik beigetragen.

In diesem Fall geht es um den „Antrieb“ der Anlagen: In Teilchenbeschleunigern sorgen elektrische Felder dafür, dass auf geladene

Partikel wie Elektronen, Protonen oder Ionen starke Kräfte wirken, die sie auf hohe Geschwindigkeiten beschleunigen. Am einfachsten wäre es, zwischen zwei Elektroden eine Gleichspannung zu erzeugen, deren elektrisches Feld die Teilchen vorantreibt. „Mit solchen elektrostatischen Beschleunigern stößt man aber schnell an Grenzen, weil es bei Spannungen oberhalb von zehn Millionen Volt zu elektrischen Überschlüssen kommt“, erklärt Prof. Dr. Oliver Heid, Mediziner und Siemens Top Innovator, der als wissenschaftlicher Berater im Skolkovo-Board sitzt und das Projekt initiiert hat. „Darum haben Forscher Alternativen entwickelt, die mit Wechselspannung arbeiten.“

Die Grundidee: Statt die Teilchen einmal eine sehr hohe Spannung durchlaufen zu lassen, schickt man sie durch eine Reihe von schwächeren elektrischen Feldern, wobei sie schrittweise immer mehr Energie erhalten. Im Feld einer Wechselspannung würde

ein Teilchen aber nicht beschleunigt, sondern nur hin und her zappeln – darum arrangieren die Wissenschaftler ihre Anlagen so, dass die Partikel auf ihrem Weg durch die einzelnen Stufen des Beschleunigers immer nur eine Halbwelle „sehen“, die ihnen jedes Mal einen starken Schub in die gleiche Richtung gibt – sie surfen sozusagen auf der Beschleunigungswelle. Dafür benötigt man möglichst hochfrequente Wechselspannungen mit großer Leistung, weil die Beschleuniger bei hohen Frequenzen besonders effizient arbeiten.

Das bedeutet aber eine große Herausforderung für die eingesetzte Elektronik: „Die bislang dafür verwendeten Elektronenröhren wie Trioden und Klystrons haben einen Wirkungsgrad von bestenfalls 60 Prozent, hinzu kommt noch die aufwändige Versorgung mit der Hochspannung für ihren Betrieb“, sagt Heid, der auch eine Gastprofessur an der physikalischen Fakultät der Universität

Oxford in England innehat. „Darum arbeiten wir seit 2008 an einer Alternative: Hochfrequenz-Verstärker mit Halbleiter-Bauelementen, mit denen wir Wirkungsgrade von mehr als 70 Prozent erreichen – dadurch und durch die einfachere Spannungsversorgung halbieren sich die Energiekosten eines Teilchenbeschleunigers.“ Das gilt auch für die Anschaffung der Halbleiter-Verstärker selbst: Sie kosten im Vergleich zu ihren konventionellen Pendanten nur rund die Hälfte.

**Pionier bei Siliziumkarbid.** Herzstück der neuen „Solid State Direct Drive“-Technologie sind Transistoren aus Siliziumkarbid (SiC). In diesem Halbleitermaterial können sich Elektronen viel freier bewegen als in herkömmlichem Silizium. Dadurch arbeiten die SiC-Transistoren bei bis zu zehnfach höheren Frequenzen im Bereich mehrerer hundert Megahertz (MHz) – ab 300 MHz spricht man von Mikrowellen. „Hinzu kommt, dass sie Wärme besser leiten und darum höhere Leistungen verkraften“, erklärt Heid. „Siemens war einer der Pioniere auf dem Gebiet der Siliziumkarbid-Transistoren – und heute sind sie dabei, in der Elektronik eine Revolution auszulösen.“ Dabei sind die flinken Bauelemente auch noch winzig: Ein SiC-Transistor mit fünf Kilowatt Leistung hat eine Fläche von nur sechs Quadratmillimetern. Eine ähnlich leistungsfähige Röhre würde ein Volumen von rund zehn Litern einnehmen.

Um noch höhere Leistungen zu erreichen, haben die Forscher acht Transistoren auf einer Platine vereint, die bei 324 MHz eine Leistung von 25 Kilowatt abgibt. So beeindruckend das auch sein mag – für einen Teilchenbeschleuniger ist es noch immer nicht genug, denn dort sind Leistungen im Megawatt-Bereich gefragt. Darum haben die Forscher nun mehrere ihrer Platinen auf ein zylinderförmiges Bauteil gesteckt, so dass die ganze Konstruktion wie ein grün-kupferfarbenes Turbinenrad aussieht. Jedes aufgesteckte Modul trägt zur Leistung bei, die über einen Ring aus Kupfer gesammelt wird, so dass die gesamte Anlage auf 160 Kilowatt kommt.

Im nächsten Schritt wollen sie 128 Platinen mit jeweils 25 Kilowatt Leistung kombinieren, um auf rund drei Megawatt Leistung bei 324 MHz zu kommen – damit wäre die SiC-Technologie endgültig in den Leistungsbereich für wissenschaftliche Teilchenbeschleuniger vorgedrungen: Dort braucht man mehrere Megawatt Leistung, während

für medizinische und technische Anwendungen zehn bis 100 Kilowatt ausreichen. Diese Kombination vieler kleiner Verstärker hat neben der besser überschaubaren Komplexität einen weiteren großen Vorteil: Wenn einer von ihnen ausfällt, läuft der Teilchenbeschleuniger trotzdem weiter – bei den konventionellen Elektronenröhren steht bei einem Ausfall sofort die ganze Anlage still. „Probleme mit den Röhren und ihrer Stromversorgung gehören zu den häufigsten Ursachen für den Stillstand von Teilchenbeschleunigern“, berichtet Heid. „Bei unserer Lösung können wir hingegen ein defektes Modul im laufenden Betrieb austauschen, ohne dass die Anwender etwas davon merken.“

**Skalierbare Leistung.** Mit Hilfe der neuen Technologie können die Siemens-Forscher sowie ihre deutschen und russischen Partner durch Standardisierung für sinkende Kosten beim Antrieb von Teilchenbeschleunigern sorgen. „Wir wollen die Erzeugung der Hochfrequenz-Leistung und die Konstruktion des Beschleunigers voneinander trennen“, sagt Heid. „Darum entwickeln wir in Skolkovo eine ganze Palette von standardisierten Schaltschränken, in denen unsere neuen Verstärker untergebracht sind. Sie lassen sich beliebig kombinieren, so dass der Leistung keine Grenzen gesetzt sind.“ Die hochfrequente Wechselspannung soll dann mit dicken Koaxialkabeln von 30 Zentimetern Durchmesser zu den Beschleunigern geleitet werden – so wie ein HiFi-Verstärker die Lautsprecher verschiedener Hersteller ansteuern kann.

Der erste Prototyp eines Schaltschranks soll noch im Jahr 2013 fertiggestellt werden. In Zukunft könnte diese Entwicklung dann beispielsweise für wissenschaftliche Einrichtungen wie das europäische Kernforschungszentrum CERN interessant sein – oder auch für Unternehmen, die mit Mikrowellen Öl aus Ölsanden herauslösen wollen oder für solche, die Teilchenbeschleuniger für medizinische Anwendungen herstellen. „Selbst für ganz alltägliche Anwendungen eröffnen sich völlig neue Möglichkeiten“, erklärt Heid. „Eine kleine Version unseres Hochfrequenz-Generators könnte auch in den Mikrowellenherd für zuhause eingebaut werden. Er könnte dann die benötigte Leistung von mehreren hundert Watt bei 2,4 GHz effektiver als die heutigen Magnetrons zur Verfügung stellen und würde wesentlich weniger Platz benötigen.“

Christian Buck

# Highlights

- 15 Viele Köche führen zum Ziel**  
Gemeinsam in der virtuellen Welt ein komplexes Produkt entwickeln – dass das funktioniert, zeigt das Start-up Local Motors und präsentiert den „Rally Fighter“. Seine Entwickler verbindet neben einer gemeinsamen Vision vor allem eines: die richtige Software. Seite 15
- 19 Industrie 4.0 im Kommen**  
Smarte Fabriken, Maschinen, die sich autonom organisieren, Lieferketten, die sich selbst abstimmen und Produkte, die ihre Fertigungsinformationen direkt an die Maschinen liefern: Die Fertigung erfährt einen grundlegenden Wandel. Seiten 19, 36
- 31 Werkstück aus dem Drucker**  
Ob Hüftgelenk, Hörgerät oder Ersatzteil fürs Auto: Der 3D-Druck ist den Kinderschuhen längst entwachsen und findet heute auch in der Metallverarbeitung Anwendung. Hochkomplexe Werkstücke lassen sich am Computer entwerfen und in nur einem Arbeitsschritt herstellen. Seite 31
- 39 Goldgrube statt Müllhalde**  
In vielen Abfällen stecken wertvolle Rohstoffe, wie Gold, Silber oder Palladium. Recycling hilft, diese Schätze zu heben. Noch besser ist es, wenn bereits bei der Produktplanung an die Wiederverwertung gedacht wird. Das passiert bereits: etwa bei Elektromotoren und Metrozügen. Seite 39

**2060** Geballte Produktivität, verborgen unter der Erde: Die Turbinenschaukeln der Zukunft entstehen in diesem Szenario in unterirdischen Fabriken. Wie von Geisterhand laufen die Fertigungsprozesse ab, denn die meisten Mitarbeiter können ihre Arbeit bequem von zu Hause in Co-Creation erledigen. Das Ergebnis: Mehr Flexibilität und weniger Verkehr auf den Straßen. Bionische Sicherheitssysteme sorgen dafür, dass die Fabriken vor neugierigen Blicken geschützt bleiben.



## Wirtschaft unter der Erde

Zukunft der Fertigung | Szenario 2060

**In Zukunft könnten viele Fabriken unter der Erde liegen – nicht sichtbar und hochautomatisiert. Diese neue Welt entdeckt Ambrose Turner, als er nach 40 Jahren im künstlichen Koma zurück ins Leben geholt wird.**

**So muss sich der Tod anfühlen.** Meine letzte Erinnerung ist ein außer Kontrolle geratener Lkw auf einer vereisten Straße. Er rast auf mich zu, alle Sicherheitssysteme geben Alarm – nein, das kann nicht sein, denke ich, nicht mit all der Technik des automatisierten Fahrens, den Sensoren, der Car-to-Car-Kommunikation... Dann wird es dunkel um mich. Das war 2020.

40 Jahre lang war ich nicht Teil dieser Welt: schwebend im sterilen, automatisierten Zwischenreich eines künstlichen Kommas,

das von der Versicherung bezahlt wurde. Ein 35-jähriger, lediger und kinderloser Turbinenschaukelingenieur weniger. Adieu, schöne Welt!

Dann kam der Tag, an dem die Technik reif war, um mich zurückzuholen. Ich tauchte aus dem Koma auf wie aus einem tiefen See. Ich blinzelte. Androgyne Arztwesen schwammen vor meinen Augen: „Herr Turner, wie fühlen Sie sich?“ Sie erklärten mir, wie sie meine Organfunktionen wieder normalisiert hatten und wie sie über eine Kno-

chenregeneration meine Bewegungsfähigkeit und Kraft wiederhergestellt hatten.

Toll, doch was mich wirklich interessiert, sind ganz praktische Dinge. Turbinenschaukeln, Metall-Keramik-Verbindungen, Fertigungstechniken – und Giuseppe, mein alter Kumpel aus der Konstruktionsabteilung. Was wohl aus ihm geworden war? Er musste jetzt Anfang 70 sein, und damit laut der „Resozialisierungsinformationen“, mit denen ich im Krankenhaus überschüttet wurde, knapp im Rentenalter.

„Wegen guter Führung entlassen, was?“ Da war Giuseppees ironisches Grinsen wieder, als er mich zwei Wochen später herzlich begrüßte. Es war ein schöner Frühlingmorgen, und wir fuhren durch die schottische Landschaft zum Standort unseres alten Produktionswerks. Wie unberührt es hier ist, so frei von industriellen Schandflecken, dachte ich, als wir über die erstaunlich leere Autobahn glitten. Wenig später kamen wir zu etwas, das aussah wie ein großer Picknickplatz. „Zugang genehmigt“, sagte eine Stim-

me aus dem Armaturenbrett, das Fahrzeug rollte hinein und parkte.

„Warum halten wir hier?“, fragte ich und blickte über die sanften Hügel mit grasenden Schafen, Hasen und ein paar Rothirschen. Dieser Ort erinnerte mich an die Safariparks, in denen die Tiere frei herumliefen. Als Kind hatte mich in so einem Park in San Diego mal ein Pavian angesprochen. Ich war etwas nervös. „Wirst schon sehen“, sagte Zeppy, wie ich Giuseppe nannte. Wir stiegen aus und schlenderten über die Wiese, wobei wir Gruppen von Kaninchen aufschreckten.

Nach einigen Metern gelangten wir an eine von mehreren unauffälligen Wölbungen, die über die Wiese verstreut lagen. Was ging hier nur vor? Zeppy hockte sich hin und legte seine Handfläche auf die Oberfläche. Zu meinem Erstaunen wurde die Wölbung durchsichtig. Wir befanden uns am Rand einer riesigen, versenkten Blase und blickten in eine Welt hektischen Treibens hinunter. „Willkommen im neuen Werk!“, sagte Zeppy. „Es ist vor einigen Jahren in Betrieb gegangen. '54, glaube ich.“

Ich muss so verblüfft ausgesehen haben, dass Zeppy hinzufügte: „Entschuldigung. Ich sollte dir das erklären: Diese Blasen sind hart wie Stahl, werden für autorisiertes Personal aber durchsichtig. Läuft alles mit Biometrie – hier über eine integrierte Schicht, die Fingerabdrücke und genetische Signaturen erkennt. So sind Vor-Ort-Inspektionen von Schlüsselbereichen möglich – zumindest wenn sich jemand die Mühe macht, hier herauszufahren.“

Ich hockte mich neben Zeppy und spähte in die Fabrik hinunter. „Du meinst, das hier ist es?“, fragte ich. „Das Produktionszentrum für unsere Turbinenschaufeln?“ „Jawohl!“, antwortete er stolz. „Viele Hektar unter diesen blühenden Wiesen.“

„Und die Arbeiter?“, fragte ich, als eine 40 Jahre alte Erinnerung an Linda aufblitzte, die umwerfende Produktionschefin, die kurz vor meinem Unfall ins Unternehmen gekommen war. „Die Büros? Die Parkplätze? Wo ist das alles?“

„Langsam“, sagte Zeppy. „Wir haben Hunderte von Arbeitern. Aber du wirst hier nicht viele sehen. Die meisten machen ihren Kram zuhause. Das ist auch in anderen Unternehmen so. Daher die fast leeren Straßen, freien Landschaften und wildlebenden Tiere. Gruppen aus aller Welt konkurrieren miteinander um unser Geschäft. Wir nennen das Co-Creation. Sie arbeiten an Aufträgen von der Partikelprüh- und Laserschmelz-Anlage für Schaufeloberflächen über die Logistikoptimierung, die Sensornetze und Roboter-

schwärme bis zur Fernwartung und der IT-Sicherheit. All das machen wir!“

„Ist ja irre“, sagte ich, während ich langsam begriff, was während der letzten Jahrzehnte passiert war. „Guck mal hier runter“, fuhr Zeppy fort. Er deutete auf einen Bereich direkt unter uns, wo kühlstrangkroße, fast durchsichtige Maschinen über eine Röhre verbunden waren, in der es glühte, als ob sie aus purer Energie bestünde. „Hier siehst du, wie das Skelett jeder Schaufel sozusagen Muskeln und Sehnen erhält“, sagte er. „Der vorgeformte Kern wird in einem anderen Werk hergestellt, um strukturelle Integrität zu garantieren. Dann werden in verschiedenen Schritten Keramik-, Metall- und Karbon-Nanopartikel auf den Kern aufgespritzt. Das ist ähnlich wie beim 3D-Druck, an dem wir vor deinem Unfall gearbeitet hatten, aber tausendmal präziser – und problemlos kundenspezifisch anzupassen. Das Ergebnis ist eine abriebfeste kristalline Atomstruktur. Für die Verbrennung des reinen Wasserstoffgases, das von wind- und solarbetriebenen Elektrolyseuren produziert wird, ist das ideal.“

„Die Wasserstoffwirtschaft hat also endlich den Durchbruch geschafft!“, rief ich. „Ja, als Energieträger für den Überschussstrom“, bestätigte Zeppy. „Und unsere Fertigungstechnik für Hochtemperaturschaufeln macht das möglich. Aber das ist nicht alles: Wir betten sogar mikroskopische Sensoren in die Schaufeln ein, die kontinuierlich Daten über den Schaufelzustand liefern. Um Mikrodeformationen und Materialverunreinigungen zu verhindern, werden die Schaufeln nicht über ein Förderband von Maschine zu Maschine transportiert, sondern in Behältern über ein starkes Magnetfeld, das gleichzeitig als Inspektionssystem dient.“

„Verstehe“, sagte ich. „Aber wie kommen die Teile und Produkte hier rein und raus?“ „Fast alles funktioniert unterirdisch“, erklärte Zeppy. „Die Materialien gelangen über ein Rohrsystem zu uns. Das sind ganz spezielle Pulver. Die fertigen Produkte werden über ein weiteres Rohrleitsystem zum Vertriebszentrum transportiert. Natürlich gibt es aber einen Service-Eingang für Lieferungen wie ...“

Wir nahmen im Augenwinkel eine Bewegung wahr und schauten auf. Nur wenige Meter entfernt stand ein großer, grauer Wolf. Seine gefletschten weißen Zähne glänzten in der Morgensonne. Ich erstarrte. „Keine Sorge“, meinte Zeppy. „Nur eins von unseren bionischen Sicherheitssystemen. Es erkennt mich.“ „Und mich?“, fragte ich, als ein furchterregendes Knurren zu hören war. „Das könnte tatsächlich ein Problem sein“, sagte Zeppy trocken. ■ Arthur F. Pease



Software als Treiber: Die Verfahren, wie Produkte geplant, entworfen und hergestellt werden, stehen auf dem Prüfstand.

**Der Fertigungsindustrie steht ein tiefgreifender Wandel bevor. Durchgehende digitale Produkt- und Produktionsmodelle, Crowdsourcing und 3D-Druckverfahren bieten Wege, um Produkte in Zukunft individuell, höchst flexibel und zugleich preisgünstig herzustellen. So könnte eine neue Vision für Entwicklung, Fertigung und Vertrieb entstehen.**

**Wie werden Produkte in 50 Jahren** entwickelt und hergestellt? Wird sich „Crowdsourcing“ durchsetzen – das Verfahren, bei dem Menschen in aller Welt im Wettbewerb, aber auch in Kooperation miteinander darum ringen, die besten digitalen Entwürfe zu erarbeiten? Findet die Fertigung unterirdisch statt, in vernetzten automatisierten Fabriken, mit Maschinen, die aus Spezialpulvern alle möglichen Produkte herstellen: von individualisierten Autoteilen bis zu Turbinenschaufeln? Diese Vision mag weit hergeholt klingen – doch viele der dafür nötigen Technologien werden bereits entwickelt, getestet und zum Teil sogar auf den Markt gebracht (S.10, 31).

Die Geschichte der Fertigung hat uns von der handwerklichen Manufaktur über die erste industrielle Revolution bis zu den Veränderungen durch Massenproduktion und Informationstechnologie geführt – und sie endet hier nicht: Die neue Vision der künftigen Fertigung wird in deutschen Regierungs- und Wirtschaftskreisen als „Industrie 4.0“ bezeichnet (S.19). Kernstück ist eine Kombination aus Software, Sensor-, Prozessor- und Kommunikationstechnik, die sogenannten „Cyberphysical Systems“ (CPS). Genau an dieser Schnittstelle zwischen realer, digitaler

und virtueller Welt und moderner Kommunikationstechnik werden künftige Produkte und ihre Fertigungsprozesse entworfen, ausgearbeitet, getestet und hergestellt. Der beste Beweis ist der Mars-Rover „Curiosity“ der NASA, bei dem alles mithilfe von Design- und Simulationssoftware von Siemens entwickelt und getestet wurde (*Pictures of the Future*, Herbst 2012, S.55).

Das Startup-Unternehmen Local Motors aus Phoenix, Arizona, verwendet eine einfachere Version der gleichen Software, um über das Verfahren der „Co-Creation“ Autos zu entwerfen, die manchen genauso außerirdisch erscheinen wie die Mars-Mission. Bei der Co-Creation, auch „Crowdsourcing“ genannt, können Enthusiasten mithilfe der Siemens-Software ihr Design eines Fahrzeugteils posten, andere Nutzer in der weltweiten Community können dieses Bild dann in einem Browser aufrufen, in 3D ansehen, es kommentieren oder sich die Maße für eigene Entwürfe notieren. Mit diesem neuen Verfahren der gemeinsamen Innovation lässt sich der Weg von der Idee zum Industrieprodukt erheblich schneller zurücklegen (S.15).

Crowdsourcing kann Innovationen beschleunigen, Kosten begrenzen und die Wett-

bewerbsfähigkeit steigern – kurz, es hat so viel Potenzial, dass die Forschungsbehörde des US-Verteidigungsministeriums (DARPA) untersucht, ob es auch die explodierenden Kosten bei militärischen Systemen eindämmen kann. „Vorbild ist die Halbleiterindustrie, in der die Chipproduktion von der Computertfertigung getrennt wurde: Teile des Konstruktionsverfahrens sollen standardisiert und automatisiert werden, damit viele Einzelpersonen sich daran beteiligen können“, erklärt Dr. Lee Ng, Director of Venture Technology beim Siemens Technology-to-Business Center (TTB) im kalifornischen Berkeley.

Daher finanziert die DARPA die Entwicklung von Open-Source- Werkzeugen, die nun von einer geprüften Design Community genutzt werden. „Diese Tools werden die Fertigung sozusagen demokratisieren“, meint Ng. „Damit können sich viele Parteien am Designprozess beteiligen und die Anforderungen ans Produkt umsetzen. Als nächstes steht ein weiteres wichtiges Konzept an: die mathematische Zertifizierung digitaler Produkte.“ Damit soll mit mathematischen Methoden bestätigt werden, dass diese Produkte auch in der realen Welt zuverlässig die Funktionen erfüllen werden, für die sie gedacht sind.

**In 3D drucken.** Ein anderer wegweisender Trend ist die direkte Umwandlung digitaler Modelle in fertige Teile, beispielsweise mit Methoden des „Additive Manufacturing“ (S.31). Diese sind bereits als 3D-Druckverfahren für Kunststoffe bekannt, funktionieren aber nun auch mit Metallen oder Keramiken. Dabei werden spezielle Metall- oder Keramikpulver mit einem Hochleistungslaser computergesteuert an bestimmten Stellen geschmolzen und wieder verfestigt, wodurch Schicht für Schicht ein 3D-Objekt entsteht. „Durch die Verbindung von Crowdsourcing, digitaler Produktzertifizierung und neuen Fertigungsverfahren könnte ein Unternehmen künftig einfache vollständige digitale Modelle an CNC-Maschinen in aller Welt übertragen – und über einen Zeitplan würde dann festgelegt, welches Werk die Kapazität hat, um bestimmte Teile zu wel-

stitute (NAMII) bekannt gab: ein Zusammenschluss von Behörden und Unternehmen, der die Wettbewerbsfähigkeit der Fertigungsindustrie in den USA verbessern soll.

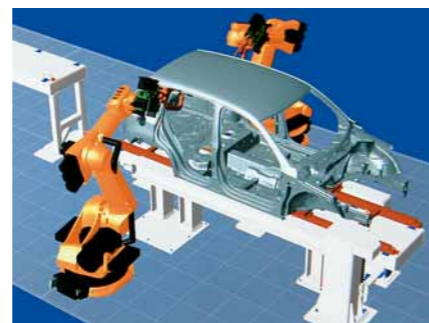
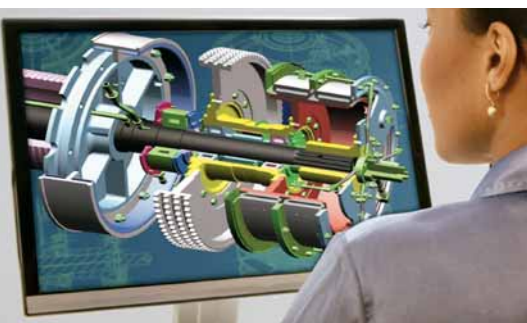
Wissenschaftler von Siemens arbeiten an vielen derartigen Produktionsverfahren. So haben sie beispielsweise eine Software entwickelt, die Mikrorisse und -krater auf gebrauchten Turbinenschaufeln erkennt. Mit Hilfe dieser Informationen wird dann ein Roboterarm gesteuert, der Metallpulver auf die beschädigten Stellen sprüht, das dann ein Laser schmilzt und es mit dem der Schaufel verbindet (S.28). Die Methode, die im Siemens-Turbinenwerk in Berlin getestet wurde, soll Reparaturen von Turbinenschaufeln vor Ort möglich machen. Auch eine weitere Verbindungstechnik, das sogenannte Kaltgas-spritzen, wird bei Siemens entwickelt. Dabei werden winzige Metallpartikel mit so hoher

2012, S.111). IntuPlan wurde beispielsweise vor kurzem verwendet, um eine Anlage zum Schweißen von Zugkomponenten im Siemens-Werk in Krefeld zu planen. Bisher wurden weltweit 15 Fabriken mit IntuPlan umstrukturiert oder neu entworfen.

Sobald eine Fabrik in Betrieb gegangen ist, müssen alle Automatisierungssysteme einwandfrei funktionieren (S.42). Arbeitsstationen können individuell auf die Mitarbeiter eingestellt werden (S.23). Zudem müssen die Sensornetze und die drahtlose Infrastruktur gegen Angriffe von außen, etwa von Hackern, geschützt werden (S.35). Damit auch das Wartungspersonal alle Aufgaben schnellstmöglich ausführen kann, entwickelt CT in Princeton, New Jersey, eine neue Navigationstechnologie (S.34): Die Wissenschaftler arbeiten an einer cloudbasierten Informationsinfrastruktur, die von einer der weltweit schnellsten Datenverbindungen unterstützt wird. Die Idee ist, das Wartungspersonal mit Datenbrillen oder Tablet-PCs auszurüsten.

Der Weg zum Zielort wird über die Brillen oder die Displays in die reale Umgebung eingeblendet – diese Verfahren sind als Aug-

**Unternehmen könnten zukünftig vollständige digitale Modelle an CNC-Maschinen in aller Welt übertragen, und verschiedene Werke teilen sich die Produktion.**



Digitale Fabrikwelt: Jeder einzelne Produktionsschritt wird vorab getestet – auch die Präzision von Bearbeitungsmaschinen und Robotern.

chen Terminen zu fertigen“, sagt Ng. Das TTB erforscht mit Hilfe von internen und externen Wissenschaftlern und Start-up-Unternehmen, wie so etwas ablaufen könnte.

Das Additive Manufacturing könnte den Weg für völlig neue Produktionskonzepte ebnen – und das fast ohne Materialverschwendung. Teile und Produkte würden dabei nur zu den Zeitpunkten und an den Orten gefertigt werden, wo und wann sie auch benötigt werden. Dies würde noch mehr Kundennähe schaffen und die Notwendigkeit für Lagerhaltung, Massenproduktion und Transport reduzieren. Das wirtschaftliche Potenzial dieser Technologie wird als so bedeutend eingeschätzt, dass die US-Regierung am 15. August 2012 die Gründung des National Additive Manufacturing Innovation In-

Geschwindigkeit auf die beschädigte Stelle „geschossen“, dass sie dort praktisch verschweißen. Dennoch bleibt das Bauteil dabei kalt genug, so dass es sich nicht verformt.

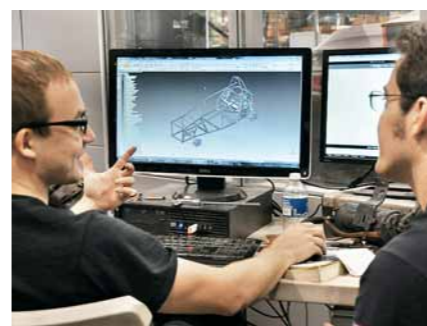
**Fabriken am Computer planen.** Natürlich ist Siemens nicht nur am Design, der Fertigung und der Reparatur und Wartung von Produkten beteiligt, sondern auch an der Planung der Produktionseinrichtungen. Um diese Planungsprozesse zu beschleunigen, haben Wissenschaftler bei Siemens Corporate Technology (CT) ein Verfahren namens IntuPlan entwickelt. Diese Technologie schlägt eine Brücke zwischen der realen und virtuellen Welt, indem sie maßstabsgetreue reale Modelle von Produktions- und Logistikketten erstellt (*Pictures of the Future*, Frühjahr

mented Reality bekannt. Am Wartungsort werden dann über die gleiche Dateninfrastruktur die Teile in einer Maschine sichtbar gemacht, die repariert werden sollen. Zugleich kann die Wartungshistorie angezeigt oder es können Ersatzteile bestellt und Installationshilfen angeboten werden. Bei Bedarf lassen sich auch Bilder in Echtzeit mit Spezialisten an anderen Standorten teilen – etwa um von ihnen Tipps zu bekommen oder für Schulungszwecke.

Wie die Zukunft der Fertigung letztlich aussehen wird, muss sich zeigen. Vieles bleibt Spekulation – doch die in dieser Ausgabe von *Pictures of the Future* beschriebenen Technologien bieten in jedem Fall spannende Einblicke, in welche Richtung es wahrscheinlich gehen wird. ■ Arthur F. Pease



# Software verbindet



Fertigung beginnt heute nicht mehr in der Fabrik, sondern zunehmend am Computer. Egal ob Tausende Enthusiasten gemeinsam einen Sportwagen entwickeln, oder ob Millionen von Programmzeilen Serienautos innovativer werden lassen – immer steht die Software im Zentrum.

**Ähnlich wie die Göttin Athene** einst Zeus' Stirn entsprang, so entstand auch der Rally Fighter aus einem mächtigen Geist. Der eigenwillige 6,2-Liter-Sportwagen mit 430 PS ist eine Gemeinschaftsproduktion Tausender schlauer Köpfe. Ihr Treffpunkt: die virtuelle Welt. Ihr Ziel: Die Vision eines ultimativen, mächtigen Flitzers Wirklichkeit werden zu lassen, und das mit Straßenzulassung und zu einem bezahlbaren Preis.

Die Geburtsstätte des Rally Fighter ist eine Art Hangar am Rande von Phoenix, Arizona – der Firmensitz des Start-ups Local Motors (LM). Zum ersten Mal wurde ein Fahrzeug in „Co-Creation“ entwickelt. Bei diesem Ansatz – auch unter Crowdsourcing bekannt – werden Wissen und Kreativität einer riesigen Zahl von Enthusiasten genutzt, die mit computer-

gestütztem Design (CAD) arbeiten. Koordiniert werden sie von einem LM-Team aus Ingenieuren und Industriedesignern, und belohnt werden sie mit Prämien für die Gewinner-Designs. Alle Beteiligten können entweder allein oder in konkurrierenden Gruppen arbeiten, die jeweils auf bestimmte Unterprojekte spezialisiert sind. Insgesamt kann dieses Verfahren die Entwicklung eines komplexen Systems enorm beschleunigen.

Die Methode von LM ist so schnell und effizient, dass das nicht einmal sechs Jahre alte Unternehmen einen Vertrag mit der Forschungsbehörde DARPA des US-Verteidigungsministeriums erhielt. Die DARPA war besonders beeindruckt von der Entwicklung des Rally Fighters. Deshalb sollte LM prüfen, ob mit Co-Creation auch die Entwicklung eines kosten-

günstigen, leichten Militärtransporters möglich ist. Das Ergebnis war der XC2V, das weltweit erste gemeinschaftlich entwickelte Fahrzeug zur Kampfunterstützung. „Wir haben das Projekt nicht nur pünktlich und unter dem vorgesehenen Budget abgeschlossen, sondern der DARPA auch ein Verfahren an die Hand gegeben, mit dem sie diesen Erfolg immer wieder wiederholen kann“, sagt John B. Rogers, Chef und Mitbegründer von LM. „Das Fahrzeug wird jetzt intensiv getestet.“ (S.16)

Der Entwurf eines Fahrzeugteils mit CAD in globaler Co-Creation unterscheidet sich jedoch stark von der Entwicklung in einer Firma, wo alle die gleiche Software nutzen. An einem Projekt von LM für einen großen deutschen Automobilhersteller arbeiteten beispielsweise weltweit über 300 Menschen



mit vielen verschiedenen CAD-Systemen und Dateiformaten. „Während der Arbeit müssen die Beteiligten miteinander und mit uns interagieren, um Feedback erhalten zu können“, erklärt Alex Fiechter, Manager für die Engineering Community bei LM.

Für den reibungslosen Ablauf nutzt LM die Solid Edge CAD-Plattform von Siemens PLM Software. „Die Software kann viele verschiedene Dateiformate sauber importieren“, so

Fiechter. „Und für die gemeinschaftliche Arbeit bietet sie mehr Flexibilität als jedes andere Produkt.“ Wenn die Entwicklung eines Teils abgeschlossen ist, wird das Design auf eine Anlage von LM geladen, die nur mit einem Hochdruckwasserstrahl und einem Schleifmittel einen Prototypen aus einem Metallblock von bis zu 23 Zentimetern Dicke schneidet. „Letztlich braucht man nur ein CAD-Design auf einem USB-Stick“, erklärt Fiechter.

„Das Teil kann dann an ein Prototyp-Fahrzeug montiert und sofort getestet werden.“

Damit die CAD-Plattform für die Teilnehmer an der Co-Creation bezahlbar bleibt, hat Siemens die Solid-Edge-Version Design1 entwickelt, die die Lücke zwischen kostenlosen oder günstigen CAD-Lösungen mit begrenzter Funktionalität und den teuren Profi-Vollversionen schließt. „Solid Edge Design1 ist eine einzigartige CAD-Lösung für Enthusias-

ten weltweit, die sich an der Co-Creation bei LM beteiligen wollen“, sagt Karsten Newbury, Leiter des Bereichs Mainstream Engineering Software bei Siemens PLM Software. Rogers fügt hinzu: „Design1 ermöglicht es zum Beispiel, ein Design oder auch nur ein Miniaturbild zu posten. Andere Nutzer können dann dieses Bild in einem Browser aufrufen und in 3D ansehen, die Maße notieren und es kommentieren. Jeder, der Design1 heruntergela-

den hat, kann mit Menschen zusammenarbeiten, die eine ganz andere CAD-Software verwenden.“

Doch bietet die Erfahrung von LM mit Co-Creation nur Potenzial für Start-ups oder auch für große Hersteller? „Unternehmen können damit ihre Kompetenz erweitern und ihre Prozesse beschleunigen. Vorhandene Ressourcen werden besser genutzt und gleichzeitig die Produkte genauer auf den Kunden

zugeschnitten“, erklärt Newbury. „Die DARPA ist ein Paradebeispiel: Sie will effizienter arbeiten. Normalerweise kostet die Entwicklung eines Fahrzeugs die US-Regierung Milliarden Dollar. LM brauchte dagegen nur vier bis sechs Monate, um das Gleiche für einen Bruchteil der Summe zu erreichen.“

Ein Trumpf, den Start-up-Firmen wie LM ausspielen können, ist ihre Jugend. Große Hersteller, wie innovativ sie auch sein



Zukunft der Fertigung | Interview

**John B. Rogers, Jr.**, ist Präsident, CEO und Mitbegründer von Local Motors (LM), einem Start-up in Phoenix, Arizona, das Crowdsourcing beim Automobilbau verwendet. Er diente sechs Jahre im United States Marine Corps, arbeitete als Berater für McKinsey, als Investmentanalyst bei Ewing & Partners und bei einem Medizintechnik-Start-up in China. Neben der Leitung von LM ist er bei der gemeinnützigen Stiftung RBR Foundation als Chief Investment Officer tätig. Rogers hat an der Woodrow Wilson School of Public and International Affairs der Universität Princeton studiert und hat einen MBA der Harvard Business School.

**Ihr Unternehmen hat mit dem Rally Fighter das weltweit erste Fahrzeug in Open-Source-Produktion entwickelt, und auch das erste durch Crowdsourcing entstandene Militärfahrzeug. Wie sind Sie auf diese Idee gekommen?**

**Rogers:** Fahrzeuge sind komplexe Systeme mit traditionell langen Entwicklungszeiten. Dafür investiert man gewöhnlich eine Milliarde Dollar, stellt die besten Ingenieure ein und baut eine große Fabrik – und dann hofft man, sein Produkt verkaufen zu können. Das Crowdsourcing dagegen, das wir „Co-Creation“ nennen, beruht auf der Er-

**Rogers:** Unterschiedlich – Geld, Anerkennung, manche wollen ihren Lebenslauf durch die Mitarbeit aufwerten, oder sie tüfteln einfach gerne. Zu uns kommen große Kunden wie BMW und Peterbilt Trucks. Sie bieten ein Preisgeld für ein Design, das ihr Problem löst. Im Prinzip kann jeder, der an solch einem Projekt teilnimmt, in drei oder vier Wochen eine Menge Geld verdienen. Manche Prämien sind auch gestaffelt, so dass man anschließend sagen kann, man war unter den Top 10 oder unter den Top 3. Es gibt also die direkte und die indirekte Vergütung.

## „Es wird eine Explosion der Produktvielfalt geben“

kenntnis, dass man wahrscheinlich ein Produkt mit einer höheren Akzeptanz entwickeln könnte, wenn man besser wüsste, was die Menschen wollen, und wenn man sie über den Entwicklungszeitraum besser informiert halten könnte.

**Man nutzt also die Wünsche der Kunden und die Kreativität der Masse?**

**Rogers:** Die meisten denken, dass wir Crowdsourcing verwenden, um nichts für gute Ideen bezahlen zu müssen. Doch gratis erhalten wir die Ideen keineswegs. Viel wichtiger ist aber, die künftigen Kunden in die Produktentwicklung einzubeziehen. Zudem entsteht eine kollektive Dynamik. Ein festes Team verfügt nur über begrenzte Fähigkeiten. Bei einer riesigen Gemeinschaft kann man dagegen die richtigen Leute auf organische Weise zu einem Team zusammenfügen.

**Was motiviert eigentlich die Mitglieder Ihrer Community zur Mitarbeit?**

**Local Motors wurde erst vor fünf Jahren gegründet. Wie erhält man da gleich den Auftrag zum Bau eines Prototypen für den Truppentransporter XC2V des Verteidigungsministeriums?**

**Rogers:** Ein unkonventionelles Unternehmen kann jeden Bereich erobern, in dem ein wichtiger Bedarf bisher nicht erfüllt wird. Wir haben der Forschungsbehörde des US-Verteidigungsministeriums, der DARPA, nicht nur gezeigt, dass ein Truppentransporter pünktlich und unter Budget gebaut werden kann, sondern ihr auch ein Verfahren an die Hand gegeben, mit dem sie diesen Erfolg immer wieder wiederholen kann.

**Inwieweit hat Siemens – insbesondere mit seiner CAD-Software Solid Edge – Local Motors geholfen, Crowdsourcing erfolgreich durchzuführen?**

**Rogers:** Bei Local Motors brauchten wir ein Profi-Design-Tool wie Solid Edge. Bislang gingen allerdings selbst High-End-CAD-Systeme davon aus, dass nicht mehr als



Erfolg: Mit dem Verfahren der Co-Creation hat John B. Rogers Local Motors bekannt gemacht.

tausend Leute an der Gemeinschaftsarbeit mitwirken. Dass das Team auch viele Zehntausend Mitglieder mit verschiedenen CAD-Systemen umfassen könnte, daran dachte bisher niemand. Daher haben wir für unsere Community mit Siemens zusammen eine Plattform entwickelt, die systemfremde Formate importieren kann. Mit der Entwicklung der Solid-Edge-Version Design1 bietet Siemens noch dazu eine Profi-CAD-Software zur Miete an – und Design1 kann weltweit schnell heruntergeladen werden. Unsere Mitglieder können so offline arbeiten, was ein entscheidender Vorteil ist. Konkurrenzsoftware bietet das nicht, sie ist zu groß zum Herunterladen.

**Auf einer Veranstaltung der Carnegie Mellon Universität nannte Präsident Obama das XC2V als Beispiel dafür, wie eine Zusammenarbeit von Militär und Unternehmen die Wettbewerbsfähigkeit der US-Fertigungsindustrie steigern kann. Hat er Recht?**

**Rogers:** Absolut! Ich glaube, er meinte, dass der Schlüssel zur Wettbewerbsfähigkeit weniger in den Unternehmen als in den Ideen der Menschen liegt. Die Industrie ist immer nur so innovativ, wie die kreativsten Menschen, die sie – beispielsweise durch

Crowdsourcing – für sich gewinnen kann. Ich glaube auch, dass der Präsident weiß, dass es hier nicht nur ums Militär geht. Denn er sagte auch, dass es für den gesamten Fertigungssektor gelten sollte.

**Wie werden Simulation, Kooperations-Software und Hochgeschwindigkeitskommunikation die Fertigung verändern?**

**Rogers:** Eins möchte ich vorab sagen: Digitale Fertigung und die offene Zusammenarbeit sind zwei verschiedene Dinge. Sie können sich gegenseitig verstärken, aber auch unabhängig voneinander existieren. Das müssen wir im Kopf behalten. Doch zu Ihrer Frage: Simulation, Modellbildung, moderne Software und Kommunikation sind wesentliche Technologien in der Fertigung. Hinzu kommt eine weitere: Scannen. Die Hälfte der Zeit beschäftigt man sich mit etwas, das es schon gibt und wovon man schnell eine virtuelle 3D-Version braucht. Nehmen Sie all das zusammen, und Sie haben die Zutaten für einen revolutionären Wandel. Wir wollen aber nicht gleich abheben, denn so weit sind wir noch lange nicht. Zum Beispiel ist der Weg von einem Scan zu einem funktionellen CAD-Modell noch weit.

**Was halten Sie vom 3D-Drucken als Weg zu günstigeren, individualisierten Produkten?**

**Rogers:** Der Enthusiasmus für das sogenannte Additive Manufacturing ist vielleicht ein bisschen übertrieben. Denn es gibt auch fantastische traditionelle Technologien. Doch Additive Manufacturing kann in wichtigen Bereichen tatsächlich eine Lücke füllen, etwa um Lagerbestände oder Komplexitätskosten zu verringern. Letztlich wird aber die Kombination von digitaler Fertigung und der Möglichkeit, Daten über Breitbandleitungen zu verschicken und gemeinsam zu bearbeiten, die Fertigung revolutionieren.

**Was wird also in den nächsten 20 Jahren die wesentlichste Veränderung in der Automobilindustrie bringen?**

**Rogers:** Die Antwort ist vielleicht überraschend: Ich denke, die wichtigste Entwicklung wird die Veränderung des Mindestproduktionsvolumens für Fahrzeuge sein. Denn wenn man eine Milliarde Dollar in die Entwicklung eines Autos stecken muss, muss man auch hohe Stückzahlen verkaufen, um die Kosten zu decken. Doch wenn man nur eine Million Dollar investieren muss, braucht man nicht so viele verkaufen. Die Trends, über die wir gesprochen haben, zeigen genau in diese Richtung. Weg vom Economy of Scale, hin zum Economy of Scope: Das Geld, das man früher in die Erhöhung der Stückzahlen investiert hat, kann man künftig in die Bandbreite der angebotenen Produkte stecken. Ich glaube, darauf läuft es hinaus. Wir werden in den nächsten 20 Jahren eine Explosion der Produktvielfalt und -individualisierung sehen. Crowdsourcing, besseres Scannen, bessere Software, hybride Produktionstechnologien – all dies wird die Entwicklung vorantreiben. Aber im Grunde läuft alles zu einem fundamentalen Trend zusammen: der Vereinigung der virtuellen mit der realen Welt.

■ Das Interview führte Arthur F. Pease

mögen, müssen hingegen ihre Altsysteme in die Design-, Entwicklungs- und Produktionsprozesse einbeziehen. Bei der Ford Motor Company hat das Management jedoch einen Weg entdeckt, Autos cleverer, schneller, kostengünstiger und personalisierter zu bauen und zu warten. Der Schlüssel heißt Software, denn mit ihr beginnt die Fertigung.

**Digitales Auto.** „60 Prozent der Merkmale, die moderne Autos attraktiv machen, werden über Software umgesetzt“, sagt Stefan Jockusch, zuständig für die Geschäftsentwicklung der Autoindustrie bei Siemens PLM Software. „Und 70 Prozent der Probleme und Rückrufe sind auf Software-Inkompatibilitäten zurückzuführen“, ergänzt er. Laut Chris Davey, technischer Leiter für Software und Steuersysteme bei Ford, sind viele der aktuellen Ford-Modelle mit etwa 50 bis 70 Kleincomputern ausgestattet, die über 15 Millionen Programmzeilen verarbeiten, um 50.000 Funktionsanforderungen zu steuern – vom Antrieb über Unfallschutz und Infotainment bis zur Navigation. Zum Vergleich: Bei einer Boeing 777 von 1994 waren es

**60 Prozent der Merkmale, die moderne Autos attraktiv machen, werden über Software umgesetzt – 70 Prozent der Probleme kommen von Software-Inkompatibilitäten.**

cycle Management (PLM)-System, setzt Ford dieselbe Datenbasis für alles ein: in der eigenen Entwicklungsabteilung ebenso wie bei den Lieferanten, bis hin zur Fertigung und dem Service.

„In der Produktionsumgebung sucht die IVS beispielsweise die installierte Hardware und die dazugehörige Software und stellt sicher, dass beide genau zusammenpassen“, erklärt Davey. Diese Information schafft beträchtliche wirtschaftliche Vorteile. So werden nicht nur Fehler und Inkompatibilitäten verhindert. Bei der Wartung kann durch Software-Updates – und besonders durch detaillierte Informationen zu den Software-Versionen – teilweise sogar der teure Austausch einer elektronischen Steuereinheit vermieden werden.

Dank der Teamcenter-basierten IVS können die Ford-Händler jetzt genau die Software-Updates herunterladen, die für ein bestimmtes Fahrzeug nötig sind, und so Ressourcen sparen, den Service beschleunigen und das Risiko neuer Probleme verringern. In Nordamerika allein hat diese Möglichkeit der „Flash-Programmierung“ Ford viel Geld ge-

rund 5.000 bis 7.000 Betriebsparameter für eine Vielzahl von Bordsystemen definiert und optimiert. Teamcenter verwaltet diese in einer einzigen, zentralen Bibliothek, um Dopplungen zu vermeiden und Software-Bausteine und Parameter konsistent zu verwenden. Das kann ein großer Pluspunkt sein, etwa wenn Funktionen wie eine adaptive Geschwindigkeitsregelung eingesetzt werden, bei der mehrere Module – zum Beispiel Brems- und Drosselregelung – miteinander über ein Bordnetz kommunizieren müssen. „Wiederverwendung von Software ist ein wichtiges Thema für die Autoindustrie“, meint Davey. „Dank Teamcenter können wir nun Software-Komponenten ohne Anpassungen komplett wiederverwenden.“

Da Fahrzeuge sich heute vor allem durch die Software unterscheiden, beschleunigt sich auch ihr Lebenszyklus – genau wie bei Smartphones und anderer Elektronik. „Neben den üblichen Kfz-Lebenszyklen von zwei bis drei Jahren müssen wir die Lebenszyklen von Verbraucherelektronik beachten, die sechs bis neun Monate betragen“, sagt Davey.

Alles in allem sind das wichtige Schritte hin zu einer einheitlichen Datenbasis für Hard- und Software, auch wenn es wegen der Inkompatibilitäten zwischen alten und modernen Systemen noch Jahre dauern wird, bis diese Vision Wirklichkeit wird. „Ford ist eines der wenigen Unternehmen, die bereits



Ob Handarbeit oder per Roboter gefertigt: Neue Software-Lösungen verbinden in der digitalen Fabrik alle Produktionsprozesse.

drei Millionen Programmzeilen. Angesichts der immensen und weiter wachsenden wirtschaftlichen Bedeutung von Software für die Produktentstehung und der steigenden Komplexität hat Ford in enger Zusammenarbeit mit Siemens ein „In-Vehicle Software“ (IVS)-Managementsystem implementiert. Das ist eine globale Informationsplattform für die Software und Hardware des Autoherstellers. Mit Teamcenter von Siemens, dem weltweit am meisten genutzten Product Life-

spart. „Wir hatten Einsparungen zwischen einer und fünf Millionen Dollar pro Jahr erwartet“, sagt Chris Davey, technischer Leiter für Software und Steuerungssysteme bei Ford. „Jetzt haben wir in drei Jahren bereits über 100 Millionen Dollar gespart.“

**Software-Recycling.** Die Wiederverwendung von Software bietet zusätzliches Sparpotenzial. Ein Beispiel: Bei der Entwicklung eines Fahrzeugs werden im Allgemeinen

ihre gesamte Software in einer einheitlichen Produktdatenmanagement-Umgebung entwickeln, vertreiben und nachverfolgen“, erklärt Jockusch. „Sie sind auf dem richtigen Weg, um irgendwann ihre Datenbanken zu verschmelzen und Fahrzeuge vor der eigentlichen Produktion komplett in der virtuellen Welt zu entwickeln und zu testen. Dies ist der einzige Weg, um die Dinge zu vereinfachen, obwohl unsere Produkte insgesamt immer komplexer werden.“ ■ Arthur F. Pease



## In der Fertigung wächst zusammen, was zusammen gehört

Das Verschmelzen virtueller Welten mit der realen Fertigung wird ganz neue Produktionsumgebungen hervorbringen: Maschinen organisieren sich in smarten Fabriken weitgehend selbst, Lieferketten stimmen sich automatisch ab, und Rohprodukte liefern ihre kompletten Fertigungsinformationen selbst an die Maschinen, die sie in der realen Welt vollenden. Siemens wird diese Entwicklung wesentlich mitgestalten.

**Europa und die USA** wollen die industrielle Wertschöpfung deutlich steigern. Deutsche Medien überschlagen sich derzeit mit Superlativen, wenn es darum geht, die nächste Stufe der industriellen Fertigung zu beschreiben: vom Paradigmenwechsel hin zur intelligenten Fabrik ist die Rede, sogar von der vierten industriellen Revolution. Die erste wurde durch die Einführung der Dampfmaschine und die Mechanisierung von Handarbeit im 18. Jahrhundert ausgelöst, die zweite durch die Massenfertigung zu Beginn des 20. Jahrhunderts, die dritte durch den Einsatz von Elektronik und Computertechnik zur Fertigungsautomatisierung in den vergangenen Jahrzehnten. Steht nun schon eine vierte Revolution, eine Industrie 4.0, bevor? Peter Herweck, Leiter der Strategieabteilung bei Siemens, sieht das etwas nüchterner: „Wir sprechen hier über einen Zeitraum von etwa zwanzig Jahren. Das Endergebnis wird zwar aus heutiger Sicht revolutionär sein, doch letztlich handelt es sich um eine Vielzahl von Entwicklungsschritten“, erklärt er.

Dennoch sind sich alle Experten einig, dass künftige Produktionsstätten im Ver-

gleich zu heute wesentlich smarter sein werden: Dank des Einsatzes von miniaturisierten Prozessoren, Speichern, Sensoren und Sendern in nahezu allen denkbaren Maschinen, Rohprodukten und Materialien, dank neuer Software, die die Datenflut strukturiert und dank intelligenter Werkzeuge können dann Produkte und Maschinen untereinander Informationen und Befehle austauschen: Die Fabrik der Zukunft würde sich und ihre Fertigungsprozesse weitgehend selbst optimieren und steuern. Doch der Weg dorthin, auch darin sind sich alle Experten einig, wird ein sehr langer sein.

Das nimmt dem Trend nichts an Bedeutung: Die deutsche Bundesregierung hat rund 200 Millionen Euro Fördergeld zur Verfügung gestellt, um Verbände, Forschungsinstitute und Unternehmen darin zu unterstützen, eine Umsetzungsstrategie zu entwickeln. Auch die US-Regierung sieht die Notwendigkeit, innovative Fertigungsstrategien zu entwickeln und will den Aufbau eines nationalen Netzwerks aus Forschung und Unternehmen mit bis zu einer Milliarde Dollar unterstützen. Während die Infrastruktur für

überall verfügbare Breitbandnetze Sache der öffentlichen Hand ist, muss die Industrie dafür sorgen, ihre Handlungsfelder wie die Standardisierung von Daten und Übermittlungsprotokollen rechtzeitig zu bestellen.

„Auf dem Weg zu einer Industrie 4.0 müssen wir noch viele Medien- und Datenbrüche überwinden“, bestätigt Marion Horstmann, die Strategie-Chefin des Sektors Industry von Siemens. Sie ist auch die Stimme des Unternehmens in der Forschungsunion, dem Beratungsgremium aus Wissenschaft und Wirtschaft für die Hightech-Strategie der Bundesregierung. Hier wurde auch der Begriff „Industrie 4.0“ geprägt, der außerhalb von Deutschland allerdings kaum Verwendung findet. Das ändert aber nichts daran, dass auch andere Industrienationen dasselbe Ziel haben, nämlich eine kostengünstige und möglichst flexible Produktion mit immer schnelleren Innovationszyklen voranzutreiben.

Deutschland will bei diesem Trend die Nase vorn haben: Nach Ansicht von Politik und Wirtschaft sind die Voraussetzungen ideal, um deutsche Unternehmen als Leitanbieter für „Cyberphysical Systems“ (CPS) zu



Zusammenspiel: In einer smarten Fabrik organisieren sich Anlagen weitgehend selbst. Der Mensch bleibt die letzte Entscheidungsinstanz.

entwickeln – dies ist einer der üblichen internationalen Begriffe für die Konzepte aus Software, Sensor-, Prozessor- und Kommunikationstechnik, die hinter der Industrie 4.0 stehen (S.36). Die Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, acatech, rechnet damit, dass die neuen Fertigungsverfahren zu einer Produktivitätssteigerung der Industrie von 30 Prozent führen werden. Sie weist auch darauf hin, dass CPS nicht nur das Feld der Produktion, sondern auch das der Mobilität und der Medizinversorgung revolutionieren werden.

„Und Siemens als der weltweit führende Anbieter von Automatisierungstechnik und Industriesoftware wird eine Schlüsselrolle in diesem Prozess spielen“, erklärt Peter Herweck. Die notwendigen Strukturen sind bereits geschaffen: „Siemens baut seit Jahren

alle Aktivitäten rund um die sogenannte vertikale IT aus“, sagt Horstmann. Hinter jedem Kauf eines Software-Unternehmens, den Siemens in den vergangenen Jahren getätigt hat, stehe die Strategie, alle Kompetenzen, die man für Industrie 4.0 braucht, zur bündeln und weiter zu entwickeln (S.22).

Eine Produktion im Sinne von Industrie 4.0 schildern Experten gerne als einen Markt, auf dem Maschinen ihre Dienste anbieten und sich in Echtzeit mit den Produkten austauschen. Wie das funktionieren kann, belegt die Smart Factory, die das Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) zusammen mit 20 Partnern aus Industrie und Forschung, darunter auch Siemens, in Kaiserslautern aufgebaut hat. Die Pilotanlage zeigt anhand von Seifenflaschen, wie

Produkt und Produktionsanlage kommunizieren: Die leere Seifenflasche ist mit einem RFID-Tag – einem intelligenten Funketikett – versehen, das der Maschine das Kommando gibt, ob sie einen weißen oder einen schwarzen Verschluss benötigt. Das heißt, das gerade entstehende Produkt trägt sein digitales Produktgedächtnis von Anfang an mit sich, meist auf dem Rohling, und kann via Funk mit seiner Umwelt kommunizieren. So wird das Produkt zu einem „Cyberphysical System“, das reale und virtuelle Welt miteinander verbindet.

**Varianten per Mausklick.** Dass die Smart Factory auch in der Realität in Ansätzen bereits funktioniert, lässt sich im Siemens Elektronikwerk in Amberg überprüfen, das für seine großen Fortschritte in Sachen Digitalisierung bereits mehrfach ausgezeichnet wurde. Um das Standardprogramm mit seinen rund 1000 Artikeln effizient produzieren zu können, setzen die Planer modernste Siemens PLM-Software ein: Mit wenigen Mausklicks tüfteln sie für neue Produkte verschiedene Fertigungsvarianten aus, kalkulieren und vergleichen sie untereinander anhand von Kenngrößen, um die effizienteste Variante auszuwählen (*Pictures of the Future*, Herbst 2011, S.94). „Anhand der Amberger Fabrik kann man gut sehen, wohin die Reise geht“, sagt Horstmann. Noch muss in Amberg die digitale Planung sozusagen händisch in die reale Produktion übertragen werden. Beide Vorgänge laufen nacheinander ab. In Zukunft sollen sie sich aber zeitlich immer mehr überschneiden, am Ende praktisch gleichzeitig stattfinden, in Amberg wie in allen hoch automatisierten Fertigungen: Planen die Ingenieure ein neues Produkt, zum Beispiel eine neue Schaltung, ent-

werfen sie mithilfe spezieller Software parallel dazu das Produktionsverfahren inklusive Mechanik, Elektronik und Automatisierung.

So wie man heute verschiedene Geräte mit einem USB-Stecker an den PC anschließt, so sollen sich in der Industrie 4.0 eines Tages Feldgeräte, Maschinen und Anlagen ohne weitere Parametrierung oder Programmierung zu Produktionssystemen zusammenschließen lassen. Dafür müssen sie aber perfekt zusammenspielen. Das TIA Portal von Siemens Industry ermöglicht bereits heute, Automatisierungsprozesse mit durchgängig nutzbaren Daten zu planen, zu testen und in Betrieb zu nehmen (*Pictures of the Future*, Frühjahr 2012, S.111). „In der Automatisierung geht es längst nicht mehr nur um die Steuerung von Produktionsprozessen, sondern auch darum, Maschinen und Anlagen schnell auf neue Produkte einstellen zu können“, erklärt Dr. Thomas Hahn, der bei Siemens Corporate Technology (CT) alle Aktivitäten rund um Industrie 4.0 begleitet.

**Datenbrüche überwinden.** Diese neue Produktionswelt wird nach und nach Realität werden. Um auf die Pilotanlage für Seifenflaschen zurückzukommen: Woher weiß die Maschine, wie viele Flaschen mit weißen und wie viele mit schwarzen Deckeln bestellt sind? Ob genug Deckel vorrätig sind oder wann diese geliefert werden? Und ob es im Lager genügend Personal gibt, um die Lieferungen entgegenzunehmen? Diese Informationen werden heute in unterschiedlichen Systemen verwaltet: Während das Unternehmensplanungssystem (Enterprise Resource Planning, ERP) für Materialwirtschaft, Personalplanung, Kostenberechnungen und anderes zuständig ist, steuert das Fertigungs-

managementsystem (Manufacturing Execution System, MES) die Produktion. Das Problem ist: Die Daten können aufgrund verschiedener Formate, Betriebssysteme und Programmiersprachen nicht ohne weiteres von einem System in das andere übertragen werden. Doch genau das ist notwendig, damit virtuelle Welt und physische Produktion miteinander verschmelzen können.

„Man muss jetzt erst einmal analysieren, welche Daten denn überhaupt für die Produktion relevant sind“, erklärt Jürgen Back, Spezialist eines CT-Teams für Fertigungsoptimierung. Die Tatsache, dass die Datenflut jeden Tag wächst, macht diese Aufgabe nicht einfacher. Deshalb sind jetzt erst einmal die CT-Forscher gefragt: „Wir planen etliche Verbund-Projekte mit unseren wissenschaftli-

chen Forschungspartnern, also Universitäten und Instituten“, sagt Hahn.

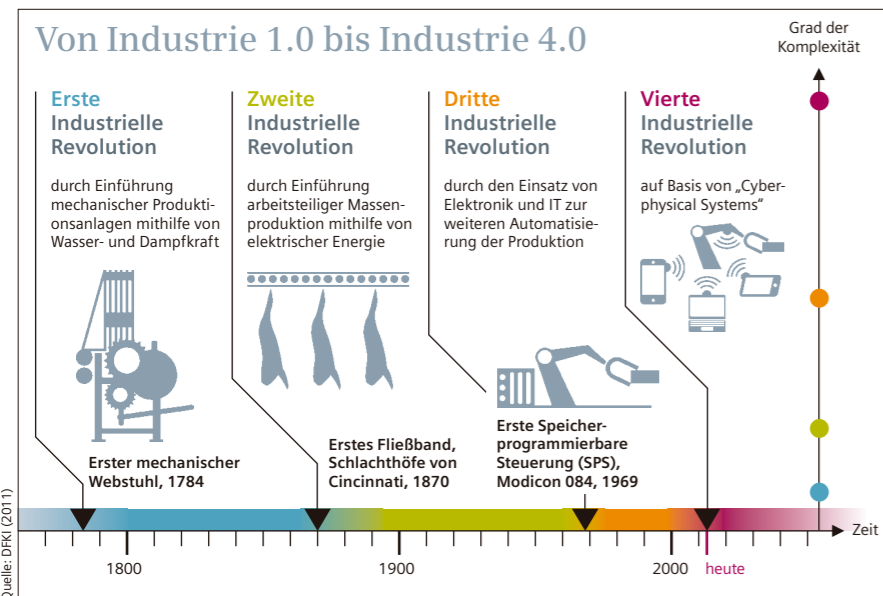
Die genaueren Ziele werden gerade definiert: „So wie wir früher mit Telefonen nur telefoniert haben und heute Fotos und Filme aufnehmen, versenden, Termine verwalten und uns von Apps durch den Alltag begleiten lassen, so werden auch die Produktionsanlagen nicht nur reine Daten zur Steuerung austauschen, sondern auch ganz andere Inhalte. Welche das sein könnten, wollen wir jetzt erforschen“, erklärt Hahn. Ein weiteres großes Forschungsthema wird die Sicherheit der Daten sein. Denn wenn ein ganzes Produkt mit einem Datensatz gefertigt werden kann, müssen sich Unternehmen noch besser gegen Industriespionage und Produktpiraterie schützen.

### Forschungsprojekte sollen klären, welche Daten die „Cyberphysical Systems“ überhaupt brauchen und wie diese bestmöglich eingesetzt werden können.



Simulationen für alles: Fertigungsvarianten können ebenso vorab getestet werden wie Kostenentwicklungen oder Materialeinsatz.

Bereits jetzt steht fest, dass „wer den Trend nicht mitmacht, gnadenlos abgehängt wird“, sagt Dr. Armin Haupt. Er leitet in Erlangen die CT-Abteilung für Produktionsplanung und Optimierung. „Die Voraussetzung, dass Firmen an der digitalen Zukunft teilhaben können, sind durchgängig nutzbare Daten“, sagt er. Dies ist der erste Meilenstein, den es zu erreichen gilt. Die Siemens-Berater analysieren gerade in verschiedenen Produktionsstätten des Unternehmens die eingesetzten Daten, um daraus Roadmaps erarbeiten zu können – das heißt Entwicklungspfade, wie man zu einer einheitlichen Datenlandschaft kommt.



## Software ist der Schlüssel zur Industrie 4.0

Um wettbewerbsfähig zu sein, müssen Unternehmen immer komplexer werdende Produkte immer günstiger und in immer kürzerer Zeit entwickeln und herstellen. Zusätzlich werden die Kundenanforderungen immer höher und differenzierter. Die Lösung sehen Produktionsexperten in einer möglichst umfassenden Verschmelzung von virtueller Planung mit der physischen Fertigung. Dies steckt hinter den neuen Konzepten der „Cyberphysical Systems“ (CPS) oder der Industrie 4.0.

Dabei ist maßgeschneiderte Software unverzichtbar – und zwar weniger die sogenannte „horizontale IT“, die sich wie Office-Programme oder Datenbanken für viele Anwendungen eignet. Entscheidender ist die „vertikale IT“, also Lösungen, die gezielt für bestimmte Branchen und deren spezielle Bedürfnisse entwickelt werden. Hier liegen die wichtigsten Betätigungsfelder der 17.500 Software-Entwickler bei Siemens – womit das Unternehmen der zweitgrößte europäische Softwarekonzern nach SAP ist (*Pictures of the Future*, Herbst 2012, S.48). Um die Expertise in „vertikaler IT“ weiter voranzutreiben, hat Siemens in den vergangenen Jahren eine ganze Reihe von Software-Firmen gekauft und in den Sektor Industry integriert. Es sind meist Spezialisten für Funktionen, die innerhalb größerer Software-Anwendungen einen bestimmten Teilbereich abdecken. „Gekoppelt mit den Schlüsselkompetenzen von Siemens in der Automatisierung ergibt dies ein Angebot von Industriosoftware, das sich über den gesamten Wertschöpfungsprozess für Produktentwicklung und Produktion erstreckt“, erklärt Marion Horstmann, Strategie-Chefin im Sektor Industry.

Der Startschuss fiel 2007 mit dem Erwerb des US-Unternehmens UGS, das heute unter Siemens Product Lifecycle Management (PLM) Software firmiert. Der bislang spektakulärste Einsatz von PLM-Software war neben den Formel-1-Boliden von Infiniti Red Bull Racing die Vorbereitung der Mission des Mars-Fahrzeugs „Curiosity“, das 2012 auf dem Roten Planeten gelandet ist (*Pictures of the Future*, Herbst 2012, S.55). Die NASA setzte die PLM-Software von den ersten Entwürfen bis zur Simulation beim Eintritt in die Marsatmosphäre ein. Abgesehen von solchen Vorzeigeprojekten ist die PLM-Software bei über sieben Millionen lizenzierten Anwender im Einsatz, die die Funktionalität ihrer Produkte bereits in der Planungsphase testen müssen, wie etwa in der Luftfahrt- und Autoindustrie. Viel Zeit spart die Software auch bei der Produktionsplanung, indem Fertigungsprozesse auf virtuellen Anlagen simuliert werden. Davon profitieren die Kunden der Automatisierungsanlagen von Siemens: „Je genauer die Eigenschaften der Maschinen bekannt sind, auf denen die Produkte hergestellt werden, desto präziser können die Simulationen programmiert werden“, sagt Lothar Hahn, Leiter Vertrieb und Services von Siemens PLM Software in Deutschland.

Ein anderer Software-Spezialist, Perfect Costing Solutions in Göppingen, gehört seit September 2012 zu Siemens PLM Software. Damit lässt sich bereits in der Planungsphase berechnen, welche Kosten für die Herstellung eines neuen Produktes entstehen werden. „Dies geschieht bisher oft sehr spät“, sagt Hahn. Wenn die Entwickler die Einkaufsabteilung hinzuziehen, ist die Planung dann schon so weit fortgeschritten, dass Änderungen aus Kostengründen sehr aufwändig sind. Der Clou an der Software ist, dass alle Entwicklungen, die die Kosten beeinflussen, ständig einfließen und daher jederzeit Einkaufspreisanalysen zur Verfügung stehen, sowie Design- und Fertigungsalternativen schnell berechnet werden können.

Wie wirken sich Schwingungen an Rotor und Gondel einer Windkraftanlage aus? Wie schnell nutzen sich die Bauteile dadurch ab? Wie laut ist es in einem Auto, wenn es über eine Straße mit Kopfsteinpflaster fährt? Solche Tests können heute im Computer nachgebildet werden, mithilfe von Software, die die Firma LMS in Leuven, Belgien, entwickelt. LMS gehört seit November 2012 zu Siemens PLM Software und unterstützt alle großen Auto- und Flugzeughersteller weltweit inklusive ihrer Hauptzulieferer mit Software zur Simulation und zum Test mechatronischer Systeme. Die Kombination realer Teststände mit Software ermöglicht präzisere Analysen hinsichtlich Akustik, Schwingungen, Betriebsfestigkeit und Dynamik. Hersteller können so ihre Produkte künftig mit einer durchgängigen Datenbasis simulieren, optimieren und produzieren.

Auf die Simulation von Eigenschaften von Verbundwerkstoffen, vor allem Carbonfasern, hat sich die US-Firma Vistagy in Waltham, Massachusetts, spezialisiert, die seit November 2011 zu Siemens gehört. Moderne Flugzeuge bestehen bereits heute zu über 50 Prozent aus Carbonfasern, und für Rotorblätter von Windturbinen gibt es speziell entwickelte Carbonmaterialien. Mit Kohlefaser verstärkter Kunststoff spielt auch in der Autoindustrie eine immer wichtigere Rolle. Die Software von Vistagy ist die einzige weltweit, die die spezifischen Eigenschaften dieser Verbundstoffe von der Entwicklung bis zur Fertigung simulieren kann. Vertikale IT wie die Programme von Vistagy oder von Kineo C.A.M., einem französischen Siemens-Unternehmen, das auf die Planung automatisierter Produktionsanordnungen spezialisiert ist, sind wichtige Bausteine für die Fertigung der Zukunft. Marion Horstmann ist daher überzeugt, dass „große Unternehmen wie Siemens mit ihrer umfassenden Software-Kompetenz entscheidende Treiber der Industrie 4.0 sein werden“.

Katrin Nikolaus

Viele der Technologien, die für Industrie 4.0 notwendig sind, gibt es bereits: das Internet, Profinet als standardisierte Datenverbindung für Industrieanlagen, Simulationssoftware, das TIA Portal für schnelles Engineering. Deshalb sind sich die Experten auch so sicher, dass die Entwicklung nicht aufzuhalten ist: „Industrie 4.0 ist nicht nur eine Idee, deren Umsetzung noch komplett aussteht“, sagt Siemens-Strategie Herweck. Anders als ähnliche Konzepte, die bereits in früheren



Alles in 3D: Neue Produkte – vom Motorrad bis zum Bagger – werden mit Software von Siemens getestet und schnell umgesetzt.

Jahren propagiert wurden, wie etwa das Computer-integrated Manufacturing (CIM), entsteht der Trend Industrie 4.0 aus dem Zusammenwachsen und der Weiterentwicklung vorhandener Technologien. Und laut Herweck gibt es noch einen großen Unterschied: „Die großen Industrieunternehmen sitzen bei diesem Thema bereits gemeinsam mit der akademischen Forschung und der Politik an einem Tisch.“ ■ Katrin Nikolaus



**Prof. Dr. Michael Friedrich Zäh** (50) ist Institutsleiter für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik an der Technischen Universität München. Nach seinem Studium des allgemeinen Maschinenbaus hatte er eine leitende Tätigkeit bei einem Unternehmen des Werkzeugmaschinenbaus und arbeitete zeitweise im Rahmen einer ERP-Systemeinführung für die Gleason-Gruppe in Rochester, N.Y., USA sowie in Südkorea, Großbritannien, Brasilien und Japan. 2002 kehrte er an die TU München zurück – unter anderem leitete er auch Forschungsarbeiten im Exzellenzcluster CoTeSys, Kognition für technische Systeme. In den dazu gehörenden Projekten wurden humanoide Roboter genauso untersucht wie autonome Fahrzeuge oder auch Robotersysteme in der Fabrikumgebung.

### Was ist die größte Herausforderung für Fabriken der Zukunft?

**Zäh:** Die Industrie befindet sich in einem ständigen Spannungsfeld zwischen Produktivität und Flexibilität: Einerseits will man möglichst effizient fertigen, andererseits möchte man auch der stark individualisierten Nachfrage gerecht werden. Um flexibel zu sein, muss man aber häufig von einer Produktvariante auf eine andere umrüsten. Für die extremste Form der Flexibilität – die

beiten müssen, dass der Roboter aus den Handlungen des Menschen lesen kann, welches Verhalten angemessen ist und der Roboter keine Gefahr für den Menschen am gemeinsamen Arbeitsplatz darstellt. Derzeit sind die Arbeitsplätze von Roboter und Mensch noch strikt getrennt. Der Kollege Roboter – das ist unsere Vision. Derzeit sind die Roboter vor allem produktiv und die Menschen flexibel. Wir wollen das Beste aus beiden Welten vereinen.

## „Der Kollege Roboter ist unsere Vision“

Massenmaßanfertigung – also ein individualisiertes Massenprodukt – reicht die konventionelle Automatisierung nicht aus. Diese ist zwar produktiv, aber relativ unflexibel. Diesen Widerspruch zu vereinen, ist derzeit die größte Herausforderung.

### Welche Konzepte gibt es, diese Ziele miteinander vereinbar zu machen?

**Zäh:** Mit der konventionellen Form der Automatisierung ist das nicht möglich. Was wir brauchen, sind kognitive Produktionssysteme. Das flexibelste System ist der Mensch mit seinen Fähigkeiten. Wir beherrschen zum Beispiel den „PCA-Loop“ – ein Akronym für Perception, Cognition und Action. Wir Menschen nehmen etwas wahr, das ist die Perzeption, verarbeiten es kognitiv und leiten daraus Aktionen ab. In der Produktion von morgen muss es ebenso eine Technik geben, die die Fähigkeit zur kognitiven Verarbeitung besitzt, also eine Wahrnehmung mit einer Bedeutung verbindet und daraus sinnvolle Handlungen ableitet.

### Wie lässt sich das technisch umsetzen?

**Zäh:** Schon heute gibt es in den Fabriken Roboter mit Sensoren. Diese müssen so weiterentwickelt werden, dass sie auf Informationen aus der Umwelt reagieren können – sie müssen also auch veränderte Situationen verarbeiten. Heute funktioniert das noch nicht. Zum Beispiel, wenn zwei Gegenstände nicht zusammenpassen, klemmen oder zu viel Spiel haben – dann weiß der Roboter nicht, was er tun muss. Ein wichtiges Ziel ist auch, dass Mensch und Roboter nicht länger räumlich getrennt ar-

### Wie macht man eine Maschine zum Mitarbeiter?

**Zäh:** Um Roboter mit der Fähigkeit zur Kognition auszustatten, gibt es mehrere Möglichkeiten. Man könnte etwa eine Datenbank entwickeln, in der sämtliche Anweisungen, wie etwas zu tun ist, hinterlegt sind. So wie im Internetportal WikiHow. Da haben unsere Informatiker Algorithmen geschaffen, die die Texte aus WikiHow in Aktionen eines Roboters umsetzen. Der Nachteil ist, dass der Mensch alle Eventualitäten vorausdenken muss. Ein anderer Ansatz sind Roboter mit der Fähigkeit zu lernen. Beispielsweise sind dies Roboter, die Menschen beobachten, Bewegungsmuster, Handlungen und Gestik erkennen und in der Lage sind, diese Informationen zu verarbeiten, so, dass sie uns nachahmen können. Solche Roboter könnten dem Menschen ideal zurarbeiten, da sie ganz auf ihren menschlichen Kollegen eingestellt sind. Noch ist das Zukunftsmusik, aber um den Zielkonflikt zwischen Produktivität und Flexibilität aufzulösen, wäre das ideal.

### Welche Ansätze gibt es, den Arbeitsraum von Mensch und Roboter zu vereinen, also sozusagen die Schutzgitter aufzuheben?

**Zäh:** Da gibt es unterschiedlichste Varianten: Zum Beispiel Fußmatten, die Kontakte auslösen, wenn der Mensch auf ihnen steht. Man kann auch mehrere Matten kombinieren und damit einen Bewegungsablauf in mehrere Sektoren zerlegen. So weiß der Roboter, wo sich der Mensch befindet, wo er sich bewegt und agiert. Ein anderer Ansatz sind Laserscanner, die über dem

Montagetisch den Raum abtasten – oder natürlich Kameras. Der Roboter nimmt die Bewegungen wahr und kann im Nahfeld des Menschen seine Geschwindigkeit reduzieren, um ihn nicht zu erschrecken oder zu verletzen. Die Idee ist, dass der Roboter die belastenden Arbeiten erledigt – beispielsweise schwere Objekte trägt oder Werkzeug bereit legt – und der Mensch die feinsto-

risch und kognitiv anspruchsvollen übernimmt. Mensch und Roboter würden dann in der Fabrik der Zukunft bestmöglich zusammenarbeiten – Produktivität und Flexibilität stiegen gleichermaßen. Besonders vor dem Hintergrund einer alternden Belegschaft wäre eine solche Mensch-Maschine-Kooperation sehr wünschenswert.

■ Das Interview führte Susanne Gold

## Arbeitsplatz nach Maß

**In der Fabrik der Zukunft** wird ein Arbeiter wohl nur noch durch seine Arbeitskleidung an frühere Zeiten erinnern. Zwar wird er wohl nach wie vor an Montageplätzen arbeiten, doch wird es weder starre Schichten und Produktionsabläufe noch feste Arbeitsplätze mehr geben. Auch monotone und einseitig belastende Tätigkeiten dürften in 15 Jahren schon weitgehend der Vergangenheit angehören, glauben Johannes Scholz und Johannes Labuttis. Die beiden Ingenieure haben an der TU München Maschinenbau studiert und beschäftigen sich nun bei Siemens Corporate Technology in München mit der Rolle des Menschen in der Produktion. „Die Mitarbeiter organisieren mit Computerunterstützung selbstständig ihre Schichten über ihre Smartphones, wobei sie sogar ihre persönlichen chronobiologischen Typen berücksichtigen können – also ob sie von Natur aus eher Früh- oder Spättypen sind“, sagt Scholz. „Damit können sie ihre Arbeit flexibel ihren privaten Bedürfnissen und ihrer jeweiligen Lebenslage anpassen.“ (Pictures of the Future, Herbst 2010, S. 92)

Es gehe darum, das individuelle Zeitmanagement der Arbeitnehmer mit dem Personalbedarf des Unternehmens optimal zu kombinieren. Denn die Fabrik von morgen, so der Maschinenbauingenieur, ist hochflexibel und wie eine Art lebendes Internet organisiert – alles ist mit allem vernetzt. „Die Produktionslinien mit ihren einzelnen Montagearbeitsplätzen sind wandelbar und können – je nach Kundenauftrag – problemlos umgerüstet werden“, erklärt Labuttis. So kann die Produktion schnell einer veränderten Nachfrage angepasst werden. Die Mitarbeiter durchlaufen in festgelegtem Takt alle Montagearbeitsplätze. Sie kennen alle Arbeitsschritte, vom Rohling bis zum Endprodukt. Für das Management der Fabrik hat dies den Vorteil, dass die Arbeiter an allen Plätzen effizient zum Einsatz kommen. Da alles miteinander vernetzt ist, „wissen“ die Montagearbeitsplätze jederzeit, welcher Mensch als nächstes an ihnen arbeiten wird – und werden sekundenschnell auf den nachfolgenden Arbeiter umgestellt: Werkzeuge liegen am „Best Point“, und die höhen- und neigungsverstellbaren Montageplätze sind auf die individuellen Körpermaße und etwaigen Beeinträchtigungen eingestellt. „Die Varianten sind dabei so individuell wie der Arbeitnehmer selbst. Das können Stehhilfen sein, Fußabstützungen oder gar ein ganz veränderter Arbeitsplatzaufbau“ erklärt Labuttis.

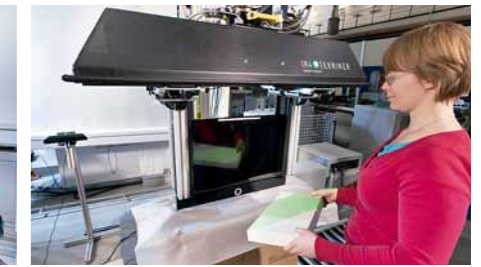
Zudem helfen kooperative Roboter bei schweren Tätigkeiten. In dieser Fabrik der Zukunft wird produktiv und zugleich flexibel gearbeitet – für die Flexibilität sorgen die Menschen, für die effiziente und schnelle Fertigung die Roboter. Wandeln wird sich auch das Durchschnittsalter der Beschäftigten. Vor allem in den heutigen Industrieländern wird es in den Betrieben von morgen eine wesentlich ältere Belegschaft geben. Der Grund: der rasch voranschreitende demographische Wandel.



Im Jahr 2050 wird es weltweit dreimal so viele Menschen geben, die über 65 Jahre alt sind, als heute – derzeit sind es 500 Millionen. Damit die Sozialsysteme bezahlbar bleiben, werden die Menschen also länger arbeiten müssen – doch zugleich werden auch die Qualifikation und das Erfahrungswissen der älteren Mitarbeiter in den Betrieben von Morgen dringend benötigt.

Susanne Gold

**Kooperativ: Prof. Michael Zäh und Carolin Zwicker tauschen mit einem Verpackungsroboter über X-Box und Lichtsignale Informationen aus.**



## „Es wird eine neue Form flexiblen Arbeitens entstehen“

**Wird der Fabrikarbeiter in Zukunft mehr wissen müssen als heute?**

**Spath:** Neben dem erforderlichen Fachwissen wird er vor allem die Zusammenhänge in der Produktion kennen müssen. Entscheidungen können durch Technik unterstützt werden, aber die Mitarbeiter müssen wissen, welche Auswirkung ihre Entscheidung hat – und das in einer immer komplexer werdenden Umgebung. Da dieses Wissen sehr stark vom jeweiligen Unternehmen abhängt, wird die Bedeutung des „Training-on-the-job“ zunehmen.

**Welche Rolle wird menschliche Arbeitskraft in der Fabrik von morgen noch spielen?**

**Spath:** Menschen werden auch in Zukunft drei wesentliche Funktionen abdecken: Technisch gesprochen sind sie Sensor, Entscheidungsträger und Akteur. In der Produktion wird nie alles im Vorhinein planbar sein. Um komplexe Situationen bewältigen zu können, braucht man Menschen mit all ihren Fähigkeiten. Als Entscheidungsträger müssen sie bei Zielkonflikten abwägen. Menschen werden nicht nur die Regeln für den Normalfall definieren, sondern auch die Entscheidungen im Konfliktfall treffen. Und als Akteure werden sie gebraucht, um individuelle Anforderungen von Kunden flexibel umsetzen zu können – natürlich unterstützt durch moderne Technik.

**Wie wird die Zusammenarbeit von Mensch und Maschine aussehen?**

**Spath:** Neue Roboterkonzepte werden eine einfache Interaktion mit Menschen ermöglichen. Insbesondere der Einsatz von Leichtbaurobotern zur Übernahme einfacher Einlege- und Positionieraufgaben wird zunehmen. Ich gehe aber davon aus, dass

auch in Zukunft der Mensch die führende Entscheidungsinstanz bleiben wird.

**Mit welchen Technologien wird der Fabrikarbeiter in seinem Alltag umgehen? Vor allem, wenn die Belegschaft immer älter wird?**

**Spath:** Wir haben über die letzten Jahre eine unglaubliche Lernkurve im Umgang mit Mobilgeräten im privaten Umfeld erlebt und setzen diese Technologien jetzt zunehmend auch in der Produktion ein. Während wir heute über den Einsatz von Tablet-PCs, Smartphones und Apps in den Fabriken diskutieren, steht die nächste Gerätegeneration schon vor der Tür. Die Einsatzmöglichkeiten für Geräte, die Informationen mobil bereitstellen und gleichzeitig die Hände frei halten, sind noch gar nicht ausgelotet. Obwohl genau dies eine klassische Anforderung aus der Produktion ist. Berührungängste – im wahrsten Sinne des Wortes – und Akzeptanzprobleme mit den neuen Technologien existieren momentan noch vor allem bei vielen älteren Mitarbeitern. Ich bin aber zuversichtlich, dass diese persönliche Nutzen klar gezeigt werden kann, machen sich Junge wie Alte neue Technik schnell zu eigen. Denken Sie nur an Senioren, deren Enkel im Ausland sind: Die nutzen dann ganz selbstverständlich die technischen Hilfsmittel wie Skype, E-Mail oder soziale Netze.

**Welche großen Herausforderungen wird das Management in der Fabrik der Zukunft meistern müssen?**

**Spath:** Momentan deutet vieles darauf hin, dass der Umgang mit neuen Formen flexibler Arbeit die größte Herausforderung darstellen wird. Das betrifft nicht nur die be-

reits angesprochenen Bereiche der Mensch-Maschine-Kommunikation und den Umgang mit intelligenten Objekten. Arbeit wird sich in Zukunft noch stärker als heute am tatsächlichen Bedarf ausrichten. Arbeitszeitmodelle werden sich ändern, bis hin zu angepassten flexiblen Lebensarbeitszeitmodellen. Ich gehe davon aus, dass eine neue Form räumlicher und zeitlicher Flexibilität entsteht. Wichtig ist hierbei, den Nutzen für alle Beteiligten herauszuarbeiten und vernünftig zu verteilen. Wir denken, dass sowohl Arbeitgeber als auch Arbeitnehmer davon profitieren können.

**Welche Auswirkungen wird das auf die Grenzen zwischen Privat- und Berufsleben haben?**

**Spath:** Diese Grenzen werden neu gezogen werden müssen. Das zeigt sich schon heute. Denken Sie etwa an die Diskussion um die Rund-um-die-Uhr-Erreichbarkeit via E-Mail. Ich sehe aber auch große Chancen, denn dezentrale Abstimmungsprozesse und die Bereitstellung von Informationen über Mobilgeräte können dem Mitarbeiter auch ein Stück verloren gegangener Zeitsouveränität zurückgeben, die für andere Lebensinhalte eingesetzt werden kann. Ist zudem der Arbeitsplatz nicht allzu weit von der Wohnung entfernt, ergeben sich dank der Informations- und Kommunikationstechniken ganz neue Formen flexiblen Arbeitens. Dies reicht bis zu „Patchwork“-Verhältnissen, bei denen Mitarbeiter in mehreren Unternehmen im Einsatz sein können. Ein Beispiel hierfür sind die spezifischen Belange älterer Mitarbeiter. Die Nähe zu allen Einrichtungen der Produktion und des eigenen Lebensumfelds werden ein altersgerechtes Arbeiten erleichtern.

■ Das Interview führte Susanne Gold



**Prof. Dr. Dieter Spath (61)** studierte Maschinenbau an der Technischen Universität München. Nach seinem Studium gehörte er der Geschäftsführung der KASTO-Firmengruppe an, bevor er 1992 zum Professor für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik an der Universität Karlsruhe berufen wurde. Seit 2002 ist Dieter Spath Leiter des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO) und des Instituts für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT) der Universität Stuttgart. Spath wurde unter anderem mit dem Bundesverdienstkreuz für herausragende Verdienste um Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft der Bundesrepublik Deutschland ausgezeichnet.

# Rückenwind für Wachstum

**Noch ist Strom aus Windkraftanlagen im Allgemeinen teurer als Kohlestrom. Um die nachhaltige Energiequelle konkurrenzfähig zu machen und weiteres Wachstum zu ermöglichen, will Siemens Wind Power durchgängig industrielle Fertigungsprozesse einführen. Vorbild ist dabei die Automobilindustrie.**

Die Windsparte von Siemens hat sich ein hohes Ziel gesetzt: Die Erzeugung einer Kilowattstunde (kWh) Onshore-Windstrom soll noch in diesem Jahrzehnt unter fünf Euro-Cent kosten und damit das Niveau von traditionellen Energieträgern erreichen – heute schlägt sie je nach Standort noch mit etwa sieben Cent zu Buche. Auch der Strom von Offshore-Windanlagen weit draußen auf dem Meer muss deutlich billiger werden: Derzeit kostet seine Produktion etwa doppelt so viel wie an Land. Bis spätestens 2020 will Siemens Wind Power diesen Wert auf unter zehn Cent pro kWh drücken und so die Windenergienutzung auf dem Meer konkurrenzfähig machen.

Im Oktober 2011 wurde Dr. Felix Ferlemann CEO der Windsparte. Der Maschinenbauer war zuvor über zehn Jahre in der Automobilindustrie tätig und hat sich dort nicht mit Generatoren und Rotorblättern, sondern mit Vakuumpumpen, Fahrwerken und Getrieben beschäftigt. Aber genau diese

Erfahrungen aus einem völlig anderen Bereich sind nützlich, denn die Windbranche will von der Autoindustrie profitieren, die ihr heute noch in manchen Dingen um einiges voraus ist. „Neben kontinuierlichen Innovationen ist die Industrialisierung der wichtigste Hebel, um Kosten zu senken“, erklärt Ferlemann. „In der Autoindustrie werden alle Komponenten schon seit Jahrzehnten konsequent so optimiert, dass sie sich möglichst kostengünstig herstellen lassen – davon kann auch die Windbranche noch viel lernen.“ Als Vorbilder dienen dabei Plattformstrategien, die Modularisierung, die Standardisierung und schlanke Produktionsabläufe.

Die Produktion der riesigen Rotorblätter für Windenergieanlagen ist ein gutes Beispiel dafür, wie die Windbranche von den Autoherstellern lernen kann. Siemens stellt als einziger Anbieter weltweit die bis zu 75 Meter langen „Blades“ aus einem Guss her (*Pictures of the Future*, Herbst 2009, S. 16 und Herbst 2007, S. 60). Dank dieser patentierten „Inte-

gral Blade Technology“ haben sie keine Nähte und sind damit frei von Schwachstellen – so können sie mindestens 20 Jahre lang Wind und Wetter widerstehen.

Allerdings ist die Herstellung von Blades arbeitsintensiv und langwierig: Heute legen Siemens-Mitarbeiter in der 250 Meter langen Produktionshalle im dänischen Aalborg die Formen für die Rotorblätter von Hand mit Glasfasermatten und Balsaholz aus, bevor die obere und untere Hälfte verbunden, evakuiert und mit flüssigem Epoxidharz gefüllt werden. „Das Auslegen der Formen könnten Roboter genauso gut und wesentlich schneller erledigen“, sagt Ferlemann. „Sie können vollautomatisch die Form entlang fahren und schaffen pro Sekunde drei Meter – so ließe sich die Produktionszeit von 300 auf 150 Stunden halbieren, wodurch wir pro Jahr 30 Millionen Euro Herstellungskosten sparen können.“

Erste Tests an einer Form für 40 Meter lange Rotorblätter sind schon sehr vielversprechend verlaufen. Bereits 2014 sollen in Aalborg die ersten 55 Meter langen Blades mit Hilfe von Robotern produziert werden. „Wir setzen dafür konventionelle Industrieroboter ein, die unsere Experten speziell für die Rotorblatt-Produktion programmieren“, berichtet Jan Rabe, Strategiechef von Siemens Wind Power. „Damit sind wir der Konkurrenz weit voraus.“ Das soll aber nur der erste Schritt sein: In Zukunft könnte Siemens maßgeschneiderte Matten für die Blade-Produktion selbst direkt aus der Glasfaser herstellen,



**Industrialisierung:** Siemens entwickelt für alle Teile einer Windkraftanlage neue Konzepte. So werden die Türme vor Ort aus Stahlshalen zusammengebaut, für die Herstellung der Rotorblätter sollen künftig Roboter eingesetzt werden, und viele Teile – wie auch die Gondel – werden modular gefertigt und angeliefert. So wird Windstrom wettbewerbsfähiger.

um die speziellen Anforderungen der Windräder zu berücksichtigen. „Je nach der Position am Rotorblatt können die Matten unterschiedlich dicht gewebt sein“, erklärt Rabe. „Wenn wir das bei der Produktion berücksichtigen, können wir die Kosten für die Flügel weiter reduzieren.“

Nur mit solchen Ansätzen kann die Windbranche das stürmische Wachstum der vergangenen Jahre überhaupt weiter fortsetzen. Allein der Umsatz von Siemens Wind Power hat seit 2004 um jährlich rund 40 Prozent zugelegt: Als Siemens damals den dänischen Hersteller Bonus übernahm, stellte das Unternehmen pro Jahr rund 200 Windkraftanlagen her und machte 300 Millionen Euro Umsatz – heute sind es etwa 2.000 Anlagen und fünf Milliarden Euro Umsatz. Der aktuelle Auftragsbestand liegt bei elf Milliarden Euro. „Natürlich hat man sich zunächst einmal darauf konzentriert, dieses Wachstum überhaupt zu stemmen“, sagt Ferlemann. „Aber jetzt befinden wir uns in einer Phase der Kon-



solidierung, und es gilt, die Produktivität zu steigern und die Kosten zu senken.“

**Gondel ohne Getriebe.** Das gilt auch für die Herstellung der Gondeln für Windkraftanlagen, die etwa 60 Prozent der Herstellungskosten verursachen – der Rest entfällt ungefähr zu gleichen Teilen auf den Turm und die Rotorblätter. Hier setzt Siemens Wind Power auf Modularisierung und geringere Komplexität: Die neuen drei und sechs Megawatt starken Turbinen kommen ohne die herkömmliche Kombination aus Getriebe und Asynchrongenerator aus und nutzen stattdessen einen direkt angetriebenen Synchrongenerator mit Permanentmagneten und eine entsprechende Umrichtung auf Netzfrequenz.

Durch diesen „Direct Drive“ ohne Getriebe entfallen 50 Prozent der Bauteile, und das Gewicht der Anlage sinkt um 30 Prozent. Außerdem sind die Windturbinen aus einzelnen Modulen zusammengesetzt, zum Beispiel für die Hydraulik oder die Leistungselektronik. Sie können auch in anderen Produkten zum Einsatz kommen – dadurch lassen sich viele Komponenten der Module (etwa die Elektromotoren zum Ausrichten der Turbine) für verschiedene Windkraftanlagen einsetzen, was zu geringeren Einkaufspreisen und einer günstigeren Lagerhaltung führt.

Die Kunden profitieren aber nicht nur durch geringere Investitionen für jedes Me-

gawatt installierte Leistung – sie sparen auch bei der Wartung: „Das getriebeles Design steigert die Zuverlässigkeit der Anlagen und vermeidet dadurch Kosten während der Betriebszeit, denn ein Getriebeschaden auf dem Meer kostet fast so viel wie das Aufstellen der Turbine“, rechnet Rabe vor. In Europa verkauft Siemens bereits überwiegend Anlagen mit „Direct Drive“, und Rabe rechnet damit, dass sie in wenigen Jahren den größten Teil des Portfolios ausmachen werden.

Bis dahin wird sich wahrscheinlich auch der grundsätzliche Aufbau der Gondeln ändern. Heute werden sie noch in einem der drei Werke im dänischen Brande, in Hutchinson, USA, oder in Shanghai komplett zusammengebaut und als Ganzes zur Baustelle transportiert. In Zukunft wollen die Ingenieure das komplexe System in zwei Module unterteilen, die sich erst an der Spitze des Windrad-Turms treffen – vorne sitzt der Generator, und im hinteren „Tail End“ sind die Leistungselektronik und der Stellmotor für die Gondel untergebracht. Das würde die Fertigung wesentlich flexibler machen: „Durch die Modularisierung könnten wir in Zukunft das Tail End weltweit an anderen Standorten herstellen“, sagt Rabe. „Das komplexe Generator-Modul würde aber nach wie vor nur an wenigen Standorten von Siemens selbst produziert – ganz ähnlich wie die Autohersteller die Motoren in eigenen zentralen Werken herstellen, sich aber Module wie die Cockpits liefern lassen.“

Zudem würde auch der Transport dieser „Split Nacelle“ zur Baustelle deutlich weniger kosten – denn es macht je nach Land einen großen Unterschied, ob man fast 80 Tonnen auf einmal oder zwei entsprechend leichtere Teile getrennt durch enge Straßen und über fragile Brücken lotsen muss. Auch der Transport der Türme wird sich wegen einer Siemens-Innovation bald vereinfachen: Sie bestehen heute meist noch aus großen und schweren Stahlsegmenten mit einem Durchmesser von bis zu sechs Metern, die an der Baustelle aufeinander gesetzt werden. Seit 2012 bietet Siemens für besonders hohe Anlagen die „Bolted Steel Shells“ an – statt aus drei viele Meter hohen Segmenten sind die Stockwerke des Turms aus 14 bis 18 Stahlschalen aufgebaut, die mit Bolzen zusammengeschraubt werden. „Die Einzelteile der neuen Stahlschalentürme können wir in einem Standard-Container transportieren“, berichtet Ferlemann. „Auch bei der Produktion der Segmente sinken die Kosten, weil wir sie vollautomatisch in hohen Stückzahlen aus Stahlbändern herstellen und sehr einfach lackieren können.“ Für Türme ab 115 Metern rechnet er mit signifikanten Einsparungen im Vergleich zu den herkömmlichen „Tubular Towers“ aus den individuell gefertigten Stahlringen.

**Autoindustrie ist Vorbild.** Eine solche Vereinfachung und Standardisierung strebt Wind Power für die ganze Produktpalette an. Von einst 13 verschiedenen Produktlinien wollen die Ingenieure auf nur noch vier Plattformen kommen – die Kunden sollen die Wahl zwischen zwei Turbinen mit 2,3 oder drei Megawatt und zwei größeren Anlagen mit vier oder sechs Megawatt Leistung haben. Jede der vier Plattformen bestünde wiederum aus sechs Modulen – Rotorblätter, Verbindungsstück zum Generator, Generator, Tail End, Turm und Elektronik zur Erzeugung der Netzfrequenz –, die ihrerseits aus Untermodulen aufgebaut wären. Damit wäre die Plattformstrategie aus der Autoindustrie endgültig in der Windbranche angekommen.

„Es geht darum, eine Windindustrie aufzubauen, die immer mehr ohne Subventionen auskommt“, beschreibt Ferlemann die dahinter stehende Motivation. „Dabei kann man von der Autoindustrie auch lernen, was man nicht tun sollte: Manche Hersteller haben viele Entwicklungskompetenzen zu ihren Zulieferern verlagert und damit Know-how verloren. Das wird Siemens nicht tun – das Unternehmen wird immer in der Lage sein, etwa die Gondel und die Rotorblätter selbst zu entwickeln und die Qualität zugekaufter Komponenten zu beurteilen.“ ■ Christian Buck



# Gemischte Verbindung

**Neue Werkstoffe sind für viele Siemens-Produkte ein Schlüssel zum Erfolg. Eine zentrale Rolle spielen dabei Verfahren, die bekannte Materialien neu kombinieren. Gleich mehrere Teams von Siemens Corporate Technology forschen hier an vorderster Front.**

**Für viele Unternehmen** hängt ihre Wettbewerbsfähigkeit unmittelbar von Werkstoffen ab, die Produkte kostengünstiger oder umweltfreundlicher machen. Das gilt auch für Siemens. Zum Beispiel bei Gasturbinen: Will man deren Wirkungsgrad erhöhen, bedeutet dies höhere Verbrennungstemperaturen und damit neue Werkstoffe, die das aushalten. Ähnliche Beispiele gibt es in fast allen Geschäftsfeldern des Konzerns.

Doch für neue Produkteigenschaften bedarf es nicht immer neuer Werkstoffe. Oft würden alte ausreichen, könnte man diese zu neuen Kombinationen verbinden. Wie dies geht, erforschen mehrere Teams bei Corporate Technology (CT), der globalen Forschung von Siemens. Ihre Idee: Wo heute ausschließlich Metalle oder Keramiken einer Sorte verwendet werden, sollen in Zukunft Kombinationen zum Einsatz kommen, jeweils maßge-

schneidert für einen Zweck. Außer der Steigerung der Leistungsfähigkeit rücken Rohstoff-Effizienz, Leichtbau und die damit einhergehenden Kostenvorteile immer mehr in den Vordergrund.

Wo die Reise hingeht, erläutert Dr. Friedrich Lupp, Principal Engineer bei CT, am Beispiel des „Narrow Gap Welding“, des „Engspaltschweißens“. Beim manuellen Schweißen werden für die Nahtvorbereitung zuerst die Kanten der Metallteile mechanisch so abgeschrägt – mit entsprechendem Abfall –, dass an der Verbindungsstelle eine V-Form entsteht. Danach wird diese V-förmige Lücke mit geschmolzenem Metall aufgefüllt.

Da die Metallteile Dicken von deutlich mehr als 250 Millimeter haben, sind die zu füllenden Räume entsprechend groß, es muss also sehr viel teurer Schweißdraht und Energie verwendet werden, um diese zu füllen.



**Neue Schweißtechniken:** Unterschiedliche Metalle lassen sich oft nur schwer verbinden. Bei Siemens experimentieren die Forscher mit einem Pressschweißverfahren, dem Spark Plasma Sintern (links). Beim Engspaltschweißen füllt ein automatisch geführter Schweißkopf die schmale Lücke zwischen zwei Werkteilen mit geschmolzenem Metall. Das spart Energie und Material (oben und rechts).

Anders bei dem von CT maßgeblich mitentwickelten Verfahren: Dort ist die Lücke nur 12 Millimeter schmal. Ein spezieller Schweißkopf fährt durch diesen Spalt und füllt ihn mit geschmolzenem Metall – automatisch und ohne Handarbeit.

Neu ist das Verfahren nicht – die Entwicklung dieser Schweißköpfe wurde bereits vor 30 Jahren begonnen. Doch mit der heute zur Verfügung stehenden Rechenpower können auch sich ändernde Spaltbreiten automatisch erfasst und ausgeglichen werden. Ein Teil der Sensorik ist der Schweißkopf selbst. Der Lichtbogen, der Draht und Grundmaterial schmilzt, dient dabei gleichzeitig als Sensor. Er misst über die elektrische Spannung und den Strom den Abstand zu den Wänden und zum Grund. Ebenfalls neu: Für die Qualitätskontrolle verwenden die Forscher erstmals einen temperaturfesten Röntgendetektor,



der unmittelbar nach dem Schweißen Defekte am noch heißen Teil aufspürt.

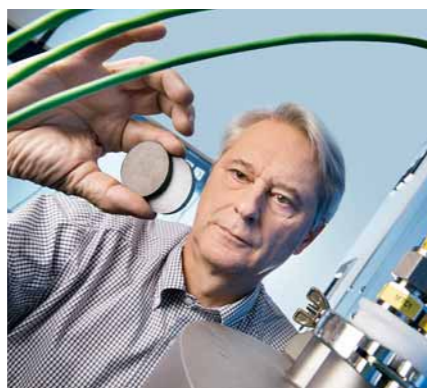
Die Teams arbeiten noch an weiteren Methoden. Eine ist das Schweißen mit Hochleistungslasern, die so schmale Nähte erzeugen, dass sie die metallurgischen Eigenschaften kaum verändern und den Energieverbrauch deutlich senken. Exotischer noch sind die Pressschweißverfahren. Dort werden zwei massive Werkstücke unter hoher Kraft gegeneinander gerieben, so dass sich die Oberflächen der beiden Teile verbinden, ohne dass die Werkstücke aufgeschmolzen werden. Das erlaubt es, auch Metalle zu verschweißen, die sich bisher nur schwer verbinden ließen – wie Aluminium und Kupfer oder Aluminium und Stahl. Noch ist vieles Grundlagenforschung. Falls die Tests in den CT-Labors erfolgreich sind, würden solche neuen Materialmische aber Kosten sparen: Teure Metalle wie Molybdän, Indium, aber auch Chrom, Kupfer oder Silber könnten dann ausschließlich an neuralgischen Stellen eines Produkts verwendet werden.

Bei einem kombinierten Gas- und Dampfturbinenkraftwerk gelten beispielsweise für den gemeinsamen Rotor ganz unterschiedliche Temperatur- und Materialanforderungen. Anstatt überall einen teuren Werkstoff zu verwenden, optimiert das Engspaltschweißen von Teilstücken den Rohstoffeinsatz. „Mein Traum ist eine Software, die den Konstrukteuren sagt, welche Materialien sie an wel-

cher Stelle mit welchen Fertigungsverfahren benutzen sollen, um die Rohstoff-Effizienz zu steigern und Kosten zu sparen“, sagt Lupp. Gleichzeitig solle die spätere Recycling-Fähigkeit bei dem Materialmix mit betrachtet werden. So ein Projekt könne man aber nur zusammen mit Siemens PLM-Software stemmen.

**Aus alt wird neu.** Auch wenn eine Turbine repariert werden muss, hat CT ein neues Schweißverfahren in petto. Dabei sprüht eine Düse Metallpulver auf verschlissene Turbinenschaufeln. Beim Auftreffen wird das Pulver von einem Laser aufgeschmolzen und verbindet sich mit der Schaufel. Eine Bildverarbeitungssoftware prüft vorher die Defekte und steuert einen Roboterarm mit der Schweißdüse. So lassen sich Bauteile beim Kunden halbautomatisch reparieren – Kollegen im Turbinenwerk von Siemens in Berlin haben das Verfahren bereits erfolgreich getestet. „Wiederverwenden statt Recyceln ist hier unser Ziel, weil es wertvolle Rohstoffe und Energie spart“, sagt Lupp.

Recyceln statt neu bauen – das bevorzugt auch Dr. Ursus Krüger, der in Berlin die Forschungsgruppe Coatings leitet, wo er das Kaltgasspritzen vorantreibt. Dabei schießt eine Überschalldüse Pulverteilchen mit bis zu 1000 Metern pro Sekunde auf die Oberfläche eines Bauteils. Beim Aufprall wird so viel Energie frei, dass die Partikel verschweißen.



Dauerhaft verbinden: Links schmilzt ein Laserstrahl aufgespritztes Metallpulver. Rechts: Dr. Wolfgang Rossner betrachtet eine stabile Metall-Keramik-Verbindung, die durch Spark-Plasma-Sintern entstand.

**Beim Kaltgasspritzen schießt Pulver mit bis zu 1000 Metern pro Sekunde auf Bauteile. Diese bleiben dabei kalt genug, um nicht verformt zu werden.**

Wegen der niedrigen Gas- und Pulvertemperaturen bleibt das Bauteil kalt genug, so dass es sich nicht verformt, gehärtet oder weichgeglüht wird – ideal für die Reparatur beschädigter oder mit Maßfehlern gelieferter Teile wie Gusseisengehäuse oder Leichtbauteile. Dank Kaltgasspritzen können größere Schäden mit dem gleichem Material repariert oder ganz neue Formen, die der Endkontur nahe kommen, gefertigt werden – teilweise sogar vor Ort und ohne Ausbauen von Teilen.

Anders als beim Flamm- oder Plasmaspritzen reagiert das Prozessgas beim Kaltgas-

spritzen nicht chemisch, so dass Zusammensetzung und Gefüge des Spritzguts während der Abscheidung erhalten bleiben. Kaltgasspritzen eignet sich daher zum Beschichten von Metallen, Keramik, Gläsern und Kunststoffen mit Metallschichten höchster Qualität und praktisch unbegrenzter Dicke. Es wirkt reinigend wie Sand- und verfestigend wie Kugel-Strahlen und macht Vorbehandlungen weitgehend überflüssig. Gespritzte Hartstoffschichten können sogar härter als ihr Ausgangsmaterial sein. Kaltgasspritzen mache einiges in der Fertigung einfacher, resümiert

### Erst rechnen, dann schweißen

**Welche Metalle lassen sich wie am besten verbinden?** Wissenschaftler in der Arbeitsgruppe „Metallverarbeitung und Engineering“ von Dr. Denis Saraev bei Siemens Corporate Technology in Russland suchen die Antwort im Computer. Herkömmliche Software kann zwar die Temperaturverteilung sowie Kräfte und Störungen beim Schweißen von Metall berechnen. Doch wenn ein Konstrukteur neue Werkstoffkombinationen oder neue Schweißverfahren nutzen will, war er bisher auf das Prinzip Versuch und Irrtum angewiesen. Hier hilft Saraevs Software: Sie wird mit Ergebnissen kommerzieller Schweiß-Simulationssoftware gefüttert und sagt auf dieser Basis dann voraus, welche Metalle sich überhaupt verschweißen lassen und welches Verfahren dafür geeignet ist. Falls sich das virtuelle Schweißen bewährt, hätten Konstrukteure etwa von Gas- und Dampfturbinen mehr Freiheiten bei der Materialwahl und eine größere Sicherheit bei der Qualität. Saraev: „Der Verzicht auf viele Schweißtests brächte zudem eine enorme Kostenersparnis.“

Bernd Müller

Projektleiter Dr. Oliver Stier. Deswegen will Krüger die starke Patent- und Technologieposition von Siemens in diesem Gebiet weiter ausbauen. So hat sein Team eine Kombination aus Kaltgasspritzen und Pulverauftragschweißen patentiert sowie das Suspensions-Kaltgasspritzen von Nanopartikeln. Die Verfahrenskosten für einen neuen Anwendungsfall kann Stier sogar beziffern, bevor der Prozess technisch erprobt wird. Auf diese Weise werden nur Verfahren entwickelt, die sich auch rechnen.

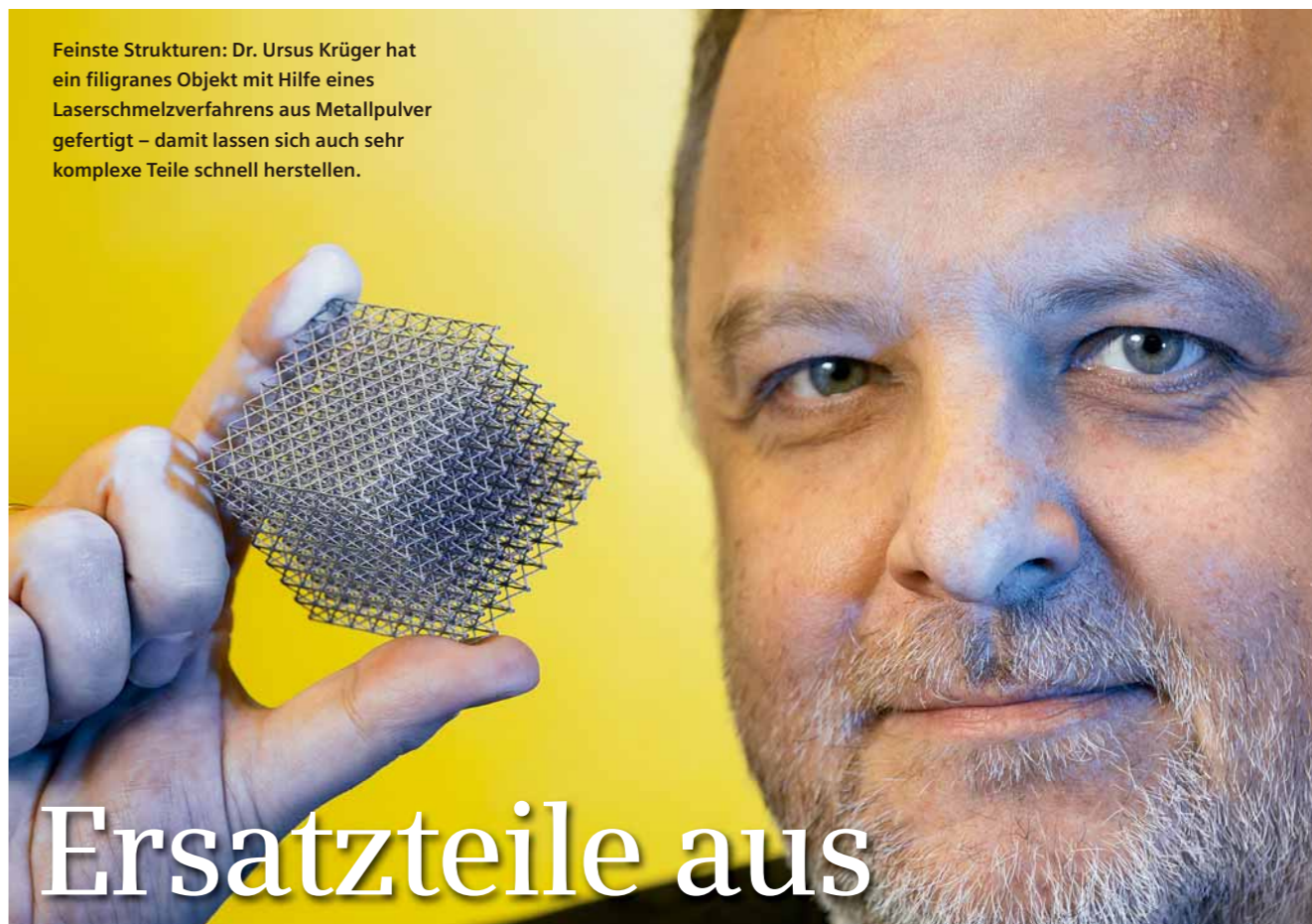
**Neue Kombinationen.** Bei CT in München arbeitet ein weiteres Team unter Leitung von Dr. Wolfgang Rossner ebenfalls an außergewöhnlichen Methoden, um höchst unterschiedliche Materialien zu verbinden. Eine ist das ultraschnelle Sintern, eine Alternative zu klassischen Verbindungstechniken wie Schweißen. Dabei werden die Werkstoffe unter extrem hohem Druck und großer Hitze zusammengepresst, bis sie sich verbinden. Dieses Verfahren ist seit längerem etabliert, dauert aber lange. Werden die Werkstoffe dagegen nicht von außen erhitzt, sondern mit einem hohen elektrischen Strom von innen, braucht dies nur 20 Minuten. Dieses so genannte Spark-Plasma-Sintern wird neuerdings in der Produktion für gängige Keramik- und Metall-Werkstoffe angewandt. Rossners Team interessiert sich aber vor allem für völlig neue Kombinationen, wie Composite aus Metall und Keramik.

Rossner zeigt ein Probewerkstück von der Größe einer Münze. Die graue Seite besteht aus Hochtemperatur-Stahl, die weißlich glänzende Seite ist eine Metalloxid-Keramik. „Diese beiden Werkstoffe können Sie nicht mehr trennen“, sagt der Materialexperte. An der nur wenige Mikrometer dünnen Grenzschicht gibt es einen kontinuierlichen Übergang zwischen Metall und Keramik. Das Team arbeitet nun daran, die Haftung zwischen Keramik und Metall zu verbessern. Davon würden alle Materialien profitieren, die extrem hohen Temperaturen trotzen müssen.

Und die Forscher denken sogar schon einen Schritt weiter: Mixturen aus feinen Metall- und Keramikpulvern sollen zu extrem widerstandsfähigen Werkstoffen gepresst werden. Das sei prinzipiell möglich, versichert Wolfgang Rossner, dessen Team bereits Anwendungen für Gasturbinen und Hochspannungsschalter auslötet. „Solche Materialien würden dann völlig neue Kombinationen von Eigenschaften ermöglichen, etwa eine elektrische Isolation wie bei Keramik und gleichzeitig eine plastische Verformbarkeit wie bei Metallen.“

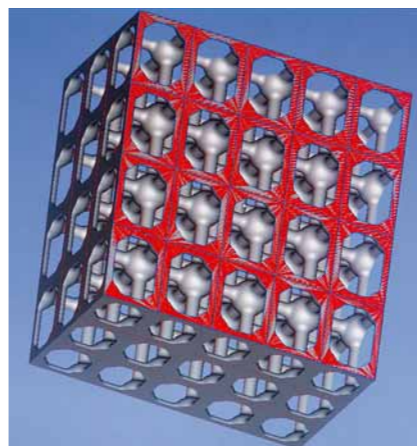
Bernd Müller

Feinste Strukturen: Dr. Ursus Krüger hat ein filigranes Objekt mit Hilfe eines Laserschmelzverfahrens aus Metallpulver gefertigt – damit lassen sich auch sehr komplexe Teile schnell herstellen.



# Ersatzteile aus der Laserkammer

Sogenannte 3D-Drucker, die dreidimensionale Objekte aus Kunststoff herstellen, gibt es seit den 80er-Jahren. Doch die Technologie ist längst weiter. Heute werden mithilfe von Lasern bereits Maschinenteile aus Metallen wie Aluminium, Edelstahl und Titan „gedruckt“.



**Auf den ersten Blick** wirkt die Maschine wie ein übergroßer Kühlschrank mit Sichtfenster. Doch kalt geht es darin ganz und gar nicht zu. Hinter dem Fenster liegt ein Formbett. Darin: ein feines, glatt ausgestrichenes, graues Pulver, aus dem Funken schießen wie bei einer Wunderkerze. Ein sechseckiges Lichtmuster bewegt sich über die Fläche. Nach längerem Hinsehen lässt sich eine regelmäßige Struktur erahnen, die anscheinend von einem unsichtbaren Stift in das graue Pulver geschrieben wird.

„Unser ‚Stift‘ ist ein Laserstrahl. Im oberen Teil der Prozesskammer wird er über einen Ablenkspiegel senkrecht nach unten auf das

Pulverbett geleitet“, erklärt Dr. Olaf Rehme von Siemens Corporate Technology (CT) in Berlin. „Dort wo der Laser auftrifft, bringt er das Edelstahlpulver auf Schmelztemperatur, auf mehr als 1.500 Grad Celsius. Die feinen Partikel werden dadurch fest miteinander verschmolzen.“ Die Auslenkung des Lasers – also seine Schreibbewegung – steuert ein Computer, der die elektronische Blaupause für ein komplexes Werkstück aus Edelstahl liefert. Hat der Laser das regelmäßige Muster einmal komplett nachgezeichnet, senkt sich die Pulverplattform kaum merklich ab. Ein Schieber streicht eine neue, etwa 50 Mikrometer dicke Pulverschicht aus und der feurige



Stift kommt erneut zum Einsatz. „Schicht für Schicht entsteht so eine dreidimensionale Struktur aus Edelstahl“, sagt Rehme.

Das Gerät steht in einem der zahlreichen Labore in der Siemensstadt in Berlin-Spanndau. Kunden und Kooperationspartner von Siemens lassen hier in Langzeitstudien testen, welche ihrer Produkte und Produktbestandteile sich durch Laserschmelzen (Laser Melting) herstellen lassen. „Häufig wird der Begriff ‚3D-Printing‘ synonym für alle derartigen Verfahren verwendet“, sagt Dr. Ursus Krüger, der Leiter der Forschergruppe. „In Fachkreisen wird aber allgemein von Additive Manufacturing gesprochen. Mit den sogenannten 3D-Druckern haben diese Verfahren nicht mehr viel gemein.“

sind. So „druckten“ britische Ingenieure des EADS-Konzerns im Jahr 2011 ein komplettes Fahrrad aus Nylonpulver. Einige wenige Einzelteile aus dem Drucker wurden zusammengesetzt und mit Kette und Reifen versehen – das „Print-Bike“ ist stabil und leicht, fährt sich allerdings etwas wacklig.

**Auch für Keramik geeignet.** Doch selbst abseits solch spektakulärer Beispiele ist klar: Die Technologie hat sich längst von ihren Prototyping-Wurzeln emanzipiert. Heute können laserbasierte Verfahren wie das Laserschmelzen nicht nur Kunststoffe, sondern auch Keramiken und zahlreiche Metalle wie Edelstahl, Aluminium und Titan verarbeiten. „Damit ist die Technik in einem für indus-

renz schläft nicht“, weiß Krüger. „So hat US-Präsident Obama im Sommer 2012 die Gründung eines eigenen Forschungsinstituts angekündigt, das speziell im Bereich Additive Manufacturing Innovationen entwickeln soll.“ Bei dem geplanten National Network for Manufacturing Innovation – kurz NNMI – sollen neben staatlichen Behörden wie NASA, National Science Foundation und dem Verteidigungsministerium auch Universitäten und Konzerne wie Boeing und IBM beteiligt werden. Vorrangiges Ziel ist es, Boden gegenüber der heutigen Konkurrenz aus Europa und der von morgen – aus China, Japan und Korea – gut zu machen.

Doch lohnen sich diese Investitionen überhaupt? Bahnt sich tatsächlich eine revo-

lutionäre Zukunft an, in der jedes kleine Unternehmen jedes nur erdenkliche Teil selbst herstellen kann? „Für einen allzu weiten Blick in die Kristallkugel ist es noch zu früh“, glaubt Krüger. „Doch die Vorteile liegen schon heute klar auf der Hand. Mittels Additive Manufacturing lassen sich in einem Prozessschritt direkt aus dem Computer höchst komplexe Werkstücke mit Hohlräumen und filigranen Verstrebungen im Inneren herstellen, die sonst nur in Handarbeit oder in mehreren Einzelteilen gefertigt werden können.“



Schicht für Schicht: Funkenschlagend schmilzt der Laser das neue Bauteil aus dem Metallpulver. Gesteuert wird er von einem Computerprogramm.

## Additive Manufacturing wird nun für Industrieanwendungen interessant. Aus Metall- und Keramikmischungen entstehen künstliche Gelenke oder Ersatzteile.

Erste 3D-Drucker wurden bereits in den 1980er-Jahren entwickelt. Dabei wurden vor allem schnell aushärtende Kunststoffe verwendet, die Schicht für Schicht aufgespritzt schließlich ein dreidimensionales Objekt ergeben. Anwendung fanden solche Geräte vor allem im „Rapid Prototyping“, mit dem schnell und kostengünstig Prototypen und Designstudien hergestellt werden konnten. „Heute gibt es solche Kunststoff-Drucker bereits zu erschwinglichen Preisen ab 1000 Euro für den Hausgebrauch“, erklärt Krüger. „Bei Modellbauern und Hobbybastlern sind diese Geräte besonders beliebt.“

Und selbst 30 Jahre nach ihrer Erfindung sind 3D-Drucker noch gut für Schlagzeilen. Immer wieder wird in den Medien von Beispielen berichtet, die oft nur zu Demonstrationszwecken oder als PR-Aktion gedacht

trielle Anwendungen interessanten Bereich angekommen“, sagt Krüger. Nur kann man hierbei nicht mehr von Drucken sprechen, denn fast alle diese Verfahren verfestigen oder verschmelzen eine flüssige oder pulverförmige Matrix an spezifischen Stellen und lassen so ein Objekt entstehen.

Einige Firmen haben sich bereits auf die Herstellung von Hüftgelenken, Hörgeräten, Ersatzteilen für Autos oder Zahnersatz spezialisiert. So bietet die Bremer BEGO Medical GmbH die Produktion von Metallgerüsten für Kronen und Brücken mittels Additive Manufacturing an. Und auch in der Formel 1 und in der Luftfahrtbranche werden auf diese Weise bereits Bauteile hergestellt. Beim Vertrieb der dafür nötigen Anlagen sind deutsche Unternehmen wie EOS oder Concept Laser weltweit führend. „Doch die Konkur-

lutionäre Zukunft an, in der jedes kleine Unternehmen jedes nur erdenkliche Teil selbst herstellen kann? „Für einen allzu weiten Blick in die Kristallkugel ist es noch zu früh“, glaubt Krüger. „Doch die Vorteile liegen schon heute klar auf der Hand. Mittels Additive Manufacturing lassen sich in einem Prozessschritt direkt aus dem Computer höchst komplexe Werkstücke mit Hohlräumen und filigranen Verstrebungen im Inneren herstellen, die sonst nur in Handarbeit oder in mehreren Einzelteilen gefertigt werden können.“

Allerdings sind auch die Schwächen von Technologien wie dem Laserschmelzen offensichtlich. „Dabei entsteht das Werkstück aus einer Schüttung feinsten Partikel, wodurch es letztlich eine verfahrenstypische Struktur und Oberfläche erhält. Gerade im Maschinenbau, wo bestimmte Bauteile

„Die Stärken der Technologie liegen bei komplexen Einzelstücken oder Teilen, die nur in geringer Stückzahl gebraucht werden“, sagt der Werkstoffspezialist. „Ein klassisches Beispiel aus unserer Produktentwicklung ist ein neues Leitsystem, das sogenannte Transition Duct, für Gasströme bei Gasturbinen“, sagt Martin Schäfer, der sich bei Siemens CT bereits seit Ende der 90er-Jahre mit dieser Technologie beschäftigt. „Das dünnwandige, gekrümmte Bauteil mit sehr kleinen Kanälen kann nur äußerst schwierig mit konventionellen Technologien, wie Gießen und Fräsen, hergestellt werden. Direkt aus dem Rechner lassen sich mit der neuen Technologie die Metallteile innerhalb von wenigen Tagen statt Wochen herstellen“, sagt der Ingenieur.

Das Beispiel zeigt, wie mittels Additive Manufacturing Produktionszeiten reduziert

alle nur denkbaren Formen im Prinzip in nur einem Arbeitsschritt herstellbar. Künftig wird also nicht mehr die fräsende oder stanzende Maschine die Grenzen der möglichen Formen bestimmen, sondern allein das im Computer entstehende, physikalisch machbare Design.“

**Größere Geräte und mehrere Laser.** Doch wie weit kann es die Technologie tatsächlich schaffen? „Bezüglich der Laser und vor allem der nötigen Abkühlzeiten gibt es physikalische Grenzen. Dennoch arbeiten wir daran, uns dem maximal Machbaren möglichst weit anzunähern“, sagt Ursus Krüger. „Die Geräte werden in Zukunft noch größer werden und mehrere Laser gleichzeitig einsetzen können. Das wird den ganzen Vorgang deutlich beschleunigen, so dass sich auch die Produktion sehr großer Teile lohnen

kann. Schon heute gibt es erste Beispiele für diesen Trend zu größeren Geräten. Auf der Euromold-Messe, die Ende November 2012 in Frankfurt am Main stattfand, wurden bereits Anlagen mit einer maximalen Baufläche von 600 mal 400 Millimetern Kantenlänge vorgestellt.“

Die besten Anwendungschancen des Additive Manufacturing sieht Krüger vor allem im Servicebereich. Bei großen Industrieanlagen kostet jede Minute Ausfallzeit viel Geld. Geht also etwas kaputt, müssen die nötigen Ersatzteile so schnell wie möglich zum Einsatzort transportiert werden.

„Stellen Sie sich vor, ein Kunde von Gasturbinen müsste einfach nur beim nächstgelegenen lokalen Siemens-Service ein Ersatzteil bestellen. Der lokale Dienstleister bräuchte nur das Datenpaket abzurufen und würde das Teil vor Ort in einer eigenen Laser-Anlage herstellen“, sagt Krüger. „Keine Transportkosten für Ersatzteile aus einer weit entfernten Zentrale. Minimale Ausfallzeit während der Produktion des Teils. Keine umfangreiche Lagerhaltung von Ersatzteilen beim lokalen Service, weil nur die digitalen Blaupausen gespeichert werden müssen. Auf diese Weise könnte Siemens über seine lokalen Service-Stellen einen weltweiten Kundenkreis kostengünstig und umweltschonend mit Ersatzteilen versorgen.“

Ersatzteile beliebiger Größe „on demand“ und weltweit abrufbar, ohne dafür eine eigene Produktionsstraße einrichten zu müssen – nur eine Laserschmelzanlage, bedient von ein bis zwei Technikern. Regelmäßige Service-Updates mit neuen Blaupausen für beliebig viele Teile, per E-Mail aus der Zentrale. Das klingt noch nach Zukunftsmusik. Doch sobald die Geräte die nötige Größe und Schnelligkeit erreicht haben, drängen sich solche Anwendungsbeispiele förmlich auf. Und die globalen Anstrengungen – ob bei Unternehmen wie Siemens und Boeing, Geräteherstellern wie EOS oder neu entstehenden Forschungsnetzwerken wie dem NNMI – lassen auf eine rasche Entwicklung hoffen.

Doch bei aller Euphorie tun sich auch neue Herausforderungen auf. „Gerade der Datenschutz wird in den kommenden Jahrzehnten im Bereich des Additive Manufacturing einen großen Stellenwert bekommen“, glaubt Ursus Krüger. „Die firmeneigenen Datenpakete – elektronische Blaupausen – müssen vor Raubkopierern geschützt werden.“ Denn wenn jedes erdenkliche Bauteil von jeder ausreichend großen Anlage hergestellt werden kann, braucht ein professioneller Fälscher nur noch eines: die Daten.

■ Nils Ehrenberg

Self Service: Siemens-Forscher arbeiten an neuen Diagnose- und Wartungsverfahren. Dabei wird zum Beispiel ein 3D-Bauplan mit Reparatur-Anleitung in die Datenbrille oder ein Display (unten) eingeblendet.



# Besserer

## Service gefällig?

Im digitalen Zeitalter werden innovative Serviceangebote auch im industriellen Umfeld immer wichtiger. Siemens entwickelt deshalb nicht nur hochkomplexe Anlagen, sondern auch Servicemodelle der Zukunft, um die Verfügbarkeit zu gewährleisten.



**Worst-Case-Szenario in einer Fabrik:** Plötzlich kommt die Produktion zum Erliegen. Alle Bänder stehen still, nichts geht mehr. Nun ist schnelles Krisenmanagement gefragt. Mit jeder Minute des Stillstands steigt der finanzielle Verlust. Das kann sich kein Unternehmen leisten. Vor allem nicht, wenn man unter dem Druck des globalen Wettbewerbs mit höchster Effizienz und kurzen Lieferfristen produzieren muss. Ein wachsender Markt für Dienstleistungen ist deshalb die vorausschauende Instandhaltung, im Fachjargon Proactive Maintenance genannt.

Auch Siemens ist hier schon seit längerem aktiv. Wenn beispielsweise ein Stromanbieter bei Siemens eine Gasturbine kauft, kann er zusätzlich einen individuell auf seine Bedürfnisse abgestimmten Wartungsvertrag ab-

schließen. Anfallende Inspektionen, Wartungsarbeiten oder den technischen Notdienst während des laufenden Betriebs übernimmt die Firma, der Kunde muss sich um nichts kümmern. „Wir bieten dem Kunden nicht mehr nur die Teile an, sondern wir verkaufen ihm Verfügbarkeit für seine Anlage“, erklärt Bruno Ratkovic, bei Siemens Corporate Standards and Guidance in München zuständig für das Programm-Management für Leverage Service@Siemens.

Möglich werden solche Dienstleistungen auch dank intelligenter Produkte. Ausgestattet mit Computerintelligenz und Sensoren können komplexe Geräte wie die Gasturbine kontinuierlich Daten über ihren aktuellen Zustand erheben und sich so permanent auf ihre eigene Funktionsfähigkeit hin überprü-

fen. Spezialisten der Service-Zentrale können anhand der Zustandsinformationen aus der Ferne eine Diagnose erstellen und via Internet den Kunden dabei unterstützen, dass das schadhafte Teil rechtzeitig ausgetauscht wird. Als Nebeneffekt entsteht aus den fortlaufend gesammelten Daten mit der Zeit ein riesiger Wissensspeicher, in dem detailliert vermerkt ist, bei welchem Teil es wann, wo und unter welcher Belastung zu Unregelmäßigkeiten gekommen ist. Für Siemens liefert die Auswertung dieser Informationen wertvolle Erfahrungswerte, die treffsichere Vorhersagen über den Verschleiß und die Lebensdauer einzelner Komponenten erlauben. Gleichzeitig sind sie die Grundlage für das, was Fachleute Value Added Services nennen – Dienstleistungen, die aus dem angesammelten Wissen einen langfristigen Mehrwert für den Kunden schaffen.

Daten erschließen, mit Hilfe leistungsfähiger Software analysieren und eine personalisierte Dienstleistung daraus entwickeln – diesen Trend zu „Big Data Analytics“, dem „Datengold“, gibt es auf einer Vielzahl von Gebieten (*Pictures of the Future*, Frühjahr 2011, S.82 und Herbst 2011, S.52). Experten sprechen daher bereits von einer Service-Re-

volution. In ergänzenden Dienstleistungen, die über das bloße Verkaufen von Produkten hinausgehen und dem Kunden maßgeschneiderte Lösungen für seine Bedürfnisse anbieten, sehen sie einen rasant wachsenden Schlüsselmarkt der Zukunft: Unternehmen entwickeln sich vom Hersteller von Sachgütern hin zum Anbieter von hybriden Produkt-Service-Kombinationen.

„Servitization“ nennt sich dieser strategische Wandel, den man auch bei Siemens erkannt hat. Im Rahmen des Zukunftsprojekts „Pictures of the Future Spare Parts Logistics 2025“ entwickeln Forscher beispielsweise Ideen für innovative Serviceangebote im Bereich der Lieferung von Ersatzteilen. Ein Beispiel: Ein Online-Portal, über das der Kunde – ähnlich wie bei Amazon – von überall und zu jeder Zeit auf eine breitgefächerte Produktpalette zugreifen können soll. Noch handelt es sich dabei um eine Vision. Bis 2025 könnte das so funktionieren: In einer Anlage stellt eine Systemkomponente mit Hilfe ihrer integrierten Sensorik fest, dass sie vermutlich bald ausfallen wird. Daraufhin nimmt der Wartungsmitarbeiter mit einem mobilen Endgerät ein Foto des betreffenden Teils auf. Eine spezielle Applikation erkennt automatisch, um welche Komponente es sich genau handelt und übermittelt die Materialnummer an die Service-Zentrale. Diese organisiert dann die Beschaffung des passenden Ersatzteils. „Dahinter steht die Herausforderung, das richtige Teil zur richtigen Zeit an den richtigen Ort zu bekommen“, erklärt Ratkovic.

Im günstigsten Fall ist das passende Ersatzteil bereits im Lager vorrätig. Falls nicht, könnte ein Exemplar innerhalb kürzester Zeit mittels eines Laserschmelzverfahrens angefertigt werden (S.31). Geliefert und eingebaut wird das Ersatzteil letztlich von einem Servicemitarbeiter – dann, wenn beim Kunden die Produktion ohnehin ruht, also etwa nachts, so dass kein Ausfall entsteht. Als Vision für die Zukunft dauert der ganze Vorgang gerade mal einen Tag, so Ratkovic. „In zehn Sekunden hat der Kunde den Fehler erkannt, in drei Minuten mit Hilfe der App das passende Ersatzteil bestellt, in zehn Stunden haben wir ein fertiges Einzelstück hergestellt und innerhalb von 24 Stunden eingebaut.“

**Hilfe zur Selbsthilfe.** Noch einen Schritt weiter in die Zukunft der Dienstleistungen denkt man bei Corporate Technology am Siemens Forschungszentrum in Princeton, New Jersey. Dort arbeiten die Wissenschaftler Terrence Chen und Gianluca Paladini an einem Verfahren, das den Kunden in die Lage versetzt, innerhalb kürzester Zeit mit minimalem Aufwand selbstständig Reparaturen an seiner Anlage auszuführen. Hilfe zur Selbsthilfe sozusagen. Ausgangspunkt ist die Bereitstellung einer Cloud-Infrastruktur. Die Vision der Forscher: Kommt es zu einem Defekt, wird in der Cloud ein virtueller, dreidimensionaler Bauplan der kaputten Anlage erzeugt. Anschließend wird dieser dem Kunden auf dem Bildschirm seines Smartphones angezeigt oder auf das Display einer Datenbrille überspielt. In diese virtuelle Grafik lassen sich Beschriftungen und Hinweise einblenden – Stichwort Augmented Reality –, die den Kunden bei der Reparatur Schritt für Schritt begleitet. Digital, dezentral und kostengünstig – in den Dienstleistungen von morgen schlummert ein großes Potenzial. ■ Michael Risel

Flüsterpost: Künftig könnten an Pipelines stromsparende kabellose Sensoren untereinander kommunizieren und Lecks melden.



## Riegel im Rechner

Siemens-Wissenschaftler in Sankt Petersburg entwickeln Technologien für sicherheitskritische und energiesparende IT-Infrastrukturen.

**Druckverlust in der Gaspipeline:** Damit nicht Wartungsteams hunderte Kilometer Rohr nach Lecks absuchen müssen, sind Pipelines mit Sensoren ausgerüstet. Doch die Verkabelung ist aufwändig – daher sollen künftige Sensoren ihre Daten drahtlos übermitteln, von einem Sensor zum nächsten, wie beim Spiel „Stille Post“. Ein klassischer Funkstandard auf WLAN-Basis, mit dem man zuhause drahtlos im Internet surft und den Siemens für Industrieanlagen weiterentwickelt hat, kommt dafür allerdings nicht in Frage, weil Sensoren für die Überwachung von Pipelines nur wenig Strom verbrauchen dürfen.

„Sparsamkeit ist ein wichtiger Trend bei der Funkübertragung in der Industrie, nicht nur bei Pipelines“, sagt Alexander Smirnov von Siemens Corporate Technology (CT) in St. Petersburg. Der Experte für drahtlose Datenübertragung setzt auf einen speziellen Standard: IEEE 802.15.4. Der wurde entwickelt, um engmaschige Sensornetze aufzubauen. Ihr Datentempo ist niedrig, dafür ist

aber auch der Stromhunger gering, und jeder Sensorknoten dient gleichzeitig als Sender und Empfänger, der Informationen benachbarter Knoten weiterleiten kann.

Die 13 Mitarbeiter der Forschungsgruppe „Verlässliche eingebettete Systeme“ haben daher Software für energiesparende Mini-Rechner mit Batterie entwickelt, auf denen das Betriebssystem Linux läuft und die Sensordaten mittels des IEEE-Standards übermitteln. Die Sensoren können in Abständen von hundert Metern an Pipelines montiert werden, während die Rechner etwa in den Kompressorstationen eingebaut sind – die aufwändige Verkabelung entfällt (*Pictures of the Future*, Frühjahr 2008, S. 97). Sicherheit ist dabei oberstes Gebot. Damit Hacker nicht die Herrschaft über sicherheitskritische Einrichtungen erlangen, ist das Datenprotokoll gegen Manipulation gesichert. „Das ist Teil des IEEE-Standards“, sagt Smirnov.

Während es bei Smirnovs Arbeit darum geht, einen bereits hackersicheren Standard auf Energiediät zu setzen, beschäftigt sich sein Kollege Maxim Nikolaev mit einem Problem, für das es bisher noch keine Lösung gab. Seine Systeme sollen den strengen Vorgaben der Sicherheitsanforderungsstufe 3 im Standard IEC 61508 genügen. Der rasante Fortschritt bei der Computerhardware bringt

nämlich ständig potenzielle Fehlerquellen mit sich, etwa wenn ein alter Rechner gegen einen neuen ausgetauscht oder eine neue Software-Version aufgespielt wird. Maschinen könnten fehlerhafte Teile produzieren, Roboterarme könnten Menschen verletzen.

Besonders im Fokus sind eingebettete Systeme, also Rechner, die versteckt in Maschinen, Lokomotiven oder Röntgengeräten arbeiten. Weil Soft- und Hardware heute eng verbunden sind, könnten Hacker etwa ein Teilsystem infizieren und es als Sprungbrett zum Angriff auf andere Systeme nutzen. Wird ein defekter Rechner ausgetauscht, birgt das ebenfalls Risiken, da die exakt gleiche Hardware meist gar nicht mehr hergestellt wird. Insbesondere der Übergang von Mikroprozessoren mit einer Recheneinheit – einem „Kern“ – zu schnelleren Prozessoren mit mehreren Kernen bereitet den Experten Kopfzerbrechen. Software muss dann neu entwickelt und wieder aufwändig zertifiziert werden.

Nikolaevs Lösung: der Hypervisor, eine Software, die einen Riegel zwischen Hardware und Anwendungsprogramme schiebt und die den Programmen eine Hardware vorgaukelt, die es gar nicht gibt. Die Programme bekommen dann nicht mit, welcher Mikroprozessor mit wie vielen Kernen und welcher Speichergröße eingebaut ist. So laufen auch ältere Programme, die einen Prozessor mit nur einem Kern benötigen, auf solchen mit mehreren Kernen. Fachleute bezeichnen das als Virtualisierung. Das ist nicht neu, doch weil das Thema so wichtig für sicherheitsrelevante Produkte von Siemens ist, wurde dieser Virtualisierer in Eigenregie entwickelt.

Allerdings geht es beim Hypervisor weniger um Arbeitserleichterung für Wartungspersonal und IT-Support. „Unsere Plattform hat eine viel höhere Fehlertoleranz“, sagt Sergey Sobolev, Leiter der Forschungsgruppe. Weil der Hypervisor Programme und Hardware gegeneinander abschottet, können die Entwickler Bereiche im Rechnersystem festlegen, die völlig gegen Zugriffe von außen – etwa von Hackern – geschützt sind. Das könnte zum Beispiel die Steuerung der Leistung einer Röntgenröhre sein oder die Sicherheitsabschaltung eines Roboterarms. Auf andere Bereiche wiederum können Kunden zugreifen, etwa zwecks Fernwartung. Beides läuft auf demselben Rechner, ohne dass sich die Programme gegenseitig beeinflussen.

Noch ist der Hypervisor Grundlagenforschung. Der erste Prototyp wird bis Herbst 2013 verfügbar sein, sagt Maxim Nikolaev. „Wir werden nachweisen, dass der Hypervisor die Anforderungen der IEC-Zertifizierung für ein sicheres Produkt erfüllt.“ **Bernd Müller**

# Die Renaissance der Fertigung

**Vor über 200 Jahren** begann mit der ersten industriellen Revolution der Übergang von der Agrar- zur Industriegesellschaft. Heute trägt die industrielle Fertigung laut der Studie „Manufacturing the future: the next era of global growth and innovation“ des McKinsey Global Institute vom November 2012 mit 7,5 Billionen US-Dollar 16 Prozent zum globalen Bruttoinlandsprodukt (BIP) bei – und beschäftigt in den industriell geprägten Nationen etwa 45 Millionen Facharbeiter.

Nach der Finanzkrise erlebt die Industrie in westlichen Ländern eine Renaissance. In Deutschland ist der Anteil des produzierenden Gewerbes am BIP (ohne Baugewerbe) auf den höchsten Stand seit fünf Jahren gestiegen – für den Teilbereich der Fertigungsindustrie gibt McKinsey für 2010 einen Anteil von 19 Prozent an. Der Weltdurchschnitt liegt bei 17 Prozent, die Einzelwerte reichen von 10 Prozent für Großbritannien, 12 für die USA, 20 für Japan bis 33 Prozent für China.

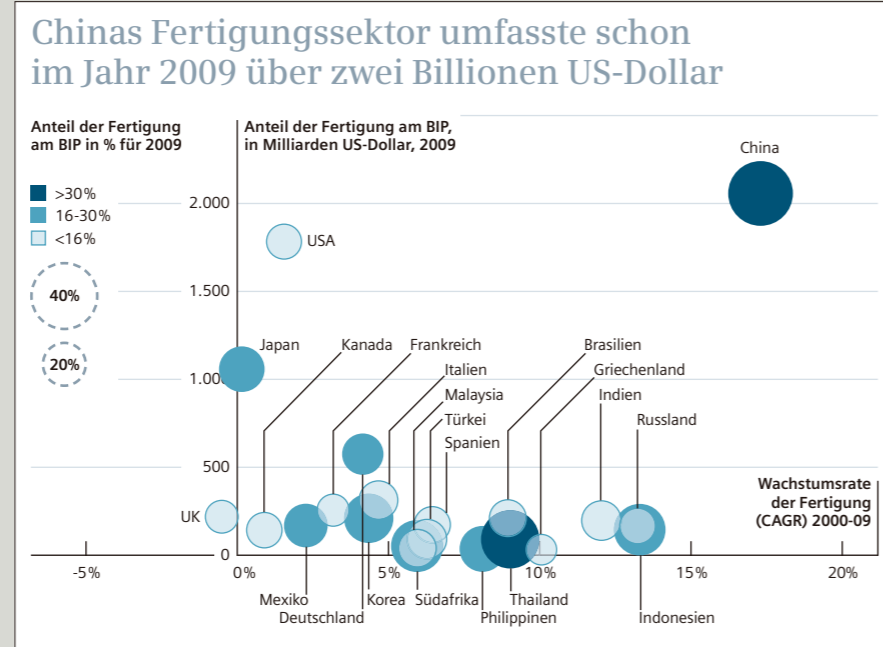
Die EU-Kommission hat sich zum Ziel gesetzt, den Anteil der Industriefertigung in der EU von heute 15,5 bis 2020 auf 20 Prozent zu steigern. Die Industriepolitik soll sich auf Investitionen in Innovationen, verbesserte Marktbedingungen, Kapitalzugang und bessere Qualifizierung der Arbeitskräfte konzentrieren. Produzierende Unternehmen tragen einen wesentlichen Beitrag zur Forschung und Entwicklung eines Landes bei. So entfallen über zwei Drittel der privaten FuE-Aktivitäten und mehr als 90 Prozent der neuen Patente in den USA nach Angaben des Congressional Research Service auf den Industriesektor.

Gemäß einer Studie der Boston Consulting Group von 2011 lohnt sich auch „Made in America“ wieder. Chinas Industrie bekommt zunehmend Konkurrenz

aus den USA. „Die USA entwickeln sich zu einem der Industrieländer mit den geringsten Kosten“, prognostiziert Harold Sirkin, einer der Studienautoren. Steigende chinesische Löhne, die höhere US-Produktivität sowie der schwache Dollar könnten bald die Lücke zwischen China und den USA schließen. Waren im Jahr 2010 die Kosten, um einen Dollar Umsatz zu erzielen, in einer Fabrik in China noch etwa zwölf Prozent niedriger als in den USA, so wird sich dieser Kostenvorteil bis 2015 auf sieben Prozent reduzieren.

Intelligente Fabriken gelten als Kernelement einer neuen Form industrieller Fertigung, die in Deutschland Industrie 4.0 genannt wird. Cyberphysical Systems (CPS) und das Internet der Dinge – das sind die Begriffe für die Kombination aus Software, Sensor-, Prozessor- und Kommunikationstechnik, die hinter Industrie 4.0 stehen – fangen an, die Fertigung zu verändern. Künftig wird es CPS mit intelligenten Maschinen, Lagersystemen und Betriebsmitteln geben, die selbstständig Informationen austauschen. „Die Fabrik der Zukunft integriert dank CPS Produktion, Zulieferketten und individuelle Kundenwünsche in Echtzeit“ erläutert Prof. Dr. Henning Kagermann, Präsident von acatech, der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften. Aber für eine erfolgreiche Umsetzung von Industrie 4.0 müssen in den nächsten 20 Jahren noch etliche Schritte getan werden, insbesondere hinsichtlich Standards, Schnittstellen und Prozessen (S.19).

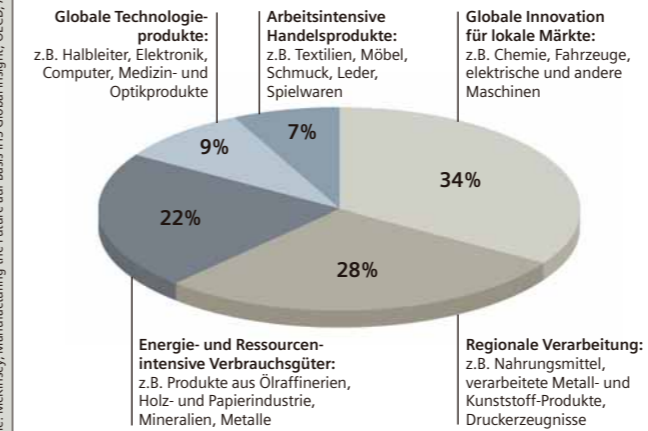
Intelligente Fabriken bieten für produktionsnahe Technologien enormes Potenzial. So wird der weltweite Markt für industrielle Automatisierung weiter wachsen und gemäß IMS Research nach knapp 160 Milliarden US-Dollar (2012) bis 2015 etwa 200 Milli-



Quelle: Deloitte, The Future of Manufacturing, UN Conference on Trade and Development, The World Bank

## Produkte eingeteilt nach fünf Gruppen

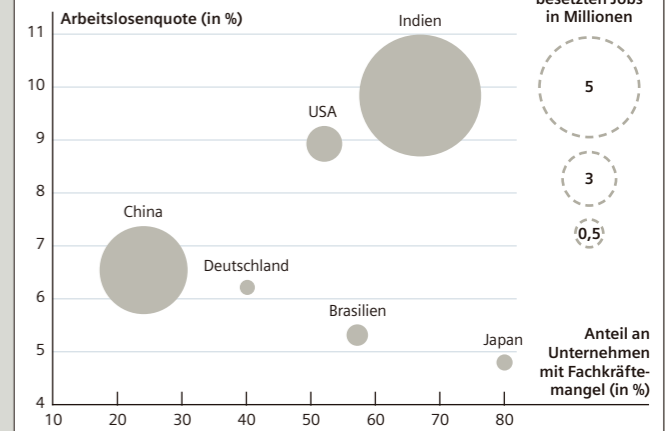
Etwa die Hälfte der Fertigung erfolgt nahe am Verbraucher



Quelle: McKinsey, Manufacturing the Future auf Basis IHS Global Insight, OECD, ASM 2010

## Unbesetzte Jobs in der Fertigung

Starker Fachkräftemangel in Indien und Japan



Quelle: Deloitte, The Future of Manufacturing, 2012

arden Dollar erreichen. Nach einer aktuellen Analyse von Frost & Sullivan wird sich der Markt für industrielle Netzwerke und Kommunikation wie Ethernet oder drahtlose Technologien in Europa von 854 Millionen Euro in 2010 auf knapp 1,6 Milliarden Euro in 2015 erhöhen. Gründe hierfür sind das Streben nach höherer Produktivität sowie Kostenreduzierungen auf Basis von Echtzeit-Daten. Gleichzeitig steigt der Bedarf an schnellen und zuverlässigen Industriecomputern. Frost & Sullivan sieht deren globalen Markt von 2,1 Milliarden US-Dollar (2011) bis 2015 auf 3,2 Milliarden Dollar wachsen. Der Weltmarkt für digitale Produktionssoftware wird nach einer Prognose von TechNavio zwischen 2011 und 2014 jährlich um 7,5 Prozent zunehmen, in der Asien-Pazifik-Region sogar um 9,5 Prozent.

Der globale Markt für 3D-Drucktechnik, auch Additive Manufacturing genannt, soll nach Berechnungen

des US-Marktforschungsinstituts Global Industry Analysts bis 2020 etwa 5,2 Milliarden Dollar erreichen. Mit dieser Technik werden Produkte computergesteuert direkt aus den Konstruktionsdaten Schicht für Schicht aus flüssigen oder pulverförmigen Werkstoffen hergestellt (S.31). So können dann künftig Ersatzteile direkt und schnell sozusagen „aus dem Drucker kommen“.

Bei Datenbanken, Web- und Mail-Browsern sowie Entwicklungs- und Content Management Systemen steigt die Verwendung von Open-Source-Software, also Software, die öffentlich zugänglich ist und je nach Lizenz frei kopiert, modifiziert und weitergegeben werden kann. Viele Firmen haben ihre Server auf das Open-Source-Betriebssystem Linux umgestellt. Mit Open-Source-Software und vorhandenen Web-Plattformen lassen sich auch Teilnehmer orts- und zeitunabhängig in den Produktentwicklungsprozess integrieren.

Dieser Trend wird als Crowdsourcing bezeichnet. Grundsätzlich ist es damit denkbar, dass etwa ein Designer aus Europa Konstruktionsdaten nur noch per E-Mail schickt – und der Kunde in Australien dann das gewünschte Produkt, etwa eine Lampe, selbst ausdrucken kann oder auch vorher seine Ideen bereits in den Designprozess der Lampe einbringt (S.18).

Durch sinkende Kosten für die 3D-Drucker sowie verbesserte Software und vereinfachte Scan-Verfahren zur Gewinnung von 3D-Daten für Modelle wird die Technik immer häufiger eingesetzt werden. Anwendungsbeispiele reichen von Implantaten bis Kunststoffteilen von Flugzeugen oder Industrierobotern. Neil Gershenfeld, der das Center for Bits and Atoms am Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Boston leitet, ist sich sicher: „Der 3D-Druck wird Industrie und Handel umkrempeln.“ **Sylvia Trage**

## Schwellenländer rücken massiv nach oben China: Fertigung ein Drittel des BIP

Ranking nach Anteil der Fertigung an der globalen Bruttowertschöpfung

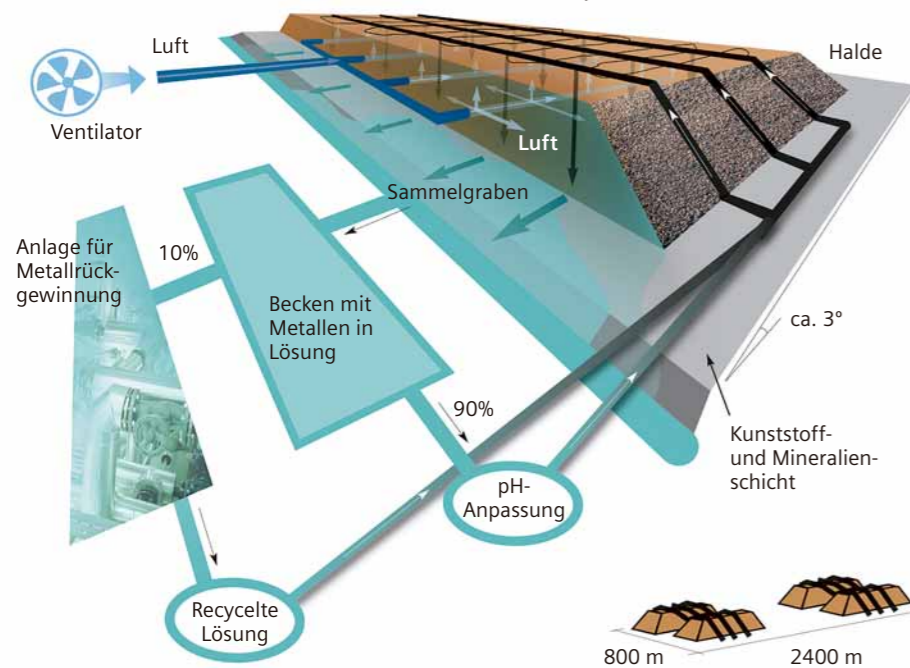
Rang	1980	1990	2000	2010
1	USA	USA	USA	USA
2	Deutschland	Japan	Japan	China
3	Japan	Deutschland	Deutschland	Japan
4	Großbritannien	Italien	China	Deutschland
5	Frankreich	Großbritannien	Großbritannien	Italien
6	Italien	Frankreich	Italien	Brasilien
7	China	China	Frankreich	Südkorea
8	Brasilien	Brasilien	Südkorea	Frankreich
9	Spanien	Spanien	Kanada	Großbritannien
10	Kanada	Kanada	Mexiko	Indien
11	Mexiko	Südkorea	Spanien	Russland
12	Australien	Mexiko	Brasilien	Mexiko
13	Niederlande	Türkei	Taiwan	Indonesien
14	Argentinien	Indien	Indien	Spanien
15	Indien	Taiwan	Türkei	Kanada

Anteil der Fertigung am jeweiligen BIP 2010, in Prozent

Land	Anteil (%)
China	33
Südkorea	28
Indonesien	25
Japan	20
Deutschland	19
Mexiko	17
Italien	15
Russland	14
Brasilien	13
Indien	13
Spanien	12
USA	12
Kanada	11
Frankreich	10
Großbritannien	10

Quelle: McKinsey Global Institute, IHS Global Insight, United Nations Statistics Division, BEA

**Metall biologisch abbauen:** Bei der Haldenlaugung wird das Erz mit Luft und Säure behandelt, um die Metalle zu lösen.



## Die kleinsten „Kumpels“ der Welt

Bei Kupfer- und Goldbergbau bereits bewährt: Im Stein vorkommende Bakterien lösen Metalle aus dem Erz und brauchen dazu anders als der Hochofen kaum Energie. Bald könnten Bakterien auch beim Recycling von Industrieabfällen helfen.

**Axel Schippers Schätze** ruhen tiefgefroren bei minus 140 Grad Celsius. Rund 1.500 Bakterienstämme hat der Geomikrobiologe in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Hannover gelagert. Jederzeit kann er die Einzeller aus dem Kälteschlaf holen und sie untersuchen, beispielsweise Exemplare der Gattungen *Acidimicrobium*, *Acidithiobacillus*, *Leptospirillum* und *Sulfobacillus*. „Diese Bakterien sind acidophil – lieben also ein saures Milieu – und können Metallsulfide oxidieren“, sagt Schippers. „Deshalb spielen sie eine große Rolle beim Biomining.“

Man versteht darunter die Förderung von Metallen mithilfe von Bakterien, ein Prinzip, das seit den 70er-Jahren bekannt ist. „Etwa 15 Prozent der weltweiten Kupferproduktion entfällt auf das Biomining“, erklärt der Experte. „Beim Gold sind es drei Prozent, in kleinerem Umfang wird es auch bei Nickel, Kobalt und Zink eingesetzt.“ Zentren liegen in den Kupferminen Chiles und den Goldminen Ghanas, Südafrikas, Mittelasiens und Australiens.

Die Erzminerale der Metalle Kupfer, Zink und Nickel kommen überwiegend in Form von Verbindungen aus Metall und Schwefel (Metallsulfiden) vor, die unlöslich sind. Sie werden daher unter hohem Energieaufwand in Hochöfen aus dem Erz geschmolzen. „Bakterien bringen dagegen die Metalle ohne die hohen Temperaturen einer Smelting-Anlage in Lösung“, sagt Schippers. Besonders effektiv ist die Biomining-Methode der Haldenlaugung. „Dabei wird das gebrochene Erz mit verdünnter Schwefelsäure besprüht“, erklärt der Geomikrobiologe. „Die säureliebenden Bakterien, die im Gestein vorkommen, werden dadurch zum Wachstum angeregt. Sie siedeln sich an den Erzen an und oxidieren die unlöslichen Metallsulfide zu löslichen Metallsulfaten.“ Die Flüssigkeit, die dann am Fuße der Halde austritt, enthält die gelösten Metalle. Sie werden mit einem Elektrolyseverfahren in ihre reine, feste Form überführt.

Axel Schippers kennt mehr als 30 Bakterienstämme, die sich für Biomining eignen –

Tendenz steigend. „Dadurch hat sich die Anwendungspalette stark erweitert. Heute wissen wir sehr genau, welche Bakterien sich für welche Mineralien gezielt einsetzen lassen und vor allem welche Bedingungen sie für eine effiziente Nutzung benötigen.“ Lange galt das Biomining als grüne Alternative zur traditionellen Verhüttung, denn diese braucht nicht nur sehr viel Energie, sondern produziert auch Schwefeldioxid, das in der Atmosphäre zu saurem Regen führt. „In modernen Verhüttungsanlagen ist das aber kein Problem mehr. Dort wird das Schwefeldioxid zu über 99 Prozent direkt in Schwefelsäure umgesetzt, die ein wichtiges Koppelprodukt der Kupfererzeugung ist“, erläutert Schippers.

Dennoch: Wegen des geringen Energieverbrauchs lohnt sich der Einsatz von Bakterien, etwa bei Erzen mit geringem Metallgehalt. „In Zukunft wird das Biomining die klassischen Methoden zwar nicht ersetzen können. Dazu sind letztere trotz des hohen Energieverbrauchs bei metallreichen Erzen deutlich effizienter“, sagt Schippers. „Doch immer wenn die Rohstoffpreise hoch sind und so die Ausbeutung metallärmerer Lagerstätten wieder wirtschaftlich wird, kann das Biomining eine echte Alternative sein.“

Seit kurzem wird Biomining auch bei Nickel-, Kobalt- und Zinkerzen eingesetzt, etwa von der finnischen Talvivaara Mining Company. Sie hat ein eigenes Biomining-Verfahren entwickelt, bei dem die Bakterien sogar mehrere verschiedene Metalle gleichzeitig aus ein und derselben Lagerstätte lösen – etwa einem im finnischen Sotkamo, das lange als zu metallarm galt, um wirtschaftlich ausgebeutet werden zu können. Inzwischen ist Talvivaara dank Biomining zu Europas größtem Nickelproduzenten aufgestiegen.

Auf einem anderen Gebiet sei aber noch viel Forschungsarbeit nötig: „Eine Gewinnung von Seltenen Erden mittels Biomining befindet sich noch im Versuchsstadium.“ Doch bei der Wiederaufbereitung und dem Recycling von Industrieabfällen könnten Sulfobacillus und Co. künftig punkten: „Labor- und Pilotstudien haben gezeigt, dass Bakterien Schlacken, die wegen hoher Schwermetallanteile auf einer Deponie landen, wieder aufbereiten können“, sagt Schippers. Angesichts des Restmetallgehalts der Schlacken könnte sich das sogar finanziell lohnen. „Doch die im Labor erprobten Verfahren lassen sich noch nicht wirtschaftlich umsetzen.“ Das könnte sich allerdings schnell ändern, sobald die Rohstoffpreise so stark steigen, dass auch die bakterielle Hebung der Schätze in Schlacken und Elektroschrott in der Gewinnzone landet. ■ **Nils Ehrenberg**

**Elektronikprodukte** sind wahre Schatzkammern: 2010 wurden allein in Deutschland 7,7 Millionen Smartphones verkauft. Darin waren insgesamt 230 Kilogramm Gold, über 2,3 Tonnen Silber und 85 Kilogramm Palladium – zum Beispiel in elektrischen Kontakten oder Loten auf den Platinen. Das ist prozentual mehr Edelmetall als in der besten Mine der Welt. Nach den üblichen drei bis vier Jahren Lebensdauer könnten diese Mobiltelefone also eine Menge wertvoller Rohstoffe liefern. Urban Mining nennt man dieses Konzept der Wiedergewinnung wertvoller Rohstoffe aus

Eine weitere Schwierigkeit ist der logistische Aufwand. So liegt derzeit die Sammelrate für alte Handys nur bei fünf Prozent. Die Geräte lagern häufig jahrelang in Schubladen oder landen auf der Müllkippe. In Deutschland abgemeldete Autos gehen zu 80 Prozent ins Ausland, wo sie nach weiteren Jahren des Einsatzes häufig ohne nennenswerte Wiederverwertung verschrottet werden. Im Vergleich dazu ist der Abbau von Rohstoffen in Lagerstätten logistisch deutlich einfacher.

Doch die Nachfrage nach Rohstoffen steigt enorm (*Pictures of the Future*, Herbst 2011,

S. 82) und bei manchen von ihnen wie etwa bei den Seltenerdmetallen (*Pictures of the Future*, Herbst 2011, S. 100) und von Wolfram, Niob und Gallium könnte die Verfügbarkeit bald kritische Werte erreichen. So hat China quasi ein Fördermonopol auf die Seltenen Erden, bei vielen Metallen sind nur kleine Vorkommen bekannt und diese liegen auch häufig in politisch instabilen Ländern. All dies treibt die Entwicklung von Recycling und des Aufbaus einer Kreislaufwirtschaft weiter voran. Recycling macht unabhängiger von Importen und reduziert den Abfall. Dazu ist es aber nötig, das sogenannte Downcycling zu vermeiden, bei dem nur noch Material minderer Qualität entsteht, wie eine Parkbank aus Kunststoffresten.

Bei Glas, Papier und vielen Metallen sind Sammel- und Recyclingsysteme schon lange

Der Abfall von Haushalten und der Industrie enthält viele wertvolle Materialien, die noch längst nicht alle wiederverwertet werden. Siemens entwickelt daher automatisierte Recyclingverfahren für Elektromotoren oder Carbonfasern, nimmt Altgeräte wieder zurück oder berücksichtigt die Wiederverwertung mancher Produkte schon bei ihrem Design.

## Kreislauf statt Mülldeponie

Abfällen von Haushalten und Industrie. Bis aber für alle wertvollen Rohstoffe eine Kreislaufwirtschaft etabliert ist, sind noch etliche Hindernisse zu überwinden.

Zum Beispiel enthält ein einzelnes Handy weniger als 0,4 Gramm Edelmetall und das wird beim Schreddern auch noch mit anderen Bestandteilen vermischt, von denen es sich teils nur schwer trennen lässt. Damit sich der Aufwand des Sammelns, Zerlegens und Aufbereitens lohnt, müssen noch weitere Materialien wie etwa Kupfer aus dem Handy wieder gewonnen werden. Professor Stefan Gäth vom Fraunhofer-Institut für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategien in Alzenau und Hanau plädiert daher für intelligentes Recycling: „Anstatt durch Schreddern zu verdünnen, sollten wir zum Beispiel den Vibrationsalarm eines Handys gezielt entfernen, um das dort enthaltene Wolfram wiederzuverwenden. Wenn die Konstruktion der Handys bekannt ist, kann das auch automatisiert erfolgen. An einer Datenbank dafür arbeiten wir gerade.“





### Ein Mix aus hochspezialisierten Materialien erschwert das Recycling. Produkte sollten gleich so geplant werden, dass sie sich später leicht wieder zerlegen lassen.

etabliert. Bei einigen Metallen wie Kupfer oder Eisen liegt der Recyclinganteil in neuen Produkten weltweit bei über 50 Prozent.

Das Recycling funktioniert zwar bei Maschinen oder Bauwerken mit großen Stahl- oder Aluminiumteilen gut, aber der Material-experte bei Siemens Corporate Technology (CT), Dr. Ulrich Bast, gibt zu bedenken: „Unser Abfall wird immer komplexer. In Produkten wie Autos, Flugzeugen, Handys oder LED-Lampen wird zunehmend ein Mix hochspezialisierten Materialien verbaut. Man denke nur an Leichtbaukonzepte aus Stahl, Leichtmetallen und Kompositmaterialien oder an Elektronikmodule. Diese enthalten zwar viele wertvolle Stoffe wie Gold, Platin, Palladium, Kupfer, Seltenerdmetalle, Glasfasern oder Kunststoffe, aber sie sind teilweise eng miteinander verbunden, was das Recycling erschwert. Produkte sollten daher gleich so geplant werden, dass sie sich später leicht wieder zerlegen lassen.“ Für Elektronik und Elektro-Altgeräte liegen die Recyclingraten im globalen Durchschnitt nur bei 19 Prozent.

Der Projektleiter Recycling bei CT, Dr. Jens-Oliver Müller, und sein Forscherteam in München arbeiten daher im Projekt MORE (Motor Recycling), das vom Bundesforschungsministerium gefördert wird, unter anderem an der Wiederverwertung von Permanentmagneten aus Systemen, für die es bisher keine befriedigende Recyclinglösung gibt. In kompakten und leichten Synchronmotoren für Elektroautos oder Generatoren für Windkraftanlagen werden starke Neodym-Eisen-Bor-Magnete gebraucht, die zu etwa 30 Prozent aus dem Seltenerdmetall Neodym und in geringeren Mengen aus Dysprosium, Praseodym und anderen Seltenerdmetallen bestehen.

**Neue Ansätze für Magnet-Recycling.** „Neben dem stofflichen Recycling geht es auch darum, die Lebensdauer der Produkte durch Reparieren, Wiederverwenden, Instandsetzen und Aufrüsten zu verlängern“ sagt Müller. „Wir verfolgen in MORE verschiedene Ansätze für das Recycling. Zum einen untersuchen wir, wie sich die insgesamt etwa ein



Recyclen erleichtern: Bei den Metrozügen von Siemens werden die Dämmplatten nur zwischen Gerippe und Verkleidung gesteckt (o.I.), Schrauben sind gut zugänglich. Vor allem um die Metalle der Seltenen Erden geht es beim Zerlegen von Permanentmagneten (oben). Für das Recycling von Carbonfasern entwickelte Dr. Heinrich Zeininger ein Verfahren: Dabei wird der Kunststoff entfernt, und das Carbongewebe bleibt erhalten (rechts).

Kilogramm schweren Magnete oder andere Komponenten aus Altmotoren von Elektroautos ausbauen und reparieren und wiederverwenden lassen. Das setzt allerdings ein über Jahre gleichbleibendes Motordesign voraus. Zum anderen testen wir, wie sich die Magnetmaterialien wiederverwerten lassen, wenn wir vorsortiertes Material reinigen, mahlen, schmelzen und zu neuen Magneten sintern. Zusätzlich untersuchen wir die rohstoffliche Wiederverwertung. Durch die Rückgewinnung der Rohmaterialien können nicht nur Magnete jeder Form und Größe hergestellt, sondern auch die Materialeigenschaften neu eingestellt werden.“

Wenn Recycling zu einer ernstzunehmenden Rohstoffquelle werden soll, müssen auch die Prozesse wesentlich effizienter werden. Siemens forscht daher zusammen mit dem Institut für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik der Universität Erlangen-Nürnberg an Konzepten zur automatisierten Demontage von Elektromotoren. Ein wichtiger Partner im MORE-Projekt ist zudem



die deutsche Recycling-Firma Umicore AG & Co. KG, die in Europa über die höchste Kompetenz in der Rückgewinnung von Metallen durch thermische Prozesse verfügt. Frank Treffer, Projektleiter bei Umicore, sieht große Potenziale: „Große Mengen wertvoller Materialien sind im Abfall breit verteilt, etwa das wenige Silber in den vielen kleinen RFID-Funketiketten. Moderne Recyclingtechnologien ermöglichen es grundsätzlich, diese Materialien wiederzugewinnen. Aber oft klappt noch eine große Lücke in der nötigen Logistik.“

**Carbonfasern recyceln.** Siemens-Forscher sind auch auf einem weiteren Zukunftsfeld aktiv. Der CT-Experte Dr. Heinrich Zeininger beschäftigt sich mit dem Recycling von Carbonfasern aus Faserverbundwerkstoffen. Das Leichtbaumaterial kombiniert die hohe Steifigkeit der Kohlefasern mit der Formbarkeit der Kunststoffmatrix. Es wird zum Beispiel in der Luft- und Raumfahrt oder im Fahrzeugbau verwendet. Carbonfasern sind teuer und brauchen viel Energie in der Herstellung. Dazu werden Kunststofffasern carbonisiert, also bei hohen Temperaturen zu Kohlenstofffasern umgesetzt. Die Länge dieser Fasern und die Form daraus hergestellter Gewebe werden immer genau auf das künftige Bauteil abgestimmt.

Bei dem bisher allein möglichen Recycling durch Pyrolyse, also dem Verbrennen des Kunststoffs, bleiben die Fasern teilweise beschädigt zurück und verfilzen zu Knäueln. Sie können nur noch zerkleinert werden und zum Beispiel zur Herstellung von leitfähigen Polymeren dienen. Das ist aber eine Sackgasse in puncto Stoffkreislauf. Die CT-Wissen-

schaftler haben nun ein sogenanntes solvolytisches Recyclingverfahren entwickelt und zum Patent angemeldet, bei dem der Kunststoff mit einem Lösungsmittel entfernt wird.

Die Carbonfasern bleiben dabei in voller Länge zurück, Gewebe behalten ihre Form und sogar ihre Beschichtung, die eine gute Haftung des Kunststoffs sicherstellt, bleibt erhalten. Die Wiederverwendung dieser Fasern erfordert deutlich weniger Energie, als für ihre Carbonisierung bei 2.000 Grad benötigt wird. Zeininger hat das Verfahren im Rahmen des vom Bundesforschungsministerium geförderten bayrischen Forschungsclusters MAI-Carbon entwickelt. Er erklärt: „Carbonfaserverstärkte Materialien werden wegen ihrer besonderen Eigenschaften künftig auch von Siemens immer häufiger eingesetzt, etwa in Motoren oder Rotorblättern. Unser Verfahren ist hier nützlich, da bei der Entwicklung neuer Produkte immer auch ein Recyclingkonzept erforderlich ist. Die nächste Herausforderung wird sein, die wiedergewonnenen Carbonfasern in neue Produkte zu integrieren, auch wenn die Geometrie des neuen Bauteils von der des Ursprungsteils abweicht.“

Auch der Siemens-Sektor Healthcare achtet auf Umweltschutz und Ressourceneffizienz im Produktlebenszyklus. Dazu wurde ein mehrstufiges Rücknahmekonzept entwickelt. Gebrauchte Geräte, etwa Röntgengeräte, werden zu sogenannten Refurbished Systems wiederaufgearbeitet. Einzelne Komponenten werden erneut eingesetzt oder als

Ersatzteile genutzt, und wertvolle Materialien wie das Schwermetall Molybdän aus Röntgenstrahlern werden wiederverwendet.

Auch Design-to-Recycling ist ein vielversprechender Ansatz. Dabei geht es darum, bereits beim Design eines Produktes auf gute Trennfähigkeit der Bauteile und Materialien zu achten. Nicht recyclingfähige Materialien sollten vor der Weiterverarbeitung abgetrennt werden können. Bei den Metrozügen von Siemens halten zum Beispiel leicht wieder zu lösende Sechskantschrauben den Aluminiumrahmen der Waggons zusammen, die Dämmplatten werden nur zwischen Gerippe und Verkleidung gesteckt und ein großer Anteil Recycling-Metall wird verbaut. Die Korkplatten zur Trittschalldämmung im Boden sind mit Aluminiumfolie und Kautschuk beklebt. Diese Schichten lassen sich beim Zerlegen einfach wieder abziehen (*Pictures of the Future*, Herbst 2011, S. 88).

Da die förderfähigen Vorkommen an wertvollen Rohstoffen zu aktuell geltenden Preisen und dem heutigen Energieaufwand endlich sind, wird es in Zukunft immer wichtiger sein, Stoffkreisläufe zu schließen. CT-Experte Müller erklärt: „Eine Möglichkeit für Siemens, zur Verstärkung des Recyclings weltweit beizutragen, ist es, den Produktservice auszuweiten. Besonders, wenn bei der Entsorgung Gebühren anfallen, werden künftig Kunden an Recycling als Teil des Services für Siemens-Produkte interessiert sein.“

■ Fenna Bleyl

### Kreislauf für wertvolle Rohstoffe aus Leuchten

**Leuchtstofflampen**, die wegen ihrer hohen Energieeffizienz immer mehr an die Stelle von Glühlampen treten, enthalten neben Glas und Metall auch die wertvollen Rohstoffe Quecksilber und Seltene Erden. Die Lampen können zu mehr als 90 Prozent wiederverwertet werden. Für das Recycling des Leuchtstoffpulvers, in dem die Seltenen Erden enthalten sind, hat Osram ein eigenes Verfahren entwickelt. Leuchtstofflampen besitzen an der Innenseite der Glasröhre eine Leuchtstoffschicht, die das in der Röhre durch elektrische Entladungen erzeugte ultraviolette Licht in sichtbares Licht umwandelt. Die Oxide der Seltenen Erden Cerium, Europium, Lanthan, Terbium oder Yttrium in der Leuchtstoffmischung sind dabei für die Farbe des Lichts verantwortlich. Da Leuchtstofflampen geringe Mengen an Quecksilber enthalten, dürfen sie seit 2006 in Europa nur noch über spezielle Sammelstellen entsorgt werden. Die Rücklaufquote an Lampen liegt bisher bei etwa 35 Prozent. Von dort nimmt Osram die Leuchtstofflampen zurück und verwertet neben Glas und Metall auch das Quecksilber und die Seltenen Erden. Dazu wird zuerst das Leuchtstoffpulver aus den Lampen geblasen oder gewaschen. Beim Erhitzen der Glas- und Pulverreste in einem geschlossenen System verdampft das Quecksilber, das mit einer Reinheit von 99,9 Prozent wieder gewonnen wird. Nach einem von Osram entwickelten und patentierten Aufbereitungsverfahren werden aus dem abgetrennten Leuchtstoffpulver die Selteneroxide mit einer Reinheit von 99,99 Prozent erhalten. Diese Recyclingmaterialien können nun zur Herstellung neuer Leuchtstofflampen dienen und so Ressourcen und Umwelt schonen.



Moderne Milchwirtschaft: Die Kooperative Vasudhara verarbeitet Milch aus der Region in vollautomatisch gesteuerten Anlagen zu Molkereiprodukten.

# Indiens goldene Kühe



Das Dorf **Karanjveri** im westindischen Staat Gujarat ist die meiste Zeit des Jahres staubig und trocken. Die Sonne brennt hier mit bis zu 50 Grad Celsius auf die Bewohner herab. Hier lebt die 37-jährige Kaushikaben Deshmukh mit ihrem Mann, dem 16-jährigen Sohn und der 15-jährigen Tochter in einer Stammesgemeinschaft. Die Familie besitzt acht Kühe und verdient mit der Produktion von 1.650 Litern Milch für die Milchkooperative des Dorfes monatlich 25.000 Rupien netto, etwa 460 US-Dollar. Eine fürstliche Summe für die Deshmukhs, waren sie doch noch vor zehn Jahren Landarbeiter ohne eigenen Grundbesitz.

In den kleinen Ortschaften der Staaten Maharashtra und Gujarat ist dies kein Einzelfall. Tausende Familien verdanken der „Vasudhara“ ein geregelt Einkommen und die Verbesserung ihrer Lebensbedingungen. Vasudhara begann 1973 seinen Betrieb und verfügt über 370 Dorfköoperative mit rund 100.000 Milchproduzenten und -bauern. Die Kooperative kaufen Milch von den Bauern und unterstützen den Einsatz von Technologie und professionellen Managementmethoden in der Milchproduktion. In

**Millionen von Milchbauern in Indien können nun ihre Einkünfte steigern – dank neuer Technologien, die die Molke- reibetriebe leistungsfähiger und produktiver machen.**

Vasudharas Fabriken in Alipur, Nagpur und Boisar wird die Milch abgepackt beziehungsweise zu Joghurt, Quark, Käse, Panir (Frischkäse), Butter, Eiscreme und Ghee (geklärte Butter) weiterverarbeitet. Der Spielraum zur Herstellung von Milchprodukten ist groß, denn laut dem National Dairy Development Board (NDDB) werden bisher nur 35 Prozent der in Indien konsumierten Milch weiterverarbeitet.

Das NDDB-Programm „Operation Flood“, eines der international größten ländlichen Entwicklungsprogramme, hat Indien zum größten Milchproduzenten der Welt gemacht. Es wurde 1970 gestartet und sollte die Milchproduktion steigern, die Einkommen auf dem Land erhöhen und den Konsumenten Milch zu angemessenen Preisen

liefern. 1990 wurde Vasudhara neben zwölf weiteren Kooperativen Mitglied der „Gujarat Cooperative Milk Marketing Federation (GCMMF)“, Indiens größter Marketingorganisation für Nahrungsmittelprodukte. Sie betreibt Verarbeitungsanlagen in Alipur und in Boisar in Maharashtra.

„Für uns geht es nicht nur um ein profitables Geschäft“, erklärt Darshan Mehta, Geschäftsführer des Vasudhara-Werks Boisar, sondern um eine langfristige Einkommensquelle für die Milchbauern. Das hört sich wie ein Klischee an, aber unser Geschäft wächst zusammen mit den Bauern.“ Heute liefert das Werk täglich 300.000 Liter Milch an Indiens Finanzmetropole Mumbai.

Vasudharas verarbeitete Erzeugnisse werden unter der bekannten Marke „Amul“ vertrieben und müssen stets den hohen Qualitätsstandards der GCMMF entsprechen. Das Unternehmen konkurriert mit großen privaten sowie kleinen lokalen Molkereien – es muss deshalb viel in einen effizienteren Produktionsablauf investieren. Einen großen Anteil leistet die automatisierte Verarbeitungsanlage. Hierbei spielt Siemens eine wichtige Rolle.

In allen Anlagen von Vasudhara kommt die „Totally Integrated Automation (TIA)“ von Siemens zum Einsatz. Diese Technologie integriert die Hard- und Software im gesamten Produktionsablauf – von der Annahme der Milchtanklast bis zur Verarbeitung der Milch, der Verpackung und Auslieferung. Dank TIA kann Vasudhara die Milch sicher transportieren, die Tankfahrzeuge zuverlässig verwalten, die Materialbewegungen verfolgen und durchgängig die Produktspezifikationen erfüllen. Ein speziell für die Milchverarbeitung konstruiertes Prozessleitsystem bietet modernste Verfahrenswerkzeuge für den Betrieb der Molkerei. Alle Prozessschritte – vom Reinigen und Separieren in entrahmte Milch und Sahne bis zum Einstellen des Fettgehalts, dem Pasteurisieren, Homogenisieren, Sterilisieren und Kühlen – werden über Online-Instrumentierung gesteuert.

**Qualität ermitteln.** Zugleich durchläuft jede Tankladung Milch zur Qualitätssicherung 14 Tests. Ist eine Lieferung verdorben oder hat einen geringeren Fettgehalt als angegeben, wird sie zurückgewiesen. Außerdem werden die Milchbauern nach der Güte ihrer Milch bezahlt – ein Anreiz für sie, hohe Qualität zu liefern. Über eine Code-Identifizierung bestimmt die Automatisierungstechnik an der Annahmestelle den Fettgehalt jeder Lieferung und überweist den entsprechenden Geldbetrag innerhalb von 24 Stunden auf das Bankkonto des Lieferanten. Das frühere System ermöglichte nur monatliche Zahlungen.

„Siemens hat einen speziellen Bereich für die Nahrungsmittel- und Getränkeindustrie und liefert Technik, die in den letzten 15 Jahren zum Standard in indischen Molkereien geworden ist“, erklärt Bhaskar Mandal, Leiter für Industrieautomatisierung in Südasien beim Siemens-Sektor Industry. „Mit unserer Technologie reduziert Vasudhara die Betriebskosten, sichert eine konstante Produktqualität und kann seine Kapazitäten flexibel erweitern. Davon profitieren auch die Verbraucher und die Lieferanten.“ „Dank der Automatisierung erzielen wir Einsparungen, die wir in den Ausbau unserer Kapazitäten und die Modernisierung der Prozesstechnik investieren“, sagt der Geschäftsführer Darshan Mehta. „Zugleich produzieren wir genug Milch, um eine ganze Stadt zu versorgen.“ Im Rahmen seines Programms „Journey 2015“ will Vasudhara nun seine Kapazitäten bald auf 1,1 Millionen Liter Milch am Tag erweitern – eine Erfolgsgeschichte sowohl für das Unternehmen wie für viele indische Milchbauern. ■ **Bijesh Kamath**

# Auf den Punkt

## Um effizienter und flexibler produzieren

und die Wertschöpfung steigern zu können, bereiten sich Unternehmen darauf vor, ihre industrielle Fertigung auf eine neue Stufe zu stellen: Reale, digitale und virtuelle Welt verschmelzen mittels Software, Funktechnik und Prozessoren zu cyberphysikalischen Systemen. Diese Entwicklung ist in Deutschland auch unter dem Begriff Industrie 4.0 bekannt. Die Regierungen in Deutschland und in den USA unterstützen entsprechende Forschungsprojekte, die Industrie und Wissenschaft gemeinsam ins Leben rufen. (S.10, 13, 19)

**Hoch automatisierte Industrien** wie Automobil- oder Flugzeughersteller sind Vorreiter für neue Fertigungskonzepte: Zusammen mit Siemens hat etwa Ford eine globale Managementplattform für seine Software und Hardware entwickelt. Hier ist die Vision, eine Datenbank für alles zu nutzen, bereits Wirklichkeit geworden. (S.19, 15)

**Wie neue Produkte effizient** und kostengünstig entworfen werden können, zeigt das US-Start-up Unternehmen Local Motors: Externe Entwickler haben auf einer gemeinsamen IT-Plattform den Sportflitzer Rallye Fighter konstruiert. „Co-Creation“ heißt dieser Trend. Möglich wird die Zusammenarbeit vieler kreativer Köpfe durch die Siemens-PLM Software „Solid Edge“. (S.13, 19)

**Software für Simulationen** wird immer ausgefeilter: Unter dem Dach von Siemens PLM Software tüfteln Spezialisten an Programmen, die vorher sagen, wie sich Teile aus Carbonfaser-Verbundwerkstoffen bei einem Autocrash verformen, welche Geräusche eine Windturbine machen wird oder wie die effektivsten Bewegungen eines Roboterarms am Fließband ablaufen. (S.20)

**Bekannte Werkstoffe** in neuen Kombinationen helfen, Produkte zu verbessern. Siemens forscht an Kombinationen von Keramiken mit Metallen und an Verbindungen verschiedener Metalle, die sich bisher nur schwer zusammenfügen lassen. Komplizierte Bauteile können mit Verfahren des Additive Manufacturing direkt aus Designdaten schnell gefertigt werden, etwa indem ein Laser Stahlpulver schichtweise schmilzt. (S.31, 29, 35)

**Der Mensch** wird auch in einer smarten Fabrik alle wichtigen Entscheidungen treffen – und muss sich ständig an den neuesten Stand der Technik anpassen. Intelligente Roboter und Menschen arbeiten künftig „Hand in Hand“, um eine flexiblere Produktion zu ermöglichen. (S.23, 25)

## LEUTE:

**Industrie 4.0 bei Siemens:**  
Peter Herweck, Corporate Development  
peter.herweck@siemens.com  
Marion Horstmann, Industry  
marion.horstmann@siemens.com  
Dr. Wolfgang Heuring, Corporate Technology  
wolfgang.heuring@siemens.com

**Forschungsprojekte Industrie 4.0:**  
Dr. Thomas Hahn, Corporate Technology  
Hahn.th@siemens.com  
Dr. Armin Haupt, Corporate Technology  
armin.haupt@siemens.com

Jürgen Back, Corporate Technology  
j.back@siemens.com

**Siemens PLM Software:**  
Karsten Newbury, Mainstream Engineering  
Software, karsten.newbury@siemens.com  
Stefan Jokusch, Automotive Industrie Strategy  
stefan.jokusch@siemens.com

**Neue Werkstoffe, Additive Manufacturing:**  
Dr. Friedrich Lupp, Corporate Technology  
friedrich.lupp@siemens.com  
Dr. Wolfgang Rossner, Corporate Technology  
wolfgang.rossner@siemens.com  
Dr. Ursus Krüger, Corporate Technology  
ursus.krueger@siemens.com  
Martin Schäfer, Corporate Technology  
Martin.schaefer@siemens.com  
Dr. Oliver Stier, Corporate Technology  
oliver.stier@siemens.com

## Extern:

Prof. Dr. Dieter Spath,  
Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und  
Organisation, Dieter.Spath@iao.fraunhofer.de  
Prof. Dr. Michael Zäh,  
Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungs-  
technik, TU München, Michael.Zaeh@iwb.tum.de

## LINKS:

**Industrie 4.0:**  
[www.bmbf.de/de/19955.php](http://www.bmbf.de/de/19955.php)  
[www.siemens.com/industryjournal/de/journal/02\\_2012/digitale-zukunft.htm](http://www.siemens.com/industryjournal/de/journal/02_2012/digitale-zukunft.htm)  
Cyberphysical Systems, USA: [http://nsf.gov/funding/pgm\\_summ.jsp?pims\\_id=503286](http://nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=503286)

**Siemens PLM Software:**  
[www.plm.automation.siemens.com/de](http://www.plm.automation.siemens.com/de)  
**Local Motors:** [www.localmotors.com](http://www.localmotors.com)

**Additive Manufacturing:**  
[www.fraunhofer.de/de/fraunhofer-forschungsthemen/Produktion/Fertigungstechnologien/generative-fertigung.html](http://www.fraunhofer.de/de/fraunhofer-forschungsthemen/Produktion/Fertigungstechnologien/generative-fertigung.html)  
[www.nist.gov/director/pilot-082112.cfm](http://www.nist.gov/director/pilot-082112.cfm)

# Wüstenperle mit Gewissen

Dank großer Öl- und Erdgasvorkommen hat sich das Scheichtum Katar vom kleinen Wüstenstaat zu einem der reichsten Länder der Welt entwickelt. Doch das hat seinen Preis: Pro Kopf wird nirgends mehr CO<sub>2</sub> emittiert als hier. Das soll sich ändern – unter anderem mit Siemens-Hilfe.



Land im Wandel: Effiziente Meerwasserentsalzungsanlagen (links) und Gebäude wie der Tornado Tower (rechts) tragen zu einer nachhaltigeren Zukunft Katars bei. Die Skyline zeigt die moderne Seite Dohas.

**Im Grunde genommen** ist die Ostküste der arabischen Halbinsel eines der menschenfeindlichsten Gebiete der Erde. Im Sommer klettert das Thermometer nicht selten über die Marke von 50 Grad Celsius, während der geringe Jahresniederschlag von unter 100 mm pro Quadratmeter die Region zu einer der weltweit trockensten macht. Daher ist es kaum überraschend, dass diese Gegend noch vor wenigen Jahrzehnten wenig entwickelt und hauptsächlich vom Fisch- und Perlen-Handel abhängig war. Doch dann begann man die Öl- und Gasvorkommen auszubeuten: Heute stehen die Scheichtümer an dieser Küste vor allem für Luxus und eines der höchsten Pro-Kopf-Einkommen weltweit.

Der Kontrast zwischen Tradition und Moderne ist besonders hoch im Scheichtum Katar. Die „Perle am Persischen Golf“ ragt als 180 Kilometer lange und 80 Kilometer breite sandige Halbinsel südlich von Kuwait und Bahrain ins arabische Meer. Hier hat die Regierung erfolgreich das Ziel verfolgt, historische Stätten mit traditioneller Architektur für die Nachwelt zu erhalten. So feilschen die Bewohner noch heute auf Basaren um Tücher, Haushaltswaren, Parfüme oder Gewürze. Einer von ihnen ist der Souq Waqif in Doha, einst ein Wochenend-Basar für Beduinen, der nach seiner Renovierung 2004 wieder seine Pforten öffnete. Von der Geschichte des Landes zeugen auch die in den Häfen liegenden Dhaus. Das sind alte hölzerne Boote, mit denen die Fischer morgens

aufs Meer hinaus fahren und dabei das andere, das moderne Katar vor Augen haben: die imposante Skyline des Hochhausviertels West Bay in der Hauptstadt Doha.

Die verborgenen Schätze des Staates, der nicht einmal ein Drittel der Größe der Schweiz einnimmt, kamen vor rund 75 Jahren ans Tageslicht. Ende der 1930er-Jahre wurden die ersten Erdölvorkommen im Land entdeckt – seitdem ist die Förderung der fossilen Bodenschätze das wirtschaftliche Standbein Katars. Der größte Reichtum liegt vor allem im Erdgassektor: Mit einem Anteil von rund 15 Prozent hat Katar die weltweit drittgrößten konventionellen Erdgasvorkommen. Insgesamt 60 Prozent seines Bruttoinlandsproduktes erzielt das Land derzeit mit seinen fossilen Naturschätzen.

Mit dem Wohlstand wuchs auch die Bevölkerung Katars. Lebten 1950 hier noch weniger als 30.000 Menschen, sind es heute rund 1,9 Millionen, darunter 80 Prozent Ausländer. Allein seit 2008 ist die Bevölkerung um ein Fünftel gewachsen und mit ihr auch die Nachfrage nach Trinkwasser und Elektrizität. Dieses Wachstum ist die große Herausforderung, der sich Katar derzeit gegenübersieht. Pro Jahr steigt der Energiebedarf, der hier hauptsächlich durch fossile Kraftwerke gedeckt wird, in der Region zwischen 12 und 15 Prozent. In den extrem heißen Sommermonaten gehen allein 70 Prozent des Energiebedarfs in die Kühlung von Gebäuden.

Die Wasserversorgung übernehmen energieintensive Meerwasserentsalzungsanlagen. Gleichzeitig dominiert der Individualverkehr auf den Straßen: Ein Netz öffentlicher Verkehrsmittel ist noch in Entwicklung, während die klimatischen Extreme heute kaum Alternativen zum Pkw bieten. Die Folge: Laut Weltbank wird nirgendwo auf der Welt pro Kopf mehr CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre geblasen als in Katar – mehr als 40 Tonnen pro Einwohner. Zum Vergleich: in den USA sind es weniger als 20 Tonnen, in Deutschland weniger als zehn Tonnen pro Kopf.

Vor diesem Hintergrund ist es verständlich, dass sich Klimaschutzorganisationen und Kritiker in aller Welt überrascht darüber zeigten, dass ausgerechnet Katar vom 26. November bis 07. Dezember 2012 Gastgeber der UN-Klimakonferenz COP 18 war, auf der 15.000 Delegierte aus mehr als 190 Staaten über die Verlängerung des Kyoto-Protokolls diskutierten.

Doch das Scheichtum hat ein Interesse an nachhaltigen Lösungen im eigenen Land. Nicht zuletzt da Erdöl und Erdgas begrenzt verfügbare Rohstoffe sind, stehen Investitionen in erneuerbare Energien und Umweltschutz derzeit im Nahen Osten im Fokus des Interesses. So stellen erste Schritte in Richtung eines nachhaltigen Energiesystems die Weichen für eine Zeit nach Öl und Gas. Das betrifft die Effizienzsteigerung in der Energieerzeugung, der -verteilung und der -nutzung – etwa in Gebäuden oder dem Verkehr

– gleichermaßen. „Allein die Tatsache, dass Katar die weltweite Klimagemeinschaft eingeladen hat, zeigt, dass diese Region ebenfalls einen Part in der globalen Diskussion einnehmen will“, bestätigt Achim Steiner, Exekutivdirektor des UN-Umweltprogramms (UNEP), die Nachhaltigkeitsziele der Katarer.

**Nachhaltigkeit fördern.** So hat Katar seine Ambitionen bereits in einem Entwicklungsprogramm formuliert. In der „Vision 2030“ ist die Rede von 130 Milliarden US-Dollar, die in den nächsten Jahren zur Umsetzung einer nachhaltigen Zukunft bereitgestellt werden sollen. Das Land möchte dabei besonders den Umweltfaktoren Bio-Diversität, Wassermanagement, Klimawandel, Energie und Luftverschmutzung Beachtung schenken. Einige Projekte hat die Regierung bereits angeschoben – auch mit Siemens-Beteiligung. „Katars Interesse an einer nachhaltigen Entwicklung seiner Infrastruktur wächst“, erklärt Bernhard Fonseca, CEO von Siemens in Katar. „Das betrifft vor allem den Energie-Sektor und den Transport. Felder, in denen Siemens eine große Expertise und viele Lösungen vorzuweisen hat.“

Beispielsweise installiert Siemens bis Mitte 2013 in Doha etwa 17.000 „intelligente“ Stromzähler, mit deren Hilfe die Verbrauchsdaten im Stromversorgungsnetz effizient ausgelesen, verarbeitet und zur Abrechnung bereit gestellt werden. Der Versorger „Qatar General Electricity & Water Corporation“ (Kahramaa) möchte mit Hilfe dieser

Systeme testen, wie sich die Nachfrage nach Energie während Spitzenlastzeiten managen und der Abrechnungsprozess mit den Kunden verbessern lässt.

Heute schon zeigt eines von Dohas Wahrzeichen, der Tornado Tower, wie Gebäude ihren Energieverbrauch spürbar senken können, ohne auf Komfort und Funktionalität zu verzichten. Mit einem Automatisierungssystem von Siemens lassen sich in allen 52 Stockwerken des 200 Meter hohen intelligenten Gebäudes sämtliche Gewerke flexibel steuern und überwachen: Dank eines permanenten Monitorings der einzelnen Verbraucher lässt sich der Energieverbrauch des Hochhauses um rund 20 Prozent senken. Das schont Ressourcen und minimiert den CO<sub>2</sub>-Ausstoß. „Dabei ist das Siemens-System fast ein Alleskönner“, schwärmt Bob Stow, der als leitender Gebäudemanager für die Gebäudesysteme im Tornado Tower zuständig ist. „Es steuert nicht nur die Energieverteilung und den Energieverbrauch von Klimasystemen oder den elektrischen Anlagen im Haus, sondern darüber hinaus auch die Sicherheits- und Brandschutzsysteme.“

Gleichzeitig wird Katar im Zuge seiner Vision 2030 auch den öffentlichen Nahverkehr

ausbauen – ebenfalls mit Siemens-Technik. Ein Beispiel ist der im Juli 2012 erteilte Auftrag über 19 Avenio-Straßenbahnen, die ab Herbst 2015 den öffentlichen Nahverkehr im Staat ergänzen werden. Und das besonders umweltfreundlich, weil sie unter anderem ihre Bremsenergie speichern und wiederverwerten. Wie ernst die Regierung von Katar das Thema öffentlicher Verkehr nimmt, zeigte sich bereits 2008, als sie den Startschuss für den Aufbau eines integrierten Bahnsystems in Katar gab – inklusive vier Metrolinien in Doha und eines Fernverkehrsnetzes für den Personen- und Güterverkehr.

Spätestens 2022 sollen zumindest schon die U-Bahnlinien in Betrieb gehen – pünktlich zur Fußballweltmeisterschaft, wenn alle Augen wieder auf das kleine Scheichtum gerichtet sein werden. Bis dahin möchte Katar seine Nachhaltigkeitsambitionen verwirklichen. So sollen etwa die Fußballstadien während der Spiele auf unter 30 Grad Celsius heruntergekühlt werden – nicht mit großem Energieaufwand, sondern intelligenter: mit einer Kombination aus Schatten spendenden Dächern mit Solarpanels, die das Stadion nebst effizienten Kühlsystemen mit Sonnenstrom versorgen. Das Land kann dann beweisen, dass selbst im Sommer, wenn das Thermometer wieder über 50 Grad Celsius klettert, die arabische Wüste mit ihren Bodenreichtümern nicht nur ein luxuriöser, sondern zugleich auch ein nachhaltiger Ort sein kann. ■ Sebastian Webel



# Highlights

- 51 Fossile Marathonläufer**  
Trotz des globalen Booms der erneuerbaren Energien werden konventionelle Kraftwerke auch in Zukunft weltweit einen wesentlichen Beitrag zur Energieversorgung leisten. Hierbei gilt: Effizienz ist Trumpf (S.51, 52, 60).
- 62 Licht ins Dunkel**  
Nach wie vor leben in Indien Millionen Menschen ohne Strom. Neue HGÜ-Fernleitungen transportieren Elektrizität sehr effizient und stabilisieren das Netz. Seite 62
- 66 Ressourcen effizienter nutzen**  
Was tun gegen steigende Rohstoffpreise und höhere Materialkosten? Ingenieure optimieren den Ressourceneinsatz bereits beim Entwurf neuer Produkte. Seite 66
- 68 Da geht noch was**  
Moderne Autofabriken laufen heute schon sehr rund. Doch angesichts des immer härteren Wettbewerbs müssen die Hersteller an bisher ungenutzten Stellschrauben drehen, um die Kosten weiter zu senken. Dabei zunehmend im Fokus: der Energieverbrauch in der Fertigung. Seite 68
- 74 Mehr Platz im Flaschenhals**  
Siemens revolutioniert die Steuerung von U-Bahnen. Dank eines neuen Systems mit WLAN-Funkkanal können auf derselben Strecke doppelt so viele Züge fahren wie bisher. Seite 74

**2040** Virtuelle Weltanschauung: Prof. Chandan Prakash führt den US-Journalisten Jonathan Cleese durch die Arbeit von Global Optimum. Als Showroom dient dem Exekutivdirektor dabei ein Plexiglastunnel mit einer speziellen Projektionstechnik. Hier kann der gebürtige Inder seinen Besuchern die komplexen Nachhaltigkeitsprojekte der Organisation mithilfe aufwendiger, dreidimensionaler Animationen leicht verständlich vermitteln.

# Der Effizienz-Guru

**Maximierte Effizienz | Szenario 2040** Der Journalist Jonathan Cleese hat einen besonderen Besuch vor sich. Er trifft sich mit dem Exekutivdirektor von Global Optimum, einer weltweit tätigen Organisation, die vor allem ein Ziel hat: die Lebensqualität in unterentwickelten Regionen zu erhöhen. In einem Projektionstunnel zeigt der Gastgeber dem Journalisten einige Projekte auf eine eindrucksvolle Art.

„Darf ich vorstellen: Das ist unsere Showröhre – mit unzähligen Spezialkameras, Sensoren, Projektoren und 3D-Effekten ein Wunderwerk der Technik.“ Jonathan Cleese ist begeistert, als Prof. Chandan Prakash, Exekutivdirektor von Global Optimum, ihn durch einen Tunnel führt, der den amerikanischen Journalisten an die verglasten Röh-

ren im Aquarium seiner Heimatstadt erinnert. Durch diese hat er in seiner Kindheit oft exotische Meerestiere aus unmittelbarer Nähe beobachtet. Statt Haifischen, Rochen und Schildkröten sieht er hier jedoch Landschaften, Industrieanlagen und Kraftwerke vor sich. Prof. Prakash bemerkt die Mischung aus Begeisterung und Verwunderung bei

seinem Gast: „Lassen Sie sich nicht beirren. Was Sie wirklich umhauen wird, sind die Geschichten, die ich Ihnen zu den Bildern erzählen werde. Gehen wir!“ Gemeinsam betreten sie den Projektionstunnel, der der Organisation als Showroom dient und potenziellen Kunden und Besuchern die Arbeit der Institution verdeutlicht. „Wie Sie sicher



wissen, hat sich Global Optimum zum Ziel gesetzt, Infrastrukturen aller Art zu optimieren“, beginnt Chandan Prakash seinem Gast die Aufgabe seiner Organisation zu erklären. Jonathan nickt und fährt statt des Professors fort: „Dabei haben Ihre Experten aus den Bereichen Energie, Gesundheit oder Fertigung, die Global Optimum ehrenamtlich angehören, ein gemeinsames Ziel: Entwicklungsländer mit ihrer Expertise zu unterstützen und ihnen dank höherer Infrastruktur-Effizienz zu mehr Wohlstand und Lebensqualität zu verhelfen. Und zwar in enger Zusammenarbeit mit der jeweiligen Regierung und Wirtschaft.“

Ja, er hat seine Hausaufgaben gemacht. Prof. Prakash nickt anerkennend: „Kommen Sie, ich gebe ihnen einen detaillierten Einblick in unsere Arbeit“. Er deutet auf eine Projektion mit mehreren Krankenhäusern. „Mit diesem Projekt haben wir uns weltweit erstmals einen Namen gemacht. Es ging hier darum, in dünn besiedelten Gebieten die Gesundheitsversorgung zu verbessern. Dieses Beispiel stammt aus einer lateinamerikanischen Region. Früher mussten dort alle Bürger schon beim kleinsten Verdacht in zentral gelegene und teils Stunden entfernte Krankenhäuser fahren. Uns ist es gelungen, das System zu dezentralisieren und in jeder Gemeinde eine Basisversorgung einzurichten. Heute werden die Untersuchungsdaten von den Basisstationen elektronisch an ein zentral gelegenes Hospital weitergeleitet, dort die Diagnosen erstellt und eventuelle Therapien in die Wege geleitet.“

Jonathan nickt wissend: „Das Gesundheitssystem wird so in Sachen Komplexität und Kosten schlank gehalten und die Lebenserwartung der Landbevölkerung steigt – Kompliment!“ „Danke“, sagt Prakash. „Kommen Sie weiter.“

Der Forscher führt den Journalisten zu einer 3D-Projektion, die besonders durch südasiatisch anmutende Tempelanlagen ins Auge sticht. „Das ist ja ein Grundriss eines ganzen Landes“, stellt Jonathan fest. „In der Tat“, grinst der Professor. „Vor uns sehen wir ein Land, das viele Jahre nahezu isoliert war. Zwar hat es sich vor einigen Jahrzehnten wirtschaftlich geöffnet, doch damals war nur ein Bruchteil des Landes elektrifiziert, was noch Jahre nach der Öffnung eine marode Wirtschaftslage nach sich zog. Wir analysierten den damaligen Status Quo der Energielandschaft und Wirtschaft und entwickelten einen Masterplan zur Steigerung der Effektivität beider Systeme.“

Jonathan ist fasziniert: „Wie sah dieser Plan aus?“ Prakash fährt fort: „Unser Plan, der

zusammen mit Investoren und der Regierung im Lauf der Jahre umgesetzt wurde, beinhaltete beispielsweise den Ausbau der Wasserkraft, deren ungenutztes Potenzial im Land damals gigantisch war, sowie anderer erneuerbarer Energien. Gleichzeitig setzten wir die breite Elektrifizierung des Landes mit der HGÜ-Technik um, mit der es möglich ist, Elektrizität über weite Entfernungen verlustarm zu transportieren. Dank des Einsatzes von Bakterien bei der Gewinnung von Rohstoffen konnten wir neue Fördertechniken entwickeln.“

Er zeigt auf Kraftwerke an der Wand: „Zudem haben wir effiziente Gas- und Dampfturbinenkraftwerke installiert und den bestehenden Kraftwerkspark des Landes über Modernisierungen erheblich effizienter gemacht. Und damit das Stromnetz trotz des mittlerweile großen Anteils an fluktuierender Wind- und vor allem Sonnenenergie stabil bleibt und auch die Kosten sinken, haben wir in Industrieanlagen und Haushalten automatische Lastabwurf-Systeme installiert und durch unser eigenes entwickeltes Energiesparprogramm den Verbrauch drastisch gesenkt. Das Interessante dabei: Durch die Energieeinsparung amortisieren sich viele eingesetzten Technologien von selbst, während die Erneuerbaren und die Erdgasförderung im eigenen Land teure Rohstoffimporte fast überflüssig machten. Heute floriert die Wirtschaft dieses Landes, vor allem dank der Investitionen internationaler Unternehmen.“

Der Journalist kommt aus dem Staunen nicht mehr heraus: „Sie haben quasi ein ganzes Land revolutioniert. Das ist doch eigentlich gar nicht mehr zu übertreffen, oder?“

„Da haben Sie Recht“, antwortet ihm der Professor und beginnt zu lachen. „Aber wie heißt es so schön? Kleinvieh macht auch Mist.“ Er führt Jonathan zu einer weiteren Projektion.

„Derzeit entwickelt unsere Gruppe ein replizierbares Modell zur Effizienzsteigerung von Lieferketten in der Industrie. Das beinhaltet auch Methoden zur Steigerung der Recyclingrate von Materialien. Damit erhoffen wir uns, weitere Länder vom kostenintensiven Import von Rohstoffen zu entlasten, aber auch der globalen Rohstoffverknappung entgegenzutreten. Das ist im Prinzip ganz einfach, das könnten Sie auch – zumindest in ihren eigenen vier Wänden.“ Jonathan runzelt seine Stirn: „Ach, und wie soll das denn gehen?“ Prakash lacht: „Das beginnt schon bei den Methoden, die jeder von uns unzählige Male von seinen Eltern erklärt bekam: das Licht ausschalten und den Müll trennen.“

■ Sebastian Weibel

**Städte bedecken zwar nur einen Bruchteil der Erdoberfläche, doch sie sind für rund zwei Drittel des weltweiten Energieverbrauchs und Treibhausgasausstoßes verantwortlich. Daher sind sie auch der Ort, wo Antworten auf den Klimawandel und die Ressourcenverknappung gefunden werden müssen. Der wichtigste Hebel: Effizienz.**

## Tor zur



### Städte sind keine Erfindung der Neuzeit.

Im Gegenteil, sie bilden seit Jahrtausenden das Herz der menschlichen Zivilisation. Ob in Mesopotamien, im antiken Rom, in Ägypten oder China: Städte waren stets Sinnbild für Kunst und Kultur, Handwerk, Handel und für den menschlichen Fortschritt. Doch bis vor 200 Jahren lebten gerade einmal drei Prozent der Menschheit in urbanen Ballungszentren, heute sind es mehr als die Hälfte: über 3,5 Milliarden Menschen.

Rund 50 Prozent der weltweiten Wirtschaftsleistung werden inzwischen in den 600 größten Metropolen erbracht. Gleichzeitig sind Städte für rund zwei Drittel des weltweiten Energieverbrauchs und für bis zu 70 Prozent der Treibhausgas-Emissionen verantwortlich – obwohl sie nur etwa zwei Prozent der Erdoberfläche bedecken.



Schlüssel für Effizienz: Etliche Städte versuchen, ihren ökologischen Fußabdruck zu verringern – wie am Federation Square in Melbourne.

# Nachhaltigkeit

Antworten auf die dringendsten Fragen unserer Zeit, allen voran der Klimawandel und die drohende Ressourcenverknappung, müssen also vor allem in den Städten gefunden werden. Dabei können die urbanen Zentren aufgrund ihrer hohen Bevölkerungsdichte aber auch ihre Vorteile ausspielen und Ressourcen effizienter nutzen, etwa in der Energieerzeugung, der -verteilung oder der -nutzung in Gebäuden oder dem Verkehr. In den Städten liegt also der Schlüssel für die Zukunft der Menschheit.

Die gute Nachricht: Viele Metropolen stellen sich dieser Verantwortung und ergreifen Maßnahmen, um ihren ökologischen Fußabdruck zu verringern. Allen voran Kopenhagen und Melbourne. Die Hauptstadt Dänemarks möchte bis 2025 unter dem Strich null CO<sub>2</sub>-Emissionen erzeugen – und die zweitgrößte australische Stadt strebt dieses Ziel sogar bis 2020 an (S.71). Welche Hebel für ein solches Vorhaben in Bewegung gesetzt werden könnten, zeigen die folgenden Beispiele.

**Sauberer Strom.** Bis 2030, so schätzen Siemens-Experten, dürfte der weltweite Bedarf an elektrischer Energie um zwei Drittel zunehmen. Kraftwerke mit rund 7.000 Gigawatt (GW) Leistung werden bis dahin gebaut werden (*Pictures of the Future*, Herbst 2012, S.20). Mehr als ein Drittel davon sind CO<sub>2</sub>-

freie erneuerbare Energien wie Wind, Wasser und Solar, aber rund 45 Prozent des Leistungszubaus wird weiterhin durch fossil befeuerte Kraftwerke wie Kohle und Gas abgedeckt werden. Die Stromerzeugung aus fossilen Quellen könnte daher in den nächsten 20 Jahren nochmals um etwa 50 Prozent steigen. Große Märkte werden dabei Asien und die USA sein – beides Regionen, die heute vermehrt auf hocheffiziente Gaskraftwerke setzen, unter anderem mit Siemens-Technik (S.52, 60).

Aber auch Kohlekraftwerke werden in den nächsten Jahren weiterhin die globale Energielandschaft prägen – vor allem Altanlagen. Zwar wurden in den letzten fünf Jahren moderne Kohlekraftwerke mit einer Erzeugungsleistung von mehr als 350 Gigawatt gebaut. Weltweit beträgt die Kapazität der Kohleerzeugung aber mehr als 1.600 Gigawatt und wird somit hauptsächlich von alten Anlagen getragen. In Russland etwa sind mehr als 80 Prozent aller Kohlekraftwerke älter als 20 Jahre – mit einer Effizienz von teilweise nur 23 Prozent. Im Vergleich zu modernen Kraftwerken mit über 45 Prozent Wirkungsgrad wird hier pro Kilowattstunde also doppelt so viel CO<sub>2</sub> ausgestoßen wie notwendig.

Weltweit gibt es Hunderte solcher fossiler Kraftwerke, die mit einer Modernisierung ihren Wirkungsgrad um mehrere Prozentpunkte steigern könnten. Das würde nicht

nur ihren CO<sub>2</sub>-Ausstoß deutlich verringern und somit eine gute Klimaschutz-Maßnahme sein. Eine Modernisierung senkt auch die Betriebskosten, erhöht gleichzeitig die Lebensdauer des Kraftwerkes, dessen Leistung und somit auch die Wettbewerbsfähigkeit. „In den USA beispielsweise wurden allein durch die Modernisierung von mehr als 100 Dampfturbinen seit dem Jahr 2000 mehr als 20 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr eingespart“, berichtet Steve Welhoelter, der von Orlando aus die weltweiten Service-Aktivitäten für Siemens Energy koordiniert (S.52).

Ein weiterer Schlüssel zu einer sauberen Energieerzeugung ist der Ausbau erneuerbarer Energien. Beispiel Türkei: Hier wird die Bevölkerung bis 2050 von derzeit 75 auf rund 95 Millionen Menschen anwachsen. Zugleich steigt der Energieverbrauch immens. Um nicht zu stark von Gasimporten abhängig zu werden, will das Land seine Energieversorgung neu aufstellen und vor allem lokal verfügbare Energiequellen wie die Windenergie fördern. Seit 2008 hat sich die Leistung der Windparks in der Türkei auf heute 3,5 GW verzehnfacht (S.56).

**Verlustarme Verteilung.** Mit dem verstärkten Ausbau der Erneuerbaren werden die Energiesysteme in aller Welt aber mit einer besonderen Herausforderung konfrontiert.

Denn im Gegensatz zu konventionellen Kraftwerken, die nahe bei den Verbrauchszentren stehen, werden Erneuerbare dort genutzt, wo sie reichlich anfallen. Also Sonne in sonnenreichen Gegenden und Wind auf Bergen oder dem offenen Meer. Damit müssen auch die Fernnetze weiter ausgebaut werden. In China etwa hat Siemens Anlagen zur Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ) installiert, die CO<sub>2</sub>-freien Strom aus Wasserkraft über mehr als 1.500 Kilometer weit an die Ostküste transportieren und dabei nur Verluste von wenigen Prozent aufweisen (*Pictures of the Future*, Frühjahr 2012, S.90). Mit klassischen Wechselstromleitungen wären die Verluste zwei- bis dreimal so hoch.

Ähnliche HGÜ-Systeme von Siemens werden auch in anderen Ländern gebaut: etwa zwischen England und Schottland oder Spa-

bäude, auf die weltweit 40 Prozent des Energieverbrauchs entfallen und die mit ihrem Strom- und Wärmeverbrauch etwa 20 Prozent aller Treibhausgas-Emissionen erzeugen. Durch eine intelligente Verknüpfung von Beleuchtungs-, Informations-, Klima- und Sicherheitstechnik kann deren Verbrauch relativ einfach um 30 bis 40 Prozent reduziert werden.

Ein weiterer Großverbraucher sind Industrieanlagen. Intelligente Maßnahmen zur Verbrauchssenkung sind hier in jedem Fall sinnvoll und notwendig, nicht zuletzt weil sie angesichts steigender Energiepreise auch deutlich Kosten sparen und damit die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen steigern. Beispiel Automobilindustrie: „Einer der Hauptansatzpunkte ist, die Grundlast eines Werkes weiter zu senken“, sagt Rudolf Traxler, bei Siemens Industry in Linz für Energie-

**Bis 2030 wird der weltweite Bedarf an elektrischer Energie um zwei Drittel zunehmen. Bis dahin sollen Kraftwerke mit rund 7.000 GW Leistung gebaut werden.**



Effizienz ist Trumpf: etwa im GuD-Kraftwerk Lingang in China (links), bei einer neuen HGÜ-Anlage in Indien (Mitte) oder in der Autoindustrie.

nien und Frankreich. Oder in Indien, wo Strom aufgrund des verlustreichen, schwachen Netzes oft gar nicht erst dort ankommt, wo er benötigt wird. Hier verbindet eine Siemens-Leitung die Stadt Mundra mit dem 1.000 Kilometer entfernten Mohindergarh. Die nahezu verlustfreie Anlage, die weltweit als erste ihrer Art nach der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) als grüne Technologie zertifiziert wurde, transportiert genügend Strom für mehr als eine Million indische Haushalte (S.62).

**Optimierter Energieeinsatz.** Die sicherste und umweltfreundlichste „Energiequelle“ ist aber immer noch das Sparen von Energie. Das gilt in Städten besonders für die Ge-

managementsysteme verantwortlich. „Selbst in Zeiten, wo wenig oder nichts produziert wird, beträgt der Energieverbrauch im Schnitt oft noch 30 Prozent eines Arbeitstages.“ Moderne Energiemanagementsysteme von Siemens erhöhen mithilfe zahlreicher Sensoren die Transparenz über den Energieverbrauch und machen die möglichen Stellhebel sichtbar. So konnte beispielsweise im BMW-Motorenwerk im österreichischen Steyr die Grundlast des Werks in Zeiten, in denen nicht produziert wird, von acht auf fünf Megawatt gesenkt werden (S.68).

Diese Beispiele zeigen, dass mit heutigen Technologien bereits viele Hebel in Bewegung gesetzt werden können, um Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Ausstoß deutlich zu

reduzieren. Und auch wenn laut dem neuen Klimabericht des Umweltprogramms der Vereinten Nationen (UNEP) der globale Ausstoß an Treibhausgasen seit dem Jahr 2000 um rund 20 Prozent gestiegen ist, zeigte Achim Steiner, Exekutivdirektor der UNEP, im Rahmen der Klimaschutzkonferenz COP18 Ende 2012 in Katar, dass einschneidende Veränderungen auf dem internationalen Parkett sehr wohl möglich sind: „Wer hätte es noch 2006 für möglich gehalten, dass wir weltweit den Anteil der erneuerbaren Energien von damals knapp vier Prozent auf heute 20 Prozent steigern können?“

Der Clou besteht darin, dass die Länder, die Städte und ihre Wirtschaft ihr wohlverstandenes Eigeninteresse mit dem Klimaschutz in Einklang bringen können. So wie es Siemens bereits seit Jahren mit seinem Umweltportfolio macht, das besonders effiziente Technologien und Lösungen des Unternehmens vereint. Damit hat Siemens im Geschäftsjahr 2012 einen Umsatz von 33,2 Milliarden Euro erzielt, während seine Kunden in diesem Zeitraum dadurch rund 332 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> einsparen konnten.

Zum Vergleich: Das entspricht rund 41 Prozent der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Bundesrepublik Deutschland im Kalenderjahr 2010.

Dies ist ein weiteres Beispiel, das zeigt, dass sich nachhaltiges Wirtschaften sowohl ökologisch wie ökonomisch lohnt. Die entscheidende Herausforderung bleibt aber bestehen: Werden wir es schaffen, das 21. Jahrhundert weltweit nachhaltig zu gestalten – vor dem Hintergrund des rasanten Wachstums von Bevölkerung, Wohlstand und Ressourcennachfrage? Hier werden vor allem die Städte die Antwort geben müssen. Die Antwort auf die Frage, ob sie auch weiterhin das Sinnbild des menschlichen Fortschritts sein können und sein werden.

■ Sebastian Weibel



Perfekte Abstimmung: Kürzere Lieferzeiten und niedrigere Kosten für Gasturbinenkraftwerke erreicht Siemens Energy mit einer neuen Managementstrategie.

## Auf den Punkt entwickelt

Mit Gasturbinenkraftwerken eine Punktlandung am Markt hinzulegen, ist ein Kunststück. Mit einem neuen Managementansatz ist es den Gasturbinen-Spezialisten von Siemens Energy gelungen, Lieferzeiten und Produktkosten zu senken.

**Eine österreichische Redensart lautet:** „Durchs Reden kommen d'Leut zam“. Sie bedeutet, dass gemeinsame Ziele nur über einen kontinuierlichen Gedankenaustausch erreicht werden können. Je komplexer die Ziele, desto wichtiger ist es, dass Experten ihr Wissen regelmäßig austauschen und neue Erkenntnisse ständig in die Entscheidungen einfließen.

Dies gilt auch für Gasturbinenkraftwerke, also hochkomplexe Anlagen, die aus vielen einzelnen Komponenten bestehen. Gas- und Dampfturbinen, Generatoren sowie Hilfssysteme müssen synchron weiterentwickelt werden. Sie werden als „Paket“ ausgeliefert und müssen optimal aufeinander abgestimmt sein, damit sie die beste Leistung erzielen. Richtig kompliziert wird das Ganze, weil die technischen Anforderungen auch noch je nach Lieferregion und Kundenwünschen differieren.

Um Lieferzeiten und Produktkosten im Griff zu behalten, haben die Energieexperten von Siemens vor ein paar Jahren einen neuen

Managementansatz, den „Package Approach“, entwickelt. Er bringt alle Verantwortlichen in ständigen Austausch. Das hört sich einfacher an, als es ist. „An der Neuentwicklung von Komponenten für Gasturbinen arbeiten oft Hunderte von Ingenieuren“, erklärt Dr. Jan-Marc Lischka, der bei Siemens Energy für die Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der Gasturbinen verantwortlich ist. Hinzu kommen Marktanalysten, Kundenbetreuer, Einkaufsspezialisten und etliche andere.

Deshalb wurden Strukturen geschaffen, die die regelmäßige Kommunikation zwischen allen Beteiligten sicherstellen. Jeder Teil des „Pakets“ wird von einem Leiter verantwortet, und auch für das Gesamtpaket gibt es Produktmanager, die sogenannten Package Frame Owner. „Alle drei Monate treffen sich die Verantwortlichen mit der Leitung der Geschäftseinheit und bringen sich gegenseitig auf den neuesten Stand, um dann an einer gemeinsamen Produktstrategie zu arbeiten“,

erklärt Lischka. Aktuelle Entwicklungen von Markt und Wettbewerb werden dabei für laufende und zukünftige Projekte berücksichtigt. So wissen etwa die Verantwortlichen für den Einkauf von Anfang an, welchen Ansatz eine Neuentwicklung verfolgt und können ihre Einkaufsstrategie frühzeitig darauf ausrichten, beziehungsweise anpassen, wenn es Änderungen gibt.

„Keine Gasturbine kann extra für die speziellen Anforderungen eines Energieversorgers oder eines Unternehmens entwickelt werden. Das wäre wirtschaftlich völlig abwegig und würde viel zu lange dauern“, sagt Lischka. Dennoch wird das Gesamtpaket für die Anforderungen verschiedener Märkte und Kunden maßgeschneidert. So gibt es derzeit in Deutschland kaum Bedarf für Grundlastkraftwerke, deren Stromproduktion die Grundversorgung sichert. Stattdessen brauchen die Energieversorger jetzt Kraftwerke, die schnell auf Spitzenleistung hochgefahren werden können, um Engpässe bei der Stromversorgung aus erneuerbaren Energien aufzufangen. „Deshalb müssen wir in der Planung berücksichtigen, dass ein schnelleres Hochfahren einige Komponenten stärker beansprucht. Sie müssen also robuster gefertigt werden“, erklärt Lischka. Die Kosten, die dadurch entstehen, werden beim „Package Approach“ von Anfang an eingeplant wie auch die Lieferzeiten für das Material – mit dem Ergebnis, dass sowohl die Kosten als auch die Lieferzeiten deutlich gesenkt werden konnten.

In den USA hingegen erleben Gaskraftwerke für die Grundversorgung wegen des dort niedrigen Gaspreises gerade eine Renaissance (*Pictures of the Future*, Herbst 2012, S.17). Zudem war für den Energieversorger Florida Power & Light (FPL) auch eine umweltfreundliche Stromerzeugung wichtig. FPL hat zur Modernisierung eines Kraftwerks in Florida drei neue Gasturbinen des Typs SGT6-8000H bestellt, die pro erzeugter Kilowattstunde rund ein Drittel weniger Brennstoff verbrauchen als die alten Anlagen.

Die 60-Hertz-Gasturbinen werden im Siemens-Werk in Charlotte, North Carolina, gefertigt und sollen erstmals 2016 in Betrieb gehen. Die Weiterentwicklung der SGT6-Turbine war dank des „Packet Approach“ punktgenau fertig für die Pilotanlage. „Damit konnten wir genau das Produkt anbieten, das FPL in dem Moment zu diesem Preis suchte“, erklärt Lischka. Mit diesem Managementansatz sicherte sich das Team einen Platz unter den Finalisten im Siemens-Wettbewerb „top+ award 2012“ in der Kategorie „Cost Optimization & Finance Excellence“.

■ Katrin Nikolaus



Verbesserungspotenzial: Kraftwerke effizienter zu machen, lohnt sich – ob bei Gas- oder Dampfturbinen. Erich Schmid (unten) hält hierfür 138 Einzelpatente.

# Marathonläufer mit Sprinterqualität

**Auch Stromfabriken sollten mit der Zeit gehen: Wenn Betreiber ihre bestehenden Kohle- und Gaskraftwerke modernisieren, sparen sie bares Geld und schonen die Umwelt.**



**Marathonläufer** Stephen Kiprotich, Olympiasieger von 2012, wiegt nur 56 Kilo, seine Lunge umfasst jedoch mit acht Litern das doppelte Volumen der eines Durchschnittsbürgers. Damit setzt er Energie sehr effizient in Bewegung um. Usain Bolt, Weltrekordhalter über 100 Meter, wiegt hingegen 38 Kilo mehr als Kiprotich – Muskelmasse, die er für schnelles Beschleunigen benötigt. Doch moderne Kohle- und Gaskraftwerke sollen sowohl in Effizienz wie in Dynamik glänzen. Denn jedes Zehntelprozent Effizienzgewinn spart bei einem Großkraftwerk bis zu 7.000 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr – oder es produziert bei gleichem Ressourceneinsatz sieben Gigawattstunden mehr Strom. Gleichzeitig sollen wegen des wachsenden Stromanteils

erneuerbarer Energien fossil befeuerte Kraftwerke flexibler sein. Denn herrscht bei wolkenbedecktem Himmel Flaute, sollen sie so rasch wie möglich volle Leistung erreichen. Kraftwerksneubauten werden Effizienz und Dynamik bereits in die Wiege gelegt. Moderne Steinkohle-Kraftwerke arbeiten mit einem elektrischen Wirkungsgrad von 46 Prozent – 15 Prozent mehr als der weltweite Durchschnitt des Kraftwerksparks. Kombinierte Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerke (GuD) kommen sogar auf über 60 Prozent (*Pictures of the Future*, Frühjahr 2008, S.32). In den letzten fünf Jahren wurden zwar Kohlekraftwerke mit über 350 Gigawatt (GW) Leistung hinzugebaut, der weltweite Bestand liegt aber bei 1.600 GW. In manchen Ländern

ist das Verhältnis von Alt zu Neu noch ungünstiger: So sind mehr als 80 Prozent aller Kohlekraftwerke in Russland älter als 20 Jahre. Ihre Effizienz beträgt teilweise nur 23 Prozent, pro Kilowattstunde wird also doppelt so viel CO<sub>2</sub> wie notwendig ausgestoßen. Der Unterschied zwischen Alt und Neu basiert vor allem auf zwei Faktoren: der maximalen Dampftemperatur, die bei modernen Anlagen mehr als 600 Grad Celsius betragen kann – wohingegen der Bestand meist 500-Grad-Kraftwerke sind. Die Spitzentemperaturen so weit zu erhöhen, würde jedoch einen kompletten Neubau bedeuten. Anders sieht es beim zweiten Faktor aus: den Turbinen. Sie werden ohnehin alle 20 bis 25 Jahre generalüberholt. „In den USA werden seit dem Jahr

2000 allein durch die Modernisierung von mehr als 100 Dampfturbinen über 20 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr eingespart“, berichtet Steve Welhoelter, der von Orlando aus die weltweiten Service-Aktivitäten für Siemens Energy koordiniert. Im Schnitt konnten die sanierten Kraftwerke ihre Stromproduktion um vier Prozent erhöhen – bei gleichem Brennstoffeinsatz. Das Potenzial ist groß, denn in Kraftwerken sind weltweit 2.100 Dampfturbinen von Siemens im Einsatz.

Das Kohlekraftwerk Ibbenbüren nahe Münster gewann durch eine von Siemens koordinierte Generalüberholung sogar mehr als zehn Prozent der Maximalleistung. Die 1985 in Betrieb genommene Anlage arbeitet mit einer Dampftemperatur von 530 Grad, ein typischer Vertreter ihrer Zeit. 2006 wurden die Wartungsspezialisten von Siemens beauftragt, mit dem Betreiber RWE zu analysieren, welche Verbesserungspotenziale bestehen. Ein Gesamtkonzept sollte das betriebswirtschaftliche Optimum identifizieren. Schließlich wurde eine 2009 ohnehin anstehende Wartungspause genutzt, um Dampfturbinen und Wärmetauscher zu überholen. Bei den fünf Turbinen für Hoch-, Mittel- und Niederdruckkreislauf wurden alle innenliegenden Bauteile ausgetauscht. Die neuen Komponenten, etwa asymmetrisch geformte Schaufeln, führen zu wesentlich geringeren Strömungsverlusten. Bei der Hochdruckturbinen trägt ein neues Dichtungskonzept dazu bei, dass der Spalt zwischen Rotor und Gehäuse kleiner ausfällt – bis zu 30 Prozent weniger Dampf strömt ungenutzt an der Turbine vorbei.

72 Tage lag das Kraftwerk für die Modernisierung still, seitdem leistet es bis zu 86 Megawatt (MW) mehr. „Gerade für Regionen, in denen Neubauten mit langen Genehmigungszeiten verbunden sind, ist so eine Generalüberholung ein gutes Mittel, um zusätzliche Kapazitäten zu schaffen“, erläutert Dr. Norbert Henkel, bei Siemens verantwortlich für die globale Vermarktung solcher Projekte. „Zudem steigern wir die Zuverlässigkeit und verlängern die Lebensdauer um 20 bis 25 Jahre.“

Doch nicht nur die Effizienz bei Volllast steht im Fokus. Denn wegen der starken Einspeisung erneuerbarer Energien laufen große Kohlekraftwerke häufig im Teillastbetrieb. Dadurch sinkt der Wirkungsgrad, da jede Turbinen auf einen idealen Betriebspunkt – meist 95 Prozent der Nennleistung – ausgelegt ist. „Gelingt es, diesen Punkt etwas zu verschieben, kann man nicht nur den Wirkungsgrad verbessern, sondern auch die Zeit halbieren, die ein Kohlekraftwerk für das Hochfahren benötigt“, erläutert Henkel. Moderne Anlagen schaffen Gradienten von bis zu sechs

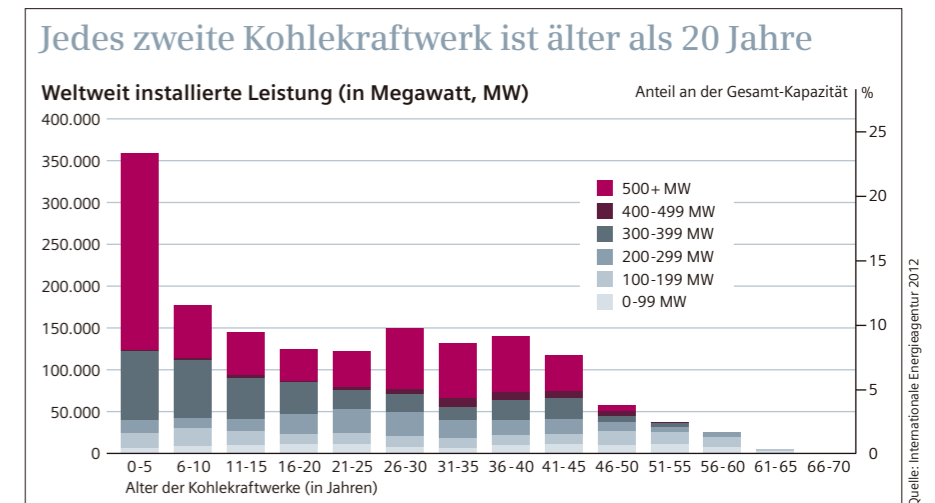
Prozent ihrer Nennleistung pro Minute – bei GuD-Kraftwerken sind es sogar acht Prozent.

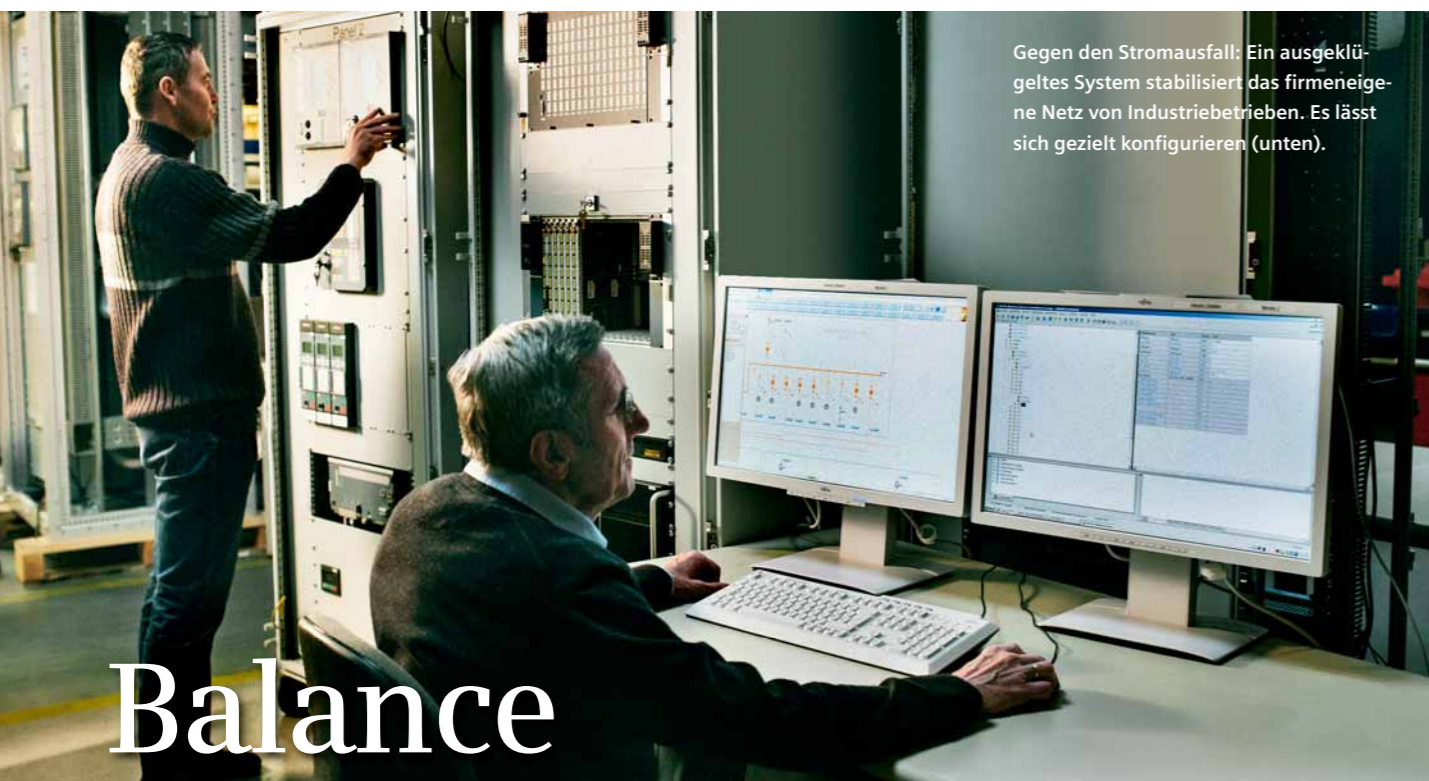
**Gas rund um die Uhr.** Gelten Gaskraftwerke in Deutschland wegen ihrer hohen Flexibilität als ideale Ergänzung erneuerbarer Energien, verdrängen sie in den USA aus anderem Grund die Kohlekraftwerke: Sie produzieren billigen Strom, da der Gaspreis zunehmend fällt. Grund ist die gestiegene heimische Gasförderung aus unkonventionellen Quellen – vor allem Schiefergas (*Pictures of the Future*, Herbst 2012, S.17). Deckten Gaskraftwerke früher hauptsächlich die höhere Stromnachfrage am Tag ab, laufen viele von ihnen nun rund um die Uhr. Die steigende Zahl an Betriebsstunden macht es für Betreiber attraktiver, in die Überholung ihrer Gasturbinen zu investieren. „Wir erwarten ab 2015 einen deutlichen Aufschwung in diesem Marktsegment“, prognostiziert Welhoelter.

Was ein solches Update bringen kann, zeigt das Kraftwerk Klamath in Oregon. Seit 2009 und 2010 beide Turbinen überarbeitet wurden, stieg die Leistung um 30 auf 563 MW. Zudem konnte die Flexibilität der Anlage gesteigert und der mit Lastwechseln verbundene Brennstoff-Mehrverbrauch halbiert werden. Damit der Betrieb bei niedrigen Lasten nicht zu höherem Schadstoffausstoß führt, wurde vor der Turbinen ein neues Luftzuführungssystem installiert. Vor dem Eintritt in die Gasturbine wird die Frischluft jetzt mit Abwärme der Turbinen vorgeheizt. Die Verbrennung verläuft bei höherer Temperatur und dadurch vollständiger. Die übrigen Maßnahmen unterscheiden sich nicht wesentlich von der Optimierung von Dampfturbinen: Es gilt, die Strömungsverluste zu minimieren. Auch hier sind die Form der Schaufeln und die Dichtungen entscheidend.

Aber auch GuD-Kraftwerke können noch flexibler werden, wenn der im Vergleich zur Gasverbrennung relativ träge Dampfkreislauf schneller in Schwung kommt. Darüber denkt Siemens-Ingenieur Erich Schmid schon mehr als ein Jahrzehnt lang nach. 138 Einzelpatente brachten ihm die Auszeichnung „Siemens-Erfinder des Jahres 2012“ ein. Kern seiner Ideen: Die Wärme bei Bedarf schneller zu transportieren. Etwa indem ein Überlastventil an der Turbinen kurzzeitig öffnet und in Folge des absinkenden Drucks mehr Dampf aus dem Kessel abgezogen wird. Oder indem die Hochdruckturbinen nach dem Start zunächst gar nicht mit Dampf versorgt wird, sondern über eine Umleitung erst die Mitteldruckturbine auf Leistung gebracht wird. Mithilfe solcher Maßnahmen soll die Leistung einer GuD-Anlage künftig pro Minute um mehr als 30 MW steigen können. „Im Prinzip benötigt man nur einige Ventile, einige Rohre und viel Software“, erläutert Schmid. „Daher lassen sich solche Systeme gut nachrüsten.“

Kraftwerksmodernisierung ist auch für die wachstumsstarken Schwellenländer wie China, Indien und Russland wichtig, denn dort erreicht die erste Kraftwerksgeneration bereits das Ende ihrer Laufzeit. „Eine riesige Chance für uns“, meint Henkel. Zunehmend modernisiert man nicht nur die einst selbst gelieferten Turbinen, sondern auch die fremder Hersteller. Oder ersetzt diese gleich vollständig, wie bei Block 6 des Kraftwerks Kirishi in der Nähe von Sankt Petersburg. Mit zwei neuen 279-MW-Turbinen, einem neuen Leitsystem und der Überholung des Dampfkreislaufes konnte Siemens die Gesamteffizienz des Kraftwerks von 38 auf 55 Prozent steigern. Marathonläufer mit Sprinterqualitäten werden eben rund um den Globus gebraucht. ■ Johannes Winterhagen

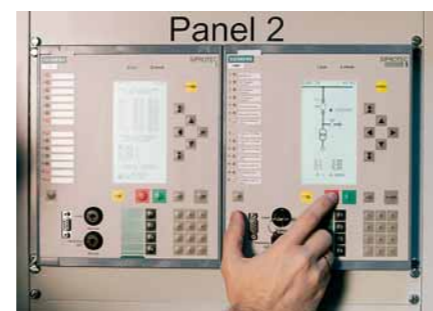




Gegen den Stromausfall: Ein ausgeklügeltes System stabilisiert das firmeneigene Netz von Industriebetrieben. Es lässt sich gezielt konfigurieren (unten).

# Balance statt Blackout

Wenn ihre hauseigenen Kraftwerke ausfallen, können Industriebetriebe einen Teil ihrer Stromverbraucher abschalten, um die Netzbalance wieder herzustellen. Ein neues Siemens-System zum automatischen Lastabwurf reagiert blitzschnell, noch bevor sich Instabilitäten aufschaukeln.



Ein schrilles Pfeifen kündigt das Unheil an: Das Lager des Generators ist heiß gelaufen, von einer Sekunde zur nächsten fehlen mehrere Megawatt im Stromnetz der Raffinerie. Die Netzspannung sinkt, die Frequenz des Wechselstroms pendelt unter die 50-Hertz-Marke, die Basis einer zuverlässigen Stromversorgung. Sollten jetzt Heizungen, Kühlungen und Maschinen einfach weiterlaufen, bräche das Netz völlig zusammen. Das Resultat wären Produktionsausfall, Schäden an Produktionseinrichtungen und somit Kosten, die schnell in die Millionen gehen könnten. Der geschilderte Fall ist zwar fiktiv, die Auswirkungen jedoch nicht. Bricht in einem großen Betrieb das Kraftwerk mitsamt Stromnetz zusammen, sind schnell sechsstellige Beträge pro Ausfallstunde fällig. Bestimmte Verfahren etwa zum Komprimieren von Flüssiggas oder zum Schmelzen von Stahl dürfen niemals stillstehen und müssen gegen Aus-

fälle des öffentlichen Netzes abgesichert werden. Viele energieintensive Betriebe wie Raffinerien oder Stahlwerke betreiben deshalb teillautarke Stromnetze in Eigenregie, um Ausfälle der Stromversorgung aus dem öffentlichen Netz abzufedern. Aber auch weil Spitzenlaststrom aus dem öffentlichen Netz sehr teuer ist und sich die Eigenproduktion lohnt. „Hin und wieder muss man mit Störungen rechnen – in älteren Anlagen öfters“, warnt Michael Eckl. Der Experte für Netzautomatisierung bei Siemens Energy Automation Solutions in Wien berät Unternehmen, die Netze mit eigenen Kraftwerken betreiben. Allerdings sind diese Netze oft nicht mehr gut dimensioniert, sondern über Jahrzehnte wild gewachsen, aus einem Mix alter und neuer Anlagen und Sicherheitstechnik. Die Betriebe wissen das und treffen Vorkehrungen. Maßnahme Nummer eins gegen den Blackout: der Lastabwurf. Dabei werden

jedoch keine tonnenschweren Gewichte bewegt. Mit „Last“ meint der Elektrotechniker die Stromverbraucher. Der Lastabwurf bezeichnet das kurzzeitige Ausschalten von Maschinen, Klimaanlage, Motoren, Öfen, Kompressoren, Pumpen oder der Beleuchtung. Ziel ist es, Ausfälle auf der Erzeugungsseite – etwa durch einen gestoppten Generator – auszugleichen. Was wann abgeschaltet wird, wird vorab in einer Prioritätsliste festgelegt. Kommt es zu einer Störung, wird die Stromzufuhr im optimalen Fall in Sekundenbruchteilen gekappt, noch bevor sich Instabilitäten zum Netzkollaps aufschaukeln können. Früher entschieden Menschen in der Leitwarte, welche Lasten bei einem Generatorausfall vom Netz gehen – doch das konnte oft mehrere Sekunden und damit viel zu lange dauern. Dann kam die einfache automatische Lastabschaltung, die nach vorberechneten Szenarien Verbraucher still legte.

Häufig gingen allerdings zu viele oder zu wenige Lasten vom Netz, was entweder Betriebseinschränkungen erzeugte oder zusätzlichen Eingriff von Hand erforderte. Einen Fortschritt brachte die Industrieautomatisierung, wie sie Siemens mit Simatic anbietet. Die Steuerung misst die Leistungen auf der Erzeuger- und der Verbraucherseite und wirft Lasten nach einer vordefinierten Prioritätenliste automatisch ab. Der Nachteil hier: Es handelt sich um ein zusätzliches System zur Energieautomatisierung mit eigener Hardware, Verdrahtung, Wartung und damit zu zusätzlichen Lebenszykluskosten.

**Stets der Zeit voraus.** Mit dem neuen Lastabwurfssystem als Teil des „Efficient Network and Energy Automation System“ von Siemens hat Eckl's Team nun eine Lösung für Kunden aus der Öl-, Gas- und metallverarbeitenden Industrie entwickelt, bei der es diese Einschränkungen nicht mehr gibt. Die beiden Systeme für Lastabwurf und Energieautomatisierung sind zusammengewachsen, es gibt nur noch ein gemeinsames Kommunikationsnetz. Das spart Aufwand und Kosten.

Außerdem wird jeder Last vorab eine Priorität zugeordnet. Die Steuerung misst Erzeugung und Verbrauch kontinuierlich und berechnet innerhalb von einer Sekunde daraus ein Szenario, welche Lasten man abschalten müsste, wenn in den nächsten Sekunden etwa ein Generator ausfallen würde – wobei die Lasten mit niedriger Priorität zuerst vom Netz gehen. Die Software ist also ihrer Zeit sozusagen stets voraus. Das genügt, um bei drohenden Schwankungen im Netz schnell genug reagieren zu können. Die Steuerung wirft nur genau so viel Last ab, wie für die Stabilisierung gerade nötig ist. „Wir steuern aber nicht jede Glühlampe einzeln“, erläutert Eckl, „ein paar hundert Kilowatt oder mehr pro Last sollten es schon sein, typischerweise Nebenaggregate, die für beschränkte Zeit verzichtbar sind, wie Heizung und Kühlung.“

Neu an dem Siemens-System ist, dass es drei verschiedene Methoden vereint. Neben dem eben skizzierten schnellen leistungs-basierten Lastabwurf gibt es noch den althergebrachten frequenzabhängigen Lastabwurf. Er spricht an, wenn die Wechselstromfrequenz, die exakt bei 50 Hertz liegen sollte, zu sehr schwankt. Das kommt vor, wenn mehrere Fehler gleichzeitig auftreten, etwa wenn zwei oder mehr Generatoren ausfallen. Die Schutzrelais schalten dann vordefinierte Reservelasten ab. Doch bei diesem Verfahren kann es passieren, dass zu viele oder zu wenige Lasten vom Netz gehen, sie wird deshalb nur als letzte Notfunktion verwendet.

Die dritte Methode des Lastabwurfs betrifft die sogenannte drehende Reserve. Darunter versteht man die elektrische Leistung, die im Kraftwerk schnell zusätzlich zur Verfügung steht, wenn man sie braucht. Generatoren also, die bereits drehen (daher der Name) und ins Netz einspeisen, aber nicht mit voller Leistung arbeiten. Denn die Techniker in der Kraftwerks-Leitwarte achten darauf, nicht alle Generatoren auf maximaler Leistung zu fahren, sondern immer noch etwas zusätzliche Leistung in petto zu halten, damit beim Einschalten zusätzlicher Lasten keine Probleme auftreten und die drehende Reserve nie zu klein wird.

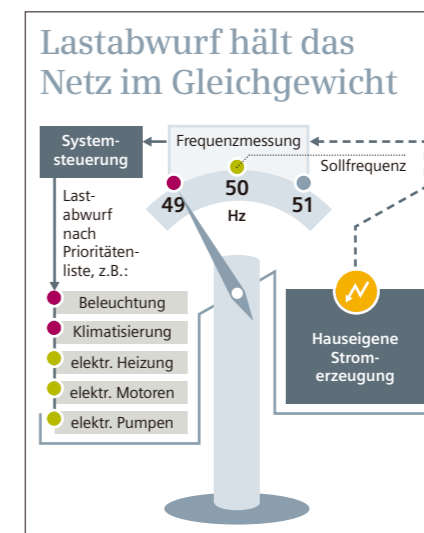
Um möglichst effektiv zu sein, müssen der leistungs-basierte und der frequenzbasierte Lastabwurf rasend schnell gehen. Dabei setzen die Siemens-Entwickler auf GOOSE (Generic Object Oriented Substation Events), einen Teil der Kommunikationsnorm IEC 61850. Das ist ein Kommunikationsstandard aus der Automatisierungstechnik, bei dem Meldungen über Glasfaserleitungen an alle Anlagen-teile gleichzeitig übermittelt werden. Wird ein Ereignis erkannt, das einen Lastabwurf auslösen soll, erfahren das alle anderen Anlagen im Netz sofort und können darauf entsprechend des kurz zuvor errechneten Lastabwurfplans reagieren. Diese Übermittlung dauert höchstens 70 Millisekunden – schnell genug, um Instabilitäten sofort auszubügeln.

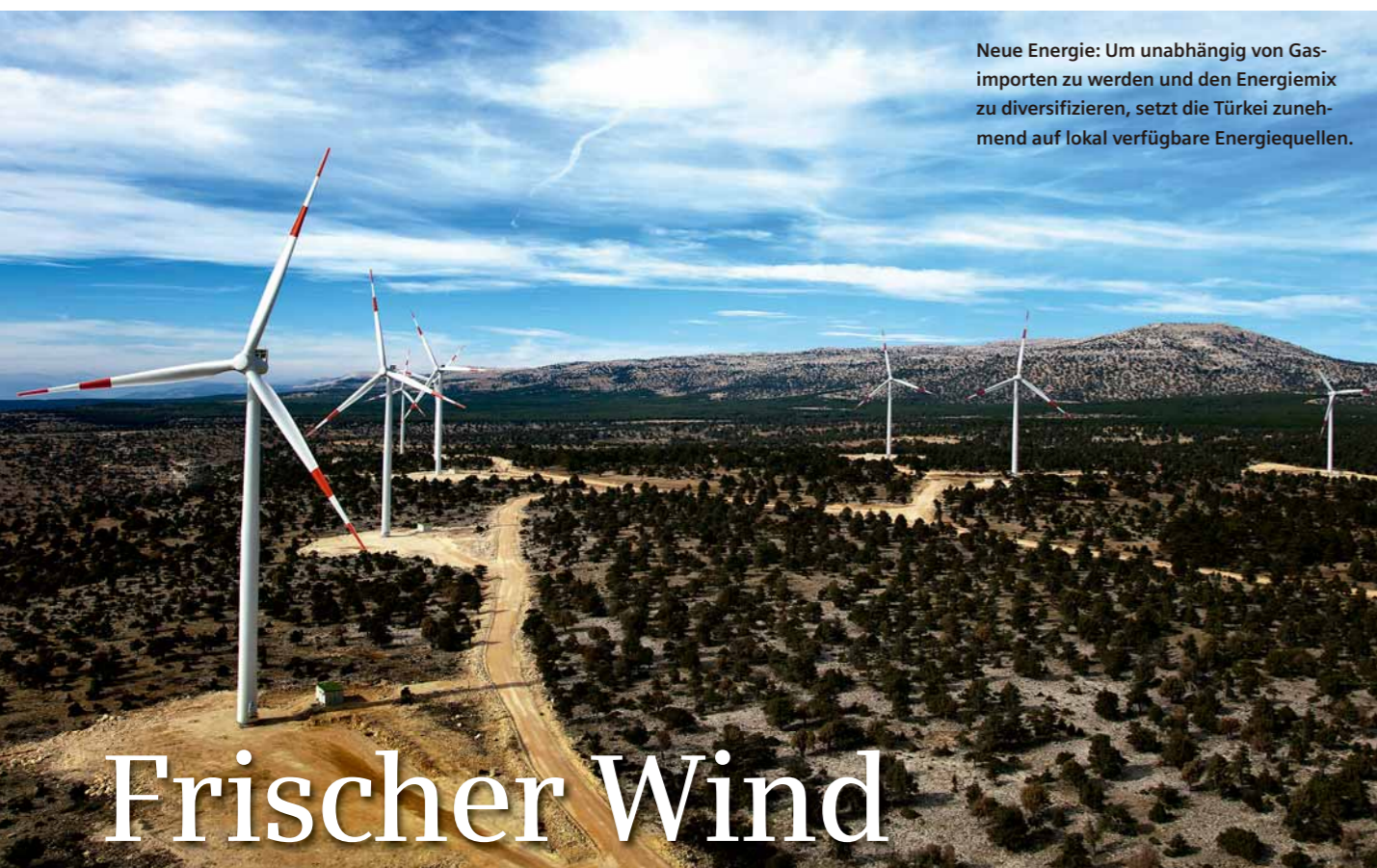
Vollkommen autarke Inselnetze, die völlig unabhängig vom öffentlichen Netz sind und ihren Strom zu hundert Prozent selbst erzeugen, sind die Ausnahme. Fast alle großen Betriebe haben trotz eines eigenen Kraftwerks und Inselnetzes auch einen Anschluss ans öffentliche Netz und beziehen von dort einen großen Teil ihres Stroms oder speisen über-

schüssigen Strom dort ein. Der automatische Lastabwurf ist dennoch ausschließlich für die Stabilität des betriebsinternen Netzes gedacht, das Ausfälle des öffentlichen Netzes abfangen muss oder Strom produziert, wenn der Einkauf aus dem öffentlichen Netz bei hoher Nachfrage zu teuer wäre.

**Virtuelle Kraftwerke.** Dennoch liegt die Frage nahe, ob man den Lastabwurf nicht in einem größeren Zusammenhang mit dem öffentlichen Netz sehen und mit anderen Methoden der Energieautomatisierung kombinieren kann. In Frage käme etwa DEMS, das dezentrale Energiemanagement-System von Siemens, das beispielsweise den Betrieb virtueller Kraftwerke, also der Bündelung einzelner dezentraler Stromerzeuger, optimiert (*Pictures of the Future*, Herbst 2012, S.68). Mit den Kollegen arbeitet man bereits an gemeinsamen Lösungen zur wirtschaftlichen Effizienzsteigerung, bestätigt Eckl, etwa um die Kosten von importierter Leistung, selbst erzeugter Leistung und Stromexport zu optimieren, und daraus einen Fahrplan für die eigenen Generatoren zu berechnen.

Zwei Anlagen – eine auf der Ferieninsel Saadiyat in Abu Dhabi und eine Raffinerie in der Türkei – haben bereits positive Erfahrungen mit dem automatischen Lastabwurf gesammelt. Dort wurde das Konzept mit den schnellen GOOSE-Meldungen bereits installiert und erfolgreich getestet. Dank der Kommunikationsnorm ist dieses Konzept langfristig offen für Erweiterungen und sowohl für bestehende als auch neue Anlagen geeignet. Michael Eckl: „Das Bedürfnis der Kunden nach mehr Versorgungssicherheit wächst und deshalb rechnen wir mit einer steigenden Nachfrage.“ ■ Bernd Müller





Neue Energie: Um unabhängig von Gasimporten zu werden und den Energiemix zu diversifizieren, setzt die Türkei zunehmend auf lokal verfügbare Energiequellen.

# Frischer Wind aus Kleinasien

Die Bevölkerung der Türkei wird bis 2050 von heute 75 auf rund 95 Millionen Menschen wachsen. Zugleich steigt der Energieverbrauch immens. Um unabhängiger von Gasimporten zu werden, will das Land seine Energieversorgung neu aufstellen und vor allem lokal verfügbare Quellen wie die Windenergie fördern.

**Knatternd** und langsam hievt sich der Aufzug im Inneren des Stahlturms empor – auf einer Höhe von 70 Metern stoppt der Lift plötzlich. Den Helm tief ins Gesicht gezogen, den Auffanggurt festgezurt und mit einem Werkzeuggürtel ausgerüstet, geht es dann über eine schmale Leiter noch etwa zehn Meter weiter hinauf. Dort wartet als sicherer Hafen ein etwa vier Meter breiter und sieben Meter langer Raum. „Das Herz unserer Gondel“, sagt Alper Kalaycı, der in seinem vorherigen Berufsleben die Maschinen auf Frachtschiffen gewartet hat. Die Gondel, in der der Techniker von Siemens Service in der Türkei derzeit arbeitet, ist seinem alten Arbeitsplatz gar nicht mal so unähnlich. Erst ein Blick aus

der Gondelluke offenbart, dass man sich in einer Windturbine befindet. Der Koloss steht auf 1.600 Metern Höhe, umgeben von Libanon-Zedern und historischen Ruinen, neben zwölf weiteren Turbinen und inmitten des Taurus-Gebirges im Süden der Türkei.

Im Mai 2012 gingen diese Siemens-Anlagen in Dağpazarı, die nun zur türkischen Industrie- und Finanzgruppe Sabancı Holding EnerjiSA-Eon Power gehören, ans Netz. Seitdem sorgt ein Siemens-Team für den Service. Bereits 2009 hatte Siemens von EnerjiSA einen Auftrag zum Bau eines Windparks im Nordwesten der Türkei erhalten. „Dort haben wir Windturbinen mit einer Leistung von je 2,3 Megawatt (MW) installiert, die jährlich 90



Gigawattstunden (GWh) Strom produzieren“, sagt Kalaycı. Die Anlagen in Dağpazarı verfügen über eine Leistung von insgesamt 39 MW und produzieren 129 GWh pro Jahr – im europäischen Durchschnitt reicht das für fast 40.000 Haushalte.

In seiner Gondel findet der Techniker viel Raum zum Arbeiten und Zugang zu wichtigen Bestandteilen, wie etwa zum getriebelosen Magnetgenerator. Dieser sitzt zwischen dem Maschinenrahmen und der Nabe, an der die Rotorblätter montiert sind. Mithilfe eines Permanentmagneten wandelt er jede Rotorbewegung direkt in elektrische Energie um, ohne zusätzliche elektrische Leistung für die Erregung zu benötigen (*Pictures of the Future*,

Herbst 2011, S.4 und Herbst 2008, S.4). Der 32-jährige Maschinenbauingenieur Kalaycı zählt zu den ersten Servicetechnikern für Windkraftwerke in der Türkei. Und er wird sicherlich nicht der letzte sein, den Siemens für den türkischen Markt ausbildet.

**Lokale Energiequellen fördern.** Beflügelt durch das novellierte Erneuerbare-Energien-Gesetz, das Anfang 2011 in Kraft trat, begann der Boom der Windenergie im ganzen Land. Hier wurden die Einspeisevergütungen für erneuerbare Energien auf zehn Jahre festgelegt. „Heute werden rund 44 Prozent der türkischen Stromversorgung durch Gaskraft erzeugt, wovon das Land 98 Prozent importiert“, sagt Sinan Bubik, Chef von Wind Power in der Türkei. „Dies ist nicht nur teuer, das Land ist hierdurch auch extrem abhängig. Vor allem wenn man bedenkt, dass allein im Juni 2012 der Elektrizitätsverbrauch im Vergleich zum Vorjahr um 8,1 Prozent gestiegen ist.“

Um Abhilfe zu schaffen, möchte die Regierung künftig lokale Energiequellen fördern. Hier spielen Erneuerbare Energien (EE) eine große Rolle. „2008 waren Windenergieanlagen mit einer Kapazität von etwa 360 MW installiert, 2010 bereits 1.329 MW und heute sind es rund 2.170 MW“, erklärt Bubik. Zum Vergleich: Laut der World Wind Energy Association hatte Deutschland im Jahr 2012 bereits eine Leistung von über 30.000 MW installiert. „Wenn wir für die Türkei noch die Windparks hinzurechnen, die sich seit März 2012 im Aufbau befinden, sind wir bei einer Kapazität von etwa 3.500 MW. Das Gesetz brachte ein Stück Sicherheit“, sagt Bubik.

Falls einzelne Bestandteile der Windturbinen in lokaler Produktion hergestellt werden, steigt der Abnahmepreis für die ersten fünf Jahre nach Inbetriebnahme zusätzlich: So gibt es zum Grundpreis von 7,3 US-Cent pro Kilowattstunde (kWh) für die Flügel weitere 0,8, für den Generator und die Steuerelektronik 1,0, für den Turbinenturm 0,6 und für mechanische Teile der Rotor- und Rumpfteile 1,3 US-Cent pro kWh mehr. „Für die Türme unserer Windturbinen kooperieren wir beispielsweise sehr eng mit einem lokalen Produzenten“, sagt Bubik. „Der Betreiber bekommt also für unsere Anlage etwa 7,9 US-Cent pro kWh.“

Das Ziel der Türkei ist es, bis 2023 – pünktlich zum 100. Jubiläum der Republikgründung – die Windenergie-Leistung auf 20.000 MW zu erhöhen, dies wären 30 Prozent des türkischen Energiemixes. Die günstigsten Regionen liegen entlang der nördlichen Ägäisküste, der Marmara-Region,

der westlichen Schwarzmeerküste und im Süden der Mersin-Hatay-Provinz. „Dies sind über 7.000 Kilometer Küstenlandschaft“, sagt Bubik. „Mit sehr günstigen Bedingungen für Onshore-Anlagen. Wir blicken also positiv in die Zukunft.“

Das Land befindet sich auf der Zielgeraden: Etwa 500 Kilometer westlich von Dağpazarı baut Siemens einen der größten Windparks der Türkei: Hier, auf fast 2.000 Metern Höhe, ist die Installation des durch die Gürış Holding in Auftrag gegebenen Windparks mit insgesamt 50 MW voll im Gange. „Noch vor einem Jahr gab es nicht einmal einen Weg nach oben, der Ort schien von der Zeit vergessen zu sein“, erinnert sich Judit Szasz, Projektleiterin bei Siemens. „So hätten wir nicht einmal einen Kran hochfahren können, geschweige denn die Komponenten einer Turbine.“ Daher hat der

Betreiber innerhalb eines Jahres eine Schotterpiste erstellt. Heute ist die Straße teilweise noch immer zu eng für die Laster. „Doch mittlerweile montieren wir die ersten der 22 Turbinen. Nach Inbetriebnahme im Jahr 2013 werden wir die Anlagen weitere fünf Jahre von hier aus warten.“ Dabei zeigt Judit auf eine Container-Insel hinter ihr.

Hier sitzen Techniker von Siemens, Monteure und der Kunde Tür an Tür. „Diese Nähe ist uns sehr wichtig, da wir Dinge persönlich besprechen und Entscheidungen schneller treffen können“. Dies sei vor allem angesichts der schlechten Wetterlage im Gebirge unabdingbar. „An Tagen wie heute, wenn uns der Wind die Steine nur so ins Gesicht schießt und der Nebel jegliche Sicht verdeckt, ist Stillstand angesagt. Doch vielleicht kommt ja noch der passende Moment.“ Falls dem doch nicht so sein sollte, könne sich die Montage

## Die Windfänger



**Um die Wirtschaftlichkeit von Windenergieanlagen zu erhöhen**, müssen die Entwickler deren Leistung steigern und dabei das Gewicht so gering wie möglich halten. Dieser Logik entsprechend bietet Siemens ein Update-Paket für Rotorblätter an, das den jährlichen Energieertrag der Anlagen um einige Prozent erhöhen kann. „Wir haben ein Paket aus drei verschiedenen kleinen aerodynamischen Verbesserungen geschnürt. Das sind kleine Bauteile, Winglets, die an den Rotorblättern angebracht werden – wie bei Flugzeugtragflächen“, erklärt Peder Bay Enevoldsen von Siemens Wind Power in Dänemark. Enevoldsen zählt zu den zwölf erfolgreichsten Forschern und Entwicklern, die Siemens Ende 2012 als „Erfinder des Jahres“ ausgezeichnet hat (S.53). Auf sein Konto gehen 21 Erfindungen zur Optimierung von Windturbinen und 53 Einzelpatente in 21 Schutzrechtsfamilien. Mithilfe seiner Winglets, sagt er, könne etwa ein Onshore-Windpark, bestehend aus 43 Turbinen mit je 2,3 MW Leistung, über 20 Jahre hinweg ein Plus von mehreren Millionen US-Dollar verzeichnen. „DinoTails“ – ein Bestandteil des Updates – ähneln der Schwanzflosse eines Stegosaurus und werden an die Flügelspitze angebracht. „Sie tragen zu geringeren Turbulenzen an der Flügelhinterkante bei, wodurch sich der Lärm um zwei bis drei Dezibel reduziert.“ „DinoShells“ hingegen befinden weiter hinten. Als Vorbild diente der US-amerikanische Rennfahrer Dan Gurney, der die „Gurney Flaps“ erfunden hat – die kleinen, nach oben gerichteten Flügel an den Hinterkanten von Rennwagen. „Mit diesen Ergänzungen verleihen wir den Rotorblättern einen ‚Spolier-Effekt‘, also einen größeren Auftrieb“, so Enevoldsen. Die dritte Einheit sind „Vortex-Generatoren“, die in der Nähe der Nabe angebracht sind. „Sie sehen aus wie Finnen und sind abwechselnd ganz leicht um ein paar Grad nach links und rechts geneigt.“ Diese erzeugen einen kleinen Luftstrom, um die wegströmende Luft auf der Oberseite der Rotorblätter wieder aufzufangen. Das Ergebnis: ein zusätzlicher Auftrieb. Doch Enevoldsen fängt den Wind nicht nur beruflich ein. Er ist begeisterter Segler und Surfer: „Da hat man den Wind in den Händen, eine prima Voraussetzung, um über Windkraft nachzudenken.“

einer Turbine, die normalerweise 1,5 Tage dauert, über Wochen ziehen.

Die gleichen Turbinen hat im Oktober 2012 auch Borusan EnBW Enerji, ein Joint Venture aus dem deutschen Energieversorger EnBW und der türkischen Borusan Holding, in Auftrag gegeben. „Unsere 22 Windturbinen des Onshore-Windkraftwerks Balabanli in der Nähe von Istanbul werden voraussichtlich ab Ende 2014 jährlich rund 149 GWh Strom für rund 43.000 türkische Haushalte erzeugen“, sagt Mahir Tosun, Technikexperte bei Siemens Wind Power. „Diese Anlagen sind etwas Besonderes. Das Rotorblatt ist vier Meter länger als das Model von Dağpazarı, dies bedeutet eine acht Prozent höhere jährliche Energieausbeute.“

Die Rotorblätter sind eine weitere Schlüsselkomponente von Windkraftanlagen. Die hier zum Einsatz kommenden Rotorblätter sehen nicht so aus wie die üblichen starren ‚Brötchenmesser‘, sondern ähneln einem flexiblen arabischen Krummsäbel. Diese „Aeroelastic Tailored Blade“ (ATB)-Technologie funktioniert wie bei einer Federung im Auto, die Stöße dämpft und somit die Lebensdauer des Fahrzeugs verlängert (Pictures of the Future, Herbst 2011, S.92).

**Suche nach dem richtigen Mix.** „Mit Wind allein ist es in der Türkei aber nicht getan“, ergänzt Bubik. Zwar gäbe es ein hohes Potenzial an Windkraft, doch wegen der Beschränkungen durch das bestehende Leitungsnetz könnten derzeit nur 12,5 GW genutzt werden. „Wir brauchen erhebliche Investitionen in Übertragungsleitungen und Trafostationen.“ Die türkische Vision für das Jahr 2023 umfasst zudem auch Geothermie-Kraftwerke mit einer Kapazität von 600 MW und 3.000 MW an Solarenergie. Nach wie vor soll Wasserkraft, die derzeit mit 14.700 MW fast ein Viertel des Energiemixes ausmacht, eine große Rolle spielen. „Hier sind bis 2023 rund 500 Wasserkraftanlagen mit 21.000 MW in Planung“, so Bubik. Daneben möchte die Regierung auch Kohle und Kernkraft fördern. Das Ziel: der Bau von Kohlekraftwerken mit einer Kapazität von 18.500 MW und somit einer Steigerung von 50 Prozent und eine Kernkraftkapazität von 10.000 MW.

Über diese Zahlen denkt Kalaycı in Dağpazarı derweil nicht nach. Er steigt in voller Montur auf das Dach der Gondel, atmet tief durch und wirft einen verträumten Blick auf das weite Gebirge: „Diese Riesen sind mir sehr ans Herz gewachsen“, sagt er. „Die Gondel ist wie die Kajüte eines Schiffes, mit einem feinen Unterschied – man läuft hier nicht Gefahr, seekrank zu werden.“ ■ Hülya Dagli

## Effizienter wirtschaften: Hier ist noch viel Luft nach oben

**Ein knappes Milchglas,** 0,19 Liter Öläquivalent, braucht es heute im weltweiten Mittel, um ein Gut im Wert von einem US-Dollar zu produzieren. 1990 war es noch ein Viertelliter gewesen. Eine weitere Absenkung dieser sogenannten Energieintensität gilt heute als einer der Schlüssel, um das von der Europäischen Union vorgegebene Ziel zu erreichen, die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2050 gegenüber 1990 um 80 Prozent zu senken. Tatsächlich sind schon beträchtliche Fortschritte erzielt worden. In Deutschland gelang es, die Energieintensität seit 1990 von 0,17 auf 0,11 Liter zu reduzieren, ein Spitzenwert, der nur von wenigen, teils klimatisch begünstigten Ländern wie Spanien übertroffen wird. Auch China gelang ein großer Erfolg – trotz aller Kritik wegen seines immensen Energieverbrauchs: Seit 1990 sank die Energieintensität Chinas von 0,72 auf 0,27 Liter.

Laut Internationaler Energieagentur (IEA) wurde die Energieintensität von 1980 bis 2010 weltweit jährlich um ein Prozent reduziert – vor allem dank technischer Innovationen. So hat etwa die Einführung des elektronisch geregelten Permanentmagnetmotors den Wirkungsgrad von Elektromotoren auf bis zu 95 Prozent gesteigert. Doch trotz aller Fortschritte nahm der weltweite Primärenergieverbrauch von 1990 bis heute um über die Hälfte zu. Zwar stieg in dieser Zeit auch die Weltbevölkerung um ein Drittel auf 7,1 Milliarden Menschen – dennoch bleibt das Ergebnis ernüchternd.

Die Ursache lässt sich auf ein Wort reduzieren: Komfort. Weltweit brauchen die Menschen heute mehr Platz zum Wohnen, sie fahren auch in Entwicklungs- und Schwellenländern immer mehr Autos, und sie leisten sich Dinge, von denen sie früher kaum zu träumen wagten. Doch inzwischen haben laut dem World Energy Outlook 2012 der IEA alle wichtigen energiehungrigen Staaten ehrgeizige Pläne zur Steigerung der Energieeffizienz vorgelegt. Nehmen sie ihre Vorgaben ernst, ließe sich die Energieintensität von 2010 bis 2035 um jährlich 1,8 Prozent reduzieren, also insgesamt um 36 Prozent. Weltweit sind dafür Investitionen von jährlich 158 Milliarden US-Dollar nötig.

Sind solche Prognosen realistisch? Durchaus, bilanziert das Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung in Karlsruhe in einem Report für das deutsche Umweltministerium. Danach lässt sich bis 2050 der Energiebedarf der Europäischen Union um 57 Prozent gegenüber 1990 verringern. Rund 500 Milliarden Euro an Energiekosten könnten pro Jahr gespart werden – die notwendigen Investitionen wären damit zu gut 90 Prozent kompensiert. Das grösste Effizienzpotenzial steckt in Gebäuden. Um 71 Prozent lässt sich nach der Studie deren Energiebedarf reduzieren: vor allem durch bessere Wärmedämmung des bestehenden Immobilienbestandes, moderne Gebäu-

deteknik und eine energieeffizientere Wärme- und Warmwasserversorgung. Ein Potenzial von 53 Prozent Energieeinsparung verbirgt sich im Transportwesen – dank technischer Verbesserungen im Straßenverkehr, einer energieeffizienten Fahrweise und verbesserter Transportlogistik. Um 52 Prozent lässt sich der Energieverbrauch der Industrie bis 2050 reduzieren: Drei Viertel dieser Einsparungen sind nach der Studie durch technische Verbesserungen bei Dampferzeugung und Elektromotoren zu erreichen.

Vor allem in Industrie und Gewerbe geht es allerdings nicht nur um Energieeffizienz, sondern auch um Kosteneinsparungen. So machen im verarbeitenden Gewerbe mit über 40 Prozent die Materialkosten den höchsten Aufwandsanteil aus. In einer im Auftrag des deutschen Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie durchgeführten Befragung bei fast 1.500 Gewerbebetrieben kommt das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung zum Schluss, dass sich nach Selbsteinschätzung der Firmen rund sieben Prozent Materialeinsparungen erreichen ließen – was eine Kostenreduktion von 48 Milliarden Euro pro Jahr ergibt, vor allem im Fahrzeug- und Maschinenbau, in der Elektroindustrie und im Ernährungsgewerbe.

Sinkender Energieverbrauch trotz wachsender Volkswirtschaften: Kann das funktionieren? Es kann, mit konkreten Vorgaben. Seit 1990 hat beispielsweise Dänemark seinen Energieverbrauch um 18 Prozent gesenkt, während das Bruttoinlandsprodukt um 41 Prozent gestiegen ist. Schon in den 90er-Jahren forcierten die Dänen den Bau von mit Erdgas betriebenen Kraftwerken, die neben Strom auch Heizwärme produzieren, mit einem hohen Gesamtwirkungsgrad von bis zu 90 Prozent. Parallel dazu bauten sie die Windkraft aus. Nun wird die Wirtschaft zu effizienterer Nutzung verpflichtet. Ab 2013 müssen die Energieunternehmen Dänemarks um jährlich 2,6, ab 2015 gar um 2,9 Prozent effizienter werden. Dazu steht ihnen ein von den Behörden definierter Katalog anerkannter Maßnahmen zur Verfügung, um diese Ziele in enger Kooperation mit den Kunden zu erreichen. Gerade diese Kundenbindung gilt nach den bisherigen Erfahrungen als wichtiger Wettbewerbsvorteil.

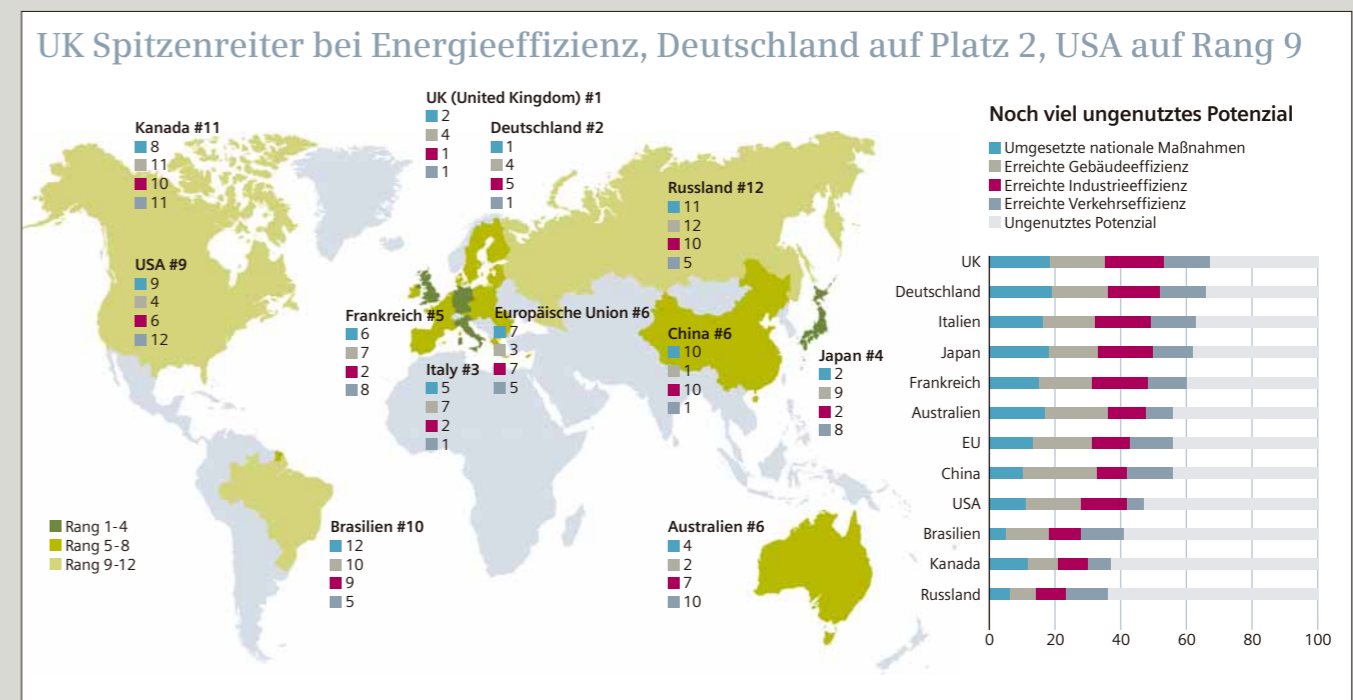
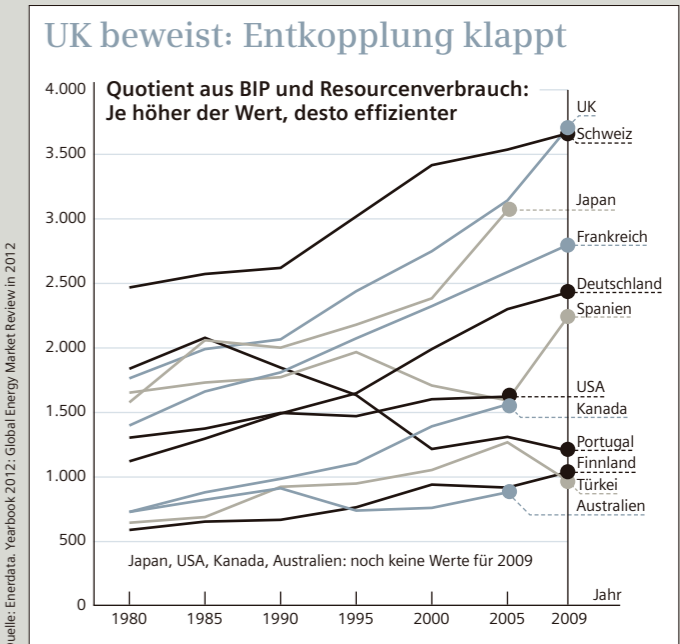
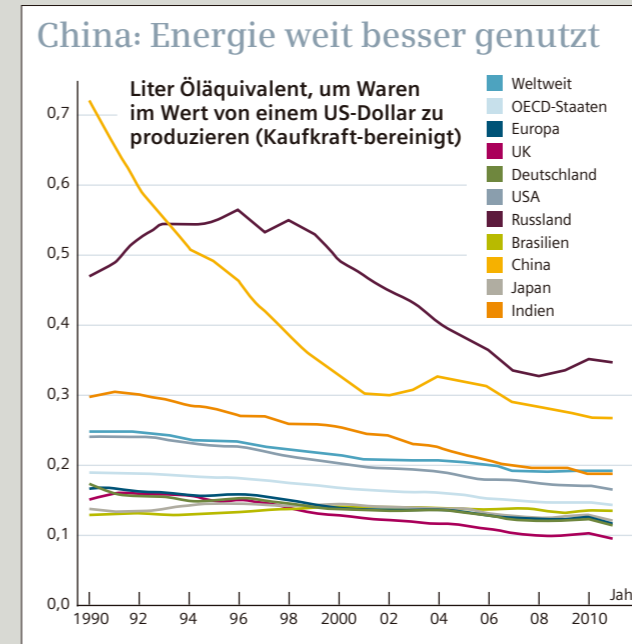
Die Europäische Union, die sich in ihrer Energieeffizienz-Richtlinie am dänischen Vorbild orientierte, verlangt mit 1,1 Prozent jährlicher Effizienzsteigerung für die Energieunternehmen weit weniger. Die „Energie Roadmap 2050“ der EU schöpft daher in ihrem Effizienz-Szenario das vom Fraunhofer-Institut bezifferte Einsparpotenzial nur zu 72 Prozent aus. Vor allem in Haushalten und der Industrie wäre deutlich mehr drin, sagen die Ersteller der Studie. Dennoch bleibt die EU international Vorreiter. Weltweit haben bislang neben einigen europäischen Staaten nur manche US-ameri-

kanische und australische Bundesstaaten verpflichtende Regelungen zur Energieeffizienz eingeführt.

Nicht berücksichtigt werden in diesen Vorgaben die sogenannten Rebound-Effekte. Wenn etwa das durch eine Wärmepumpe auf der Stromrechnung eingesparte Geld für eine Flugreise ausgegeben wird oder einfach mehr geheizt wird, verpufft die Einsparung bis zur Wirkungslosigkeit. In einer Studie der EU ist von Rebound-Verlusten von zehn bis 30 Prozent die Rede. Der Ökonom Tilman Santarius spricht in einer Untersuchung des Wuppertal-Instituts für Klima, Umwelt und Energie auf lange Sicht gar von 50 Prozent.

Wie sie zu vermeiden wären, weiß niemand so recht. Selbst im vorbildlichen Dänemark beschränkt man sich mangels besserer Rezepte auf Appelle an individuelle Verhalten. Das nimmt euphorischen Zukunftsprognosen einiges an ihrem Schwung. Der Zukunftsforscher Jorgen Randers erwartet daher in seiner Prognose für den Club of Rome für das Referenzjahr 2052 eine Reduktion der Energieintensität von nur einem Drittel gegenüber 2010. Das wäre in etwa das „Business as usual“ der vergangenen Jahrzehnte. Mehr, so Randers, sei realistischerweise nicht zu erwarten, solange sich effektive Anreize wie etwa

eine wirksame CO<sub>2</sub>-Steuer politisch nicht durchsetzen ließen. Einen entscheidenden Schlüssel halten die Verbraucher selbst in Händen. Sie beeinflussen mit ihren Kaufentscheidungen die Ausrichtung der produzierenden Industrie. Und hier erlaubt eine aktuelle Umfrage des Bundesverbandes Informationswirtschaft, Telekommunikation und Medien vorsichtigen Optimismus: Danach wären 81 Prozent der Verbraucher bereit, für energie- und ressourcenschonende Elektronik-Geräte einen höheren Preis zu bezahlen. Etwas mehr als die Hälfte nähme Mehrkosten von fünf Prozent und mehr in Kauf. Urs Fitz



Effizienz-Scorecard: Energieeffizienz-Anstrengungen der zwölf größten Wirtschaftsmächte wurden entlang verschiedener Kategorien analysiert.

Maximale Ausbeute: Neue GuD-Kraftwerke wie Lingang in Shanghai (oben) und Nhon Trach in Vietnam (unten links) sorgen für eine sichere Stromversorgung Asiens.



# Asien gibt Gas

Weltweit wollen viele Staaten eine nachhaltige Energieversorgung erreichen, doch die Herausforderungen unterscheiden sich von Region zu Region. Hocheffiziente Gaskraftwerke sind dabei fast immer ein Schlüssel zum Erfolg – wie Beispiele aus Asien zeigen.

**China ist hungrig** – nach Elektrizität: 4.000 Terawattstunden (TWh) Strom verbraucht die zweitgrößte Volkswirtschaft der Welt pro Jahr. Dank eines jährlichen Wirtschaftswachstums um die zehn Prozent gelang es China zwar, Hunderte von Millionen Menschen aus der Armut zu holen. Doch die Folge ist ein enormer Hunger nach Konsum, Ressourcen und Energie. 2025, so schätzen die Vereinten Nationen, werden in China 1,4 Milliarden Menschen leben. Nach Angaben der Internationalen Energieagentur dürfte sich der Ölverbrauch Chinas von 2009 bis 2015 um 70 Prozent erhöhen und dann 42 Prozent der weltweiten Ölnachfrage betragen. Der Stromverbrauch hat sich im vergangenen Jahrzehnt sogar verdreifacht – und bis 2030 dürfte er sich auf 8.000 TWh noch einmal verdoppeln.

Energieerzeugung und -verbrauch in China müssen daher effizienter werden, die CO<sub>2</sub>-

Emissionen pro Einheit des Bruttoinlandsprodukts sollen radikal gesenkt, und bis 2030 soll der Energiemix deutlich ausgewogener werden (*Pictures of the Future*, Herbst 2012, S.20). Zwar werden dann noch immer Kohlekraftwerke die wichtigste Rolle spielen. Doch auch Erneuerbare werden kräftig ausgebaut. Etwa Windparks, deren installierte Leistung von heute 60 auf 150 Gigawatt im Jahr 2020 steigen soll. Doch dies birgt die Gefahr von Fluktuationen im Stromnetz, wenn kein Wind weht und keine Sonne scheint.

Abhilfe schaffen sollen schnellstartfähige und hocheffiziente Gas- und Dampfturbinen (GuD)-Kraftwerke. Darunter auch die Anlage Shanghai Shenergy Lingang, die im Oktober 2012 mit dem Asian Power Award in der Kategorie „Best Gas Power Project“ ausgezeichnet wurde. Dieses Kraftwerk besteht aus vier Blöcken, in denen je eine Gasturbine der

F-Serie von Siemens arbeitet. Einen neuen Effizienz-Maßstab im GuD-Betrieb in China setzte Block 4 mit einem Wirkungsgrad von 59,7 Prozent und einer Leistung von 430 MW. Das reicht aus, um 300.000 Menschen mit Strom zu versorgen. Hinzu kommt eine sehr hohe Flexibilität: So kann jeder Kraftwerks-Block nur zehn Minuten nach dem Start mit der Stromerzeugung beginnen. Heute dient dies dazu, die immensen Nachfrageschwankungen, die an extrem kalten Winter- oder an heißen Sommertagen vorkommen, im Shanghaier Stromnetz möglichst schnell auszugleichen. Doch schon bald könnte die Siemens-Lösung auch helfen, Fluktuationen aufgrund des hohen Anteils an erneuerbaren Energien zu dämpfen.

**Drei Monate vor Plan.** Auch in Vietnam helfen derartige Kraftwerke, die Stromversor-

gung zu verbessern. Vietnam ist eines der am schnellsten expandierenden Länder Südostasiens, der Strombedarf soll bis 2020 um elf bis 14 Prozent pro Jahr steigen. Laut der zum deutschen Wirtschaftsministerium gehörenden Gesellschaft „Germany Trade and Invest“ nimmt in Vietnam die Energienachfrage etwa doppelt so stark zu wie das Bruttoinlandsprodukt. Immer wieder kommt es zu Stromausfällen. Der Energiemasterplan für 2011 bis 2020 sieht daher vor, die heutigen Kapazitäten zu verdreifachen. Zum Beispiel mit der GuD-Anlage Nhon Trach 2, die rund 35 Kilometer von Ho Chi Minh Stadt entfernt liegt: Siemens lieferte für das 760-MW-Kraftwerk den sogenannten Power Block schlüsselfertig – bestehend aus zwei Gasturbinen des Typs SGT5-4000F, zwei Abhitzekesseln, einer Dampfturbine, drei luftgekühlten Generatoren, der kompletten Elektro- und Leittechnik sowie den Neben- und Hilfssystemen.

„Dank der hervorragenden Zusammenarbeit aller am Projekt beteiligten Parteien konnte das Kraftwerk nach nur 28,5 Monaten den kommerziellen Betrieb aufnehmen. Wir

60,75 Prozent erreichte – bei insgesamt mehr als 580 MW elektrischer Leistung (*Pictures of the Future*, Herbst 2011, S.96). Die H-Klasse erreicht in dieser Konfiguration einen Wirkungsgradvorteil von über 1,5 Prozent gegenüber der bisherigen F-Klasse. Zudem lassen sich damit wegen ihrer Größe weitere Skalenvorteile bei den Kosten erzielen.

**Mehr Strom aus Erdgas.** Im rund 3.000 Kilometer entfernten Südkorea setzt man bereits auf die neueste Gasturbinenreihe. Acht Turbinen der H-Klasse konnte Siemens seit der Markteinführung 2011 schon nach Südkorea verkaufen. Das Land verfügt kaum über eigene Energiereserven und muss Brennstoffe, etwa flüssiges Erdgas (LNG), teuer importieren. Umso wichtiger ist die Effizienz der Kraftwerke: Eine Steigerung des elektrischen Wirkungsgrades um einen Prozentpunkt sorgt bei einem 800-MW-Kraftwerk für zusätzliche 60 Millionen Kilowattstunden Strom pro Jahr, was ausreicht, um etwa 30.000 Menschen zusätzlich mit Strom zu versorgen – bei gleichen Brennstoffkosten und CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Ein gewichtiges Argument, denn die Brennstoffkosten machen drei Viertel der Gesamtkosten des Betreibers aus: „Aufgrund unserer hohen Gaspreise hat die Effizienz einen hohen Stellenwert für uns. Siemens verfügt über die derzeit effizienteste, erprobte und seit eineinhalb Jahren in Betrieb befindliche Kraftwerkstechnologie und ist ein erfahrener und verlässlicher Partner bei der Projektentwicklung“, sagt Kwang-Jae Yoo, CEO bei Posco Engineering & Construction, das für die Errichtung der Ansan-Anlage in

der gleichnamigen Stadt südwestlich der Hauptstadt Seoul verantwortlich ist.

Siemens errichtet das Herzstück der Anlage, das Power Island, schlüsselfertig – unter anderem mit zwei Gasturbinen der H-Klasse, einer Dampfturbine und Generatoren. Das mit Flüssiggas befeuerte GuD-Kraftwerk Ansan wird bei der Inbetriebnahme 2014 über eine elektrische Bruttoleistung von 834 Megawatt (MW) verfügen und neben Strom auch Fernwärme für die Bürger der Stadt Ansan erzeugen. Diese Technologie sorgt für eine optimale Ausnutzung des Erdgases und treibt den Brennstoffnutzungsgrad auf über 75 Prozent. Im Vergleich zur global installierten Basis bestehender Gaskraftwerke werden in diesem Kraftwerk Gasverbrauch und Kohlendioxidemissionen um je ein Drittel gesenkt.

Das erste GuD-Kraftwerk von Siemens in Asien ging Anfang der 80er-Jahre in Bang Pakong, Thailand, ans Netz und erreichte einen Wirkungsgrad von 48 Prozent. Innerhalb von drei Jahrzehnten ist es also gelungen, den Wirkungsgrad um über zwölf Prozentpunkte anzuheben, was einer Steigerung der Brennstoffnutzung von über 25 Prozent entspricht.

Ein weiterer Rekord wird 2015 in Deutschland erreicht werden. Hier haben die Stadtwerke Düsseldorf kürzlich das Kraftwerk Lausward in Auftrag gegeben: 595 MW auf einem Strang, mehr als 61 Prozent Nettowirkungsgrad und bis zu 85 Prozent Brennstoffnutzungsgrad soll es erzielen. Und die Forschung wird weiter vorangetrieben – bis 2020, so glauben die Siemens-Experten, werden elektrische Wirkungsgrade von über 62 Prozent im kombinierten GuD-Betrieb möglich sein. ■ Sabrina Martin



haben unseren Teil dabei drei Monate vor dem vereinbarten Termin fertig gestellt“, sagt Lothar Balling, der Leiter der Gasturbinen-Kraftwerkslösungen in der Division Fossil Power Generation bei Siemens Energy. „Damit ist dieses Kraftwerk eines der am schnellsten gebauten in ganz Asien in den letzten Jahren. Darüber hinaus übertrifft die Anlage sowohl bei Leistung und Wirkungsgrad als auch bei den Emissionswerten die zugesicherten Eigenschaften. Sie setzt in Vietnam neue Maßstäbe.“ Diese Leistung wurde bei den Asian Power Awards mit der Auszeichnung „Outstanding Fast-Track Power Project“ gewürdigt.

Zugleich hat Siemens diese erfolgreiche Baureihe der F-Klasse um die H-Klasse erweitert. Zu letzterer gehört die Gasturbine, die im April 2011 im Kraftwerk Irsching im kombinierten Betrieb mit einer Dampfturbine den elektrischen Weltrekord-Wirkungsgrad von

## Die Rekord-Turbine

**Die H-Klasse ist das Ergebnis eines mehr als 10-jährigen Entwicklungszyklus.** Seit Oktober 2000 tüftelten Hunderte von Ingenieuren an der Turbine und dem Anlagenkonzept, im Siemens-Sektor Energy, bei der Corporate Technology und bei etwa 50 externen Kooperationspartnern. Über 500 Millionen Euro hat Siemens in Entwicklung, Bau und Betrieb der Prototypanlage im bayerischen Irsching investiert. Dort prüften die Experten die Gasturbine mit über 170 Starts und mehr als 1.500 Betriebsstunden auf Herz und Nieren. Dann wurde die Anlage zum effizientesten GuD-Kraftwerk der Welt umgebaut, das im Sommer 2011 an den Betreiber E.ON übergeben wurde und in den kommerziellen Betrieb ging. Mit 578 MW Leistung und einem Wirkungsgrad von 60,75 Prozent im kombinierten Betrieb schrieb die H-Klasse Technikgeschichte: Sie ist die erste Gasturbine, die im GuD-Betrieb den magischen Wert von 60 Prozent Wirkungsgrad übertraf. Das Vorzeigeprojekt hat sogar den Weg ins Guinness-Buch der Rekorde gefunden: Die SGT5-8000H in Irsching 4 ist die größte in Betrieb befindliche Gasturbine der Welt und bringt es mittlerweile auf über 17.800 Betriebsstunden (EOH = Equivalent Operating Hours), davon 12.500 im kombinierten Betrieb bei über 400 Starts.



## Gleichstrom bringt

## Licht ins Dunkel

Nach wie vor leben in Indien Millionen Menschen ohne Strom. Neue HGÜ-Fernleitungen sind hier wichtig: Sie transportieren Strom sehr effizient und stabilisieren das Netz.

**Nachts herrscht meist Finsternis** in ländlichen Gegenden Indiens, denn viele Dörfer sind nicht ans Stromnetz angeschlossen. Frauen können das Abendessen nur im trüben Schein von Kerosinlampen kochen, Kinder kaum ihre Hausaufgaben erledigen. Dabei ist der Strombedarf Indiens in den letzten Jahren enorm gestiegen, und er wird weiter wachsen. Laut der Internationalen Energieagentur (IEA) entfallen 60 Prozent der Zunahme des Energieverbrauchs bis 2035 auf Indien, China und den Nahen Osten. Doch nach wie vor leben über 600 Millionen Inder ohne regelmäßigen Zugang zu Strom. Es wird nicht nur zu wenig Energie produziert – auch bei der Übertragung und Verteilung gehen bis zu 60 Prozent verloren. Und das Netz ist anfällig: Bis zu zehn Stromausfälle pro Tag sind in den heißen Sommermonaten keine Seltenheit.

Ein Teil der Lösung könnte in Mohindergarh liegen, einer entlegenen Kleinstadt nahe Neu Delhi. Hier steht eine HGÜ-Wechselrichter-Anlage. Sie wandelt den Gleichstrom, der aus dem 1.000 Kilometer entfernten Mundra kommt, in Wechselstrom um und speist ihn ins örtliche Netz. Die beiden Regionen an den

Enden der HGÜ-Strecke könnten kaum unterschiedlicher sein: Mohindergarh ist der am wenigsten entwickelte Bezirk im nordindischen Staat Haryana. Seine Einwohner, vor allem Bauern, leben an der Armutsgrenze. Mundra dagegen ist eine vergleichsweise wohlhabende Hafenstadt im westlichen Bundesstaat Gujarat. In den 90er-Jahren wurde die Stadt zu einem Produktions- und Güterumschlagplatz für verpacktes Salz. Heute ist Mundra Indiens größter privater Hafen und beheimatet zwei leistungsstarke Kraftwerke. Eines davon ist das größte im ganzen Land: ein Kohlekraftwerk mit 4.620 Megawatt (MW) Leistung.

Adani Power Ltd. ist eines der größten Privatunternehmen Indiens für Stromerzeugung und der größte Kohleimporteur des Landes. 2009 beauftragte der Kraftwerksbetreiber Siemens mit der Errichtung des längsten privaten HGÜ-Systems Indiens. Mit dieser Technik ist es möglich, Strom über viele hundert Kilometer und mit minimalen Verlusten zu transportieren. Das neue HGÜ-System kann bis zu 2.500 MW bei einer Gleichspannung von 500 Kilovolt (kV) über-

tragen. Das reicht aus, um über eine Million indische Haushalte mit Strom zu versorgen.

Die Bauarbeiten liefen teils unter schwierigsten Bedingungen: Temperaturen bis zu 45 Grad, stark salzhaltige Winde und das Problem, ausreichend qualifiziertes Personal zu finden. Dennoch gelang es Siemens und Adani, binnen der vereinbarten zwei Jahre das System fertig zu stellen: die fast 1.000 Kilometer lange Leitung sowie die beiden schlüsselfertigen Gleichrichter- und Wechselrichterstationen in Mundra und Mohindergarh.

Diese HGÜ könnte das indische Stromnetz revolutionieren. Da die Regierung erst vor wenigen Jahren die Stromübertragung für den privaten Energiesektor freigegeben hat, ist das Land auf eine aktive Beteiligung der Privatwirtschaft angewiesen. Die HGÜ zwischen Mundra und Mohindergarh ist ein Effizienzmeister. Mit herkömmlichen Drehstromübertragungssystemen wären die Übertragungsverluste zwei- bis dreimal höher. So werden der Atmosphäre pro Jahr rund 700.000



### HGÜs – effiziente Stromautobahnen

Beim System der Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) wandelt zunächst eine Gleichrichterstation den Wechselstrom eines Kraftwerks in einen Gleichstrom sehr hoher Spannung. Am anderen Ende der Übertragungsleitung erzeugt dann wieder ein Umrichter aus dem Gleichstrom Wechselstrom, der zum Verbraucher geleitet wird. Bei HGÜ-Freileitungen reduzieren sich die Übertragungsverluste im Vergleich zur Drehstromübertragung in der Regel um 30 bis 50 Prozent. Zudem kann bei gleicher Trassenbreite deutlich mehr Energie übertragen werden. Siemens hat bereits 40 HGÜ-Systeme installiert. Am leistungsfähigsten sind bislang die Anlagen in China, wo CO<sub>2</sub>-freier Strom aus Wasserkraft bis zu

1.500 Kilometer weit an die Ostküste transportiert wird. In Europa verbindet seit September 2011 eine HGÜ-Seekabelverbindung Mallorca mit dem spanischen Festland. Sie soll den Strombedarf mit Sonnen-, Wind- und Wasserkraft decken. Im Vergleich zum Bau eines ölgefeuerten Kraftwerks lassen sich so die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Insel halbieren. Und zwischen Schottland und England baut Siemens eine HGÜ-Seekabelverbindung der Superlative: Mit einer Kapazität von 2.200 MW soll sie ab 2016 eine Leistung übertragen, die mehr als 600 Offshore-Windturbinen entspricht. Dank der Rekordübertragungsspannung von 600 kV sinken die Transport- und Umwandlungsverluste auf der 420 Kilometer langen Kabelstrecke – gegenüber der bisherigen maximalen Spannung für Seekabel von 500 kV – um rund ein Drittel auf weniger als drei Prozent.

**Strom für Bangladesch.** Auch in Indiens Nachbarland soll künftig Strom verlustarm fließen: In Bangladesch lebt fast immer noch die Hälfte der über 160 Millionen Einwohner ohne Strom. Im Jahr 2015 soll der Staat am Golf von Bengalen mit Indien elektrisch verbunden werden. Hierzu errichtet Siemens in Bheramara in Bangladeschs Westen eine HGÜ-Kurzkupplung mit 500 Megawatt Leistung. Der Gleich- und der Wechselrichter sind auf einer Anlage direkt miteinander verbunden und stellen so die problemlose Kopplung der bisher getrennten Netze sicher. Über eine 110 Kilometer lange Drehstromleitung mit einer Spannung von 400 kV kann Indien dann sein Nachbarland mit Strom versorgen.

Noch herrscht viel Aufbaubedarf im Stromnetz Indiens. Die schwachen Netze sind historisch gewachsen und müssen erst miteinander gekoppelt werden. Außerdem fehlen noch vielerorts Verteilungsleitungen, die den Strom zu den Haushalten transportieren. Mit den HGÜ-Systemen ist ein wichtiger Schritt getan, damit das Leben in Indien auch nach Sonnenuntergang weitergehen kann.

■ Ines Giovannini



## Die Problemlöser

## vom „Silicon Hill“

Für komplexe logistische und planerische Aufgaben hat Siemens Corporate Technology mit Forschern der Uni Linz eine Software entwickelt, die schnell eine optimierte Lösung liefert. Experten des Siemens Technology Accelerator sahen darin großes Potenzial – und gründeten mit dem jungen Team das Start-up Arelion.

Nachdem man mit Bahn, Tram und Bus eine gefühlte Weltreise durch die schönen Landschaften Oberösterreichs hinter sich gebracht hat, verweist inmitten sanft hügeliger Idylle ein Schild auf ein verstecktes Innovationszentrum: den Software-Park in der Gemeinde Hagenberg. Hier hat sich ein wichtiger Teil der Software-Elite Österreichs angesiedelt. Linz als nächste Stadt ist immerhin eine halbe Autostunde entfernt. Doch Dr. Georg Bodammer von der Siemens Technology Accelerator GmbH (STA) unternimmt mehrmals im Quartal die komplizierte Anreise von München in die „Silicon Hills“ von Österreich – denn im modernsten Gebäude des Software-Parks hat das Start-up-Unternehmen Arelion seinen Sitz. Hier arbeiten seit März 2012 die drei Firmengründer Dr. Peter

Feigl, Dr. Norbert Lebersorger und Dr. Thomas Scheidl. Neue Geschäftsideen zu bewerten und Firmen bei ihrer Gründung und Entwicklung zu begleiten, ist die Aufgabe von Bodammer bei STA – einer hundertprozentigen Tochtergesellschaft der Siemens AG und Teil der Corporate Technology (CT).

Neben Arelion sind im Software-Park weitere siebzig kleine Firmen sowie die Software-Institute der Fachhochschule Oberösterreich mit etwa 1.500 Studierenden untergebracht. Auch mit der Johannes Kepler Universität (JKU) in Linz gibt es enge Verbindungen: 17 Institute der JKU arbeiten an IT und Software, und Forscher von Siemens CT sind bei etlichen Projekten dabei. Arelion gehört zu etwa 75 Prozent den drei Firmengründern, STA ist mit knapp 25 Prozent



beteiligt. Die Technologie entwickelten die Geschäftsgründer, als sie noch an der JKU als Wissenschaftler arbeiteten – in einem Forschungsprojekt, das CT unterstützte. In den Firmenräumen geht es eng zu. „Zwei telefonieren, zwei debattieren, der fünfte schreibt inmitten des Lärms ein Programm“, erklärt Lebersorger. Wenn alles gut läuft, will Arelion bis Ende 2013 um zehn Mitarbeiter wachsen und muss dann umziehen. Die Aussichten sind gut – das ist auch der Grund, warum Bodammer so oft in Hagenberg ist: „Ich halte es für sehr wahrscheinlich, dass Arelion mit seiner Geschäftsidee Erfolg am Markt haben wird.“

„Ziel war die Entwicklung einer innovativen Optimierungssoftware“, erklärt Feigl. Rund zehn Jahre forschten die IT-Spezialisten an dieser Software, die ihrer Meinung nach flexibler und schneller arbeitet als etablierte Optimierungsmethoden, was ihnen auch die Kollegen von CT bestätigten. Klassische Verfahren beruhen meist auf linearer Programmierung, das heißt, sie arbeiten eine Liste von Rechenoperationen ab, bis das optimale Ergebnis vorliegt. Zum Beispiel soll eine Produktion möglichst schnell oder möglichst günstig oder mit einer bestimmten Anzahl an

Software errechnet den Bewegungsablauf, dem der Roboterarm folgen soll, um die Platine möglichst schnell mit elektronischen Bauteilen zu bestücken. Die Technologie von Arelion findet rasch eine sehr gute Lösung, indem schlechtere Pfade aussortiert werden.

„Auf einem leistungsstarken Rechner kann die Software die Ergebnisse binnen einer Sekunde hunderttausende Male abfragen“, erklärt Lebersorger. Weil die Rechendauer so kurz ist, eignet sich dies vor allem für Prozesse, bei denen sich die Rahmenbedingungen häufig ändern. Dies ist etwa beim Umschlaglager eines großen Autologistikunternehmens in Österreich der Fall. Von hier werden Fahrzeuge unterschiedlichster Hersteller an Händler ausgeliefert. Das Lager für 12.000 Fahrzeuge wird also ständig mit neuen Wagen besetzt, während gleichzeitig Autos den Platz verlassen. Früher fuhren die Mitarbeiter mit den neuen Autos auf den

**Start-up mit Potenzial: Die Software optimiert Logistik, Produktionsplanung, Smart Grids oder den Materialfluss – ob in kleinen oder in großen Unternehmen.**

schickt den nächstgelegenen dorthin. Minibusse werden nicht mehr benötigt, da die Mitarbeiter immer mit einem Fahrzeug ins Lager fahren und mit einem anderen wieder zurück. Die bessere Auslastung der Mitarbeiter sowie die schnellere Auftragsbearbeitung hat die Produktivität des Unternehmens deutlich verbessert.

**Optimierung in der Cloud.** Einen wesentlichen Vorteil ihrer Technologie sehen die Arelion-Gründer in den vielfältigen Anwendungen. Von der Produktionsplanung oder der Optimierung von Telekommunikationsnetzen und Smart Grids, über Materialfluss-, Verpackungs- und Logistikplanung bis zur Layoutoptimierung ganzer Produktionsanlagen können verschiedenste Aufgaben gelöst werden. Um die Optimierungslösungen vielen Anwendern anbieten zu können, arbeitet Arelion zudem an einem „Optimization in

the Cloud“-Service. Damit kann Rechenkapazität besser genutzt werden, um noch umfangreichere Aufgaben zu lösen. Dies lässt sich über „Pay-per-Use“ abrechnen – was auch kleineren Firmen die kostengünstige Lösung komplexer Aufgaben erlaubt. So kann sich etwa eine Schreinerei berechnen lassen, wie sie das Holz für einen Auftrag möglichst sparsam zuschneidet, oder eine Werkstatt kann sich optimierte Reparaturpläne erstellen lassen.

Die Optimierungstüftler denken auch noch weiter, etwa an eine Internet-Plattform für Planungsprobleme aller Art. „Suchende platzieren dort ihre Aufgabenstellung, und Optimierungsspezialisten bieten Lösungen an, die dann mit unserer Plattform-Technologie umgesetzt werden“, erklärt Feigl. Solche Dienstleistungen sind für alle interessant, die sich keine großen Software-Investitionen leisten können, denn einmal gelöste Aufgaben können auch von anderen Nutzern der Plattform wiederverwendet werden. Wurde etwa ein Zuschnittproblem einmal gelöst, können weitere Nutzer auf den Optimierer zugreifen und ihn mit eigenen Daten betreiben. Und wer weiß: Vielleicht lassen sich auch die österreichischen Verkehrsunternehmen eines Tages von Arelion dabei helfen, den Software-Park Hagenberg besser an die große Welt anzubinden. ■ **Katrin Nikolaus**



Dr. Norbert Lebersorger (l.), Dr. Peter Feigl und Dr. Thomas Scheidl arbeiten im Softwarepark.



Maschinen geplant werden. Das Ergebnis ist dann mathematisch nicht anfechtbar, das heißt, es gibt keine bessere Lösung. „Jedoch muss man in Kauf nehmen, dass die Berechnung sehr lange dauern kann“, erklärt Feigl.

Die jungen Erfinder verwenden dagegen einen heuristischen Ansatz, um in möglichst kurzer Zeit nicht das theoretische Optimum, sondern ein bestmögliches Ergebnis zu liefern. Damit kann man sehr flexibel und rasch auf Änderungen eingehen. Zudem ist die Modellierung nicht an mathematische Formeln gebunden. Die objektorientierte Programmierung erlaubt eine flexible Abbildung komplexer Prozesse. Bei Siemens demonstrierten die Forscher ihre Software anhand eines Programms, das einen Roboter bei der Herstellung von Leiterplatten steuert. Die

weitläufigen Platz, begleitet von einem Minibus, der sie wieder an den Ausgangspunkt brachte. Die gleiche Prozedur lief umgekehrt ebenso ab: Der Minibus brachte die Mitarbeiter zu den Autos, die ausgeliefert werden sollten.

„Das war natürlich absolut ineffizient“, erklärt Feigl. Arelion entwickelte ein komplett neues System: Damit werden die Neuwagen bei der Einlieferung elektronisch erfasst. Jeder Wagen, jeder Standort und jeder Auslieferungstermin wird im System abgebildet. Virtuelle Experten optimieren die Aufträge. Jeder Mitarbeiter hat ein mobiles Endgerät, das ihm seine Aufträge anzeigt und ihn durch seinen Arbeitstag führt. Wird etwa kurzfristig ein Wagen bestellt, errechnet das Programm, welcher Mitarbeiter sich wo befindet und

# Licht, Luft, Laune

**Siemens setzt auf enge Zusammenarbeit mit Universitäten und fördert Projekte finanziell und mit Know-how – zum Beispiel die Arbeit von Studenten der Universität Budapest für Technologie und Wirtschaft. Ihr Plusenergiehaus gewann im internationalen Wettbewerb Solardecathlon gleich mehrere Preise.**



Ein Modell für die Zukunft: Das preisgekrönte Plusenergiehaus von Studenten der Universität Budapest – inklusive Steuerungssystem für Jalousien, Heizung und Kühlung.



**Zwischen** den historischen Backsteingebäuden der Universität Budapest wirkt dieses Haus wie von einem anderen Stern: Es ist eingeschossig, schwarz und hat die Grundfläche eines Trapezes. An der längsten, nach Süden orientierten Seite lassen bodentiefe Glaschiebetüren in lichtdurchflutete, luftige Räume blicken. Eine große Terrasse und eine lange, freistehende und ebenfalls schwarze Wand gehören ebenso zum eigenwilligen Ensemble. Das Haus ist nicht nur ein Hingucker, sondern auch ein kleines Energiewunder: Es erzeugt allein aus Sonnenlicht im Jahresmittel fast zweimal so viel nutzbare Energie wie es selbst benötigt.

Rund 70 Studenten haben am Gebäude mitgewirkt. Im September 2012 zählte ihr Haus beim internationalen Wettbewerb Solardecathlon in Madrid gleich in mehreren

der zehn Disziplinen zu den Besten. „An diesem Projekt haben wir zwei Jahre lang intensiv gearbeitet“, sagt Adrian Auth. Neben Architekturstudenten wie Auth waren auch angehende Bauingenieure, Elektrotechniker, Innendesigner sowie Management- und Marketingexperten beteiligt. Sie taufte ihr Projekt „ODOO“, nach dem ungarischen Wort für Unterschlupf oder Höhle. Siemens war Hauptsponsor und übernahm mit rund 200.000 Euro 30 Prozent der Gesamtkosten.

Schon seit Jahren bestehen enge Kontakte zwischen Unternehmen und Universität. Dr. László Ludvig, Leiter des Sektors Infrastructure and Cities bei Siemens Ungarn ist bei einem der jährlichen Treffen eher zufällig auf das Solarhaus-Projekt gestoßen. „Wir haben gleich gesehen, dass die Studenten mit ihrem Projekt viele Ziele verfolgen, die auch für uns wichtig sind, allen voran natürlich die Energieeffizienz“, sagt er.

**Zugriff via Smartphone.** So stecken im Solarhaus unter anderem Siemens-Systeme, mit denen sich die komplette Haustechnik, von der Beleuchtung über Jalousien bis zur Heizungs- und Klimaanlage, steuern lässt, so dass so wenig Energie wie möglich verbraucht wird. Ein Zugriff via Smartphone ist jederzeit möglich. „Wir haben aber nicht nur Technik zur Verfügung gestellt und waren

als Sponsor im engen Sinn aktiv, sondern haben die Studenten auch beratend unterstützt“, betont Ludvig. Auch die Osram AG half mit Know-how und energieeffizienten LED-Leuchten.

„Die bodentiefen Fenster der Südfassade und die schwarze Farbe sorgen für besonders hohe passive Solarerträge“, sagt Auth. Klassische Solarzellen auf dem Dach und Dünnschichtmodule an der Südseite der Wand des Außenbereiches verwandeln Sonnenlicht in Strom. „Insgesamt macht das Haus, wenn es in Ungarn oder Spanien steht, im Jahr rund 10.500 beziehungsweise 13.500 Kilowattstunden Sonnenenergie nutzbar“, erklärt Auth. „Es verbraucht aber nur knapp 6.000 Kilowattstunden“.

Nur im Winter müssen die Bewohner mitunter Strom aus dem Elektrizitätsnetz beziehen. In den sonnigeren Jahreszeiten speist das Haus dafür Stromüberschüsse ins Netz. Damit sich das schwarze Haus im Sommer nicht zu sehr aufheizt, haben die Studenten die Solarmodule auf dem Dach mit einer solaren Kühlung kombiniert. Davon profitiert auch die Photovoltaik, die bei hohen Temperaturen sonst an Effizienz verliert. Für die Photovoltaik stellte Siemens unter anderem Schutzschalter zur Verfügung und Monitoringsysteme, die den solaren Ertrag und den Verbrauch in Echtzeit anzeigen.

Ein Energiemanagement sorgt für eine effiziente Abstimmung von Stromproduktion und -verbrauch und auch dafür, dass die Waschmaschine läuft, sobald die Sonne die Stromproduktion ordentlich ankurbelt. Die vernetzten Haushaltsgeräte stammen von BSH (Bosch und Siemens Hausgeräte GmbH).

**Preisgekrönter Unterschlupf.** Die Arbeit hat sich gelohnt: Das ODOO-Team errang beim Solardecathlon in drei Kategorien Podiumsplätze. Eine „Silbermedaille“ erhielt es in den Kategorien Engineering und Konstruktion sowie Komfort. Temperatur, Luftqualität, Akustik und Beleuchtung, so hieß es, sorgten „für ein wahres Wohlfühlambiente“. Einen dritten Platz gab es in der Kategorie Energiebilanz. Insgesamt erreichte das Team unter 18 internationalen Mitbewerbern den sechsten Platz und nahm zu guter Letzt noch drei Ehrenpreise für Nachhaltigkeit, Beleuchtung und Innendesign mit nach Hause.

Der Wettbewerb wurde vor elf Jahren vom Energieministerium der USA ins Leben gerufen, um zu zeigen, was sich mit regenerativer Energie schon heute umsetzen lässt und welchen Komfort Häuser bieten, die auf grüne Hightech setzen. An dem Wettbewerb können Studententeams aus allen Fachhoch-

schulen und Universitäten der Welt teilnehmen. Bewertet wird die Leistung in zehn Disziplinen, von „Architektur“, über „Energiebilanz“ bis zu „Kommunikation“. Ein bilaterales Abkommen zwischen den USA und Spanien brachte den Wettbewerb vor zwei Jahren nach Europa. Seither wird er im Wechsel mit den USA alle zwei Jahre in Madrid ausgetragen.

Es ist nicht das erste Mal, dass Siemens sich als Sponsor an einem Wettbewerbshaus beteiligt. Auch das „Lumenhaus“ der US-amerikanischen Hochschule Virginia Tech ist mit Siemens-Technik und -Know-how gespickt. Beim Solardecathlon 2010 errang es den ersten Platz. Seither wurde es schon mehrfach an prominenten Orten ab- und wieder aufgebaut, zum Beispiel auf dem Times Square in New York, in Washington und Chicago. Auch das ODOO-Haus hat das Zeug zum Besuchermagneten und konnte nicht nur auf dem Ausstellungsgelände in Madrid viele Menschen begeistern. Künftig möchte die Universität das Haus unter anderem für Lehrveranstaltungen und als Demonstrationsobjekt nutzen. Und Siemens wird einmal monatlich unter anderem Innendesigner, Baufirmen und Elektroinstallateure zu Workshops in das preisgekrönte Haus einladen.

■ Andrea Hoferichter

## Ente wird zum Elektrorenner



**Mit Hightech und Sportlichkeit** hat der Citroën-Klassiker 2CV, auch als „Ente“ bekannt, bisher eher keine Schlagzeilen gemacht. Doch das könnte sich ändern. Im Wettbewerb Electric Sports Car Build-Off (ESCB), der im Oktober 2012 von Siemens Niederlande initiiert wurde, verwandeln junge Forscherteams aus vier Universitäten und drei Unternehmen in den Niederlanden das Nostalgiefahrzeug in einen Sportwagen mit Elektroantrieb. Im Juni 2013 werden sie die Ergebnisse präsentieren. Allen Teams steht ein Bausatz zur Verfügung, der das 2CV-Chassis und Zubehör enthält, wie etwa die Federung, Lenkung und Spoiler. Die Bausätze sind eine Spende des niederländischen Sportwagenherstellers Burton. Siemens berät die Teams und hilft zudem mit einem digitalen Werkzeug bei Planung und Bau des Elektromobils (Die PLM-Software unterstützt bei Planung und Bau des Elektromobils (Pictures of the Future, Herbst 2012, S.55). So gerüstet können die jungen Forscher ihre Kreativität ganz dem Elektromotor inklusive Antriebsstrang und Stromspeicher widmen. Eine Jury, besetzt mit Fachleuten von Universitäten, aus der Autobranche und von Siemens, wird den Innovationsgrad und die Qualität der Teamarbeit beurteilen. Auch Sicherheit, Reichweite und Energieverbrauch der E-Mobile fließen in die Bewertung ein. Die Fahrzeuge müssen zudem zulassungsfähig sein. Nach dem Wettbewerb werden alle Elektrosportwagen auf Roadshows und anderen Veranstaltungen präsentiert. Sollten sie gar für eine Kleinserie taugen, brauchen sich die Erfinder um den Absatz nicht zu sorgen. Darauf deuten zumindest die Ergebnisse einer Umfrage des niederländischen Meinungsforschungsinstitut Direct Research hin: Danach gehen fast drei Viertel aller 18- bis 30-jährigen Niederländer davon aus, dass Elektroautos in zehn Jahren allgemein akzeptiert sein werden.



## Rohstoffe

**Siemens-Ingenieure optimieren den Ressourceneinsatz bereits beim Entwurf neuer Produkte und entlang der gesamten Wertschöpfungskette.**

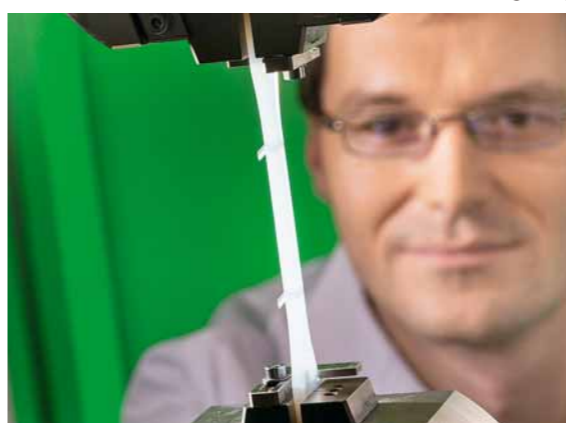
### Es klingt wie die Quadratur des Kreises:

Mehr Wirtschaftsleistung durch weniger Materialaufwand. Nach einer Untersuchung der Deutschen Materialeffizienzagentur machen Materialkosten im produzierenden Gewerbe etwa 42,9 Prozent der Gesamtkosten aus. Die Personalkosten liegen mit 17,9 Prozent weit dahinter auf dem zweiten Platz. Fazit der Experten: Durch einen intelligenten und effizienten Umgang mit teuren Rohstoffen lassen sich mehr Einsparpotenziale mobilisieren als mit vermeintlich zu hohen Lohnkosten.

Auch der World Business Council on Sustainable Development in Genf betont im Bericht „Vision 2050“, dass die Spareffekte bei Rohstoffen längst nicht ausgeschöpft sind. Ins selbe Horn stößt der „Fahrplan für ein ressourcenschonendes Europa“, den die EU-Kommission im Herbst 2011 vorgelegt hat. Schon einfache Maßnahmen zur effizienten Ressourcennutzung würden rasch Wirkung zeigen. Dabei seien die Investitionskosten oft gering und die Amortisationszeiten kurz.

Bei Siemens sind solche Überlegungen fester Bestandteil zahlreicher Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten. Einige hundert übergreifende Materialoptimierungsprojekte gibt es konzernweit. Werkstoffspezialisten, Produktionsplaner und Einkäufer bündeln ihre Kompetenzen. „Man muss verstehen, wie Kosten innerhalb der Wertschöpfungs-

**Rohstoff aus Palmöl und Stärke: Aus Biopolymer-Granulat (links) können sogar Kühlschränktüren gefertigt werden (rechts). Im Labor wird das neue Material auf Zugfestigkeit geprüft.**



## effizienter nutzen

ketten entstehen und mit präzisen Vorgaben jeder Ressourcenverschwendung gegensteuern“, sagt Michael Händel, verantwortlich für das Supply Chain Management des unternehmensweit gebündelten direkten Materials.

Dabei gilt: Je günstiger der Materialaufwand pro Produkteinheit, desto größer der Vorteil am Markt. Deshalb untersuchen Siemens-Ingenieure die Materialbeschaffenheit kostenintensiver Bauteile, aber auch die Prozessschritte zu ihrer Fertigung. Dieses Know-how fließt in die Projekte zur Materialoptimierung ein. „Unsere Commodity Engineers fahren zu den Lieferanten und suchen gemeinsam mit ihnen nach kostengünstigen technischen Alternativen“, erklärt Händel.

**Dem Lieferanten helfen.** Als beispielsweise ein mexikanischer Siemens-Lieferant für Sandguss-Maschinengehäuse über mangelnde Profitabilität seiner Gießerei klagte, analysierte ein Siemens-Team mit Unterstützung des Commodity Engineers Dr. Pradeep Pawar drei Tage lang vor Ort den Gießprozess. Auf Empfehlung der Experten gestaltete die Werksleitung das Anguss-System neu und konnte nach kurzer Zeit drastische Materialeinsparungen bei besserer Qualität vorweisen – verbunden mit deutlichen Kostenvorteilen für Siemens und seinen Lieferanten.

Erste Weichenstellungen bei der Kostenoptimierung finden schon bei der Erstellung der Lastenhefte statt. Als führender Anbieter von Software für das Product Lifecycle Management (PLM) befassen sich Siemens-Spezialisten mit Kosten, die schon in der frühen Phase des Produktlebenszyklus festgelegt werden. „Wenn wir gerufen werden, liegen die Kosten meist schon 20 bis 30 Prozent

über den Soll-Werten“, sagt Mark Westemeier, Leiter des Lifecycle Managements bei Corporate Technology (CT). Dann, so Westemeier, müsse man an den Anfang zurückgehen und prüfen, ob das Produkt den genauen Anforderungen des Marktes entspricht.

Die Suche nach dem besten Preis beginnt mit der Suche nach dem besten technischen Konzept. Dazu gibt es regelmäßige Treffen von über 100 Experten aus Entwicklung, Qualität, Commodity Engineering und Einkauf vieler Geschäftsfelder von Siemens. Sie tauschen Erfahrungen aus, entwickeln spezielle Werkzeuge und Methoden und starten gemeinsame Commodity-Engineering-Projekte. Inzwischen sind es mehrere hundert solcher Projekte. Sie zeigen eine deutliche Kostenwirkung und tragen daher auch zum Erreichen der Ziele des Unternehmensprogramms „Siemens 2014“ bei.

Strategien, wie sich teure Rohstoffe durch preisgünstigere Materialverbindungen ersetzen lassen, gewinnen immer mehr an Bedeu-

„Im Hinblick auf die Erhöhung der Rohstoffeffizienz ist das hoch interessant“, unterstreicht Dr. Friedrich Lupp, leitender Ingenieur bei CT in München.

Beispielsweise bestehen die Kühlrohre von Stromgeneratoren meist aus Kupfer. Damit verbunden ist ein aufwändiger Lötprozess, der teures Silberlot benötigt. Doch eine ausreichende Kühlung lässt sich auch mit Schweißkonstruktionen aus Stahlrohren erreichen. Die dafür benötigte Schweißanlage haben die Spezialisten der CT entwickelt und geliefert. „Künftig wird der ressourcenschonende Umgang mit Rohstoffen entscheidend für den wirtschaftlichen Erfolg sein“, betont Lupp. Das zeigen der Trend zu Leichtbau und Verbundmaterialien in der Automobilbranche ebenso wie Forschungsarbeiten im Bereich technischer Kunststoffe.

„Biopolymere aus nachwachsenden Rohstoffen können beispielsweise in manchen Gebieten als Alternative zu herkömmlichem Kunststoff eingesetzt werden“, sagt CT-Materialforscher Dr. Dieter Heinl. Während petrochemische Standardkunststoffe wie Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) eine ungünstige Ökobilanz vorweisen, konnten Siemens-Forscher im Rahmen eines Gemeinschaftsprojektes mit der BASF, der TU München und der Universität Hamburg einen Verbundstoff aus nachwachsendem Palmöl und Stärke entwickeln. „Wir wollten zeigen, welches Potenzial in biobasierten Kunststoffen steckt“, meint Heinl. Die Mischung hat vergleichbare physikalische Eigenschaften wie ABS, muss aber mittels Polypropylencarbonat (PPC) weicher gemacht werden. Und dieses wiederum lässt sich fast zur Hälfte aus Kohlendioxid herstellen, das aus Kraftwerksabgasen gewonnen wird – ein doppelter Gewinn für die Umwelt, da Palmöl, Stärke und sogar Abgase an die Stelle des wertvollen Rohstoffs Erdöl treten und kein zusätzliches Treibhausgas entsteht.

■ Andreas Beuthner

## Product Lifecycle Management

**Siemens ist nicht nur Anwender**, sondern auch Anbieter von Tools zur technischen Produktkostenoptimierung: Um ihre führende Position im Bereich von Product-Lifecycle-Management-Software weiter auszubauen, übernahm die Siemens-Division Industry Automation im Jahr 2012 die Perfect Costing Solutions GmbH in Göppingen, einen Anbieter von Lösungen für das Produktkostenmanagement (S.22). Damit fügt Siemens seinem PLM-Portfolio einen wichtigen Baustein hinzu. „Er hilft den Kunden, fundierte kostenrelevante Entscheidungen über ihre Produkte zu treffen – vom frühen Entwurfsstadium über den gesamten Lebenszyklus hinweg“, sagt Rohit Tangri, der globale Leiter für das Teamcenter Product Management & Marketing. Siemens-intern setzt die Commodity-Engineering-Community das Kostenmanagement-Werkzeug seit mehreren Jahren erfolgreich in ihren Projekten ein.



Stromsparer: Energiemanagement-Software (rechts) entlarvt unnötige Stromverbraucher – etwa im Karosseriebau (links), und auch Pressen (unten) arbeiten immer effizienter.

## Da geht noch was

Moderne Autofabriken laufen heute schon sehr rund. Doch angesichts des immer härteren Wettbewerbs müssen die Hersteller an bislang ungenutzten Stellschrauben drehen, um die Kosten weiter zu senken. Dabei zunehmend im Fokus: der Energieverbrauch in der Fertigung.

**Der Wettbewerb** ist hart in der Autoindustrie – weltweite Überkapazitäten erzeugen einen Preisdruck, der besonders jene Hersteller bedroht, die Kosten und Produktivität nicht voll im Griff haben. Weil aber moderne Autofabriken bereits stark optimiert sind, richtet sich der Blick auf bisher ungenutzte Reserven wie das Energiesparen. Zwar entfallen nur drei bis fünf Prozent der Produktionskosten eines Autos auf die eingesetzte Energie – zum Vergleich: Bei der Papiererzeugung sind es bis zu 15 Prozent. Aber steigende Energiepreise zwingen zum Handeln. So kündigte etwa der Volkswagen-Konzern in seinem Nachhaltigkeitsbericht 2011 an, bis 2018 ein Viertel der Energie, also Strom, Gas und Wärme, weniger verbrauchen zu wollen.

Ein Autowerk mit einer Tagesproduktion von 1.000 Fahrzeugen kommt leicht auf einige Hunderttausend Megawattstunden

(MWh) Energieverbrauch im Jahr – so viel wie eine mittelgroße Stadt. Die Energieflüsse in einer Autofabrik sind kompliziert wie ein Blutkreislauf. Da sind die großen Presswerke, die Blech in Form biegen. Dann fügen Hunderte von Robotern die Karosserie mit einigen tausend Schweiß- und Klebepunkten zusammen. Auf die Lackierstation entfallen sogar 45 bis 60 Prozent des Energieverbrauchs des Werks, denn dort wird tonnenweise Lack auf Temperatur gehalten, rotieren große Lüfter und werkeln die Lackierroboter. Am Montagband liefern Förderbänder die Türen an, Motor und Antriebsstrang werden montiert, und die Innenausstattung wird eingebaut. Autos und Autoteile legen kilometerlange Wege auf den Förderbändern zurück. Dem Energiemanager der Fabrik geht es nicht anders als Privatverbrauchern – solange er nicht weiß, wo wann wie viel Strom, Gas oder



Wärme verbraucht wird, tut er sich mit dem Sparen schwer.

Die neue Energiemanagement-Software „SIMATIC B.Data“ von Siemens könnte hier Licht ins Dunkel bringen. Der digitale Energiedetektiv erfasst den Verbrauch einzelner Fertigungsmaschinen oder Anlagen und bereitet die Daten für detaillierte Analysen auf. So erkannte man bei einem deutschen Automobilwerk hohe Grundlastverbräuche am Wochenende und fand heraus, dass die Karosserien von den Fertigungsrobotern in Arbeitshöhe gehalten wurden – unnötigerweise: Obwohl nicht produziert wurde, arbeiteten die Druckluftkompressoren zur Versorgung der Roboter unermüdlich. „Einer der Hauptansatzpunkte ist, die Grundlast eines Werks zu senken“, sagt Rudolf Traxler, bei Siemens Industry in Linz verantwortlich für Energiemanagementsysteme. „Obwohl in



weil es trotz Produktionssteigerungen und Gebäudeerweiterungen seit 2004 seinen Energieverbrauch um 30 Prozent oder 168.000 MWh pro Jahr gesenkt hatte.

Dank des digitalen Energiedetektivs können Firmen ihre Fertigung effizienter gestalten, etwa indem sie die Steuerungssoftware für Maschinen anpassen. Einer der wichtigsten Hebel sind die Antriebe. Etwa zwei Drittel des Stromverbrauchs einer Fabrik entfallen auf große und kleine Elektromotoren, die Montagebänder am Laufen halten, Maschinen bewegen oder in den Gelenken der Roboter Dienst tun. Viel lässt sich durch moderne Motortechnik einsparen. So installierte Siemens im Seat-Stammwerk im spanischen Martorell an den großen Lüftern der Lackiererei Frequenzumrichter, die die Geschwindigkeit der Motoren an den Bedarf anpassen. Dies senkte den Stromverbrauch um bis zu 40 Prozent.

eng getaktet wie möglich arbeiten. Die Produktivität der VW-Pressen stieg von 14 auf 16 Stück pro Minute. Werkzeugwechsel gehen mithilfe von PLS ebenfalls schneller, denn die simulierten Bewegungsabläufe werden direkt auf die Steuerung der Presse übertragen. Durch die verbesserte Verfügbarkeit kann die Zahl der Pressenlinien bei VW langfristig von 17 auf acht sinken. Weil außerdem die Motoren Energie austauschen, also die beim Abbremsen freigesetzte Energie für die Beschleunigung anderer Antriebe verwerten, arbeiten die Pressenlinien nun 30 bis 40 Prozent energieeffizienter.

**Pressen aus dem Takt.** Wird eine Presse neu konzipiert, entscheiden sich heute viele Fabriken für eine Servopresse, bei der Servomotoren die Bewegungen antreiben. Weil kein fester Takt mehr vorgegeben ist – wie

Schwachlastzeiten wenig oder nichts produziert wird, beträgt hier der Energieverbrauch im Schnitt oft noch 30 Prozent eines Arbeitstags“. Abschalten, was nicht gebraucht wird, ist das Fazit – wie im BMW Motoren-Werk im österreichischen Steyr. Dort konnte mithilfe von SIMATIC B.Data und einer Reihe von Maßnahmen die Grundlast des Werks in Zeiten, in denen nicht produziert wird, von acht auf fünf Megawatt gesenkt werden.

Wichtig bei der Installation des Systems ist die Frage, wo und wie fein gemessen werden soll und wie viel Messtechnik nachgerüstet werden muss. Bei BMW in Steyr, wo rund 700.000 Motoren im Jahr entstehen, registrieren 700 Messpunkte alle 15 Minuten den Energieverbrauch. Transparenz sei der Schlüssel zum Energiesparen, meint Traxler: „Erst die Zuordnung des Energieverbrauchs zum Verursacher schafft den Anreiz zum Sparen.“ In Regensburg erzeugt BMW mithilfe von SIMATIC B.Data automatisch tägliche und monatliche Energiebilanzen, die Verbesserungspotenziale sichtbar machen. 2012 verlieh die Stadt dem Werk einen Umweltpreis,

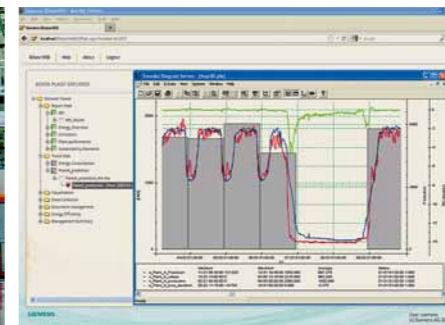
Mit modernen Antrieben steigt auch die Effizienz des Presswerks. Dort heben und senken sich fast im Sekundentakt riesige Werkzeuge und pressen mit einer Kraft von einigen tausend Tonnen Blech zu Türen, Dächern oder Motorhauben. Sobald sich das Werkzeug nach oben bewegt, greifen Roboterarme, sogenannte Transfers, das Blech und bringen es zur Nachbarpresse. Oft treibt eine Hauptantriebswelle, die aus einem metergroßen Schwungrad gespeist wird, alle Bewegungen an. Vor einiger Zeit hat Volkswagen mithilfe von Siemens drei 15 Jahre alte Pressenlinien in Wolfsburg modernisiert. „Die Transfers wurden von der Hauptantriebswelle entkoppelt und bewegen sich nun über elektronische Servomotoren“, erklärt Bernd Dietz von Siemens Industry. So lassen sich die Transfers präziser und effizienter steuern.

Die optimale Einstellung aller Bewegungen erfolgt über die Pressenlinien-Simulation (PLS), ein Siemens-Computermodell für sämtliche Abläufe. PLS sichert auch ab, dass das wertvolle Werkzeug und die Transfers nicht zusammenstoßen, aber trotzdem so

es bei einem Schwungrad der Fall ist –, können die Auf- und Abbewegungen der Presse individuell eingestellt werden: schön langsam am Blech, um das Werkzeug zu schonen und eine hohe Qualität zu erzielen, und voll beschleunigt zum oberen Umkehrpunkt, um schnell wieder an einem neuen Werkstück zu sein. Eine Servopresse schafft unter Umständen in derselben Zeit doppelt so viele Teile und holt so den höheren Anschaffungspreis schnell wieder herein.

Allerdings brauchen die Antriebe einer Servopresse mehr Energie als bei einem Schwungrad, erklärt Dietz' Kollege Dr. Gerald Reichl. „Eine Presse, die wir für ein polnisches Autowerk konzipiert haben, hätte als Schwungradpresse 500 kW Anschlussleistung gehabt. Für die gleiche Presse als Servopresse mit sechs Hauptmotoren aber hätte man für den Extremfall, wenn alle Motoren gleichzeitig voll laufen, drei MW Spitzenleistung bereitstellen müssen.“ Dass die Presse trotzdem mit einem 500-Kilowatt-Anschluss arbeitet, verdankt sie einem intelligenten Energiemanagement: Kondensatoren oder Schwungradmassen nehmen die beim Abbremsen frei werdende Energie auf und geben sie bei Bedarf wieder ab.

Für Pressenhersteller sind Servopressen eine Herausforderung, denn es gibt unzählige Möglichkeiten, die vorgegebene Presskraft durch verschiedene Motoren und Drehmomente zu realisieren. Gerade kleinere und mittlere Maschinenbauer bräuchten Unterstützung, sagt der Mechatroniker Reichl. „Wir haben ein Berechnungsprogramm entwickelt, das aus der geforderten Geschwindigkeit und Kraft die Dimensionierung der Presse, optimale Bewegungsprofile und das passende Energiemanagement liefert.“ Darin stecke viele Jahre Arbeit, ergänzt Vertriebsleiter Alexandre Bonay: „Wir hatten das Know-how für Antriebe und Steuerungen, aber in die Pressentechnologie mussten wir uns erst einarbeiten.“ Die Zeit war gut investiert. „Das Ergebnis ist ein umfassendes Lösungspaket für Servopressen: Von der Konzeption über Antriebe und Steuerungen bis zur Simulation kommt alles von uns.“ Der Pressenhersteller gewinnt so an Sicherheit: Weil die Simulation ein präzises 1:1 Abbild der realen Presse verwendet, könne er dem Auftraggeber schon vor Baubeginn nachweisen, welche Stückzahl sich bei sicherem Betrieb erreichen lässt, meint Bonay. Und die Autobauer können mit der Simulation ihre neuen Linien schon einmal virtuell aufs Äußerste ausreizen, damit sie im weltweiten Wettbewerb um Produktivität und Effizienz auch morgen die Nase vorn haben. ■ Christine Rütth





## Drei, zwei, eins ... meins!

Längst haben elektronische Auktionen in der Wirtschaft Einzug erhalten. Unternehmen können so den Einkaufsprozess optimieren und ihre Beschaffungspreise senken.

Schon Johann Wolfgang von Goethe verkaufte Verlagsrechte in einem Verfahren, das Elemente einer Auktion enthielt: Im Jahr 1797 machte der Dichter ein Angebot: „Ich bin geneigt, Herrn Vieweg in Berlin ‚Herrmann und Dorothea‘ zum Verlag zu überlassen. Was das Honorar betrifft, so stelle ich ein versiegeltes Billet zu, worin meine Forderung enthalten ist, und erwarte, was Herr Vieweg mir für meine Arbeit anbieten zu können glaubt.“ Der Verleger dürfte nicht schlecht gestaunt haben, denn so Goethe weiter: „Ist sein Anerbieten geringer als meine Forderung, so nehme ich meinen versiegelten Zettel ungeöffnet zurück und die Negotiation zerschlägt sich. Ist es höher, so verlange ich nicht mehr als in dem, alsdann zu eröffnenden Zettel verzeichnet ist.“ Diese Vorgehensweise lässt sich als Auktion verstehen – mit der Besonderheit, dass der Verleger hier der einzige Bieter war. Goethe hatte jedenfalls Erfolg: Das Angebot des Verlegers über 1.000 Taler übertraf um das Zwanzigfache die Summe, die Hölderlin für „Hyperion“ erhielt. Aber auch der Verleger bewies guten Geschäftssinn: Das Werk wurde zum Bestseller.

Heute haben viele Firmen das Potenzial elektronischer Auktionen erkannt. Rund 32 Prozent der international tätigen Großunternehmen, die ihren Sitz auch in Deutschland haben, verwenden sie, besagt eine Studie des Bundesverbands Materialwirtschaft, Einkauf und Logistik und der Universität Würzburg. Dabei stehen neben qualitativen Aspekten wie Prozessstabilität, -transparenz und Compliance vor allem quantifizierbare Prozesskostensenkungen und niedrige Beschaffungspreise im Vordergrund. Strategische Einkäufer verwenden elektronische Auktionen für Preisverhandlungen in vielen Materialfeldern – vom Produkt- bis zum System- und Anlagengeschäft.

Bei Siemens werden elektronische Einkaufsauktionen seit 1999 eingesetzt, doch in den letzten Jahren hat sich deren Anteil am Einkaufsvolumen signifikant erhöht. So hat Siemens 2012 insgesamt 5,5 Milliarden Euro Einkaufsvolumen durch e-Auctions und e-Biddings verhandelt. 2008 waren es nur 500 Millionen Euro. Alles, was spezifizierbar und monetär vergleichbar gemacht werden kann, kann verauktioniert werden. „Ist der Wett-

bewerb zwischen den Auktionsteilnehmern groß genug, können die Einkäufer gute Resultate erzielen – Einsparungen im zweistelligen Prozentbereich sind keine Seltenheit“, verrät Mark Helgemeier, Experte für online-basierte Einkaufsauktionen im Sektor Energy.

So setzt Siemens auf Auktionsformate wie „English, Dutch oder Sealed Bid“. Bei der englischen Auktion können sich die Teilnehmer während eines definierten Zeitrahmens gegenseitig unterbieten. Im Gegensatz dazu wird beim holländischen Format ein niedriges Preisniveau in vordefinierten Preisschritten automatisch erhöht. Derjenige Teilnehmer gewinnt die Auktion, der den Preisschritt bestätigt, bevor die vom Einkäufer definierte, verdeckte Preisobergrenze erreicht ist.

**Lieferanten vergleichbar machen.** Mark Helgemeier ist einer der Pioniere bei e-Auktionen. Seit über zehn Jahren beschäftigt er sich mit den methodischen Grundlagen und entwickelt die Konzepte kontinuierlich weiter. „Eine der größten Herausforderungen ist nach wie vor die Vergleichbarkeit der Lieferanten, denn kein Lieferant samt seiner angebotenen Leistung gleicht haargenau dem anderen.“ Um diese Vergleichbarkeit zu schaffen, wird im Vorfeld einer Auktion für jeden Teilnehmer ein sogenannter Supplier Comparison Factor (SCF) ermittelt, der technische, kommerzielle, qualitative und logistische Kriterien berücksichtigt.

Jeder SCF wird im Auktionstool hinterlegt und während der Auktion durch Anwendung einer Boni/Mali-Systematik automatisch berücksichtigt. Zusammen mit den individuellen Geboten ergibt sich dann eine unmittelbare Gesamtkostensicht, durch die der Teilnehmer mit dem besten Preis-Leistungsverhältnis identifiziert werden kann – und nicht, wie häufig vermutet, der billigste Anbieter. „So erhöht sich die Effizienz und Effektivität einer Preisverhandlung signifikant“, erklärt Helgemeier.

Damit die Teilnehmer mit dem Tool und dem Ablauf vertraut werden, erhalten sie im Vorfeld ein ausführliches Training. Wenn die elektronische Auktion begonnen hat, geben die Lieferanten ihre Gebote ab. Gilt dann bei Siemens das von eBay bekannte „3-2-1-meins“-Prinzip? Der Experte schmunzelt: „In der Tat gibt es ein paar Gemeinsamkeiten. So verwenden wir ebenfalls ein internetbasiertes Auktionstool und es gibt auch Auktionsregeln. Doch während eBay mit einem einzigen Format auskommt, sind die Konzepte bei Siemens vielschichtiger. Sie werden je nach Projektanforderung individuell angepasst und in einem Regelwerk festgehalten.“

■ Valeriya Masyuta



Städte gelten als Hauptverursacher von Kohlendioxid-Emissionen. Viele Metropolen stellen sich ihrer Verantwortung und ergreifen Maßnahmen, ihren CO<sub>2</sub>-Fußabdruck zu verringern. Die ambitioniertesten unter ihnen wollen ihre Bilanz sogar auf Null senken.

**Schneechaos in Neu-Delhi**, heftige Hagel-schauer in Tokio und eine riesige Flutwelle über New York – ob sich Roland Emmerichs Vision über die Folgen des Klimawandels, die er im Katastrophen-Thriller „The Day after Tomorrow“ zeigt, bewahrheiten wird, ist fraglich. Weitgehende Einigkeit in der Wissenschaft herrscht jedoch darüber, dass die Folgen der globalen Erwärmung dramatisch sein werden – mit Auswirkungen auf den Zugang zu Trinkwasser, die Gesundheit und die Umwelt. Damit nicht genug: Drei Viertel aller Megacities liegen an Küsten. Schmilzt die Eisdcke Grönlands, sind Städte wie New York, London, Shanghai und Sydney vom ansteigenden Meeresspiegel massiv bedroht.

Städte wie diese haben also per se ein großes Eigeninteresse, den Klimawandel zu bekämpfen. Da urbane Siedlungen mit bis zu 70 Prozent zum Ausstoß von Treibhausgasen beitragen, stehen sie auch in der Verantwortung. Gleichzeitig können sie aufgrund ihrer hohen Bevölkerungsdichte auch ihre Vorteile

ausspielen und Ressourcen effizienter nutzen – etwa beim Verkehr, bei Wasser- und Abfallsystemen oder bei der Energieerzeugung.

Technologien, die CO<sub>2</sub>-Emissionen verringern können, gibt es viele. Das bestätigte schon eine Studie von McKinsey und Siemens aus dem Jahr 2008, die das Einsparpotenzial für London untersuchte und zum Ergebnis kam, dass die Metropole bereits mit verfügbaren Technologien ihre CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2025 um 44 Prozent gegenüber 1990 reduzieren könnte. Damit wäre London seinem Ziel, die Emissionen in diesem Zeitraum um 60 Prozent zu drosseln, ein ganzes Stück näher. Und: Rund zwei Drittel aller Lösungen zur CO<sub>2</sub>-Einsparung tragen sich selbst, durch verringerte Energiekosten.

Auch andere Städte haben sich CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele gesetzt: Vorreiter ist Kopenhagen. Unter dem Strich null CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2025 – dieses Ziel hat sich Dänemarks Hauptstadt gesetzt. Sie will den Treibhausgas-Ausstoß durch verschiedene Maßnah-

## auf Null

men bis 2025 von jährlich 1,9 auf 1,2 Millionen Tonnen reduzieren und die verbleibenden Emissionen kompensieren, zum Beispiel durch Investitionen in erneuerbare Energien. Der 2012 aktualisierte Klimaplan für Kopenhagen sieht unter anderem vor, anstelle alter Kohlekraftwerke Biomasse, Wind, Erdwärme und Abfall für die Strom- und Wärmeversorgung der Zukunft einzusetzen (*Pictures of the Future*, Frühjahr 2010, S.20). Mehr als 100 Windturbinen mit einer Gesamtkapazität von 360 Megawatt sollen bis 2025 mehr „grünen“ Strom in die Netze einspeisen, als die Stadt selbst verbraucht. Damit sollen die verbleibenden CO<sub>2</sub>-Emissionen, etwa aus dem Straßenverkehr, kompensiert werden.

Zudem ergänzen Biomasseanlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung den Strommix. Mehr als 98 Prozent des Wärmebedarfs in der Stadt wird bereits durch Fernwärme gedeckt, 30 Prozent alleine durch die Müllverbrennung. Um die Energienutzung effizienter zu gestalten, will Kopenhagen bestehende Häuser

modernisieren und dazu passende Finanzierungsmodelle entwickeln, sowie schärfere Vorschriften zur Energieeffizienz von Gebäuden erlassen. Außerdem sollen die Gebäude den Energie- und Wärmeverbrauch möglichst intelligent steuern (*Pictures of the Future*, Herbst 2012, S.37).

Die Bürger sollen bis 2025 drei Viertel aller Wege in der Stadt zu Fuß, mit dem Fahrrad oder mit den bis dahin CO<sub>2</sub>-neutralen öffentlichen Verkehrsmitteln, wie elektrisch oder

mit Biosprit angetriebenen Bussen, zurücklegen. Die verbleibenden Autofahrer sollen ermuntert werden, auf Elektro-, Wasserstoff- oder Hybridfahrzeuge umzusteigen. Auch Siemens-Technik hilft der Stadt, ihrem Ziel ein Stück näher zu kommen: Ein neues Müllheizkraftwerk mit einem Turbinen- und Kontrollsystem von Siemens wird Kopenhagen mit Fernwärme versorgen, und die ersten sechs von insgesamt 100 neu geplanten Windturbinen, die die Stadt mit sauberem

## Best Practices rund um den Globus



**Auch die mit knapp 600.000 Einwohnern größte Stadt im US-Bundesstaat Oregon ist einer der Vorreiter in Sachen Umweltschutz: Portland** (im Bild) will bis 2050 seine CO<sub>2</sub>-Emissionen um 80 Prozent reduzieren. Um 26 Prozent sind hier die CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Kopf bereits gefallen, verglichen mit 1990 – während parallel die US-Emissionen um 12 Prozent stiegen. Das Erfolgsgeheimnis: Portland hat frühzeitig angefangen, ganzheitlich zu planen. Die Stadt nahm gleichzeitig den Verkehr, sowie die Erzeugung und effiziente Nutzung von Energie, das Recycling und die Aufforstung in Angriff. Maßnahmen wie Standards, Anreize und Steuern kamen hinzu. Die Langzeiteffekte sind heute sichtbar. Bemühungen, städtische Zersiedelung einzudämmen, zeigen einen angenehmen Begleiteffekt: Öffentliche Verkehrsmittel sind besser erreichbar, das Netz an Fahrradwegen ist hervorragend ausgebaut. Mehr als 22.000 Menschen fahren mit dem Fahrrad zur Arbeit – das sind mehr als in jeder anderen Großstadt der USA.

**São Paulo** erzeugt seinen gesamten Strombedarf aus Wasserkraft. Deshalb entstehen die meisten Treibhausgas-Emissionen der Elf-Millionen-Metropole durch Verkehr und Abfall. Um 30 Prozent sollen die Treibhausgase innerhalb von vier Jahren reduziert werden. 2009 meldete die Stadt, ihre Emissionen seit 2005 bereits um 20 Prozent reduziert zu haben, unter anderem mithilfe zweier Kraftwerke, die an zwei Mülldeponien errichtet wurden. Sie fangen Methan auf, verbrennen es und erzeugen daraus Strom für rund 700.000 Einwohner. Zwar entsteht durch die Verbrennung neues CO<sub>2</sub>, insgesamt fällt die Bilanz jedoch positiv aus, da Methan rund 25-mal stärker zum Treibhausgaseffekt beiträgt wie CO<sub>2</sub>. Rund elf Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalent soll diese Maßnahme bis 2012 eingespart haben. Den Verkehr will die Stadt mit zahlreichen Maßnahmen in den Griff bekommen: Mehr als 115 Kilometer zusätzliche Schnellbusrouten („Bus Rapid Transit“) wurden angelegt, außerdem sollen mehr als 100 Kilometer neue Fahrradwege hinzukommen.

**Die bayerische Landeshauptstadt München** möchte ihre CO<sub>2</sub>-Emissionen alle fünf Jahre um zehn Prozent senken und pro Kopf bis spätestens 2030 im Vergleich zu 1990 halbieren. Gleichzeitig verfolgen die Stadtwerke München das Ziel, den Strombedarf der Stadt ausschließlich durch erneuerbare Energien zu decken und investieren deshalb auch außerhalb der Region in deren Ausbau, etwa in Offshore-Windparks. Ein erstes Aktionspaket der Stadt umfasste das „Klimaschutzprogramm 2010“, alle zwei Jahre wird ein weiteres solches Paket geschnürt. Es beschreibt Maßnahmen und Zwischenziele für Gebäude, Verkehr, Energieeffizienz, Stadtentwicklung und Energieerzeugung. Nach aktuellen Angaben der Stadt sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Einwohner im Zeitraum von 1990 bis 2010 schon um über drei Tonnen auf etwa acht Tonnen gesunken.

Nicole Elflein

**Jeder Einzelne zählt: Melbourne ermuntert die Bürger, Rad zu fahren und Strom zu sparen, um die CO<sub>2</sub>-Emissionen einzudämmen.**



Strom versorgen sollen, stammen ebenfalls von Siemens. An einer Schule läuft außerdem derzeit ein Pilotprojekt, in dem Siemens-Technik den Energieverbrauch beobachtet und optimiert. Einen Teilerfolg hat Kopenhagen schon gemeldet: Das Ziel, die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2015 um 20 Prozent zu verringern, wurde bereits 2011 erreicht.

**Mit gutem Beispiel voran.** Ein weiterer Anwärter auf den Titel „erste CO<sub>2</sub>-neutrale Stadt der Welt“ ist Melbourne. Die zweitgrößte Stadt Australiens will dieses Ziel bis 2020 erreichen. Nach eigenen Angaben hat die Stadt selbst allerdings relativ wenig direkte Kontrolle über die Verursacher der Emissionen. Überwiegend entstehen diese durch gewerblich genutzte Gebäude. Deshalb will Melbourne vor allem beraten, Partnerschaften bilden und mit gutem Beispiel vorangehen. Alle Eigenaktivitäten der Stadtverwaltung sollen CO<sub>2</sub>-neutral werden – unter anderem mithilfe eines verbesserten Abfallmanagements und einer umfassenden Sanierung der Gebäude.

Für die Modernisierung gewerblich genutzter Immobilien hat Melbourne das „1200 Buildings Program“ ins Leben gerufen. Für Privatpersonen gibt es Informationen und Beratung darüber, wie sie ihren Wasser- und Energieverbrauch eindämmen sowie Abfall und Recycling besser bewältigen und – als Anreiz – Geld sparen können. Zudem ermuntert die Stadt ihre Bürger, öffentliche Verkehrsmittel oder das Fahrrad zu nutzen, beispielsweise über Leihfahrräder oder den Ausbau des Radwegenetzes. Besonders inspirierend ist dabei, dass Maßnahmen zur Energie- und CO<sub>2</sub>-Einsparung auch die Lebensqualität in den Städten verbessern: Die Wege werden kürzer, die Luft besser und das Gemeinschaftsgefühl größer. Vielleicht ist es deshalb gar nicht so wichtig, wer das Rennen um die erste CO<sub>2</sub>-neutrale Stadt macht: Am Ende sind alle Gewinner. Und Roland Emmereichs Weltuntergangspantastien bleiben Fiktion. ■ Nicole Elflein



**Mpho Franklyn Parks Tau** (41) ist seit Mai 2011 regierender Bürgermeister von Johannesburg, Südafrika. Davor war er in verschiedenen Funktionen im Bürgermeisterrat der Stadt tätig. Er engagierte sich jahrelang für Studentenpolitik und Bürgerbeteiligung und nahm zahlreiche Führungspositionen im Afrikanischen Nationalkongress ein. Er ist in Soweto geboren und aufgewachsen und hat einen Abschluss in Public Management.

### Was ist Ihre Vision einer idealen, lebenswerten Stadt?

**Tau:** Lebenswert heißt für mich, dass die Stadt allen die Möglichkeit bietet, sie zu erleben – ihre kulturellen, sozialen und wirtschaftlichen Vorzüge. Sie muss verkehrstechnisch erschlossen sein, man muss aber auch mit ihr interagieren können. Es ist wichtig, auf die Straße gehen, ein Teil der Stadt werden und mit den Menschen in Kontakt treten zu können.

### Wie nah ist Johannesburg diesem Ideal, und welche Probleme sind am dringlichsten?

**Tau:** Wir sind auf dem richtigen Weg, müssen aber unser wichtigstes Problem angehen:

die öffentliche Sicherheit. Eine Umfrage in Wirtschaftskreisen hat ergeben, dass die Kriminalität derzeit 61 Prozent aller Investitionsentscheidungen beeinflusst. Doch ohne Investitionen gibt es keine Arbeit, und ohne Arbeit keine wirtschaftliche Stabilität. Wir müssen also unbedingt die Kriminalität bekämpfen. Deshalb haben wir jedem der 130 Stadtteile zehn Polizeibeamte zugeordnet, die mit der Bevölkerung Lösungen für die Sicherheitsprobleme vor Ort finden sollen.

## Johannesburg: die Vision einer lebenswerten Stadt

Zudem wird die Polizei eine stadtweite Null-Toleranz-Kampagne zur Durchsetzung von Gesetzen und gegen Verkehrsvergehen starten. Insgesamt wird das einen Lebensraum schaffen, in dem jeder aktiv am Stadtleben teilnehmen kann. Damit fördern wir Investitionen und können Themen wie Armut und Unterentwicklung angehen.

### Wie werden Sie das Problem der informellen Siedlungen angehen?

**Tau:** Der erste Schritt muss sein, die Siedlungen anzuerkennen. Wir müssen akzeptieren, dass viele von ihnen existieren, und diejenigen formalisieren, die sich auf öffentlichem Grund befinden. Die Gemeinden müssen das Land erschließen können. Unser Ziel ist es, dass bis 2014 alle Siedlungen innerhalb des Stadtgebietes legalisiert sind und ihre Infrastruktur für Wasser, Abwasser, Beleuchtung und Verkehr deutlich verbessert wird.

### Welche Nachhaltigkeitsziele haben Sie für Johannesburg, und wie wollen Sie sie erreichen?

**Tau:** In der Gegend um Johannesburg herrscht Wasserknappheit. Der Großteil unserer Wasserversorgung stammt aus unserem Nachbarland Lesotho. Dort wird die entsprechende Infrastruktur gerade weiter ausgebaut. In den nächsten Jahren warten hier große Herausforderungen auf uns. Die Bürger müssen auch aktiv an der Lösung mitwirken. Daher richten wir zum Beispiel jedes Jahr ein Wasser-Festival aus, um das Bewusstsein für Themen rund um Wasser und Abwasser mit Bildungs- und Familienaktivitäten zu schärfen. Für Grundschulen organisieren wir eine Roadshow, die den Kindern die Bedeutung des Wassersparens

vermitteln soll. Ziel muss es sein, die Wasserressourcen nachhaltig zu schonen. Für das Land insgesamt stellt auch die sichere Energieversorgung eine Herausforderung dar. Vor drei oder vier Jahren mussten wir Lastabwürfe vornehmen, also die Stromversorgung geplant unterbrechen, wenn der Verbrauch die verfügbare Strommenge überschritt. Wir brauchen also Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz. Dazu müssen wir unsere Baustandards auf den

neuesten Stand bringen und den Energieverbrauch, den Einsatz erneuerbarer Energien, öffentliche Verkehrsmittel, Abfallrecycling und Regenwassernutzung einbeziehen. Wir arbeiten derzeit mit der South African Property Owners' Association an Sanierungskonzepten für alle großen Immobilieneigentümer in Johannesburg.

### Wie wird die Energieversorgung von Johannesburg zukünftig aussehen?

**Tau:** Zurzeit sind wir sehr stark von Kohle und etwas weniger von Gas abhängig. Was wir aber brauchen, ist ein Gleichgewicht, eine diversifizierte Energieversorgung, die eher auf erneuerbare Energien setzen muss. Das sind private Solaranlagen für Haushalte, aber auch kommerzielle zur Stromspeicherung ins Netz. Wir arbeiten mit der Regierung Südafrikas an Lösungen für Privathaushalte, und es gibt Programme zur Einführung von Solarboilern. Aber auch andere Energiequellen kommen in Betracht. Eines unserer Programme beschäftigt sich mit der Abfackelung von Methan aus unseren Müllhalden, um Treibhausgas-Emissionen zu verringern. In Zukunft wollen wir daraus grüne Energie gewinnen.

### Welche Rolle spielt das Bürgerengagement für die Lebensqualität in Städten?

**Tau:** Eine sehr große, denn so können die Menschen ein aktiver Teil ihrer Stadt werden. Die Beziehung zur Stadt ist dann nicht mehr rein geschäftlich, also nicht: „Ich zahle Steuern und Gebühren für Dienstleistungen an die Verwaltung“. Es geht darum, Bürger zu sein – ein Teil der Stadt und ihres sozialen Gefüges.

■ Das Interview führte Nicole Elflein.



Mehr Kapazität: In Peking nutzen täglich 7,6 Millionen Menschen die U-Bahn. Dank eines neuen Siemens-Systems können dort wesentlich mehr Züge fahren als früher.

# Mehr Platz

## im Flaschenhals

**Siemens revolutioniert die Steuerung von U-Bahnen. Dank eines neuen Systems mit WLAN-Funkkanal können doppelt so viele Züge fahren wie bisher. Das entlastet Verkehr, Umwelt und Finanzen.**

**U-Bahnen** sind die Lieblinge von Stadtplanern: Sie befördern viele Menschen, verbrauchen wenig Platz, entlasten den Straßenverkehr und schonen die Umwelt. Doch U-Bahnen sind auch Sorgenkinder: Ihr Bau ist teuer und dauert Jahre. Gerade dort, wo moderne Verkehrslösungen am dringendsten gebraucht werden, in den schnell expandierenden Megacities Asiens oder Südamerikas, sind Geld und Zeit häufig knapp. Der Bau von U- und S-Bahnen wird dadurch zum Flaschenhals des Transportsystems.

Doch der Bau neuer Linien ist nicht die einzige Möglichkeit, um mehr Menschen zu befördern. Besser gesagt: Es ist nicht mehr die einzige Möglichkeit. Ein neuartiges Steuerungssystem von Siemens mit einem WLAN-

Funkkanal erlaubt es, auf existierenden Strecken doppelt so viele Züge einzusetzen – also in der gleichen Zeit doppelt so viele Passagiere zu transportieren. „Mit herkömmlichen Steuerungen fahren U-Bahnen in Intervallen von etwa drei Minuten, aber mit unserer Technologie lässt sich der Abstand auf 80 Sekunden reduzieren“, sagt Matthias Lampe von Siemens Corporate Technology (CT) in Peking – einem von mehreren Standorten, wo an dem sogenannten „Moving block train control system with WLAN communication channel“ gearbeitet wird. Die chinesische Hauptstadt ist ein Paradebeispiel für Bedarf und Erfolg des innovativen Ansatzes. 7,6 Millionen Passagiere befördert Pekings U-Bahn-Netz jeden Tag, eine Zahl, die in den letzten

Jahren stark gestiegen ist – unter anderem auch dank der Siemens-Steuerung.

„Um zu verstehen, wie wir das geschafft haben, muss man wissen, wie Schienenverkehr traditionell gesteuert wird“, erklärt Lampe. Herkömmlicherweise werden Bahnstrecken in Abschnitte unterteilt, sogenannte Blocks. Sensoren im Gleisbett registrieren, wenn ein Zug in einen Streckenabschnitt einfährt und sperren diesen dann so lange, bis der Zug ihn wieder verlassen hat. „Dieses Prinzip ist fast so alt wie die Eisenbahn selbst“, sagt Lampe. Das verlässliche System hat Züge zum sichersten Beförderungsmittel gemacht. Doch es hat einen großen Nachteil: Da Züge lange Bremswege haben und Sensoren teuer sind, sind die freigehaltenen Streckenstücke lang, bei U-Bahnen typischerweise ein Kilometer. „Das ist so, als ob im Autoverkehr alle Ampeln erst auf Grün schalten würden, wenn die Straße bis zur nächsten Ampel vollständig leer ist“, erklärt der Siemens-Entwickler. Dabei haben auch Autos einen „Block“, der ihnen Sicherheit bietet: den Abstand, den jeder Fahrer zu dem Auto vor ihm hält. „Man könnte sagen, dass jedes Auto seinen Block mitnimmt“, erklärt Lampe.

Kann nicht auch ein Zug seinen eigenen Sicherheitsabstand mitnehmen? Dass ein Zugführer nicht auf Sicht fahren kann, liegt

auf der Hand: Die Abstände sind zu groß und in Tunnels ist es dunkel. Technologisch ließ sich das Problem in der Vergangenheit nicht ohne weiteres lösen: Denn wenn Züge einen „beweglichen Block“ erhalten sollen, muss das Steuersystem die Position aller Züge zu jedem Zeitpunkt genau bestimmen können. Zug und Kontrollzentrum müssen also pausenlos in Kontakt stehen, doch stabile Funkverbindungen sind bei hohen Geschwindigkeiten oder in Tunnelsystemen schwer zu garantieren und zudem ausgesprochen kostspielig.

Doch das Trainguard MT-System und die WLAN-Funktechnologie ermöglichen nun die „Revolution“ des Schienenverkehrs. Dafür installieren die Siemens-Techniker Zugangspunkte entlang der Gleise und Tunnel. Über diese „Access Points“ sind der Zug und das zentrale Kontrollsystem während der Fahrt verbunden. „Die Position des Zuges lässt sich damit auf einem Gleisplan bis auf wenige Zentimeter genau berechnen“, sagt Lampe. Die Ortsdaten werden mit anderen Züge ab-

geglichen, so dass jederzeit der notwendige Sicherheitsabstand gewahrt wird. „Es ist wie im Straßenverkehr“, erklärt der Fachmann. „Wenn ein vorangehender Zug bremst, bremst der folgende, wenn nötig, automatisch auch.“

2008 wurden die ersten U-Bahn-Strecken in Peking und Guangzhou mit Trainguard MT ausgestattet. Seither ist die Nachfrage gewaltig. In den Millionenstädten Chongqing, Nanjing und Suzhou fahren Züge nun ebenfalls mit dem Moving-Block-Verfahren. Weitere Installationen in Qingdao und Xian sind in Vorbereitung. Die U-Bahnen in London, Istanbul, Kopenhagen, Helsinki und Hongkong haben inzwischen ebenfalls aufgerüstet.

**Sender im Härtetest.** „In China ist aus dem Konzept wirklich ein ausgereiftes Produkt geworden“, sagt der in Peking arbeitende Projektmanager Xu Zhongliang von Siemens Rail Automation. Einfach war der Weg dorthin nicht. „Entscheidend ist die Belastbarkeit des Systems“, erklärt Xu. Um Risiken auszuschließen, seien viele Redundanzen eingebaut worden. Das WLAN-System stellt auch sicher, dass im Zug mitgeführte Computer oder Handys das System nicht stören. So werden die Daten nicht nur einfach verschickt, sondern in vielfältigen Datenpaketen auf unterschiedlichen Kanälen. Doch bei den Praxistests ergaben sich auch ganz profane Herausforderungen. Die WLAN-Sender müssen beispielsweise extremen Umweltbedingungen standhalten: Schmutz und Regen, Hitze und Kälte. Auch für die richtigen Abstände zwischen den einzelnen Zugangspunkten gab es vorher keine Erfahrungswerte. Sie wurden in Zusammenarbeit mit Entwicklern von CT China ermittelt. Heute sind sie im Abstand von rund 250 Metern montiert und untereinander sowie mit dem Kontrollzentrum per Glasfaserkabel verbunden.

„Inzwischen laufen die Systeme höchst zuverlässig“, freut sich Xu. Die herkömmliche Steuerung mit festen Blocks und im Gleisbett installierten Sensoren bleibt als Rückfallebene sowie für den Betrieb von Wartungszügen bestehen. Das neue System ist auch für die Modernisierung bestehender U-Bahnen geeignet und bietet eine preiswerte Möglichkeit, um in kurzer Zeit die Kapazität zu erhöhen, den Straßenverkehr zu entlasten und die Umwelt zu schonen. Theoretisch könnten die Züge damit sogar vollautomatisch betrieben werden, auch wenn die meisten U-Bahn-Betreiber nach wie vor auf Zugführer setzen, die den Zugbetrieb überwachen und nur in Gefahrensituationen eingreifen müssen. ■ **Bernhard Bartsch**

# Auf den Punkt

**Mehr Leistung** bei gleichbleibenden oder verringerten Ressourcen – sei es Energie, Material oder Zeit –, also eine höhere Effizienz, ist das Gebot der Stunde, wenn es darum geht, Kosten zu sparen und wettbewerbsfähig zu bleiben. Das gilt für Unternehmen, Energieerzeuger und -verbraucher gleichermaßen. (S.48, 58)

**Technischer Fortschritt** auf vielen Feldern kann dabei helfen, CO<sub>2</sub>-Emissionen einzusparen. Städte weltweit haben das erkannt und suchen nach Wegen, ihren CO<sub>2</sub>-Fußabdruck zu verringern. So wollen beispielsweise Melbourne und Kopenhagen bis zum Jahr 2020 beziehungsweise 2025 sogar CO<sub>2</sub>-neutral werden. (S.71)

**Bei großen Kohle- oder Gaskraftwerken** spart jedes Zehntelprozent Effizienzgewinn bis zu 7.000 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr oder produziert bei gleichem Ressourceneinsatz sieben Gigawattstunden mehr Strom. Entsprechend großes Einsparpotenzial bergen Kraftwerks-Neubauten und Modernisierungen bestehender Anlagen. Beispiele aus Asien zeigen, dass hocheffiziente Gaskraftwerke eine tragende Rolle für nachhaltige Energieversorgung spielen werden. (S.52, 60)

**Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsleitungen** (HGÜ) transportieren den erzeugten Strom verlustarm über weite Strecken. Solche HGÜ gibt es beispielsweise in China, zwischen Spanien und Mallorca oder auch schon in Indien, wo derzeit noch bis zu 60 Prozent des Stroms bei der Übertragung verloren gehen. (S.62)

**Um im härter werdenden Wettbewerb** Kosten zu senken, steht bei der Automobilindustrie zunehmend auch der Energieverbrauch in der Fertigung im Fokus. Die Software „B.Data“ von Siemens erfasst den Verbrauch einzelner Geräte oder Anlagen und bereitet die Daten für weitere Analysen auf. So kann der Energieverbrauch gezielt gesenkt werden. Dafür, dass die Stromversorgung von Industriebetrieben stabil bleibt, sorgt eine weitere Software, die kontinuierlich Erzeugung und Verbrauch misst und, wenn nötig, automatisch einen Teil der Stromverbraucher abschaltet. (S.54, 68)

**Durch einen intelligenten Umgang** mit teuren Rohstoffen lassen sich ebenfalls Kosten sparen. Bereits beim Entwurf neuer Produkte kann der Materialeinsatz optimiert werden, und teure Rohstoffe lassen sich in bestimmten Fällen durch preisgünstigere Materialverbindungen ersetzen. (S.66)

### LEUTE:

#### Arelion:

Dr. Georg Bodammer, Technology Accelerator  
georg.bodammer@siemens.com

#### SIMATIC B.Data / Energiemanagement:

Rudolf Traxler, Siemens Industry  
rudolf.traxler@siemens.com

#### Gaskraftwerke:

Lothar Balling, Siemens Energy  
lothar.balling@siemens.com

#### Kraftwerksmodernisierung:

Dr. Norbert Henkel, Siemens Energy  
henkel.norbert@siemens.com

Steve Welhoelter, Siemens Energy  
steve.welhoelter@siemens.com

#### Lastabwurf:

Michael Eckl, Energy Automation Solutions  
eckl.michael@siemens.com

#### Materialeffizienz:

Michael Händel, Siemens SCM  
michael.haendel@siemens.com

Mark Westermeier, Corporate Technology  
mark.westermeier@siemens.com

Dr. Friedrich Lupp, Corporate Technology  
friedrich.lupp@siemens.com

Dr. Dieter Heinel, Corporate Technology  
heinel.dieter@siemens.com

Rohit Tangri, Siemens PLM Software  
rohit.tangri@siemens.com

#### Package Approach:

Dr. Jan-Marc Lischka, Siemens Energy  
jan-marc.lischka@siemens.com

#### Wind Power Türkei:

Sinan Bubik, Siemens Wind Power Türkei  
sinan.bubik@siemens.com

Judit Szasz, Siemens Wind Power  
judit.szasz@siemens.com

#### WLAN moving bloc system

Matthias Lampe, Corporate Technology  
matthias.lampe@siemens.com

### Extern:

**Arelion:** Dr. Norbert Lebersorger  
norbert.lebersorger@arelion.at

### LINKS:

#### Arelion:

www.arelion.at/de

#### Lösungen für nachhaltige Städte:

www.thecrystal.org

#### Solardecathlon:

www.sdeurope.org/?lang=en

#### Report des Fraunhofer Instituts zu

Energieeffizienzmaßnahmen in der EU:  
www.bmu.de/N49202



**Dr. Andrés Villegas** nimmt seine Digitaluhr ab. Dann den Ehering, den er sorgfältig am selben Clip befestigt, an dem auch sein Dienstaussweis baumelt. Langsam krepelt er die Hemdsärmel nach oben, legt seinen blauen Kittel an. Nur sein Hemdkragen und die graue Krawatte spitzen noch heraus. Villegas streift ein Paar Latexhandschuhe über, dann – sicher ist sicher – ein zweites. Erst jetzt nimmt er den Deckel von dem weißen Plastikbottich, der vor ihm steht und greift hinein, in eine gelbliche Flüssigkeit. Eine Hirnhälfte schwimmt darin. Gehirne sind Villegas Spezialität. Er leitet die sogenannte Biobank der Universidad de Antioquia in Medellín, im Nordwesten Kolumbiens: eine stattliche Sammlung von menschlichen Hirnen, um die 200 Stück. Rund drei Viertel davon hat Villegas persönlich aufgeschnitten und präpariert.

Form von Alzheimer betrifft hingegen vor allem Menschen ab 65. Schuld an dem frühen Ausbruch ist ein einfacher Gendefekt auf Chromosom 14. Über einen Zeitraum von rund 300 Jahren verbreitete sich das fehlerhafte Gen in einer weit verzweigten Familie mit inzwischen rund 5.000 Angehörigen – die Experten sprechen deshalb inzwischen von der „Paisa“-Mutation. Paisas, so heißen in Kolumbien die Bewohner der Gegend um Medellín.

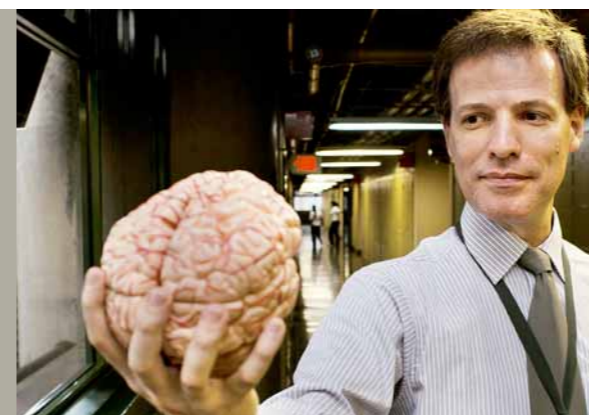
Viele der Patienten lernt Villegas noch zu ihren Lebzeiten kennen. Nach ihrem Tod entnimmt und studiert er ihre Gehirne. „Ein Gehirn verrät viel, aber nicht alles. Für die Forschung ist es der Idealfall, wenn man die Krankheits- und Leidensgeschichte miterlebt hat“, sagt er, während er die Hirnhälfte wieder in die Formalinlösung legt. Wenige

sich als stumpfe Waffen gegen die schreckliche Krankheit erwiesen. Fleisher und seine Mitstreiter vermuten, dass es einfach daran liegen könnte, dass die Medikamente bisher zu spät gegeben wurden. „Man müsste mit der Behandlung beginnen, bevor die Symptome einsetzen“, sagt Fleisher. „Wir konnten zeigen, dass bei Alzheimer Veränderungen im Gehirn einsetzen, lange bevor der Patient geistige Ausfälle zeigt – teils 20 Jahre vorher. Zum Beispiel lagern sich Plaques des Proteins Beta-Amyloid sozusagen als Kruste um Hirnzellen, die dann langsam absterben. Wenn die Patienten schon vergesslich sind, ist das Hirn womöglich bereits irreparabel geschädigt.“ Tatsächlich ist das Gehirn oft schon merklich geschrumpft, wenn der Patient und sein Umfeld erste Vergesslichkeiten bemerken. „Wir halten es für wahrscheinlich, dass wir in unserem Medizinschrank längst

te einnimmt. Ein monströser Plan. Hier kommen die kolumbianischen Patienten aus Antioquia ins Spiel. Da Early Onset Alzheimer's Disease erblich ist, lässt sich nach einem Gentest mit Sicherheit sagen, wer daran erkranken wird. Deshalb sind Patienten mit dieser Sonderform der Demenzerkrankung besonders gut geeignete Teilnehmer für Studien: Die Ärzte können das Medikament gezielt an Personen verabreichen, deren spätere Alzheimer-Erkrankung genetisch programmiert ist. Patienten mit Early Onset Alzheimer's Disease gibt es zwar auch in anderen Teilen der Welt, doch die hohe Fallzahl nahe Medellín trägt zur Verlässlichkeit der Ergebnisse bei. 300 Teilnehmer hat die Studie, alle sind zwischen 30 und 60 Jahre alt, keiner von ihnen hat bisher Symptome. Verbesserte bildgebende Verfahren waren eine weitere Bedingung, um das ausgeklü-

# Das Dorf des Vergessens

In den Bergen Kolumbiens erkranken ungewöhnlich viele junge Menschen an einer erblichen Form von Alzheimer. Ein internationales Forscherteam verabreicht Betroffenen nun ein spezielles Medikament, lange bevor Symptome auftreten. Sollte es anschlagen, wäre dies ein Durchbruch in der Behandlung der Alzheimer-Demenz. Bei der Studie kommen in Kolumbien auch bildgebende Verfahren von Siemens zum Einsatz.



Ein rätselhaftes Organ: In der Nähe von Medellín kommen Alzheimer-Erkrankungen ungewöhnlich häufig vor. Andrés Villegas analysierte unzählige Gehirne auf der Suche nach einer Erklärung.



Die tropfende Hirnhälfte legt er behutsam auf eine Ablage aus Edelstahl. „Das Hirn ist stark geschrumpft“, sagt er, während er es dreht und wendet. „Sehen Sie hier: auffällige tiefe Furchen, wie die Runzeln einer eingetrockneten Weintraube.“ Nach einer kurzen Pause die Diagnose: „Der Patient war erst 56 Jahre alt. Es handelt sich um Early Onset Alzheimer's Disease.“ Nirgends auf der Welt werden so viele Menschen von dieser besonderen Form der Demenz dahingerafft wie im kolumbianischen Bergland, genauer: im Bundesstaat Antioquia.

Die Krankheit ist der typischen Form von Alzheimer sehr ähnlich, mit einem entscheidenden Unterschied: Die ersten Symptome setzen teils schon vor dem vierzigsten Lebensjahr ein: Vergesslichkeit, Orientierungslosigkeit, später Wahnideen. Das Vollstadium ist bei den Betroffenen bereits im Schnitt mit 47 Jahren erreicht – die übliche

Schritte entfernt, in einer großen Tiefkühltruhe, lagert die andere Hälfte, neben hundert anderen. So macht Villegas es mit allen Gehirnen: Eine Hälfte bewahrt er in Formalin auf, die andere im Eis. Schicksale, gefroren bei minus 78 Grad Celsius. Auf ihnen ruht derzeit eine der größten Hoffnungen der weltweiten Alzheimerforschung. Dr. Adam Fleisher vom Banner Alzheimer's Institute in Arizona ist eigens von Phoenix nach Medellín gereist, um für eine ambitionierte Präventions-Studie den Startschuss zu geben; sie ist Teil der sogenannten Alzheimer's Prevention Initiative (API). Das Ziel: „Wir wollen eine präklinische Behandlung für Alzheimer finden“, sagt er. „Also eine Behandlung, die den Ausbruch der Krankheit verhindern oder verzögern kann, oder zumindest das Fortschreiten der Krankheit verlangsamt.“

Die meisten Medikamente, deren Einsatz bei Alzheimer bisher erprobt wurde, haben

die richtige Waffe im Kampf gegen Alzheimer haben“, fügt Fleisher hinzu, „nur setzen wir sie möglicherweise zu spät ein.“ Die Waffe, die bei der Studie in Medellín ausprobiert wird, heißt Crenezumab. Das Medikament soll sich an das Amyloid anlagern und es dem Immunsystem erlauben, das Protein unschädlich zu machen, bevor es Plaques bildet.

**Ein monströser Plan.** Aber wie lässt sich zeigen, ob die Forscher mit ihrer Hypothese richtig liegen? Sollte man etwa Gesunden Crenezumab verabreichen? Nach Jahrzehnten könnte man dann zählen, ob es unter ihnen weniger Alzheimerfälle gibt, als bei einer Kontrollgruppe, die keine Medikamen-

gelte Forschungsdesign möglich zu machen. Mithilfe der modernsten Generation von PET-CTs von Siemens – einer Kombination von Computer- und Positronenemissionstomograph – machte Fleisher erstmals Amyloid-Plaques und ihren fortschreitenden Aufbau bei Alzheimer im Detail sichtbar (*Pictures of the Future*, Herbst 2012, S.92). Fleisher und seine Kollegen hoffen nun, dass sich solche Plaques bei den frühzeitig mit Crenezumab behandelten Patienten in Antioquia gar nicht erst bilden: „Wir haben die Teilnehmer in zwei Gruppen aufgeteilt: Ein Teil erhält das Medikament; ein anderer Teil bekommt ein Placebo. So können wir auch mithilfe wiederholter kognitiver Tests, Untersuchungen der Rückenmarksflüssigkeit und durch MR- und PET-CT-Scans vor Ort in Medellín in den kommenden zwei bis fünf Jahren Schlüsse auf die Wirksamkeit des Medikaments ziehen“, sagt Fleisher. Welche Tragödie die Häufung der Alzhei-

merfälle darstellt, zeigt sich zwei Autostunden nördlich von Medellín, zum Beispiel in den Orten Belmira, Angostura und Yarumal. Hier leben die meisten der Betroffenen, die in ihren besten Jahren von der degenerativen Hirnerkrankung dahingerafft werden. Da es keine Pflegeeinrichtungen gibt, kümmern sich üblicherweise die Familienangehörigen um die Kranken. So wie Maria.

**Gefesselt an einen Stuhl.** Maria ist bereits 83 Jahre alt. Alzheimer hat ihr Leben geprägt, obwohl sie selbst nicht Trägerin der Paisa-Mutation ist. Ihr Mann starb vor über 20 Jahren an Alzheimer und vier ihrer 16 Kinder sind ebenfalls erkrankt. Vor drei Jahren starb ihr Sohn Alejandro. Er war 56 Jahre alt. Die Pflege war so überfordernd, dass er zeitweise an einen Stuhl gefesselt wurde, um ihn davon abzuhalten, umherzuwandern.

Er selbst lebte als Kind in Yarumal. Anfang der 1980er-Jahre wurde er auf die seltsame Häufung von Demenzerkrankungen aufmerksam. „Das war ein Rätsel, das ich lösen wollte“, erinnert er sich. Mit Lucia Madrigal, Claudias Tante und damals Krankenschwester, zog er von Haus zu Haus. Er fragte nach Blutproben von Kranken, er besuchte Totenwachen und bat darum, die Gehirne der Toten untersuchen zu dürfen. All das zu einer Zeit, als gewalttätige Drogenbanden die Region fest im Griff hatten. Ihm ist es zu verdanken, dass das Leiden der Bewohner von Yarumal erstmals als erbliche Sonderform von Alzheimer diagnostiziert wurde.

Fortschritte in der Behandlung von Alzheimer werden nicht nur in Kolumbien herbeigesehnt. Die Zahl der Alzheimerkranken wird in den kommenden Jahrzehnten welt-

und ihre Familien wäre das eine erhebliche Entlastung, sondern auch für die Gesundheitssysteme. Denn die angemessene Betreuung und Pflege von Kranken ist teuer. Im Jahr 2010 beliefen sich die Kosten aufgrund von Demenzerkrankungen weltweit schätzungsweise auf mehr als 600 Milliarden US Dollar – etwa ein Prozent des weltweiten Bruttoinlandsprodukts.

**Halbierte Gehirne.** Madelyn Gutierrez kennt diese Zahlen in und auswendig. Sie sitzt in ihrem fensterlosen Büro, nicht weit von der Biobank mit den halbierten Gehirnen, in Medellín. Die Klimaanlage rattert leise, an der Rezeption melden sich schon Patienten für die Studie, die in Kürze beginnt. Die junge Psychologin koordiniert die Studie vor Ort und kümmert sich um die Einhaltung der Standards für klinische Studien.

Ursache ist, dann müssten Medikamente, die solche Ablagerungen verhindern, auch die Krankheit aufhalten. Falls die Plaques nur eine Nebenfolge sind, dann wären die Medikamente vermutlich wirkungslos, selbst wenn man sie sehr früh verabreicht. Bisher ist das eine Glaubensfrage, wir wollen mit der Studie endlich Klarheit schaffen.“

Es gibt auch Zweifler: Sie vermuten, dass Amyloid unerheblich und eigentlich das sogenannte Tau-Protein verantwortlich sei. Denn Veränderungen anderer Biomarker, wie eben Tau, lassen sich bei Alzheimer-

Krankenhaus gilt als eines der besten Kolumbiens und ist auf die vielen Teilnehmer der Alzheimer-Studie gut vorbereitet. Dr. Héctor Zuluaga zeigt den Siemens-Magnetresonanztomographen, der die Schrumpfung des Hirns bei Demenzpatienten sichtbar machen kann und das Siemens PET-CT, das erst kürzlich angeschafft wurde und die Amyloid-Plaques sichtbar machen kann. Die für den Betrieb nötigen radioaktiven Isotope werden derzeit noch aus der kolumbianischen Hauptstadt Bogotá eingeflogen. Doch schon bald wird in Medellín ein Teilchenbeschleuniger von Siemens seinen Betrieb auf-

enten. Die klinische Studie, die nun beginnt, hat ein Budget von mehr als 100 Millionen US-Dollar. Loperas Haar ist inzwischen weiß, doch er strotzt vor Tatkraft und Optimismus: „Wir glauben an die Amyloid-Hypothese. Falls sie sich als richtig erweist, wird die Studie ein durchschlagender Erfolg, denn wir kommen einer wirksamen Behandlung von Alzheimer näher.“ Und falls sich die Hypothese nicht bestätigen lässt? „Auch dann ist die Studie ein Erfolg: Wir wüssten immerhin, dass wir in der Alzheimerforschung ganz von vorne anfangen müssten.“

Im allerbesten Fall gäbe es vielleicht in ein paar Jahren zum ersten Mal ein Medikament, das Alzheimer aufhalten könnte. Diese rätselhafte Krankheit, die eines der rätselhaftesten Organe des menschlichen Körpers befällt. „Als Kind haben mich UFOs

*„Als mir jemand sagte, dass es UFOs nur im Kopf gäbe, wurde ich stattdessen Arzt. Ich schaute dann eben in die Köpfe hinein.“*



„Kein Einzelfall“, erklärt Claudia Madrigal. Sie arbeitet als Psychologin im Krankenhaus von Yarumal, einem schlichten Bau mit vergitterten Fenstern. Ein paar Pferde sind am Eingang angebunden, ein Plakat wirbt für die Selbsthilfegruppe „Anonyme Alkoholiker“. „Vor dreißig Jahren wusste keiner, was hier passiert“, erzählt sie. „Die Menschen hatten sich daran gewöhnt, dass Verwandte mittleren Alters erst vergesslich wurden, später aggressiv, und schließlich dahinsiechten. Viele glaubten damals, die Seele würde auf magische Weise verloren gehen. Die Kranken wurden weggesperrt, das Essen unter der Tür durchgeschoben. Einer Autopsie stimmten die Familien damals in den seltensten Fällen zu“, erinnert sich Madrigal. „Doch über die letzten 20 Jahre hat sich die Einstellung verändert.“ Und das ist vor allem Dr. Francisco Loperas Verdienst. Lopera arbeitet an der Abteilung für Neurowissenschaften der Universidad de Antioquia.

Alzheimer behandeln, bevor die Krankheit ausbricht: Héctor Zuluaga vom Hospital PTU (links), Francisco Lopera und Lucía Madrigal von der Universidad de Antioquia (Mitte) geben gemeinsam mit Adam Fleisher und Eric Reiman vom Banner Alzheimer's Institute Anlass zur Hoffnung – am PTU und im Dorf Yarumal (rechts).

weit drastisch zunehmen. Das hat vor allem mit der steigenden Lebenserwartung zu tun. Denn anders als die Sonderform Early Onset Alzheimer's Disease treten weltweit über 95 Prozent der Alzheimerfälle als typische Altersdemenz auf; für den Einzelnen verdoppelt sich die Wahrscheinlichkeit zu erkranken ab dem 65. Lebensjahr alle fünf Jahre. „Liebe sich der durchschnittliche Beginn der Alzheimererkrankung um fünf Jahre hinauszögern, würde das die absoluten Fallzahlen um 50 Prozent senken“, erklärt Lopera. Nicht nur für viele Betroffene

Die 300 Teilnehmer werden unter anderem Tests machen, die ihre kognitiven Fähigkeiten prüfen, und ihre Gehirne werden im Krankenhaus Pablo Tobón Uribe im Lauf der nächsten Jahre regelmäßig mit den PET-CT-Scannern von Siemens untersucht.

Gutierrez sorgt dafür, dass die Patienten von ihren Dörfern nach Medellín pünktlich zu den Untersuchungen kommen. „Wir müssen allerhöchsten Standards genügen, die an klinische Studien gestellt werden, auch ethischen. Ich bin diejenige, die alle ermahnt, es mit der Dokumentation ganz genau zu nehmen. Alles was wir tun, muss nachvollziehbar sein.“ Scheinbar kleine methodische Mängel könnten am Ende das Ergebnis der aufwändigen Studie insgesamt in Zweifel ziehen. „Die große Frage ist doch die“, sagt Gutierrez: „Ist das Beta-Amyloid in den Gehirnen der Kranken die Ursache oder nur eine Nebenfolge der Krankheit? Wenn es die

kranken beobachten – wengleich dies die Amyloid-Hypothese längst nicht widerlegt. „Eines der Ziele der Studie ist es, die Amyloid-Hypothese so gut wie eben möglich zu testen – und zwar besser, als es mit Patienten durchführbar ist, die bereits Alzheimer-symptome zeigen“, sagt Dr. Eric Reiman, Direktor des Banner Alzheimer's Institut. Für eine erste, kleinere Studie flogen sie ein paar Dutzend Patienten von Kolumbien nach Phoenix, Arizona, und brachten sie in ihr Institut, unter anderem um mit PET-CTs von Siemens nach Amyloid-Plaques zu suchen. Damals konnte man die komplexen Untersuchungen noch nicht in Medellín durchführen.

**Ein Teilchenbeschleuniger für Medellín.** Bei der neuen, umfangreicheren Studie müssen die Patienten nicht mehr in die USA fliegen, denn inzwischen gibt es die komplexen bildgebenden Verfahren auch in Medellín, am Hospital Pablo Tobón Uribe. Das

nehmen und das Krankenhaus lokal mit Isotopen versorgen. „Für die Radiologie wollten wir eine exzellente Ausstattung zu einem guten Preis und beides bekommen wir von Siemens“, sagt Zuluaga. „Wir fragen regelmäßig auch unsere Patienten, was sie von der technischen Ausstattung des Krankenhauses halten: Wir bekommen da eine Durchschnittsnote von 4,99 – bei einer Maximalbewertung von 5.“

Jahrzehntelang hatte Lopera mühselig Daten aufbereitet, sie zeitweise unter Lebensgefahr in den kolumbianischen Bergen gesammelt, und all das weitgehend unbemerkt vom internationalen Forschungsbetrieb. Sein erstes Forschungsprojekt im Zusammenhang mit der mysteriösen Krankheit hatte ein Budget von 500 US-Dollar. Vor wenigen Jahren brach dann der Sturm los: Alzheimerforscher aus der ganzen Welt interessierten sich auf einmal für Loperas Pati-

sehr interessiert und ich wollte Astronom oder Astronaut werden“, erinnert sich Lopera. „Als mir jemand sagte, dass es UFOs nur im Kopf gebe, wurde ich stattdessen Arzt. Ich schaute dann eben in die Köpfe.“

In seinem kleinen Labor macht Villegas inzwischen wieder klar Schiff. Hygiene ist alles. Die Gewebeproben könnten ja beispielsweise mit hochinfektiösen Prionen verseucht sein. Den Bottich mit der von Alzheimer entstellten Hirnhälfte hat er wieder fest verschlossen. Der Geruch von Formalin liegt noch immer in der Luft. „Manche sehen in einem Gehirn nur eine Masse mit Falten“, sagt er. „Ich sehe unter dem Mikroskop komplexe Strukturen und fantastische Landschaften.“ Nach einer kurzen Pause fügt er hinzu: „Gehirne sind etwas Wunder-schönes.“

■ **Andreas Kleinschmidt**  
Namen der Patienten geändert



# Highlights

## 82 Der Motor kommt auf Touren

In den letzten 40 Jahren hat sich der Markt für Mobilität vervierfacht. Und bis 2050 soll es mehr als doppelt so viele Autos auf der Welt geben wie noch im Jahr 2010. Wissenschaftler arbeiten daher an Lösungen, das Mehr an Mobilität möglichst nachhaltig zu gestalten. Seiten 82, 92, 108

## 94 Die „alte Dame“ steht im Stau

In Istanbul sind heute drei Millionen Autos unterwegs. Und jeden Tag kommen 600 neue Fahrzeuge hinzu. Dem großen Verkehrschaos will die Metropole am Bosphorus mit gewaltigen Lösungen begegnen – etwa mit der viertlängsten Hängebrücke der Welt, mehreren Hundert Kilometern Schienennetzen oder zwei gigantischen Tunneln, die Asien mit Europa verbinden sollen. Seite 94

## 104 Der perfekte Beifahrer

In Wien wagen seit Februar 2013 mehrere Testfahrer den Ritt auf der grünen Welle – das funktioniert dank einer Vielzahl an Sensoren, die versteckt im Straßenbelag mit der Verkehrsleitzentrale und den Autos kommunizieren. Seite 104

## 110 Schwimmende Stromer

Im Jahr 2015 soll die erste elektrisch angetriebene Fähre ihre Bahnen durch Norwegens Fjorde ziehen. Dank des grünen Strommixes in Skandinavien stößt sie keinerlei CO<sub>2</sub> aus. Seite 110

**2050** Fix und fertig: Meisterkoch Shis Restaurant ist über die Grenzen der Megacity bekannt. Die Zutaten für seine Gerichte erntet er selbst: Sie wachsen in vertikalen Gärten im gleichen Gebäude. Selbst spontane, ausgefallene Wünsche eines Gouverneurs versucht Shi zu erfüllen – auch wenn Fugus nicht in den gekühlten Packstationen im Erdgeschoss vorrätig sind. Der seltene Fisch lässt sich jedoch fix über das Logistiknetzwerk der Stadt bestellen. Doch das kostet Zeit – ein kurioser Wettlauf beginnt.



# Wettlauf mit der Zeit

Mobilität von morgen | Szenario 2050 China 2050: Das Restaurant im Tiger Tower zählt zu den besten Adressen der Stadt: Alle Produkte werden selbst angebaut, in vertikalen Plantagen des Wolkenkratzers. Selbst ausgefallene Menüwünsche sind möglich – dank einer ausgeklügelten Logistik.

**Mühevoll** bahnt sich Shi seinen Weg durch die dichte Vegetation. Es ist schwülwarm und an seinen Gummistiefeln klebt lehmige Erde. In der rechten Hand trägt er einen Weidenkorb, in dem verschiedene Kräuter und Früchte liegen. Mit der linken schlägt er sich heftig in den verschwitzten Nacken und fördert einen blutigen Mosquito hervor. Miss-

billigend begutachtet Shi das Insekt. Seitdem er den Pfad verlassen hat, ist ihm auch die Orientierung abhanden gekommen – dabei wollte er doch nur etwas Koriander suchen. „Li, wie sind diese Blutsauger hier hereingekommen?“, bellt Shi in seinen Kommunikator, den er wie eine flache, transparente Uhr am Handgelenk trägt. „Ich dulde

kein Ungeziefer in meinen Gärten – besonders nicht im 30. Stock.“

Shi seufzt. Vor ihm erhebt sich dichtes Bambusgestrüpp, undurchdringlich wie eine grüne Mauer. Ein Huhn pickt an seinen Stiefeln, legt den Kopf schief und blickt ihn vorwurfsvoll an. Dann eben keinen frischen Koriander, denkt sich der Meisterkoch. Viel-

leicht hat sein Assistent Li noch ein paar Bündel übrig, in der Küche ein Stockwerk tiefer. Eigentlich ärgerlich, denn Shis Restaurant im neuen „Tiger Tower“ hat einen Ruf zu verlieren – keine Küche in der Millionenstadt hat so frische Produkte zu bieten, kein Lokal hat Zutaten mit so kurzen Transportwegen im Angebot.

Das Gemüse, die exotischen Früchte und Kräuter, die Shi so trefflich zu verwerten weiß, wachsen nur wenige Meter über den Köpfen seiner Gäste – in vertikalen, naturbelassenen Plantagen, die sich über mehrere Stockwerke hinziehen und ganze Häuserblocks mit Nahrungsmitteln versorgen. Ab und zu landet auf den Tellern auch eigenes Bio-Geflügel, das in den Gärten umherstreunt, doch den Großteil der tierischen Produkte bezieht Shi aus gekühlten Packstationen am Fuße des Tiger Towers. Jeden Tag beliefern kleine Elektrolaster nach einem ausgeklügelten Logistik-System die Reservoirs in den Wolkenkratzern. Die Kunden – darunter auch Shis Restaurant – müssen die bestellten Lebensmittel einfach nur im Erdgeschoss abholen.

Shi versucht das Huhn zu verscheuchen. Er stolpert über eine Ananas und landet in einem Bohnenbeet. Rechts daneben wächst der blühende Koriander. Er grinst und tippt auf seinen Kommunikator. „Alles gefunden, Li. Ich komme jetzt wieder runter.“ Der Meisterkoch sammelt seine Ernte zusammen und stapft zur Schleuse am anderen Ende der verglasten Halle.

Mit einem leisen Zischen öffnet sich die Aufzugstür: Dezentale Musik schlägt Shi entgegen und vermischt sich mit dem gedämpften Brutzeln aus seiner offenen Küche. Der Duft von Obstbäumen aus mehreren hängenden Gärten steigt ihm in die Nase, darunter reihen sich gedeckte Tische auf langen Mahagonidielen. In den Panoramafenstern spiegelt sich die untergehende Sonne und taucht die Türme der Megacity in ein rotes Licht.

„Shi, wir haben ein Problem“. Li, der Assistent, eilt hektisch dem Küchenchef entgegen und hält ihm einen hauchdünnen Tablet-PC vor die Nase. „Der Gouverneur hat sich spontan zum Dinner angekündigt. Wir haben eigentlich keine Tische mehr, aber ich habe die beiden Amerikaner einfach unter den Rosenbusch gesetzt. Da piekst es zwar etwas, aber das ist schon ok.“ Li holt ein weißes Taschentuch hervor und tupft sich die Stirn ab. „Schlimm ist nur, dass der Herr Gouverneur ein besonderes Menü wünscht: Sushi vom Fugu, dazu unsere spezielle Hühnersuppe.“ Shi tippt auf dem Tablet. „Im Kühlreservoir im Erdgeschoss lagert kein Bio-Suppenhuhn mehr. Schick die Küchenhilfe sofort nach

oben in die Plantage. Hinten, beim Bambus muss noch eine Henne rumlaufen – mit der hab ich eh noch eine Rechnung offen.“ Shi runzelt die Stirn. Fugu ist eine heikle Spezialität, die sein Lokal eigentlich nicht führt. Der Gifffisch ist extrem schwer zu verarbeiten – und auch wenn Shi als lizenzierter Sushi-Meister das Tier zerlegen kann, ohne seine Gäste zu gefährden, muss die Ware doch erst bestellt und zubereitet werden. Dafür bleiben ihm gerade einmal 1,5 Stunden, bis sein Gast erscheint – ein buchstäblich gewichtiger Mann, dem man nichts abschlagen sollte.

Shi loggt sich über sein Tablet in die City Logistic Platform ein. Damit lassen sich Produkte aller Art bestellen, die in mehreren, in der Stadt verteilten Warenzentren lagern. Das System informiert dabei nicht nur, ob und wann das Produkt verfügbar ist, sondern gibt auch in Echtzeit Auskunft über den Lieferstatus und aktuellen Standort der Ware – denn alle Produkte sind mit Funkchips versehen und untereinander vernetzt.

„Den Fugu gibts nicht im Warenzentrum unseres Bezirks“, erklärt Shi. „Ein paar schwimmen aber am anderen Ende der Stadt in ihren Bassins.“ Shi gibt ein paar Sprachbefehle und blickt wieder auf sein Tablet. „Das wird zu knapp. Der Fisch wird zunächst per Fracht-Container mit der U-Bahn transportiert. Von der nächsten Metro-Station soll es dann per Elektro-Laster weitergehen, doch der fährt erst wieder in einer Stunde.“ Lis Augen leuchten. „Ich habe eine Idee“, sagt er. „Wir machen es auf die alte Tour – Ich hole den Fugu von der U-Bahn-Station mit meinem Auto ab. Mit der neuen Verkehrssteuerung bin ich eh viel fixer als früher.“

Während Li mit seinem roten Stromer zur Warenausgabe flitzt, hat sich Shi in seine Küche zurückgezogen. Eine holographische Projektion informiert ihn über den Lieferstatus. Die Küchenhilfe erscheint mit einem gerupften Huhn in der Hand. „Wir kennen uns doch“, grinst Shi und wirft die Henne in einen Topf. Noch eine halbe Stunde, bis der hohe Gast eintrifft. Shi blickt auf das Hologramm: Li hat den Fugu bereits an der Packstation der Metro abgeholt und rast zurück. Dabei surft er dank einer ausgeklügelten Telematik auf der „grünen Welle“. Kostet zwar was, das ist es aber wert. Laut System müsste er in zehn Minuten eintreffen. Shi atmet tief durch. Kurze Zeit später stürzt Li in die Küche, unter seinem Arm klemmt ein kleiner weißer Container. Der Küchenchef reißt ihm das Paket aus den Händen und öffnet es vorsichtig. Li lächelt stolz. Und von hinten ruft der Oberkellner: „Der Gouverneur ist gerade eingetroffen.“

■ Florian Martini

Die Welt wächst zusammen, die Menschheit wird immer mobiler. Um das Mehr an Mobilität möglichst nachhaltig zu gestalten, arbeiten Wissenschaftler an Lösungen, das Reisen von Gütern und Menschen effizienter zu machen.

## Wandern



**Schnurgerade** zieht sie sich durch den dichten Fichtenwald, mal leicht ansteigend, mal in einer weiten Kurve abfallend in einen tiefen Hohlweg. Ihr akkurates Pflaster könnte erst gestern verlegt worden sein, nur etwas Unkraut zwischen den Fugen stört das Bild. Doch es ist ruhig, zu ruhig für eine der einstmals belebtesten Straßen Europas. Fast lässt sich noch das Trappeln Hunderter sandalenbewehrter Füße auf dem blanken Stein erlauschen, und mit einem genauen Blick erkennt der Beobachter die Abdrücke großer Räder, die unzählige Ochsenkarren hinterlassen haben. Das letzte größere Verkehrsaufkommen hatte die Via Raetia allerdings vor über 1.500 Jahren erlebt. Damals nutzten Roms Legionäre die rund 400 Kilometer lange Straße auf ihrem Weg über die Alpen – von



Fundament des Erfolgs: Verkehr verbindet seit der Antike Völker und Menschen – etwa über Römerstraßen wie der Via Raetia.

## zwischen den Welten

Oberitalien über den Brenner bis zum heutigen Augsburg. Den Heeren folgten Händler, exotische Waren und die Kulturgüter des römischen Imperiums. Dabei war die Via Raetia nur eine von vielen Magistralen in dem rund 80.000 Kilometer langen römischen Straßennetz. Das verzweigte System war der Grundstein von Roms Macht und Erfolg. Es war aber auch die Basis von Wohlstand und Zivilisation, weit über die Grenzen Europas hinaus. Denn die ausgeklügelten Verkehrswege ermöglichten vor allem eines: bisher unerreichte Mobilität, von Menschen, Waren und Wissen.

Heute ist das einstige Weltreich längst im Dunkel der Geschichte verschwunden, sein Straßennetz jedoch hat die Zeiten überdauert: Die römischen Baumeister hatten die Trassen so gut geplant, dass selbst einige Autobahnen noch immer dem Verlauf ihrer antiken Pendanten folgen. Überlebt hat auch das Prinzip, mithilfe von Mobilität Völker und Kontinente zu verbinden. Es ist neben den weltweiten Finanz- und Datenströmen zum Motor der Globalisierung geworden.

Dieser Motor kommt immer mehr auf Touren, denn das Wachstum der Weltbevölkerung und des Wohlstands befeuert den Bedarf an Mobilität. So hat sich laut einer Studie von McKinsey der globale Markt für Mobilität in den letzten 40 Jahren vervierfacht.

Allein 2010 wurden weltweit 6,4 Billionen Euro für den Transport von Menschen und Waren ausgegeben – rund 1000 Euro pro Mensch. Und bis 2050 erwartet der World Energy Council (WEC) zwischen zwei- und dreimal so viele Autos auf der Welt wie noch im Jahr 2010. Auch der globale CO<sub>2</sub>-Ausstoß des Transportsektors soll dann um rund 80 Prozent gegenüber heute steigen – falls es keinen deutlichen technologischen Fortschritt gibt und die Behörden nicht regulierend eingreifen. Damit die Welt möglichst nachhaltig zusammenwachsen kann, ist daher eine Kombination von beidem notwendig, glauben die WEC-Experten. Holger Dalkmann vom World Resources Institute in Washington D.C. sieht den Schlüssel zu einer nachhaltigen Mobilität vor allem in einer intelligenten Raumplanung (S.100). „Wir müssen in den Kategorien Zugänglichkeit und räumliche Nähe denken“, sagt er. „Menschen wollen ihr Ziel einfach erreichen, sie wollen keine Zeit mit langen Wegen verschwenden. Wir müssen unsere Städte daher anders gestalten, damit wir sie zu Fuß, per Rad oder mit öffentlichen Verkehrsmitteln erobern können.“

**Ticket für Alles.** An einem ähnlichen Ansatz basteln auch Wissenschaftler vom Siemens-Sektor Infrastructure and Cities. Geht

es nach den Experten, könnten Fahrgäste künftig mit einem einzigen elektronischen Ticket den ganzen Großstadtdschungel erschließen – das soll den Öffentlichen Nahverkehr attraktiver und effizienter machen (S.102). Die Fahrkarte ist dabei eine kleine Plastikkarte im Scheckkartenformat, die mit einem RFID-Chip ausgestattet ist. Die Idee: Das Ticket gilt für verschiedene Verkehrsmittel, -Unternehmen und Tarifverbände gleichermaßen und berechnet automatisch die richtige Fahrkarte. Beim Ein- und Aussteigen passieren die Reisenden ein spezielles Lesegerät. Der RFID-Chip identifiziert daraufhin den Standort der Fahrgäste und registriert so die einzelnen Fahrten. Künftig könnte damit auch an Parkplätzen, Mietwagen- oder Bike-Sharing-Stationen gezahlt werden.

Der schnelle Weg durch die Stadt ist auch Ziel des Forschungsprojekts „Testfeld Telematik“, an dem Siemens beteiligt ist. In Wien haben die Wissenschaftler eine rund 45 Kilometer lange Teststrecke mit einer Vielzahl von Sensoren ausgestattet (S.104). Die digitalen Späher sitzen im Asphalt oder auf Ampeln und überwachen kontinuierlich die Verkehrslage. Der Clou: Die kleinen Helfer übermitteln ihre Informationen automatisch an eine Leitzentrale, die sie wiederum an verschiedene Testautos weiterleitet. In den Fahr-

zeugen ist eine Art Navigationsgerät angebracht, das alle Daten sammelt und visualisiert. Nähert sich das Auto nun etwa einer Ampel, rückt plötzlich ein digitaler Tacho ins Bild, und eine Frauenstimme kommentiert: „Grüne Welle bei 50 km/h“ oder „Rote Ampel schaltet gleich um“. Passt der Fahrer seinen Fahrstil entsprechend an, kann er entspannt auf der „grünen Welle surfen“ und kommt viel fixer ans Ziel. Im „Testfeld Telematik“ wollen die Wissenschaftler zudem untersuchen, wie sich der Verkehr sicherer und umweltfreundlicher machen lässt. In Zukunft schwebt den Forschern ein „Internet der Autos“ vor, bei dem Sensoren, Fahrzeuge und Leitzentrale in

geliefert werden (S.86). Damit könne man „zwei Fliegen mit einer Klappe“ schlagen, glauben die Siemens-Experten. Zum einen wären die Lieferwagen und Lkw besser ausgelastet, zum anderen würde dadurch das Verkehrsaufkommen geringer – ohne neue Straßen bauen zu müssen.

Auch über den Transport der Waren haben die Logistik-Experten gegrübelt. Ein Konzept sieht beispielsweise vor, Güter mit der U-Bahn zu transportieren. In Zukunft wären selbst gekühlte Packstationen an den Straßenecken und in großen Apartmenthäusern denkbar – dort könnten die Bewohner etwa ihre Lebensmittel abholen.

**Allein im Jahr 2010 wurden weltweit 6,4 Billionen Euro für den Transport von Menschen und Waren ausgegeben – fast 1000 Euro pro Erdenbewohner.**



Warenströme: Bis 2020 wird allein der Schiffsverkehr um 60 Prozent wachsen. Auch die Reisen von Waren und Menschen müssen effizienter werden.



Echtzeit kommunizieren. Das würde die Verkehrsinformationen nochmals verbessern, denn je mehr Autos und Sensoren miteinander plauschen, desto genauer die Daten.

**Warentransport per U-Bahn.** Nicht nur der Autoverkehr, sondern auch Warenströme sollen künftig effizienter und schneller fließen. Wie das funktionieren könnte, haben Siemens und das Logistikunternehmen DHL für die chinesische Sechsmillionen-Metropole Ningbo untersucht. Die Küstenstadt wächst rasant und ist von Verkehrsstaue geplagt – die Durchschnittsgeschwindigkeit im Zentrum liegt bereits heute unter 20 Kilometern pro Stunde, was auch am zunehmenden Lieferverkehr liegt. Das Konzept sieht sogenannte „Urban Consolidation Center“ vor, zentrale Lagerhäuser, in denen die Warenströme für alle Einzelhändler einer Stadt gesammelt und dann nach Stadtvierteln oder Straßen sortiert gebündelt aus-

Bis die Waren eine Großstadt wie Ningbo erreichen, haben sie in der Regel eine lange Reise hinter sich – auch und immer häufiger auf dem Seeweg, in den Containern riesiger Frachtschiffe. So wird bis 2020 der Schiffsverkehr um 60 Prozent wachsen, schätzt die International Maritime Organisation. Zugleich könnte auch der CO<sub>2</sub>-Ausstoß um bis zu 72 Prozent zunehmen. Damit das Mehr an Mobilität Umwelt und Klima nicht übermäßig belastet, arbeiten Wissenschaftler an Technologien, mit denen sich der Schiffsverkehr in effizientere Bahnen lenken lässt.

Die gigantischen Frachter der neuen „Triple-E“-Klasse, die die dänische Reederei Maersk und der Schiffbauer Daewoo ins Rennen schicken wollen, werden beispielsweise mit einem besonders effizienten Antriebssystem ausgestattet sein (S.112). Wichtige Komponenten davon stammen von Siemens, unter anderem ein ausgeklügeltes System, das die heißen Abgase der Maschinen nicht

verschwendet, sondern in elektrische Energie umwandelt. Mit diesen „Effizienz-Maschinen“ würde der Kraftstoffverbrauch um über 12 Prozent sinken, so die Siemens-Experten. Pro geladenem Container soll dann der CO<sub>2</sub>-Ausstoß der Superfrachter 50 Prozent unter dem Branchendurchschnitt auf der Route zwischen Asien und Europa liegen.

Nachhaltige Seefahrt ist auch ein Thema, das Siemens-Ingenieure in Norwegen beschäftigt. Zusammen mit der Werft Fjellstrand haben sie die Technologie für die erste rein elektrisch angetriebene Autofähre der Welt entwickelt. Das 80 Meter lange Elektro-schiff soll 2015 zwischen den Dörfern Lavik und Oppedal im Sognefjord pendeln und wird dabei keinerlei Ruß und Kohlendioxid ausstoßen – auch dank des grünen Strommixes in Norwegen (S.110).

Bei jedem Stopp soll der schwimmende Stromer seine Akkus aufladen. Damit das



schwache Stromnetz in den Fjordgemeinden dabei nicht kollabiert, werden die Ingenieure je eine große Lithium-Ionen-Batterie in den beiden Häfen installieren, die als Puffer dient.

Mit ähnlich findigen und buchstäblich nachhaltigen Lösungen haben auch die Römer vor über 2000 Jahren ihr Verkehrsnetz ausgebaut. Zunächst grobes Geröll, danach genau austarierte Mengen an Kies und Sand und letztlich eine feste Decke aus Pflastersteinen machten Straßen wie die Via Raetia enorm widerstandsfähig. Die Globalisierung in Form eines stetig wachsenden Alpentransits spielt sich zwar mittlerweile auf der Brennerautobahn ab, doch auch der einsame Weg im Wald bekommt ab und an noch Besuch. Und ist man ruhig und lauscht, hört man sie wieder, die längst vergessen geglaubten Geräusche: Das Trappeln von schweren Stiefeln, scheuernde Rucksäcke und keuchendem Atem – unterbrochen nur mitunter vom Auslöser einer Kamera. ■ Florian Martini



# Zeitreise durch den Untergrund

Vor 150 Jahren ging in London die erste U-Bahn der Welt in Betrieb. Heute transportiert die „Tube“ 1,2 Milliarden Menschen jährlich – und platzt aus allen Nähten. Siemens-Technologie schafft Abhilfe.

**Acht Bahnsteige**, 470 Kameras, Dutzende Rolltreppen und täglich 200.000 Menschen, die sich zu ihren Zügen schieben: Der Londoner U-Bahnhof King's Cross St. Pancras ist einer der meistgenutzten in Europa, und Emlyn Ragbirsingh muss im unterirdischen Kontrollraum heute dafür sorgen, dass alles rund läuft. Mit einer IT-Lösung von Siemens kann er auf den Monitoren per Mausclick jeden Winkel der Station ansteuern, Grundrisse einsehen und Bilder von Überwachungskameras aufrufen. Ein bisschen wie in einem Computerspiel. Doch das hier ist die Realität. Gerade meldet ein Kollege per Funk, dass eine junge Frau gestürzt ist. Ragbirsingh schickt sofort jemanden los, um ihr auf die Beine zu helfen. Dann fällt eine Rolltreppe aus, und schon sind die Servicetechniker unterwegs. „Wenn ich morgens zur Arbeit komme, weiß ich nie, was mich erwartet“, so Ragbirsingh. „Manchmal ist in den ersten sieben Stunden der Schicht fast nichts zu tun – und in den letzten 15 Minuten kommt dann auf einmal eine ganze U-Bahn-Linie zum Stillstand.“

Die Tube, wie die Londoner ihre U-Bahn nennen, platzt auch ohne Betriebsstörung aus allen Nähten. 2012 transportierte sie rund 1,2 Milliarden Menschen. Wer hätte das im Jahr 1863 gedacht? Damals nahm in London die

erste U-Bahn-Linie der Welt ihren Betrieb auf und schnaubte mit Dampflokomotiven durch den Untergrund. In den Jahrzehnten nach der Eröffnung wurde das Netz erheblich erweitert, es ist heute nach Shanghai eines der längsten der Welt. Und natürlich wurde es etappenweise modernisiert. Ende des 19. Jahrhunderts nahmen die ersten elektrischen Züge den Betrieb auf. Die City and South London Railway bestellte 1891 für die Strecke zwischen King William Street und Stockwell zwei E-Loks bei Siemens Brothers.

In modernere Fahrzeuge wurden vor wenigen Jahren Fahrgestelle von Siemens eingebaut. Doch trotz aller Modernisierung: In ihrem Kern ist die Tube eine Errungenschaft des viktorianischen Zeitalters, ein Labyrinth mit schmalen Korridoren und engen Kurven. An der Station Edgware Road sind heute noch Signalanlagen aus dem Jahr 1926 im Einsatz. Ein Problem ist die Vielfalt unterschiedlicher Überwachungs- und Steuerungssysteme, die im Lauf der Zeit eingebaut wurden und nun integriert werden müssen.

So hat Siemens die Überwachungs- und Steuerungssysteme für die gesamte Victoria Line in einem einzigen Kontrollzentrum integriert. Die IT-Lösung in King's Cross St. Pancras macht Ragbirsinghs Alltag leichter: 13



150 Jahre alt und kein bisschen aus der Mode: Die Londoner U-Bahn wird ständig verbessert.

verschiedene Überwachungs- und Steuerungssysteme wurden in einer einfachen Bedienoberfläche zusammengeführt: „Beleuchtung, Pumpen, Anzeigetafeln, Feuermelder, Alarmknöpfe, alles was für den sicheren Betrieb wichtig ist, haben die Teams jetzt noch schneller im Blick“, bestätigt Howard Collins, Chief Operating Officer der Tube. „Ich habe so gut wie jeden Job gemacht, den es in der Tube gibt“, sagt Collins stolz. Er stand an den Drehkreuzen, machte Ansagen auf den Bahnsteigen, saß im Führerhäuschen der Züge. Mit einer Mannschaft von 12.000 Mitarbeitern stellt er heute sicher, dass möglichst viele Fahrten problemlos verlaufen.

**Mehr Tunnel für London.** Auch wenn die Londoner gerne über ihre U-Bahn meckern, die Tube ist in den letzten Jahrzehnten immer leistungsfähiger geworden. Collins' Team arbeitet zudem daran, sie auch verlässlicher zu machen. „Ich habe 1977 angefangen“, erinnert er sich. „Da waren noch Züge aus den Jahren vor dem Zweiten Weltkrieg unterwegs und zeitweise fiel auf der wichtigen Northern Line jeder dritte Zug aus.“ Die Zahl der Fahrgäste lag damals bei nur rund einer halben Milliarde pro Jahr. 1987 kam es dann zur Katastrophe: Eine alte Rolltreppe aus Holz hatte in King's Cross Feuer gefangen, 31 Menschen starben. „Ich war auf der District Line im Einsatz und an diesem Tag nicht im Dienst. Aber für uns alle war das ein Wendepunkt: Es war unübersehbar, dass die Tube mehr Investitionen brauchte und verlässlichere Technologie.“

Seither wird sie auf Vordermann gebracht: Die Londoner bauen an übervollen Stationen größere Bahnsteige und sie buddeln neue Tunneln in den Lehmbo den. Der 21 Kilometer lange Crossrail Tunnel beispielsweise wird die gesamte Stadt queren und Vorortzüge unter ihr hindurchleiten. 2018 soll die Verbindung in Betrieb gehen. Siemens liefert die Signaltechnik und das Kontrollsystem für das 15-Milliarden-Pfund-Projekt.

Crossrail wird die Transportkapazität im Londoner Untergrund auf einen Schlag um rund zehn Prozent erhöhen. Zugleich arbeitet Collins daran, durch viele Verbesserungen mehr Fahrgäste durch das Liniennetz der Tube zu schleusen, dessen Kapazität dadurch um 30 Prozent wachsen soll: „Wir müssen die Infrastruktur effizienter nutzen. Das schaffen wir, indem wir die Strecken ertüchtigen, etwa durch modernere Signalsysteme, und indem wir die Züge schneller fahren lassen.“

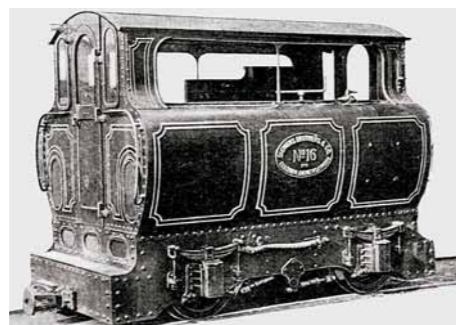
Bis 2023 sollen über 3.000 in die Jahre gekommene Wagen der sogenannten Deep Tube Lines ersetzt werden, also jener Stre-

cken, die besonders tief liegen und in Form von Röhren durchs Erdreich getrieben wurden (daher der Name „Tube“). 2014 beginnt die Ausschreibung für diese Fahrzeuge. Friedrich Timmer und sein Team von Siemens arbeiten derzeit an einem Konzept für das Londoner U-Bahn-Fahrzeug der Zukunft (Bild unten rechts). „Ein Deep-Tube-Wagen muss robust sein und zugleich leicht. Sonst verbraucht er zu viel Energie und heizt durch seine Abwärme die Tunnel und Stationen auf“, so der Wiener Ingenieur. Mit 2,8 Prozent

am Gesamtstromverbrauch ist die Tube schon der größte Einzelverbraucher in London. „Antrieb, Fahrwerk, Beschleunigungsverhalten: Wir müssen alles auf die Verhältnisse des Londoner Streckennetzes optimieren.“ Sein ehrgeiziges Ziel: Er möchte die Energieeffizienz der Fahrzeuge um rund 20 Prozent steigern und das Platzangebot um über zehn Prozent.

Howard Collins hat seinen Besuch in King's Cross beendet und macht sich mit der Victoria Line wieder auf den Weg zu seinem Büro in Westminster. Das Stationspersonal an

den Ausgängen beglückwünscht ihn zum Order of the British Empire, den die Queen ihm kürzlich verliehen hat. Doch Auszeichnung hin oder her: „Ich bin einer von ihnen“, sagt Collins. „Am wohlsten fühle ich mich auf der Strecke“. Und so nimmt er mindestens einmal im Jahr am Bahnsteig selbst das Mikrofon in die Hand und fertigt Züge ab. Vermutlich hatte der Ökonom Adam Smith Recht, als er sagte: „Eine Eisenbahn besteht zu fünf Prozent aus Eisen und zu 95 Prozent aus Menschen“. ■ **Andreas Kleinschmidt**



Die „Tube“ im Wandel der Zeit: Eine Designstudie von Siemens zeigt, wie London die älteste U-Bahn der Welt fit für die Zukunft machen kann (rechts).

## „Klamme Zeiten helfen, effizienter zu wirtschaften“

**Wie kommen Sie täglich in Ihr Büro nahe der Tower Bridge?**

**Dedring:** Ich fahre mit der U-Bahn. Früher habe ich auch das Fahrrad genutzt.

**Was sind Ihre Prioritäten für den Londoner Personennahverkehr?**

**Dedring:** Mit am wichtigsten ist es, Kapazitäten und Zuverlässigkeit zu erhöhen. Dazu gehören Investitionen ins Bahnnetz, neue Züge, Signalsysteme, Gleise. Es werden neue Linien gebaut sowie Crossrail, ein 21 Kilometer langer Tunnel, der ganz London durchquert und das U-Bahnnetz kräftig entlasten wird. Insgesamt soll die Transportkapazität des Schienennetzes um mehr als 50 Prozent steigen – wichtig vor allem, weil der Bevölkerungszuwachs in der Metropole London schlicht alle Erwartungen übertrifft.

**Schränkt die Sparpolitik der öffentlichen Hand die Investitionsmöglichkeiten ein?**

**Dedring:** Ja und nein. Selbstverständlich ist es ein Segen, viel Geld zur Verfügung zu haben. Andererseits muss man in Zeiten

finanzieller Engpässe zwangsläufig neue Wege finden, um noch effizienter zu wirtschaften. In Zukunft wollen wir beispielsweise stärker Drittmittel einwerben. So wurde die Gondelbahn bereits überwiegend durch Sponsoren finanziert.

**Zugleich sollen in den nächsten zehn Jahren mehrere Milliarden Pfund ins Straßennetz investiert werden. Warum so viel Geld für die Straßen?**

**Dedring:** Straßen sind ein bisschen das Stiefkind der Verkehrspolitik. Tatsächlich fahren aber in London doppelt so viele Menschen Bus wie U-Bahn. Die Stadt ist verglichen mit anderen Metropolen nicht sehr dicht besiedelt und hat ausgedehnte Vorstadtgebiete. Dort grasen sogar Pferde. Leistungsfähige Bahnlinien machen da keinen Sinn. Es gibt eben gute Gründe dafür, dass für viele Fahrten innerhalb Londons die Straße genutzt wird. Ein Großteil der neuen Mittel soll in die Verbesserung der Verkehrsleitsysteme und die „Intelligenz“ des Straßennetzes investiert werden.

■ *Das Interview führte Andreas Kleinschmidt*



Mobilität von morgen | Interview

**Isabel Dedring (41)** ist stellvertretende Bürgermeisterin in London und zuständig für Verkehr. Sie hat in Harvard, USA, studiert und unter anderem einen Jura-Abschluss. Sie arbeitete für internationale Beratungsunternehmen und hat eine Anwaltszulassung in den USA.



# Drehkreuze für Warenströme

Warenzentren, sogenannte Urban Consolidation Center, können den boomenden Städten helfen, geschickt den Warenfluss in ihren verkehrsüberlasteten Zentren zu lenken.



Automatisierte Logistik: Ein Pilotprojekt soll den Lieferverkehr in Ningbo (oben) neu ordnen.

Ein Supermarkt am Tianyi-Platz im Stadtzentrum Ningbos, einer Sechs-Millionen-Küstenstadt im Osten Chinas. Nachts fahren hier unzählige Lastwagen vor, um Waren des täglichen Bedarfs abzuladen: Brot, Spielzeug, Geschirr, Süßigkeiten. Wenn die Transporter eintreffen, sind regelmäßig alle Plätze an der Rampe bereits besetzt. Dann müssen die Fahrer in der Umgebung nach einem Abstellplatz suchen, denn am Supermarkt selbst gibt es keine Stellplätze. Untertags wäre die Lage noch schwieriger. Nicht nur, weil dann die Durchschnittsgeschwindigkeit in Ningbos Innenstadt unter 20 km/h liegt, sondern auch weil Lastwagen ohnehin kaum ins Stadtzentrum dürfen. Daher nutzen viele Firmen kleinere

Lieferwagen oder sogar normale Pkw. Freilich braucht es für eine Warenlieferung bei Tageslicht dann deutlich mehr Fahrzeuge. Die Folge: Die Staus verschlimmern sich.

Diese buchstäblich verfahrenere Lage wird sich in Zukunft noch verstärken, denn Ningbo wächst. Die Stadtplaner suchen daher händelringend nach langfristigen Lösungen. Das Logistikunternehmen DHL hat jetzt mit Siemens ein Konzept erstellt, um innovative Optionen des Warentransports zu entwickeln. „Das soll die Grundlage für ein Pilotprojekt werden“, sagt Dr. Norbert Bartneck, zuständig für City-Logistik in der Siemens-Division Mobility and Logistics. „In China gibt es sehr viele Städte wie Ningbo, sie haben einen großen Nach-

holbedarf in der Logistik und auch die Möglichkeit, solche Projekte rasch umzusetzen.“

Im Zentrum stehen Urban Consolidation Center (UCC). Das sind Lagerhäuser, in denen die Warenströme für alle Einzelhändler einer Stadt gesammelt und dann nach Stadtvierteln oder gar Straßen sortiert gebündelt ausgeliefert werden (*Pictures of the Future*, Frühjahr 2012, S.66). Das erlaubt eine optimale Auslastung der Lkw und ein deutlich niedrigeres Verkehrsaufkommen – ohne neue Straßen oder Bahnen bauen zu müssen. Solche Warendrehkreuze gibt es andernorts bereits, etwa am Flughafen Heathrow bei London. Dieses UCC hat die Effizienz deutlich verbessert – so fahren die Lieferfahrzeuge rund 250.000 Kilometer weniger pro Jahr.

Auch andere Ballungsräume sind auf diesem Weg. In Mexico City sollen am Stadtrand UCCs für Tante-Emma-Läden eingerichtet werden, um die Verkehrsbelastung der Innenstadt zu verringern und die Warenversorgung des Einzelhandels zu verbessern. Für die aufstrebende Metropole Ningbo schlagen Siemens und DHL einen Maßnahmenkatalog vor, dessen Herzstück ein oder mehrere UCCs vor den Toren der Stadt sind. Etliche Firmen der Stadt verfügen zwar heute schon über IT-Lösungen, mit denen sie den Transport ihrer Waren verfolgen und steuern. Doch untereinander sind diese Anwendungen selten kompatibel. Die Folge: Statt in nur einem Transporter fahren mehrere Lastwagen in die Stadt, um Bestellungen ans Ziel zu bringen.

Ein UCC – gepaart mit einer IT-Plattform, mit der man den gesamten Warenfluss lenkt – könnte dem entgegensteuern. Die Lagerhäuser selbst wären weitgehend automatisiert: Güter kommen auf Paletten an, um dann von Gabelstaplern ins zentrale Lager gebracht zu werden. Treffen Bestellungen aus der Stadt ein, werden sie aus den Regalen auf Fließbänder gelegt, um mit der Lieferadresse versehen zusammen mit anderen Paketen in bestimmte Stadtteile chauffiert zu werden.

Dabei kann natürlich nicht alles beliebig zusammen gelagert und transportiert werden. Medikamente, Lebensmittel oder Möbel stellen höchst unterschiedliche Anforderungen an ihre Umgebung. „Die Lagerung von langlebigen Gebrauchsgütern ist einfacher und günstiger als von frischem Fisch, Fleisch oder Gemüse“, sagt Siemens-Managerin Dr. Zhang Lei, die half, das Weißbuch für Ningbo zu erstellen. Doch das lässt sich entweder mit einem einzigen Super-UCC lösen – oder mehreren Lagerhäusern, die auf bestimmte Warengruppen zugeschnitten sind. „Es wäre vorerst auch eine schwierige Aufgabe, all die Lebensmittel von Bauern und anderen Zulie-

ferern für die Lebensmittelgroßmärkte in der Innenstadt Ningbos zu erfassen.“

Auch der Transport selbst lässt sich verbessern. Eine die aktuelle Verkehrssituation berücksichtigende Routenplanung erlaubt, die verkehrsgünstigste Variante zu wählen. Zudem können hier umweltfreundliche Fahrzeuge mit Elektro- oder Hybridantrieb eingesetzt werden. Siemens und DHL schlagen außerdem vor, die U-Bahn, die in Ningbo gerade errichtet wird, künftig auch für den Gütertransport zu nutzen, um den oberirdischen Verkehr zu entlasten. Es gälte dabei aber sicherzustellen, dass sich das Frachtgut von der U-Bahn für das letzte Teilstück zum Einzelhandel problemlos umladen lässt. Zusammenhalten würde dieses System ein von Siemens entwickeltes Informationssystem, die „City Logistics Platform“. Damit könnten sich Lieferanten, Frachtunternehmen und Einzelhändler besser untereinander koordinieren, dank elektronischer Etiketten (RFID) und der Satellitennavigation (*Pictures of the Future*, Herbst 2012, S.58).

**Privatkunden beliefern.** Damit das System reibungslos läuft, müssen noch weitere Elemente optimiert werden. Das UCC muss am Stadtrand liegen, so dass es den Verkehr im Zentrum selbst nicht beeinträchtigt – und muss gleichzeitig verkehrstechnisch gut an die Innenstadt angebunden sein. Außerdem müssten Gebühren, Gesetze und Vorschriften so gestaltet werden, dass sie den Betrieb eines solchen Warenzentrums fördern. „Jede Lösung wird deshalb individuell auf jede Stadt zugeschnitten“, sagt Bartneck.

Ein anderes Feld, das es ebenfalls zu verbessern gilt, ist die Warenlieferung an private Kunden. Viele Produkte wie etwa Möbel lassen sich nicht in Einkaufstaschen nach Hause tragen. Die Erfahrung zeigt, dass, wer seine Wohnung oder sein Haus neu einrichtet, oft in mehreren Geschäften einkauft. Auch für diese „letzte Meile“ vom Geschäft zum Kunden gibt es intelligente Lösungen. Statt dann mehrere Möbelwagen an eine Adresse zu schicken, schlagen DHL und Siemens Ningbo vor, diese Waren über einen Transporter zu konsolidieren. Eine weitere Möglichkeit, Güter zum Endkunden zu bringen, sieht das Konzept in speziellen Packstationen. Dort können Kunden Pakete selbst abholen oder aufgeben – und zwar zu jeder Tages- und Nachtzeit. Das erlaubt auch einen Blick in eine mögliche Zukunft. In gekühlten Packstationen an jeder Straßenecke und in großen Apartmenthäusern könnten Bewohner ihre Lebensmittel abholen – angeliefert natürlich von Elektrofahrzeugen. ■ **Hubertus Breuer**



## zum Optimum

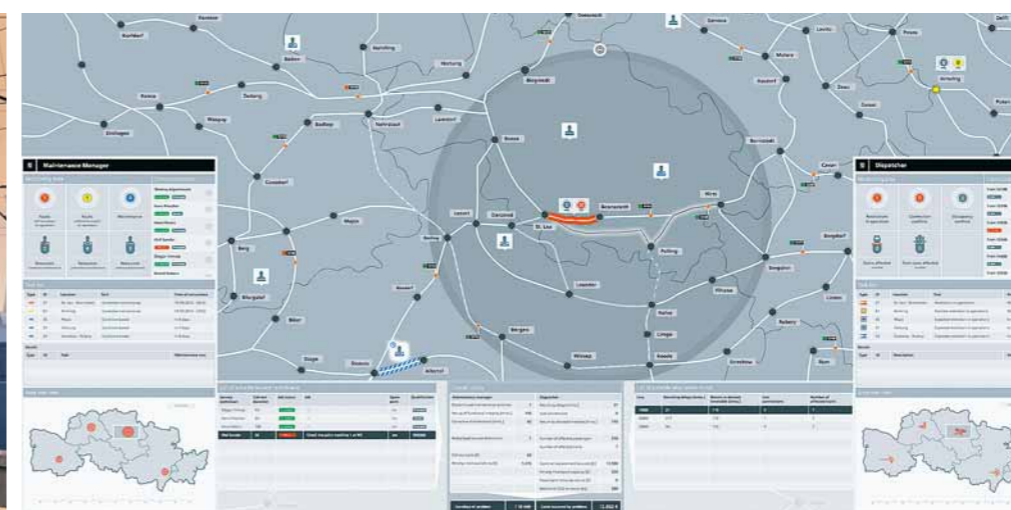
Siemens hat einen „Multitouch-Tisch“ entwickelt, mit dem sich der Bahnverkehr auf einen Blick und interaktiv kontrollieren lässt. Damit soll Störungen der Schrecken genommen werden.

**Als Peter und Inge** morgens ihr Haus verlassen, haben sie ihren Tagesablauf sorgfältig geplant. Peter will zu einer wichtigen Besprechung in die Stadt, und Inge reist für ein paar Tage zu einer Freundin. Peter will die letzten Kilometer mit der Straßenbahn zurücklegen, doch die hat vor wenigen Minuten ein unaufmerksamer Lkw-Fahrer vom Gleis geschoben, wie ihm sein Smartphone mitteilt. Auch der Hochgeschwindigkeitszug, den Inge gebucht hatte, sitzt fest – hinter einer heruntergerissenen Oberleitung. Ihr Glück im Unglück: Der Bahnbetreiber hat mit der Warnung gleich Reisealternativen mitgeschickt. Peters schnellste Verbindung ist heute ein Umweg mit der U-Bahn und mehrfachem Umsteigen. Inge hat etwas mehr Zeit. Sie nimmt daher nicht den nächsten Zug, denn der ist bereits überlastet, sondern den übernächsten. Für ihr Entgegenkommen gibt es eine finanzielle Entschädigung und ein Gratis-Frühstück. Am Ende erreichen beide ihr Reiseziel mit einiger Verspätung. Doch die Folgen bleiben überschaubar, da sie rechtzeitig informiert wurden und die Bahngesellschaft die Auswirkungen der Störung minimieren konnte.

Noch hält kein Bahnbetreiber der Welt eine solche Verspätungs- und Planungs-App für seine Kunden bereit. Es fehlt an der geeigneten Vernetzung der historisch gewachsenen, isolierten Datenbestände. Lohnen würde sich eine rasche und flexible Reaktion

aber auf alle Fälle. Sie spart den Reisenden Zeit und Nerven und den Bahnbetreibern Geld. Ingenieure und Techniker von Siemens arbeiten seit Jahren daran, das bislang noch recht handgestrickte Störungs- und Notfallmanagement ins IT-Zeitalter zu überführen und auf gesicherte mathematische Beine zu stellen. Bislang zählen bei Gleisbruch, Schneesturm oder Lok-Defekten vor allem Erfahrungswissen und „der richtige Riecher“.

Jede Störung im Bahnnetz reduziert die Beförderungskapazität. So wird aus einer zweigleisigen Hochgeschwindigkeitsstrecke nach einem Sturmschaden plötzlich eine eingleisige. Die Disponenten müssen dann mit den verbleibenden Kapazitäten sorgsam umgehen. Intuitiv würde wohl jeder zwei vollbesetzten Nahverkehrszügen eine höhere Priorität zuweisen als einem schwach besetzten Fernzug. Das kann aber ein Fehler sein, wenn dann viele Passagiere in teuren Hotelzimmern untergebracht werden müssen. Doch je nach Situation kann auch das Gegenteil richtig sein. Züge mit eingebauter Vorfahrt, wie noch in den 70er-Jahren üblich, wird es jedenfalls nicht mehr geben. Damals hatte der Fernverkehr immer Vorfahrt. Heute warten auch Hochgeschwindigkeitszüge, wenn dadurch erhebliche Strafzahlungen im lokalen Nahverkehr vermieden werden können. Die Disponenten müssen also jeden Fall technisch und betriebswirtschaftlich analysieren.



Störungen schnell managen: Der Multi-touch-Tisch von Siemens ist einfach zu bedienen, wie Christoph Klose, Torsten Lange und Dr. Maximilian Eichhorn (v.l.) demonstrieren. Das stets aktuelle Netzbild liefert die Grundlage für Entscheidungen in Ausnahmesituationen.

„Wir haben es hier mit einem klassischen Problem der Optimierung zu tun“, sagt Dr. Stefan Wegele, Mathematiker bei Siemens Rail Automation, „wir suchen die bestmögliche Antwort auf ein gegebenes Problem.“ Die automatischen Verfahren errechnen anhand der Rahmenbedingungen alle Lösungsszenarien, die der Bahn offenstehen, um möglichst viele Reisende möglichst rasch wieder flott zu machen. Der Computer tastet sich Schritt für Schritt an die richtige Lösung heran. Dazu verwendet er ein abstraktes Abbild der Netz-situation mit den verfügbaren Gleistrassen, Zuggarnituren und den zu befördernden Passagieren. Verfahren der numerischen Mathematik suchen nach der bestmöglichen Strategie. Nach weniger als 100 Durchläufen liefern die Algorithmen die optimale Variante, das dauert nur Sekunden. „Wir spielen Schach gegen den Zufall, und wie beim königlichen Spiel siegt langfristig der Rechner, denn er ermüdet nicht und liefert blitzschnell die für jede Konstellation richtige Strategie“, erläutert Wegele. „Dabei entstammen die Startwerte für die Berechnungen unserer Erfahrung aus der Eisenbahnautomatisierung.“

**Vernetzung fehlt.** Und diese Erfahrung hat eine lange Tradition: Seit 1873 forscht und fertigt Siemens am Standort Braunschweig an Bahnautomatisierung und Signaltechnik. Neben den Erfahrungswerten sind auch die

betriebswirtschaftlichen Kennziffern wichtig. Sie sind spezifisch für jeden Kunden und bilden dessen Geschäftsmodell und seine vertragliche Situation ab. Hier verstecken sich die schon erwähnten Vertragsstrafen, die bei Verspätungen an das Land oder die Gemeinde zu entrichten sind. Die Spezialisten von Siemens arbeiten sie in den Algorithmen mit ein.

Voraussetzung für jede Entscheidung ist ein umfassendes, aktuelles Abbild der Netz-situation. „Wer sich die IT-Landschaft der Bahnbetreiber weltweit anschaut, wird überall stark entkoppelte Systeme antreffen. Sie sind historisch gewachsen, aber nicht mehr unbedingt Stand der Technik“, sagt Gerd Tasler, Produktmanager für Rail-IT-Lösungen bei Rail Automation, „die Akteure haben oft nur den Überblick über das Geschehen im eigenen Verantwortungsbereich. Was fehlt, ist eine umfangreiche Vernetzung und eine durchgängige Datenintegration.“ Alle betriebswirtschaftlichen Kennziffern und die technischen Eckdaten der verfügbaren Züge wie Höchstgeschwindigkeit und Fahrdynamik müssen im Planungstool enthalten sein. Wichtig sind auch Informationen über die Belegung der Züge. Immer mehr Bahnbetreiber rüsten daher Sensoren nach, die ihnen Auskunft über die aktuelle Auslastung geben.

Flinke Analyse und präzise Ergebnisse garantieren aber noch keine schnelle und sach-

gerechte Entscheidungsfindung. Um die vom Computer erarbeiteten Resultate schnell und sicher allen Teilnehmern des Entscheider-teams übermitteln zu können, hat Siemens einen hollywoodreifen Computertisch entwickelt, und den Besuchern der Fachmesse „Innotrans“ in Berlin 2012 präsentiert. Es handelt sich um eine Art überdimensionierten Tablet-Computer mit Touchscreen-Technologie, der mehreren Personen den gemeinsamen, interaktiven Zugriff auf alle für sie relevanten Informationen erlaubt. Er unterstützt die Notfallteams bei ihrer Arbeit und ist weltweit einmalig. Viel Wert wurde auf intuitive Bedienung gelegt. „Wir haben alle jene Interaktionsmöglichkeiten eingebaut, die heute jeder von der Benutzung seines Smartphones kennt“, erläutert Kim Rosenthal, Designspezialist bei Rail Automation in Braunschweig. Testnutzer beherrschten die Handgriffe binnen weniger Minuten wie im Schlaf. Ähnlich wie beim Smartphone vergrößert beispielsweise eine spreizende Fingerbewegung die Darstellung, um weitere Details freizulegen, oder verkleinert sie, um mehr Übersicht zu schaffen.

**Wenig Einweisung nötig.** Das erspart langwierige Einweisungen und minimiert Eingabefehler. Vier bis fünf Personen können gleichzeitig am Tisch arbeiten, ohne das System zu überfordern. Bei einer Eingabe registriert eine Kette von Infrarot-Sensoren millimetergenau jene Stelle, wo der Finger den Bildschirm berührt. Binnen Sekunden erscheinen Alternativrouten und Handlungsoptionen. „Multitouch-Tische der neuesten Generation arbeiten sehr zuverlässig und sind für die Aufgabe als großflächiges Ein- und Ausgabegerät für ein Team von Entscheidern bestens geeignet“, urteilt Rosenthal. „Die Nutzer akzeptieren es sehr schnell als Arbeitsgerät. Nach kürzester Zeit sind ihnen die nötigen Handbewegungen schon in Fleisch und Blut übergegangen.“

Zug um Zug soll die neue Technik Kunden zur Verfügung gestellt werden. „In unsere aktuellen Großprojekte in Kopenhagen, wo wir eine S-Bahn-Strecke errichten, oder in New York, wo mit „PACIS“ eine vorhandene U-Bahn ein zeitgemäßes Anzeigensystem erhält, fließen bereits Komponenten der neuen Eisenbahn-IT ein“, sagt Maximilian Eichhorn, Geschäftsführer Rail IT Business bei Siemens Rail Automation. Wenn sich alle Beteiligten anstrengen, könnte die Verspätungs-App, die Inge und Peter trotz aller Probleme stressfrei ans Ziel gebracht hat, also schon in den nächsten Jahren zum Download bereitstehen. ■ **Bernd Schöne**



# Luft und Land

## in einer Hand

Der Luftverkehr wächst – und damit auch die Anforderungen an Flughafenbetreiber, etwa hinsichtlich Umwelteffekten und Sicherheitsvorschriften. Ein zentraler Leitstand soll helfen, die komplexen luft- und landseitigen Prozesse an Flughäfen effizienter zu steuern.

Ein kleiner blauer Koffer lehnt einsam am Fenster von Terminal 2 – ein vergessenes Gepäckstück oder eine Bedrohung? Auf jeden Fall Grund zur Aufregung: Das Areal muss abgesperrt werden, dadurch sind bestimmte Gate-Bereiche nicht mehr zugänglich. Im Extremfall müssen sogar Flugzeuge umparken. Keine leichte Aufgabe für den Einsatzleiter, der die Gesamtsituation im Blick behalten und Störungen schnellstmöglich beseitigen soll. Sein Arbeitsplatz ist ein großer Monitor, der ihm permanent die wichtigsten Daten des Flughafens anzeigt: 1.400 Hektar Komplexität, komprimiert auf acht Quadratmetern. Blitzschnell hat der Einsatzleiter die kritische Stelle lokalisiert: Ein roter Punkt leuchtet dort auf, wo der Koffer entdeckt wurde. Flughafenpolizei, Sicherheitsbeauftragte, die betroffenen Airlines und die Verkehrszentrale werden umgehend und präzise informiert.

Alle wichtigen Informationen auf einen Blick, und alle Dienstleister können darauf zugreifen – so sieht die Realität leider meist noch nicht aus. An Flughäfen gilt es, unterschiedlichste Bereiche zu koordinieren: den laufenden Betrieb, die Sicherheit, die Infrastruktur, die Verkehrsumgebung. Verschiedene Dienstleister sind für Flugzeuge,

Passagiere, Gepäck und Güter verantwortlich, die einzelnen Prozesse beeinflussen sich häufig gegenseitig. Ein reibungsloser Ablauf hängt entscheidend davon ab, wie detailliert die Akteure informiert sind und wie gut sie zusammenarbeiten. Und die Anforderungen werden noch steigen: Laut der OECD-Studie *Transport Outlook 2012* nahmen die Passagierkilometer zwischen 1999 und 2008 um etwa 4,8 Prozent pro Jahr zu, und dieser Trend setzt sich fort.

Dies bedeutet: mehr Flugbewegungen bei begrenzten Ressourcen. Wie aus der bestehenden Infrastruktur möglichst viel herausgeholt werden kann, untersuchte das Forschungsprojekt Total Airport Management

Suite (TAMS), das 2012 endete (*Pictures of the Future*, Frühjahr 2012, S.66). Siemens arbeitete als Projektführer mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt, dem Flughafen Stuttgart und weiteren Industriepartnern zusammen. Die Idee: Alle Beteiligten – darunter Flughafenbetreiber, Flugsicherung, Fluggesellschaften, Bodenabfertigung und Sicherheitsbehörden – sitzen in einem zentralen Leitstand zusammen.

Die Software TAMS kennt alle relevanten land- und luftseitigen Informationen, liefert darauf aufbauend Prognosen und Optimierungsvorschläge und unterstützt den Einsatzleiter dabei, Probleme schnell und effizient zu lösen. Bis zu zehn Prozent mehr Flugbewe-

gungen pro Stunde kann TAMS Flughäfen ermöglichen, die bereits an der Kapazitätsgrenze arbeiten. Zudem werden Verspätungen und Treibstoffverbrauch reduziert. Basierend auf der TAMS-Plattform entwickelte Siemens die Produktlinie „SIAMOS“, die seit April 2012 am Flughafen Münster-Osnabrück die Geschäftsprozesse von der saisonalen Vorplanung bis zur Abrechnung mit den Airlines unterstützt. Einige SIAMOS-Module haben die Effizienz des Betriebes deutlich gesteigert. Inzwischen wurden auch in Asien weitere SIAMOS-Projekte gestartet.

**Wachsende Anforderungen.** Während „TAMS“ den Fokus vor allem auf betriebliche Aspekte setzte, integriert Siemens jetzt auch technische und sicherheitsbezogene Funktionen. Gut wäre es auch, die Auswirkungen von Entscheidungen auf die Umwelt – wie Energieverbrauch, Treibhausgas-Emissionen oder Lärmteppiche – direkt im Leitstand bewerten zu können. Zugleich sollen die komplexen Informationen einfacher zu handhaben sein. Denn der zunehmende Luftverkehr hat mehr Koordinationsbedarf zur Folge. Und auch der Zeitdruck steigt, denn die Turn-around-Zeiten, in denen Aus-

Operations Control Center“ (APOC) vor. Auf einem Leitstand werden Daten wie Wetterlage, Abflug- und Landezeiten sowie Störungen im Flughafenbetrieb dargestellt. Wie stark müssen die Informationen dabei ins Detail gehen? „Die menschliche Aufnahmefähigkeit ist begrenzt. Deshalb muss auf dem zentralen Leitstand vor allem der Überblick über die Gesamtsituation gegeben werden“, erklärt Dr. Christoph Meier, Head of Aviation IT bei Siemens Infrastructure and Cities.

„Störungen im Betriebsablauf müssen aber sofort auffallen“, ergänzt sein Kollege Dr. Dietmar Böhme, Fachmann für Airportmanagement-Systeme bei der Siemens-Division Mobility and Logistics. „Wenn es bei den Abflügen größere Verspätungen gibt, stauen sich die Passagiere im Terminal, was zu einem Sicherheitsproblem werden kann und mehr Personal erfordert. Dieses Risiko muss erkannt werden – welcher Flug dagegen verspätet ist, ist weniger wichtig.“

Der große Vorteil eines zentralen Leitstands: Alle Beteiligten haben ein gemeinsames Situationsbewusstsein. „Fast jeder große Flughafen hat bereits erlebt, wie sich aus einem unvorhergesehenen Ereignis enorme Schwierigkeiten ergaben, weil verschiedene

**Ein System denkt mit.** Die Experten im Leitstand sind zukünftig nicht nur auf ihre Erfahrungen angewiesen. Ein System, in dem Arbeitsabläufe hinterlegt sind, kann konkrete Handlungsanweisungen liefern: Wer muss wann mit wem sprechen? Was muss das Ergebnis sein? Was ist für die Entscheidung hilfreich? Wann muss der Entscheidungsprozess abgebrochen werden, weil die Voraussetzungen nicht gegeben sind? Rückwirkend unterstützt das System eine umfangreiche Analyse der Entscheidungsprozesse. Im Ergebnis wird dann nicht nur das System immer besser, sondern auch die Entscheidungsabläufe, wenn alle Beteiligten besser informiert sind und nötige Ressourcen – wie etwa zusätzliches Personal – bestmöglich eingesetzt werden.

Ein solch „lernendes“ System soll auch konkrete Vorschläge unterbreiten, wenn es etwa Situationen erkennt, die bereits einmal aufgetreten sind. „Das ist ein enormer Vorteil, wenn ähnliche Vorfälle Jahre zurück liegen“, erklärt Meier. Welche Entscheidungen was bewirken würden, kann das System ebenfalls prognostizieren – basierend auf Hochrechnungen, denn es weiß, welche Vorfälle Störungen in anderen Bereichen nach sich ziehen. Sinnvollerweise lassen sich Abläufe für einen Zeitraum von bis zu sechs Stunden vorhersehen. Öfter auftretende Situationen, wie ein alleingelassener Koffer, sind als typisierte Sicherheitsvorkommnisse erfasst, so dass die notwendigen Reaktionen automatisch eingeleitet werden können.

Und auch damit endet die Hilfestellung durch das System nicht. „In einem großen Flughafen wissen wir oft nicht, welcher konkrete Mitarbeiter eines Bereichs sich um ein bestimmtes Problem kümmert. Das ist aber gar nicht notwendig, denn das System erkennt anhand der IP-Adresse, wer sich gerade mit einem spezifischen Problem beschäftigt und kann direkt den Kontakt zum entsprechenden Endgerät herstellen“, sagt Meier.

All diese Funktionen sind theoretisch heute schon möglich, denn die nötigen Technologien gibt es schon. „Wir brauchen nicht mehr Technologie oder Daten an Flughäfen, sondern müssen die vorhandenen Infrastrukturen intelligenter nutzen“, sagt Steve Batt, bei Siemens Building Technologies für das Thema Security an Leitstellen zuständig. „Dazu gehört, dass die Leitstandsmitarbeiter nicht mehr ein IT-System überwachen, sondern dass dieses den Mitarbeiter automatisch hinzuzieht, wenn sein Eingreifen nötig ist“. Wie beispielsweise bei einem kleinen blauen Koffer, der an Terminal 2 liegengeblieben ist.

■ Nicole Efflein



Alles im Blick: In einem zentralen Leitstand sollen künftig alle Dienstleister am Flughafen auf dieselben Daten zugreifen können. Eine Software liefert genau die benötigten Informationen und gibt Handlungsempfehlungen.

und Einsteigen, Be- und Entladen, Betankung, Inspektionen und eventuell ein Crewwechsel stattfinden müssen, werden immer kürzer – manchmal stehen nur 25 Minuten zur Verfügung.

Deshalb gilt es, die Abläufe effizienter, kostengünstiger und umweltgerechter zu machen. Doch wie sieht es aus, das Kontrollzentrum der Zukunft? Auf der Airport IT&T-Konferenz im Oktober 2012 in München stellte Siemens seine Vision eines „Airport

Abteilungen die Lage unterschiedlich einschätzen“, berichtet Meier. Bei Problemen muss dann ins Detail geschaut werden – und das unter Umständen auch von unterwegs: Der „Officer of Duty“ beispielsweise, der für den Flughafenbetrieb zuständig ist, muss wie ein Kapitän ständig erreichbar sein und Entscheidungen treffen können – etwa über Tablet-PCs. Diese Idee beschäftigt auch Klaus Hermes von Siemens Corporate Technology, Spezialist für User Interface Design. Er glaubt an eine allzeit verfügbare „Datenwolke“. „Die wichtigen Informationen könnten über die Cloud immer verfügbar sein – dann müssen die Mitarbeiter nicht mehr zwangsläufig in der Leitzentrale anwesend sein“.

# Die Grenzen der grenzenlosen Mobilität

**Mehr Zeit, Geld und Nerven.** Parkplatzmangel und Staus kosten Zeit, Geld und Nerven und verschmutzen die Umwelt. Mehr als die Hälfte der Menschheit wohnt heute in Städten, ein zusätzliches Viertel pendelt von den Speckgürteln hinein ins Stadtzentrum. Ein Leben ohne Verkehrsinfrastrukturen ist nicht mehr vorstellbar. 6.400 Milliarden Euro – fast 1.000 Euro pro Erdbewohner – wurden 2010 weltweit für den Transport von Menschen und Waren ausgegeben, betont die jüngste Mobilitätsstudie von McKinsey. Das Beratungsunternehmen Frost & Sullivan errechnete allein für Europa die volkswirtschaftlichen Kosten der Staus im Jahr 2011 auf 200 Milliarden Euro. Droht uns der Verkehrsinfarkt? Denn die Entwicklung geht weiter: 2050 werden rund 9,5 Milliarden Menschen auf der Erde leben, davon gut 6,5 Milliarden in urbanen Zentren – heute sind es erst 3,5 Milliarden Städter.

Doch die Menschen tummeln sich nicht nur in den Städten, sie sind auch insgesamt mehr auf Achse. Sie reisen geschäftlich, vom Wohnort zur Arbeit oder in den Urlaub. So legten die Europäer im Jahr 2010 rund 5.600 Milliarden Kilometer mit dem Auto, Bus und Bahn oder mit Flugzeug und Schiff zurück. Der Personenverkehr hat in den EU-Ländern seit 1990 um ein Drittel zugelegt und wird laut Prognosen der Europäischen Kommission bis zum Jahr 2030 um weitere 29 Prozent ansteigen. In den USA ist die Reiserate am höchsten: Im Durchschnitt reist ein Amerikaner 25.000 Kilometer pro Jahr.

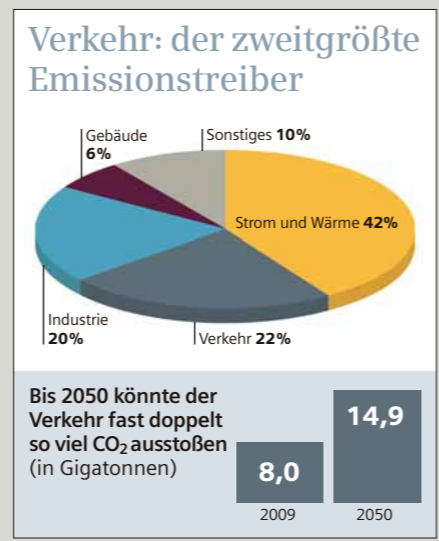
Das Mehr an Mobilität betrifft auch weltweite Warenströme: Kleidung aus Asien, Früchte aus Südamerika oder Autos aus Deutschland – der globale Handel kennt keine Grenzen. Allein der Güterverkehr in Deutschland soll bis 2050 um 116 Prozent gegenüber 2005 zunehmen, prognostiziert das Schweizer Beratungsunternehmen Prognosis. Entsprechend steigt der CO<sub>2</sub>-Ausstoß des schweren Straßengüterverkehrs, von heute 40 auf 100 Millionen Tonnen im Jahr 2050 – falls es keine deutlichen technischen Verbesserungen gibt.

Der weltweite Güterverkehr wird bis 2030 laut World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) eine jährliche Zuwachsrate von 2,5 Prozent verzeichnen – der Personenverkehr von 1,6 Prozent. Dies gilt trotz des wachsenden Anteils älterer Menschen, denn erstens werden mehr davon berufstätig sein und zweitens sind ältere Menschen auch nach der Rente unternehmungslustiger und mobiler als noch vor ein paar Jahren, so die neueste Studie des Instituts für Mobilitätsforschung in Berlin (IFMO).

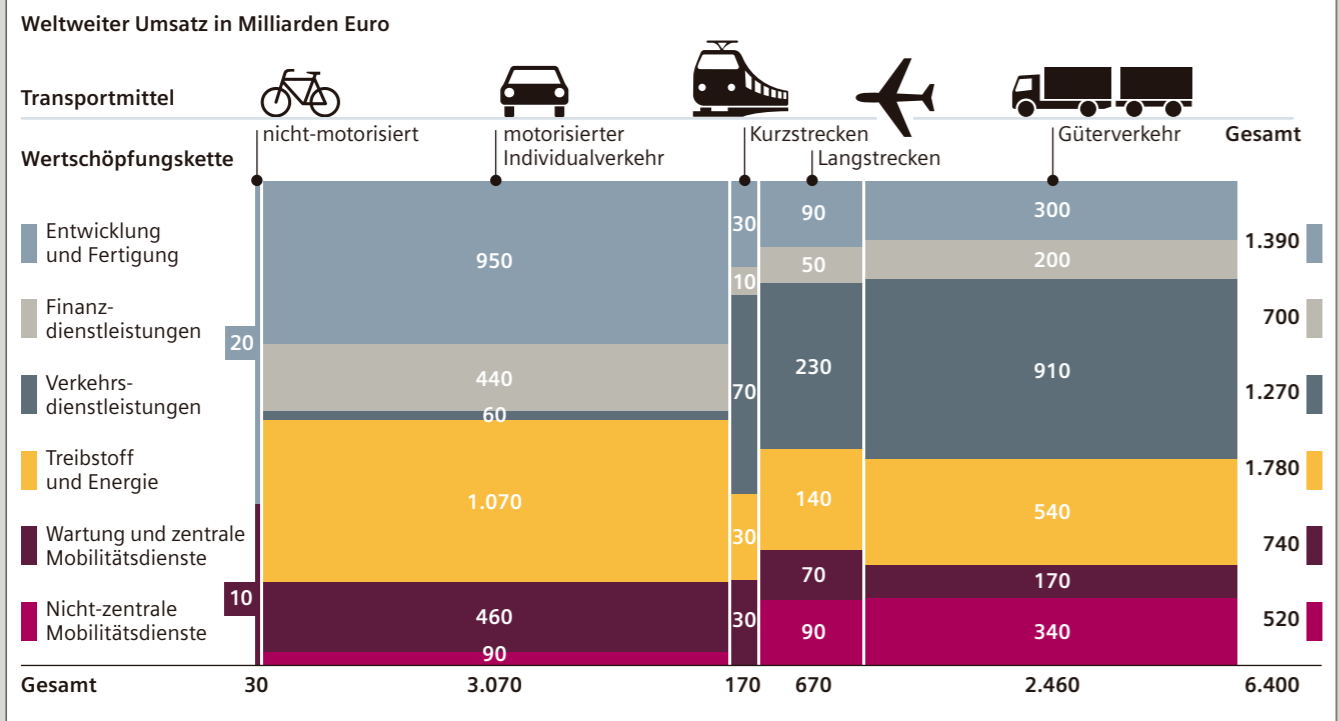
Von den 95 Minuten, die ein Deutscher täglich aufbringt, um von A nach B zu gelangen, fährt er 50 Minuten mit dem Auto. Das Auto wird auch 2030 das dominierende Verkehrsmittel sein, meint die IFMO-Studie. Besonders groß wird der Nachholbedarf für China eingeschätzt: Kamen vor drei Jahren 47 Autos auf 1.000 Chinesen, werden es in 20 Jahren bereits 270 sein. Doch zugleich sieht sich die Autoindustrie mit den größten Umwälzungen ihrer Geschichte kon-

frontiert: Steigende Ölpreise, strenge CO<sub>2</sub>-Richtlinien, Umweltzonen, emissionsbedingte Fahrverbote, die Citymaut und der Trend zum Carsharing verändern das traditionelle Verhältnis zum Auto. Das IFMO hat festgestellt, dass das Auto vor allem in der Generation der 18- bis 30-Jährigen seine Anziehungskraft verliert.

Viele Menschen steigen auf öffentliche Verkehrsmittel um. Nach Prognosen der Internationalen Gesellschaft für Öffentlichen Personenverkehr wird sich der Marktanteil des ÖPNV bis 2025 im Vergleich zu 2009

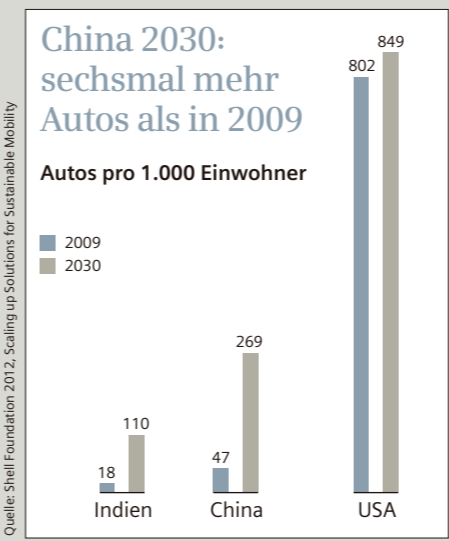


## 2010 kostete der Transport von Menschen und Waren 6.400 Milliarden Euro



weltweit verdoppeln. Das Beratungsunternehmen Oliver Wyman befragte 3.000 Personen in Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Shanghai und Singapur, wie sich ihr Mobilitätsverhalten unter bestimmten Voraussetzungen ändern würde. Bei einem Szenario mit einem Benzinpreis von 2,50 Euro pro Liter und einem besser ausgebauten ÖPNV lag die Umsteigerquote bei 40 Prozent. Bei vier Euro pro Liter Benzin und zusätzlicher Autobahn- und Citymaut würden sogar 77 Prozent der Befragten das Auto stehen lassen. Studenten sind mit 86 Prozent am ehesten zum Umstieg bereit.

Für die junge Generation ist das Smartphone wichtiger als das eigene Auto. Ein Auto auf Abruf und „mobility on demand“-Angebote, die flexible Nutzung



verschiedenster Verkehrsmittel, entspricht ihren Wünschen mehr. Carsharing-Mietflotten gibt es heute in 1.100 Städten weltweit, in 26 Ländern und auf fünf Kontinenten. Gab es europaweit 2011 rund 700.000 Carsharing-Nutzer und 21.000 Fahrzeuge, so werden sich diese Zahlen nach Frost & Sullivan im Jahr 2020 auf bis zu 20 Millionen Nutzer und 240.000 Fahrzeuge erhöhen. In Deutschland nutzen immerhin schon 2,5 Prozent der Städter das Angebot – und nach der McKinsey-Studie könnte es in zehn Jahren bereits ein Drittel sein. BMW und Mercedes vermelden mit ihren Mietflotten „drive now“ und „car2go“ ebenfalls stetig wachsende Nutzerzahlen. Mit der künftigen Integration von Elektrofahrzeugen könnten sich die Fahrgemeinschaftsdienste zu einer der wichtigsten nachhaltigen Mobilitätslösungen entwickeln.

Auch Straßen-, U- und Eisenbahnnetze werden weltweit weiter ausgebaut. China möchte etwa sein Eisenbahnnetz von derzeit 86.000 auf 120.000 Kilometer im Jahr 2020 erweitern. Am stärksten wachsen die Märkte im Güter- wie im städtischen Schienenverkehr im Nahen Osten, Lateinamerika sowie Russland und anderen GUS-Staaten. Mit den aufstrebenden Regionen Asiens und Südamerikas wird auch der Seehandel anwachsen – mit großen Auswirkungen auf Schadstoff- und Treibhausgas-Emissionen. Laut der Studie Green Shipping der HypoVereinsbank liegt der Anteil der Handelsseeschifffahrt am weltweiten CO<sub>2</sub>-Aufkommen bereits zwischen vier und fünf Prozent.

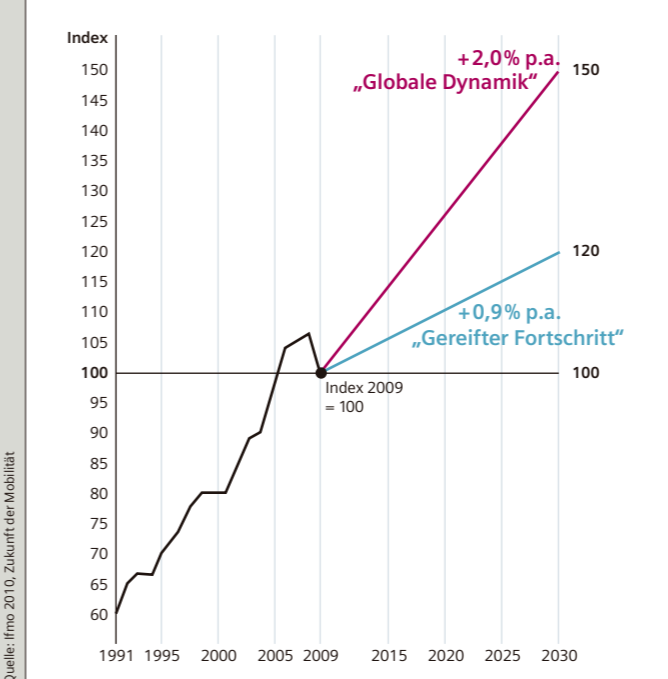
Bis 2020 wird der Schiffsverkehr um 60 Prozent und der CO<sub>2</sub>-Ausstoß um bis zu 72 Prozent zunehmen, schätzt die Internationale Maritime Organisation. In der Luft ist Ähnliches zu erwarten: Jede Sekunde landet ir-

gendwo auf der Welt ein Flugzeug, und in den nächsten 20 Jahren könnte sich die Anzahl der Maschinen laut einer Marktprognose von Airbus nochmals verdoppeln. Vier Milliarden Passagiere werden 2020 mit dem Flugzeug auf Reisen gehen, schätzt die deutsche Luftfahrtbranche. Ein einziger Langstreckenflug kann schon so viel CO<sub>2</sub> verursachen, wie ein Jahr lang Auto fahren. Deswegen müssen in Zukunft die Flugzeuge, die Antriebe und der gesamte Flugbetrieb verbessert werden. Ziel der International Air Transport Association ist es, ab 2020 ein CO<sub>2</sub>-neutrales Verkehrswachstum zu ermöglichen und die Emissionen im Jahr 2050 gegenüber 2005 zu halbieren.

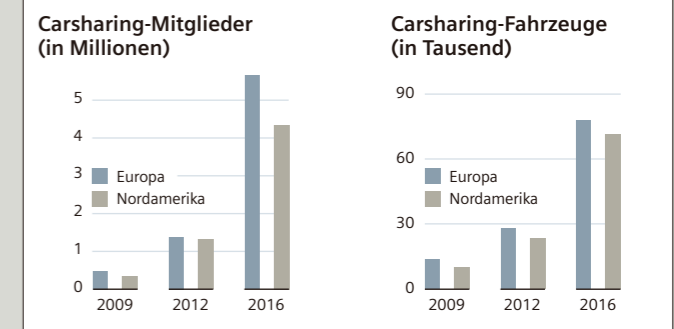
Schon heute verursacht der Verkehr mit 22 Prozent fast ein Viertel des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes und ist damit global der zweitgrößte Emissionstreiber. Acht Gigatonnen CO<sub>2</sub> pusten Autos, Lastwagen, Schiffe und Flugzeuge weltweit in die Luft – die USA sind mit zwei Gigatonnen der größte Verschmutzer. Fast drei Viertel davon stammen aus dem Straßenverkehr, das restliche Viertel verteilt sich auf Bahn, Flugzeuge und Schiffe. In der Europäischen Union entfallen etwa ein Fünftel der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen auf den Straßenverkehr – mit einem Wachstum von fast 23 Prozent zwischen 1990 und 2010. Und bis 2050 könnte sich die Zahl der Autobesitzer weltweit fast verdreifachen, der Lkw-Transport verdoppeln und der Flugverkehr vervierfachen. Damit könnten die CO<sub>2</sub>-Emissionen laut den Berechnungen der Internationalen Energieagentur bis 2050 um fast 90 Prozent auf 14,9 Gigatonnen steigen. Emissionsarme Motoren sowie hocheffiziente und stark vernetzte Verkehrslösungen sind daher das Gebot der Stunde.

Silke Weber

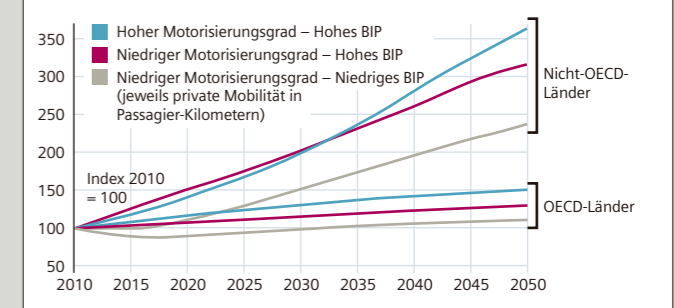
## Zwischen 20 und 50 Prozent mehr Güterverkehrsleistung bis 2030



## Carsharing: boomendes Geschäft



## Nachholbedarf für Nicht-OECD

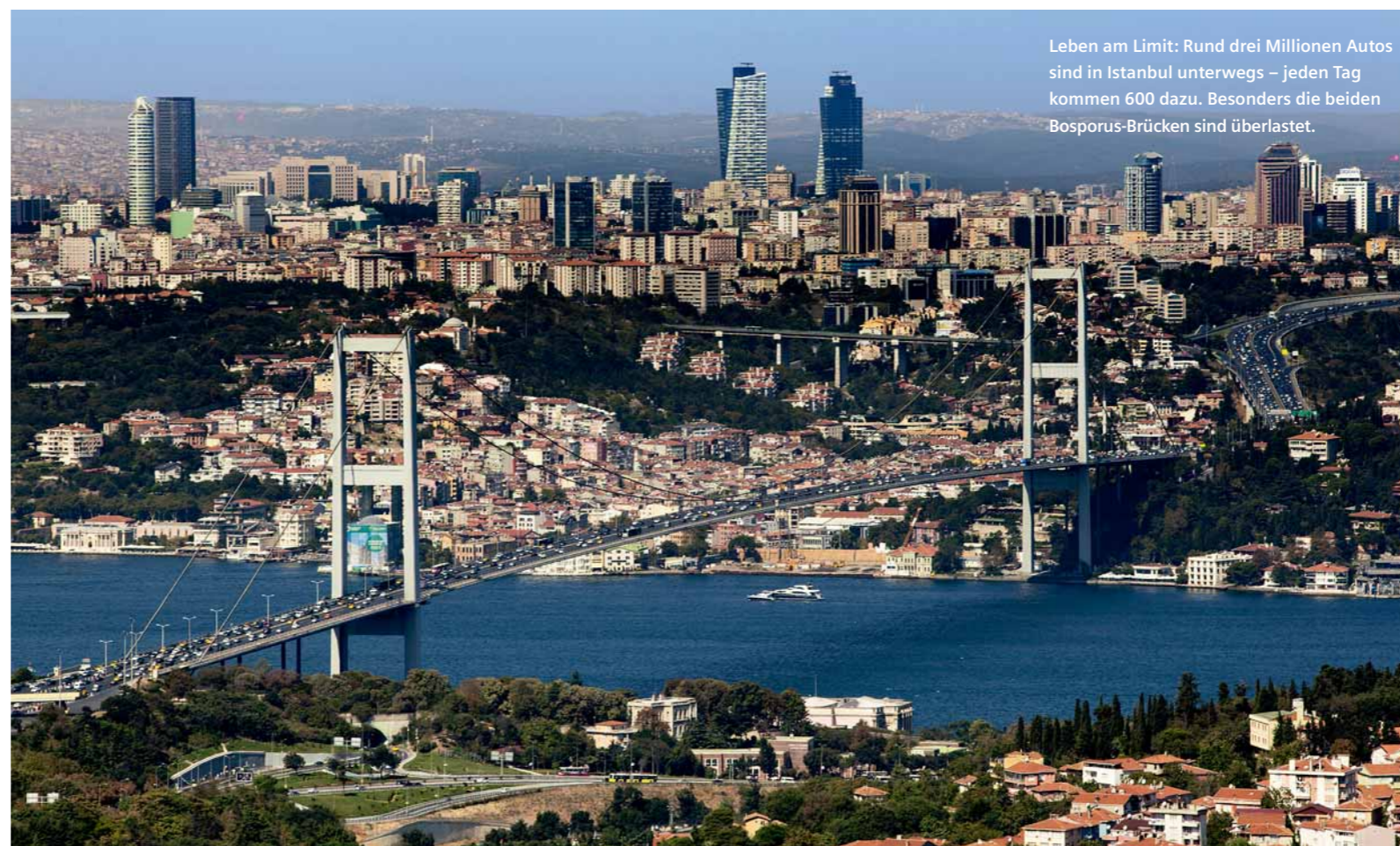


Scheinbar ungeplant und unkoordiniert. So erleben viele Besucher das Verkehrsgeschehen in der türkischen Metropole Istanbul. Die „alte Dame“ am Bosphorus arbeitet allerdings an Lösungen, mit denen sie künftig so manch andere Millionenstadt überflügeln könnte.

# Gegen das Chaos

Nachdem sie einmal kurz mit dem Bug Asien geküsst hat, schiebt sich die Fähre wieder gemächlich in den Bosphorus. Im Minutentakt kommen und gehen die schwimmenden Riesen. Ihr Ziel: das nur rund einen Kilometer entfernte Europa. Schon früh am Morgen herrscht am Ufer reges Treiben. Sesamkringelverkäufer preisen lautstark ihre Waren an und versuchen dabei das Hupkonzert der Autos zu übertönen. An den Straßenecken sitzen Männer in Sakkos vor winzigen Läden auf noch winzigeren Hockern und genießen ihre Morgenzigarette bei einem Glas Tee, ohne den der Tag in Istanbul nicht beginnen darf. „Man muss die Stadt mit einem liebenden Auge betrachten, um das tägliche Chaos ertragen zu können“, sagt Serpil Kaya, die es sich mit einem Fischbrötchen auf dem Deck

einer der Fähren gemütlich gemacht hat. Die 37-jährige Gebärdensprachlehrerin lebt seit zehn Jahren in der 13-Millionen-Metropole und hat schon so einiges auf den heillos verstopften Straßen durchgemacht. „Manchmal wünsche ich mir, wie James Bond über die Dächer rasen zu können.“ Doch jetzt, auf dem Meer, lässt sie ihr blaues Seidenkopftuch im Takt des Windes wehen – durch die Sonnenbrille betrachtet sie die Silhouette der fast 3.000 Jahre alten Stadt, einst Konstantinopel. Ihre Fähre, auf der etwa 1.800 Menschen Platz haben, ist dagegen ein Stück Moderne. Vor fünf Jahren hat Siemens das Schiff mit einem dieselektrischen Antrieb ausgestattet. So verbraucht der Koloss 20 bis 25 Prozent weniger Treibstoff als seine Vorgänger. Das ist auch nötig, denn mit über 50 Millio-



Leben am Limit: Rund drei Millionen Autos sind in Istanbul unterwegs – jeden Tag kommen 600 dazu. Besonders die beiden Bosphorus-Brücken sind überlastet.

nen Passagieren im Jahr sind die Bosphorus-Fähren das Rückgrat der Verkehrsinfrastruktur Istanbuls (*Pictures of the Future*, Herbst 2009, S.72). „Doch für 13 Millionen Einwohner reicht dies natürlich nicht aus“, sagt Hüseyin Gelis, der CEO von Siemens in der Türkei.

Der Verkehr auf den Straßen ist nach wie vor extrem dicht. Rund drei Millionen Autos sind in Istanbul unterwegs – und es kommen jeden Tag 600 hinzu. „Die beiden Brücken über den Bosphorus sind für 210.000 Fahrzeuge am Tag ausgelegt“, sagt Gelis. „Es fahren aber mehr als doppelt so viele darüber. Wenn ich im Stau stehe, kann mich die traumhafte Aussicht auch nicht mehr beruhigen.“ Um die zwei Brücken zu entlasten, soll nun im Norden Istanbuls eine dritte entstehen. Bis 2015 soll das Projekt abgeschlossen sein – auf Basis eines „Build-Operate-Transfer (BOT)“-Modells, also in Kooperation zwischen öffentlicher Hand und privatem Sektor.

„Solche Betreibermodelle erfreuen sich großer Beliebtheit, besonders im Gesundheitssektor“, sagt Gelis. Aber auch beim größten Infrastrukturprojekt in der Geschichte des Landes, dem Bau einer 420 Kilometer langen Autobahnstrecke zwischen Istanbul und Izmir. Einen wichtigen Teilabschnitt stellt die viertlängste Hängebrücke der Welt im Osten Istanbuls dar, die Ende 2015 in Betrieb genommen werden soll. Sie verbindet über drei Kilometer hinweg das nördliche und südliche



## „Allein mit dem Bau neuer Straßen ist es nicht getan“

**Mobilität von morgen | Interview** Mehmet Cahit Turhan ist Geschäftsführer der Generaldirektion für Schnellstraßen in der Türkei. Nach dem Hochschulabschluss am Institut für Bauwesen der Technischen Schwarzmeer-Universität erhielt er 1986 den Master of Science Education des naturwissenschaftlichen Instituts derselben Universität. Seine berufliche Karriere startete er 1985 beim Generaldirektorat in Istanbul, wo er seitdem in mehreren leitenden Positionen tätig war.

**Die Türkei machte zuletzt durch besonders ehrgeizige Infrastruktur-Projekte auf sich aufmerksam. Wie viele Kilometer Straßen wurden gebaut?**

**Turhan:** Zwischen 2003 und 2012 waren es mehr als 16.000 Kilometer Straßen mit getrennten Fahrspuren. Bis zum 100-jährigen Jubiläum unserer Republik im Jahr

2023 wollen wir insgesamt 36.827 Straßenkilometer mit getrennten Fahrspuren bauen. Im Moment stehen wir bei 21.340 – und die nächsten Objekte entstehen bereits.

**Worauf haben Sie mehr Wert gelegt: auf die Verbesserung der Mobilität oder auf die Optimierung der interna-**

**tionalen Transportverbindungen?**

**Turhan:** Wir sind uns der wichtigen Rolle, die unser Land aufgrund seiner zentralen geografischen Lage für die Transportverbindungen zwischen Europa, Asien und Afrika spielt, natürlich sehr bewusst. Im Interurban-Bereich laufen in der Türkei derzeit rund 92 Prozent des Güter- und

95 Prozent des Personentransports über die Straße. Es steht aber außer Frage, dass eine Verschiebung des Langstrecken- und internationalen Straßenverkehrs auf die Schiene oder den Seeweg stattfinden muss. Unser Transport-Komitee hat für 2023 diverse Ziele gesetzt: Eines der wichtigsten ist die Koordination zwischen verschiedenen Transportmodi, um ein integriertes Transportsystem zu schaffen und den Güterverkehr von der Straße auf die Schiene zu bringen. So lassen sich die Transportkosten senken und zugleich die Straßenschäden durch Schwerlastverkehr reduzieren.

**Welche Rolle wird die moderne Verkehrstechnologie künftig spielen?**

**Turhan:** Es kann nicht nur um den Bau neuer Straßen gehen, wir müssen auch die bestehenden Straßennetze effizient unterhalten. Wir hoffen, dass wir mithilfe intelligenter Transportsysteme auf unseren Fernstraßen, die Zahl der Unfälle etwa durch Eisbildung, Straßensperren, Nebel

oder Bauarbeiten senken können. Insgesamt wollen wir über die Türkei verteilt 17 Verkehrsmanagement-Zentralen einrichten.

**Das größte Transportinfrastruktur-Projekt in der Geschichte des Landes wird von einem Konsortium nach dem Build-Operate-Transfer-(BOT)-Modell ausgeführt. Was sind die Vorteile?**

**Turhan:** Besonderen Vorrang bei den auf BOT-Basis geplanten Projekten, also bei der Kooperation zwischen öffentlicher Hand und privatem Sektor, hat die Autobahn Gebze-Orhangazi-Izmir, einschließlich eine der größten Hängebrücken der Welt. Nach unserer Ansicht ist das BOT-Modell ein effizientes Instrument, da es die Lieferzeiten und die Investitionszyklen verkürzt.

**Welche Maßnahmen stehen künftig ganz oben auf Ihrer Agenda?**

**Turhan:** Wir wollen die Passagier- und Güterkapazitäten der Eisenbahnen erhöhen und die Elektrifizierung vorantreiben. Zudem

wollen wir in zehn Großstädten neue ÖPNV-Systeme einrichten, die durch intelligente Transportsysteme unterstützt werden. Außerdem geht es um die Neugestaltung der Kfz-Besteuerung auf Grundlage von Emissionswerten, die Förderung von Bio-Kraftstoffen der neuen Generation, Steuererleichterungen für Hybrid- und voll elektrische Fahrzeuge, die Förderung der Nutzung von mit Erdgas betriebenen Fahrzeugen, den Beginn einer intensiven Aufforstungskampagne an Straßen und Schienen sowie die Gründung eines Koordinationskomitees „Transport und Umwelt“ aus Vertretern von Nichtregierungsorganisationen und von allen mit dem Transportwesen befassten Organisationen und Institutionen. Und schließlich möchten wir auch das Bewusstsein der Verkehrsteilnehmer für umweltfreundliches Fahrverhalten schärfen und eine Schulung in diesen Techniken in der Fahrshule und in den Schulen vorschreiben.

■ Das Interview führte Melih Çelik (ergänzt durch Hülya Dagli)



Ufer des Golfes von Izmit und verkürzt die Fahrtzeit auf dieser Strecke von einer Stunde auf sechs Minuten.

Siemens verantwortet die Straßenverkehrstechnik für diesen Teilabschnitt. „Wir liefern die Beleuchtung, die Energieübertragung und -verteilung, Entfeuchtungssysteme, Systeme zur Zustandsüberwachung des Bauwerks, Kameraüberwachung und die Notrufleitzentralen“, erklärt Barış Saraç, Manager für Com-

**Die viertlängste Hängebrücke der Welt soll die Fahrtzeit von einer Stunde auf sechs Minuten verkürzen. Seismische Sensoren warnen dabei vor Erdbeben.**



Vielfältig: Unterirdische Seilbahnen (links), Metros und Metrobusse sind nur einige Lösungen, die Istanbul zu bieten hat. Bis zum Jahr 2023 soll noch einiges hinzukommen.

plete Transportation bei Siemens in der Türkei. „Die Prozessüberwachung und -steuerung der Anlage läuft über unser SCADA-System, ein spezielles Computersystem, das alle Betriebs- und Verkehrsdaten in die Leitzentrale schickt.“ Damit können sich die Betreiber in Echtzeit ein Bild der Lage machen und bei Unfällen schneller reagieren. Was auch vor allem deshalb wichtig ist, weil das Gebiet um die Brücke als erdbebengefährdet gilt. „Daher haben wir seismische Sensoren am Anfang und am Ende der Brücke installiert, die die Stabilität der lokalen Infrastruktur überwachen und frühzeitig Daten über gegebenenfalls beschädigte Bauteile liefern“, so Saraç.

**Tiefe Tunnel.** Ein weiteres BOT-Vorzeigeprojekt mit Investitionen von umgerechnet rund 900 Millionen Euro ist der seit 2011 geplante „Eurasia-Tunnel“, der binnen fünf Jahren betriebsfertig sein soll. Die doppelstöckige Röhre wird 5,4 Kilometer lang sein und direkt unter dem Bosphorus verlaufen. Täglich sollen sie etwa 75.000 Pkw passieren. Erste Erfahrungen mit unterirdischen Verkehrswegen hat Istanbul bereits gemacht: Bevor der Startschuss für den Eurasia-Tunnel fällt, wird bereits 2013 der erste Zug den Bosphorus unterqueren. 1,4 von 13,6 Kilometern des „Marmaray-Tunnels“ liegen unter dem Bosphorus. Laut Plänen sollen nach Fer-

tigstellung etwa 70.000 Passagiere pro Stunde und Richtung binnen vier Minuten die Meereseenge unterqueren. Der erdbebensichere Tunnel ist mit 56 Metern Tiefe der weltweit tiefste Tunnel seiner Art.

Auf der Suche nach weiteren Auswegen aus dem Chaos haben die Verkehrsplaner der Stadt zudem die erste Bahnstrecke Istanbul in den letzten Jahren auf 24,9 Kilometer erweitert: Diese Metrolinie transportierte 2011 rund

Beliebt sind auch die „Dolmuş“ genannten Sammeltaxis. Dies sind kleine Busse, die keine offiziellen Haltestellen haben, sondern auf Zuruf oder Handzeichen reagieren. Zudem gibt es seit sechs Jahren Metrobusse, die 2009 mit dem amerikanischen „Sustainable Transport Award“ des Instituts für Verkehrs- und Entwicklungspolitik in Washington D.C ausgezeichnet wurden. Dies ist ein Preis für Projekte, die Treibhausgase reduzieren und die Lebensqualität in Städten verbessern. Charakteristisch für diese „Bus-Rapid-Transit (BRT)“-Systeme sind baulich getrennte Busspuren, die den Fahrzeugen eine freie Fahrt ermöglichen. In Istanbul waren sie ursprünglich für 400.000 Passagiere vorgesehen, doch



nach aktuellen Statistiken transportieren sie mittlerweile 715.000 Menschen täglich.

Serpil kennt sie alle. Fast täglich wühlt sie sich mit mindestens fünf unterschiedlichen Verkehrsmitteln durch Istanbul. „Dolmuş, Fähren, S-Bahnen, Seilbahnen und nicht zu vergessen die städtischen Busse“, sagt sie mit generter Stimme. Denn in solch einem Bus steht sie gerade, nachdem ihre Fähre den europäischen Teil der Stadt erreicht hat. Seit 2004 hat Istanbul rund 14,5 Milliarden US-Dollar in die Verkehrsinfrastruktur der Stadt investiert, dies sei laut einem Bericht der Regierung über 50 Prozent des Gesamtbudgets. Als nächstes haben die Verkehrsplaner eine 47,8 Kilometer lange Strecke für Schwebelbahnen im Auge. Außerdem soll ein Call Center für Taxifahrer eingerichtet werden, um so die Zahl der leeren Taxis zu reduzieren. Aktuelle Untersuchungen haben nämlich ergeben, das von den 18.000 Taxis auf den Istanbul Straßen etwa 60 Prozent leer fahren.

Doch noch hat die Stadtregierung ihre Ziele nicht erreicht. Und so quält sich der Bus von Serpil völlig überfüllt im Schrittempo durch die verstopften Straßen. Zwei Stunden braucht sie manchmal für diese etwa zehn Kilometer lange Strecke. Gut, dass ihr Ziel ein Yoga-Kurs ist. Denn sie muss sich entspannen, schließlich steht ihr noch die Rückreise bevor. ■ Hülya Dagli



Grünes Santo Domingo: Metrofahrer können im Schnitt über eine Stunde Fahrtzeit pro Tag sparen, die CO<sub>2</sub>-Emissionen reduzieren sich um 70 Tonnen täglich.

# zwischen zwei Meeren

**Auch in der Karibik muss die Verkehrsinfrastruktur effizienter werden. Siemens half beim Bau der Metro in Santo Domingo – und bei der Finanzierung des Großprojekts.**



**Sandstrände gesäumt von Palmen,** tiefe Dschungel und keine Menschenseele. So stellt man sich die Dominikanische Republik vor, zwischen zwei Meeren: der Karibik und dem Atlantik. Doch menschenleer ist die Insel nicht. Etwa zehn Millionen Einwohner leben hier, fast ein Drittel in der Hauptstadt Santo Domingo. Noch vor ein paar Jahren schoben sich vor allem überladene Sammeltaxis und Minibusse durch die engen Straßen. Ein Metronetz sollte die Rettung bringen.

Nachdem Siemens bereits am Bau der ersten Metrostrecke beteiligt war, die 2009 in Betrieb ging, führt der Konzern seit 2010 das „Eurodom“-Konsortium für die zweite Linie an. „Es besteht aus deutschen, französischen, dominikanischen und spanischen Unternehmen“, sagt Miguel Berrozpe, der technische

Leiter im Sektor Infrastructure and Cities. „Die Metro, die wir gerade fertig stellen, ist eine zukunftsorientierte Lösung für die schlimmen Staus in Santo Domingo.“ Metrofahrer könnten im Schnitt über eine Stunde Fahrtzeit pro Tag einsparen, und die CO<sub>2</sub>-Emissionen würden sich um 70 Tonnen täglich reduzieren, besagen die offiziellen Schätzungen.

Die staatliche Metrogesellschaft hatte sich in der internationalen Ausschreibung auch ein überzeugendes Finanzierungsangebot gewünscht. „Wir haben eine Finanzierung mit Exportkreditversicherung vorgeschlagen. Das Gesamtpaket aus Produkt, Preis und Finanzierung hat den Kunden letztlich überzeugt“, sagt Silke Kleemann von Siemens Financial Services (SFS). Exportkreditversicherer, kurz: ECA (Export Credit Agency), versichern Lieferanten von Waren und Dienstleistungen, in diesem Fall Siemens, aber auch Banken, gegen Zahlungsausfälle. Solche Agenturen spannen eine Art Sicherheitsnetz zwischen Lieferanten und Banken aus zumeist Industriestaaten und Kunden im Ausland, vor allem aus Schwellen- und Entwicklungsländern. Das funktioniert so: Siemens schließt einen Liefervertrag mit

unter einen Hut zu bekommen, dass am Ende in jedem Kreditvertrag die gleichen relevanten Dinge standen“, sagt Kleemann. So konnten 80 Prozent des Projekts von insgesamt 166 Millionen Euro finanziert werden. 20 Prozent brachte der Kunde selbst auf. Mithilfe von ECA-Finanzierungen konnte Siemens in der Vergangenheit schon elektrische Triebzüge für die bulgarische Staatsbahn, Highspeedzüge für Russland oder die Elektrifizierung von Nahverkehrsstrecken in Indonesien finanzieren. Die Züge in Russland wurden beispielsweise mit 300 Millionen Euro finanziert, davon waren 250 Millionen Euro durch die Euler Hermes Kreditversicherung gedeckt. Für die Metrolinie 2 in Santo Domingo übernahm das Eurodom-Konsortium neben dem Gleisbau die elektrotechnische Ausrüstung mit der Automatisierung und den Kommunikationssystemen und Siemens die Signal- und Steuerungstechnik mit der automatischen Zugbeeinflussung und dem Betriebsleitsystem. Zudem soll die Metrostrecke während der ersten drei Jahre durch Siemens instandgehalten werden. Die neue Strecke verläuft von den westlichen Vororten Santo Domingos bis in die be-

■ Silke Weber



Freie Fahrt für Millionen: Bangkok baut den öffentlichen Personennahverkehr aus. Der Skytrain von Siemens ist als erster Teil des Plans bereits 1998 in Betrieb genommen worden.

# Masterplan gegen Dauerstau

Die aufstrebenden Wirtschaftszentren Bangkok und Kuala Lumpur rüsten sich mit neuen Nahverkehrsnetzen für die Zukunft. Siemens ist dabei auf vielfältigste Weise Partner der Metropolen.

In Bangkok sind viele Verkehrspolizisten mit Nabelschnurschere ausgestattet, denn alljährlich kommen hunderte Frauen auf dem Weg ins Krankenhaus nieder. Kein Wunder – denn in der Hauptstadt Thailands herrscht notorischer Dauerstau. Wo einst Kanäle die Metropole durchzogen, quälen sich heute auf den Straßen täglich Millionen Autos. Motorrikschas, die Tuktuks, reihen sich dazwischen, und Motorradtaxis manövrieren ihre Passagiere geschickt durch die Blechkolonnen.

Ohne öffentlichen Nahverkehr wäre der Verkehrskollaps längst eingetreten. Sieben Millionen Fahrzeuge sind hier registriert, elf Millionen Menschen leben in der Region. Das Schlimmste zu vermeiden hilft der von Siemens 1998 fertig gestellte „Skytrain“, der auf 12 bis 30 Metern hohen Viadukten über die Staus hinweg schwebt – zu Stoßzeiten im Zweiminutentakt (*Pictures of the Future*, Frühjahr 2006, S.26). Täglich fahren rund 600.000 Passagiere mit der zu einem Wahrzeichen Bangkoks avancierten Schnellbahn. Sie besteht aus zwei Linien, die vom Stadtinneren über 32 Haltestationen nach Norden, Südosten und Südwesten führt. Siemens fertigt derzeit 35 weitere Waggons für den Skytrain.

Der Aufstieg asiatischer Metropolen wie Bangkok oder der malaysischen Hauptstadt Kuala Lumpur, die beide mit einem Wirtschaftswachstum von sechs Prozent pro Jahr zu den wichtigsten Metropolen Asiens gehören, hat auch seine Schattenseiten. Anfang der 1990er-Jahre legten die Bewohner Bangkoks rund achtzig Prozent aller Fahrten mit Bus, Auto, Moped oder Taxi zurück. Die Durchschnittsgeschwindigkeit im Stadtzentrum lag während der Stoßzeiten unter 10 km/h – heute sind es immerhin 18 km/h. Prognosen der Weltbank sagen zudem voraus, dass die urbane Bevölkerung Thailands bis 2050 um 60 Prozent steigen wird.

„Wir brauchen schnelle, verlässliche und verbrauchsarme öffentliche Verkehrsmittel für eine bessere Umwelt und Lebensqualität“, sagt Teerachon Manomaiphikul, stellvertretender Gouverneur von Bangkok. „Bis 2021 wollen wir die Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel von heute 40 auf 60 Prozent erhöhen.“ Bangkoks Stadt- und Verkehrsplaner entwickelten bereits 1994 einen ambitionierten Masterplan, den Bangkok Mass Transit Development Plan mit über einem Dutzend neuer U-Bahn- und Schnellbahnlinien, unter anderem entlang der stark befahrenen Sukhumvit und Silom Road, die so entlastet würden. Es gibt immer wieder Änderungen zu dem Plan, doch die grobe Struktur bleibt erhalten.

Der erste Streich war der Skytrain. Siemens ist in Thailand bereits seit 110 Jahren tätig –

inzwischen nicht mehr nur als ein Auftragnehmer, sondern auch als Partner, mit über 1.200 Mitarbeitern, davon allein 400 für Montage und Wartung der Züge in Bangkok. Das Unternehmen erhielt auch den Auftrag für die „blaue Linie“, die erste U-Bahn der Stadt. Siemens errichtete die Metro bis 2004 in nur 28 Monaten in Zusammenarbeit mit einem thailändischen Bauunternehmer; heute nutzen sie täglich 210.000 Passagiere. Sie führt in einem Halbkreis entlang einer der wichtigsten – und stauanfälligsten – Routen. Der Bau war kein Kinderspiel, liegt die Stadt doch in einer Tiefebene entlang des Chao Phraya Flusses. „Die Bauingenieure mussten sicherstellen, dass kein Wasser in die Tunnel dringt – vor allem während der Regenzeit“, sagt der Bahnexperte Katrat Upayokin, der in Bangkok Siemens Rail Systems leitet.

**Uni für Zugtechnik-Ingenieure.** Dabei lebt das Unternehmen auch mit der Metropole. Während großer Überflutungen im November 2011 halfen Siemens-Mitarbeiter, die Stadt vor dem Chaos zu bewahren, indem sie einen reibungslosen Betrieb des Schienenverkehrs garantierten: Sie waren ständig auf Abruf, für den Fall, sollte die Hauptstadt evakuiert werden müssen. Außerdem unterstützt Siemens derzeit die Regierung Thailands dabei, an führenden Universitäten Lehrpläne für Zugtechnik-Ingenieure neu zu entwickeln. „Unser Rat wird von unseren Vertragspartnern in Bangkok gerne gehört“, sagt Mathias Becker, der für den Vertrieb in Thailand zuständig ist. „Natürlich vor allem in technischer Hinsicht, aber man fragt uns auch nach unseren Erfahrungswerten für die Verkehrsplanung.“



Schnelle Verbindung: Seit Siemens den Airport Rail Link nach Bangkok lieferte, nutzen ihn jeden Tag rund 45.000 Passagiere.



2010 lieferte Siemens zudem den Airport Rail Link. In seinen klimatisierten Wägen fahren täglich 45.000 Passagiere von der Innenstadt zum 28 Kilometer entfernten Suvarnabhumi-Flughafen und zurück. Alle drei Bahnen sind an mehreren Bahnhöfen vernetzt, um ein rasches Umsteigen zu ermöglichen. Diese Nahverkehrs-Projekte helfen dem boomenden Bangkok, seine Infrastruktur an das starke Wachstum anzupassen (*Pictures of the Future*, Frühjahr 2011, S.11).

Doch der Ausbau des Netzes geht in Riesenschritten weiter. So sollen in den nächsten vier Jahren weitere acht Milliarden Euro investiert werden. Mit bis zu zehn Bahnlinien soll das Streckennetz mehr als verdoppelt werden. Bis 2029, so der aktuelle Masterplan, sollen 18 neue Nahverkehrsstrecken die Stadt versorgen, die aus dem Zentrum in die Peripherie und im Ring um die Innenstadt führen. „Wird alles wie geplant verwirklicht, hat Bangkok zweifellos eines der besten Nahverkehrssysteme Asiens“, sagt Marc Ludwig, Vertriebsleiter für den Asien-Pazifik-Raum in der Mobility and Logistics Division von Siemens.

Dank der erfolgreichen Bahnlinien ist Bangkok auch ein Vorzeigebispiel für andere Städte Asiens – etwa für Kuala Lumpur. Hier entfielen Anfang der 1980er-Jahre noch ein gutes Drittel aller Fahrten auf den öffentlichen Nahverkehr – Busse, Taxis, Bahn. Heute sind es nur noch 20 Prozent, die auf öffentliche Verkehrsmittel entfallen. „Das liegt auch daran, dass die nationale Autoindustrie, vor allem die Marke Proton, von der Regierung stark gefördert wurde. Dem öffentlichen Nahverkehr galt daher bis vor kurzem nicht das Hauptinteresse“, sagt Shariman Zain Yusuf von Siemens Mobility and Logistics in Malaysia. Auch heute noch besitzt in Kuala Lumpur jeder Haushalt im Schnitt zwei Fahrzeuge – fast so viele wie in den Vereinigten Staaten. „Für neue Straßen ist allerdings kein Platz, weshalb massive Investitionen in den öffentlichen Nahverkehr sehr angebracht sind.“

Für die Commonwealth Games im Jahre 1998 baute die Stadt zwei automatisierte

Stadtbahnen. Die Kelana Jaya Line führt von Osten nach Süden durch die Metropole, die Ampang-Linie von Norden nach Osten. Außer der KL Monorail und dem Express Rail Link (ERL) zum Kuala Lumpur International Airport wurden seither allerdings keine weiteren Strecken errichtet. Die Folge: Die 1,6-Millionen-Stadt – mit weiteren vier Millionen Menschen in der Region – hat mit die wenigsten Schienenkilometer pro Einwohner in Asien.

Doch auch hier machen es Dauerstaus wie in Bangkok notwendig, das Nahverkehrsnetz massiv auszubauen. Dabei soll der Schienenverkehr das Rückgrat bilden. Bis 2020, so sieht es der Entwurf der Regierung vor, sollen über 100 Kilometer neue Metrolinien entstehen, die das Zentrum mit den Außenbezirken verbinden. Darunter auch modernste, fahrerlose Züge. 58 Inspiro-Züge hat die Mass

Rapid Transit Corporation Kuala Lumpurs einschließlich zweier Zugdepots 2012 von Siemens geordert – sie sollen bis 2016 auf einer neuen 51 Kilometer langen Strecke rollen, die den Nordwesten der Stadt mit dem Südosten verbindet. Dies ist Teil eines umfassenden Infrastrukturplans, der die Verkehrs- und Umweltbelastung im Großraum Kuala Lumpur reduzieren soll.

In Nordamerika ist diese Technologie noch kaum verbreitet – in Europa, etwa in Nürnberg, Paris, Lille oder Oslo, fahren allerdings bereits fahrerlose U-Bahnen. Ihr Vorteil: Sie können in kürzerer Taktung fahren, mehr Passagiere transportieren und sind kosteneffizient. „Wenn man ein Verkehrssystem von Grund auf neu errichtet wie in Kuala Lumpur, will man die neueste Technologie“, so Yusuf. „Natürlich müssen die Menschen das Angebot erst auch annehmen – und deshalb ihre alten Gewohnheiten ändern. Aber ich bin zuversichtlich, denn auch die bisher gebauten Linien hat die Bevölkerung angenommen. Niemand steht gerne stundenlang im Stau.“

Hubertus Breuer



**Robin Chase** (54) ist Gründerin und CEO von Buzzcar, einem Carsharing-Dienstleister, der Autobesitzer und Mitfahrer zusammenbringt. Sie ist auch Gründerin und früherer CEO von GoLoco, einer Online-Mitfahr-Community und von Zipcar, dem weltgrößten Carsharing-Anbieter, der kürzlich ein Kaufangebot von Avis erhielt. Zudem ist sie Vorstandsmitglied des World Resources Institute, des National Advisory Council for Innovation & Entrepreneurship des US-Wirtschaftsministeriums und des International Transport Forum Advisory Board der OECD. Chase hat viele Auszeichnungen für Innovation, Design und Umwelt erhalten, darunter die „Time 100 Most Influential People“, „Fast Company Fast 50 Innovators“ und „BusinessWeek Top 10 Designers“. Sie hat einen Universitätsabschluss für Englisch, Französisch und Philosophie am Wellesley College und einen MBA von der Sloan School of Management des MIT. Zudem war sie Loeb Fellow an der Harvard University.

**Welche Beispiele für nachhaltigen Verkehr haben sich in der Praxis bewährt?**

**Dalkmann:** Es existieren viele vorbildliche Systeme in der Welt, wie etwa Carsharing und Bus Rapid Transit (BRT). Bei BRT gibt es separate Busspuren, die an Staus vorbeiführen, und an Ampeln werden Busse bevorzugt. Wenn wir über nachhaltige Mobilität sprechen, müssen wir das System ganzheitlich betrachten. Ein gutes Beispiel ist Kopen-

## „Durch Teilen nutzen wir die Ressourcen besser“

hagen: Bereits 1947 entwickelte die Stadt eine Vision für ihr Wachstum: Das Resultat war ein am Öffentlichen Personen-Nahverkehr (ÖPNV) orientierter Stadtentwicklungsplan, der dann konsequent umgesetzt und ausgebaut wurde. Das Fahrrad ist hier in den Mittelpunkt gerückt. Am wichtigsten ist aber, dass die Gebiete um die öffentlichen Verkehrsmittel herum dicht besiedelt sind und dass der ÖPNV vielfältig genutzt wird und leicht zugänglich ist. Seit den 1970er-Jahren gilt Kopenhagen als Vorzeigestadt, in der ÖPNV und Landnutzung perfekt harmonisieren.

**Chase:** Wir müssen nachhaltige Mobilität im Lauf eines Menschenlebens betrachten: Je nach Alter oder Ziel variieren die Bedürfnisse. Betrachten wir zwei Extreme: Houston, wo alles per Auto erledigt wird, und ein afrikanisches Dorf, wo Laufen die einzige Möglichkeit ist. In beiden Fällen wird nur eine Art der Fortbewegung genutzt. Vielfalt ist jedoch die beste Lösung: Manche Wege geht man am besten zu Fuß, andere eignen sich für das Fahrrad, für das Motorrad, für Carsharing, für die U-Bahn. All diese Lösungen sind wichtig für meine Mobilität. Bei weniger als einem Kilometer laufe ich, bis zu vier Kilometer fahre ich Rad, darüber nehme ich die U-Bahn und bei mehr als zehn Kilometern das Auto. Und wenn ich mit einer Gruppe oder kleinen Kindern unterwegs bin, habe ich wieder andere Bedürfnisse.

**Analysten prognostizieren ein exponentielles Wachstum des Carsharing-Marktes. Ist das der Trend der Zukunft?**

**Chase:** Das hoffe ich! Wir müssen Stadt-

bewohner überzeugen, dass Carsharing die coolste, bequemste und günstigste Art des Autofahrens ist. Besonders liegt mir der Gedanke des „gemeinschaftlichen Konsums“ am Herzen: Durch Teilen nutzen wir die Ressourcen besser. Erstens werden Autos im Schnitt nur zwei Stunden am Tag bewegt, meist nur von einer Person. Zweitens können Sie den Fahrzeugtyp wählen, den Sie gerade brauchen. Drittens steht Ihnen eine Flotte

von Fahrzeugen überall in der Stadt zur Verfügung – nicht nur vor Ihrem Haus. Und schließlich kümmert sich jemand anderes um Wartung und Reparaturen. Das sogenannte Peer-to-Peer-Carsharing geht noch weiter. Über Buzzcar ([www.buzzcar.com](http://www.buzzcar.com)) beispielsweise können Autobesitzer ihre eigenen Autos mit anderen teilen. Damit wird die Auslastung der Autos optimiert und die Kosten sinken. Außerdem kann mit Peer-to-Peer-Carsharing die Anzahl der Autos reduziert werden – dadurch nimmt auch der Platzbedarf für parkende Autos ab. Carsharing-Nutzer handeln also nachhaltig, sind flexibler und kostenbewusster. Carsharing ist ein Ausdruck des neuen urbanen Lebensstils, und so sollte es auch vermarktet werden.

**Wie kann man den Mobilitätsbedarf in Städten langfristig senken?**

**Chase:** Als Städte durch die Industrialisierung wuchsen, wurden Wohn- und Arbeitsort voneinander getrennt. Deshalb müssen wir jetzt lange Fahrzeiten in Kauf nehmen. Wir haben erkannt, dass dichte, vielfältig genutzte Gebiete uns am meisten dienen. In Paris zum Beispiel, wo ich seit zwei Jahren lebe, habe ich fast alles, was ich brauche, im Umkreis von drei Querstraßen!

**Dalkmann:** Wir müssen in der Tat in den Kategorien Zugang und räumliche Nähe denken. Betrachten wir die Schwellenländer mit einer Vielzahl von Favelas und Slums. Diese Gebiete werden langfristig verbessert, etwa für die Olympischen Spiele in Rio de Janeiro. Die Frage ist, wie wir sie gestalten: Schaffen wir öffentlichen Raum, eine sichere Umgebung für Fußgänger und Radfahrer

sowie Zugang zu öffentlichen Verkehrsmitteln, dann fördern wir eine nachhaltige Mobilität. Bauen wir nur Straßen, wird es mehr Autos geben.

**Staus in Städten sind weltweit ein Problem. Welche Rahmenbedingungen gestalten den Verkehr nachhaltiger?**

**Dalkmann:** Erstens können sich ökonomische Maßnahmen wie eine Erhöhung der Benzinpreise oder der Steuern auf die Nutzung und Anzahl von Autos auswirken. Zweitens spielt der politische Rahmen für Investitionen in nachhaltige Infrastruktur eine wichtige Rolle: Indien plant beispielsweise, in den nächsten 20 Jahren 300 Milliarden US-Dollar für Massenverkehrsmittel wie BRT und Metros auszugeben. Ähnliche Programme zur Förderung nachhaltiger Stadtentwicklung gibt es in China, Brasilien und Mexiko. Und drittens müssen wir den Städten helfen, durch Mautsysteme oder Parkgebühren selbst die finanziellen Mittel aufzubringen, die dann in die Verbesserung des öffentlichen Nahverkehrs investiert werden. Beispiele sind Singapur oder London mit ihrer City-Maut. Der Schlüssel zum Erfolg ist letztlich, eine nachhaltige, auf öffentliche Verkehrsmittel ausgerichtete Verkehrspolitik bereits in der Stadtplanung zu berücksichtigen.

**Chase:** Wir sollten uns bewusst sein, wie sehr wir Autofahren und Parken subventionieren. Das muss reduziert werden. In den meisten Städten kostet Parken fast nichts, obwohl die Bereitstellungskosten für Parkraum in überfüllten Gebieten sehr hoch sind. Wir könnten zu den Maßnahmen, die Holger Dalkmann beschrieben hat, weitere Anreize hinzufügen wie die Abschaffung von Parkgebühren für Carsharing-Autos oder eine Steuersenkung für Peer-to-Peer-Sharing-Autos.

**Wie können wir öffentliche Verkehrsmittel noch attraktiver machen?**

**Dalkmann:** Von A nach B zu gelangen, wird immer schwieriger, da Städte weiter wachsen und neue Vororte entstehen, die keinen Zugang zu Arbeitsplätzen, Gütern und Dienstleistungen haben. Die sogenannten „Last Mile“-Projekte konzentrieren sich darauf, wie Menschen den letzten Abschnitt des Weges zurücklegen, um zu Bahn- und Busstationen zu gelangen. Unsere Organisation EMBARQ arbeitet zum Beispiel mit Gemeinden an der Integration solcher Last-Mile-Verkehrsmittel. Dazu zählen der Bau von Radwegen und Fußgängerzonen sowie die Förderung von Bike-Sharing und die Un-

terstützung innovativer Geschäftsideen wie Riksha-Taxidienste.

**Chase:** Viele sehen im Auto die Lösung für die letzte Meile. Das ist aber teuer und auch logistisch schwierig, da es um Bewegung in eine Richtung zu den Hauptverkehrszeiten geht. Es ist wichtig, dichte Wohngebiete mit Anbindung an den öffentlichen Nahverkehr zu bauen und sichere, bequeme Fußgänger- und Radwege anzulegen. Auch für die autonomen Fahrzeuge, über die jeder spricht, ist das der geeignete Ort. Ich kann sie mir beispielsweise als Carsharing-Autos für die letzte Meile vorstellen.

**Welches Potenzial haben Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) bei der Lösung der Probleme?**

**Dalkmann:** IKT eröffnet uns jederzeit Zugang zu Informationen über die besten Routen, Staus, freie Parkplätze, Busfahrpläne und vieles mehr. Ein Beispiel: Die Bostoner Verkehrsbehörde stellt der Öffentlichkeit die Echtzeitdaten ihrer Fahrzeugflotte zur Verfügung, und schnelle Entwickler haben bereits Apps online gestellt, die Fahrgäste mit Echtzeitinformationen zur nächsten Busabfahrt oder zu Routen versorgen. Ein anderes Beispiel: Moderne Smart-Card-Systeme wie etwa in Hannover bieten komplette Mobilitätskonzepte an: von ÖPNV und Bahncard über Carsharing bis hin zu Taxi-Rabatten und weiteren Diensten. Außerdem verbessert IKT das Verkehrsmanagement: Verkehrsleiter können besser auf Staus reagieren und die Menschen schneller informieren. Busfahrer und Zugführer halten ihre Taktzeiten besser ein, und Fahrzeuge kommunizieren sogar mit Ampeln, um Vorfahrt zu erhalten. Aber auch bei IKT gilt es, auf ganzheitliche, integrierte Ansätze zu achten.

**Chase:** Nur dank IKT funktioniert der Gedanke des Teilens überhaupt. So lassen sich auch geringfügige Dienste finden, buchen und bezahlen. Neue Bewertungsportale und soziale Netzwerke helfen, Vertrauen aufzubauen. Die Technik – das Internet, Datenübertragung per Funk und Apps – macht dies möglich, und zwar kostengünstig und einfach.

**In einem Satz: Was ist Ihre Vision der Mobilität der Zukunft?**

**Chase:** Vielfalt der Verkehrsmittel und Carsharing.

**Dalkmann:** Sehe ich genauso – Vielfalt der Verkehrsmittel und Carsharing in dichten, vielfältig genutzten und leicht zugänglichen Stadtgebieten.

■ Das Gespräch führte Andrea Frost.



**Holger Dalkmann** (42) hat 15 Jahre Erfahrung in den Bereichen Verkehrswesen, Nachhaltigkeit und Klimawandel. Er kam 2011 als Direktor des EMBARQ-Programms zum World Resources Institute in Washington D.C., das umweltfreundliche und finanziell tragfähige Verkehrslösungen in Städten fördert. Vor kurzem gründete er die Initiative „Bridging the Gap“ und ist Mitbegründer der „Partnership on Sustainable Low Carbon Transport“. Dalkmann veröffentlicht regelmäßig Artikel in wissenschaftlichen Zeitschriften. Für den „UNEP Green Economy Report“ ist er Hauptautor des Kapitels zum Verkehrswesen. Holger Dalkmann hat ein Diplom in Geographie der Universität Trier.

Tarifdschungel adé: Mit dem kreditkarten-großen E-Ticket können Fahrgäste alle Verkehrsmittel flexibel nutzen. In Lissabon ist eine erste Lösung bereits im Einsatz (rechts).



# Smarter reisen mit dem eTicket

Um den öffentlichen Nahverkehr attraktiver zu machen, arbeiten Wissenschaftler an Konzepten, die den Fahrkartenkauf so einfach wie möglich machen und die Vernetzung mit anderen Verkehrsmitteln ermöglichen. Dem eTicketing gehört die Zukunft.

**Wer kennt das nicht:** Früh morgens steht man vor dem Fahrkartenautomaten und dann reicht das Kleingeld nicht. Oder man verzweifelt vor der Auswahl an Tarifen: Einzelticket? Tagesticket? Wie viele Zonen? Und welches Verkehrsmittel ist das schnellste bis zum Ziel: Bus? Bahn? Das schreckt ab.

Abhilfe schafft das elektronische Ticket, das den Fahrgast vor Kleingeldsuche und Tarifdschungel bewahrt und Busse und Bahnen zu einer attraktiven Alternative zum Pkw werden lässt. Ein großer Vorteil: Moderne Systeme berechnen automatisch den richtigen Fahrpreis. Das einzige, was der Fahrgast bei sich trägt, ist eine Plastikkarte im Kreditkartenformat, mit der er sich bei den Fahrten registrieren kann. Siemens hat eine solche Smartcard entwickelt. Über integrierte RFID-Chips kann die Karte mittels Funkwellen iden-

tifiziert werden. Sie lässt sich intermodal, also für verschiedene Verkehrsmittel, und interoperabel, also für verschiedene Verkehrsunternehmen und Tarifverbände sowie angeschlossene Dienstleister einsetzen. Fahrgäste können so mit nur einem Medium alle Verkehrsmittel einer Stadt oder eines Verkehrsverbundes nutzen und flexibel zwischen den Verkehrsträgern wechseln.

Siemens forscht kontinuierlich an Konzepten für das benutzerfreundliche Reisen und hat auch beim Ticketing verschiedene Lösungen realisiert. So ist beim portugiesischen Bahnbetreiber Comboios de Portugal eine eTicketing-Lösung im Einsatz, für die Siemens die Zugangskontrollsysteme und die Hintergrundsoftware lieferte, die eine interoperable Vernetzung mit dem regionalen Verkehrsanbieter OTLIS in Lissabon ermögli-

chen. Die einzelnen Fahrten werden registriert, indem der Fahrgast die Smartcard beim Ein- und Aussteigen vor einen Kartenleser hält. Man spricht bei diesem Zugangsprinzip auch von einem „Check-in/Check-out“ (CiCo)-Verfahren.

Technisch ist jedoch noch viel mehr möglich. Die von Siemens entwickelte Smartcard besitzt eine Doppelfunktion und ist auch für das „Be-in/Be-out“ (BiBo)-Prinzip einsetzbar. Damit könnte folgendes Szenario schon in wenigen Jahren Realität sein: Mit der Smartcard – egal ob in der Hosentasche oder im Rucksack – betritt der Fahrgast Bus oder Bahn. Die Karte wird automatisch, das heißt ohne aktive Handlung des Reisenden erfasst. Das entsprechende, von Siemens entwickelte System zur sogenannten Raumerfassung besteht aus einem Lesegerät und einem Mini-



computer, dem sogenannten „BiBo-Gateway“. Das Lesegerät ist im Fahrzeug an der Decke montiert und enthält neben den Antennen für die Detektion der Smartcard auch solche für die drahtlose Kommunikation mit dem BiBo-Gateway. Immer wieder wird die Smartcard, auch während der Fahrt, über Funkwellen registriert. Sobald der Fahrgast den Waggon am Zielort verlässt, bucht die Karte sich automatisch wieder aus. Das BiBo-Gateway sammelt die Daten – also die gefahrenen Strecken, die Wechsel in der Wagenklasse, Fahrtunterbrechungen und Umsteigevorgänge –, verschlüsselt diese und schickt sie komprimiert an das Hintergrundsystem. Dort werden die erfassten Daten dem Kundenkonto und damit dem Fahrgast zugeordnet und der jeweils günstigste Fahrpreis berechnet.

„Genau hier – in der korrekten Abrechnung – liegen die Herausforderungen des Systems“, erklärt Marcel Kalbermatter, der bei Siemens Schweiz für das Thema eTicketing verantwortlich ist. Abgerechnet wird bargeldlos. „Die Fahrgäste können wählen, ob sie lieber per Lastschrift oder Kreditkarte bezahlen oder ihr eTicket als Guthabekarte führen wollen“, sagt Kalbermatter. „Letzteres hat den Vorteil, dass es nicht zwingend nötig ist, seine persönlichen Daten anzugeben.“

**Easy Ride für Eidgenossen.** Kalbermatters Heimatland – die Schweiz – könnte schon bald zum Vorreiter in Sachen eTicketing werden. Schon vor mehr als zehn Jahren wurden dort – damals unter dem Namen „Easy Ride“ – erste Tests für das bargeldlose Reisen absolviert (*Pictures of the Future*, Frühjahr 2004, S.24 und Herbst 2005, S.23). Die Funktionstüchtigkeit und die Zuverlässigkeit des Tickets überzeugten, die Kosten für die Einführung des BiBo-Ansatzes waren jedoch noch zu hoch. Das ist heute anders. Die Schweizer Bundesbahnen und der Verband öffentlicher Verkehr in der Schweiz planen bis 2017 mit einem einzigen elektronischen Ticket alle herkömmlichen Fahrkarten abzulösen. „Siemens bereitet zurzeit die Zulassung des Systems vor. Wenn es uns gelingt, das BiBo-Prinzip in der Schweiz einzuführen, wäre das Land weltweit führend in Sachen eTicketing“, so Kalbermatter.

In den vergangenen Jahren gelang es Siemens, das eTicketing-System kontinuierlich weiterzuentwickeln. „Die Technik ist viel billiger geworden, wir rechnen nur noch mit einem Bruchteil der Kosten für das ganze System verglichen mit dem, was es vor einigen Jahren gekostet hätte“, erklärt Kalbermatter, der die Easy Ride-Idee in der Schweiz begründet hat. Hätten früher noch teure Ethernet-Kabel verlegt werden müssen, laufe die Kommunikation heute über gesicherte Drahtlosnetzwerke. Darüber hinaus habe sich auch die RFID-Technik etabliert, und Geräte und Chips seien wesentlich günstiger geworden.

Vorteile des eTicketings liegen für die Verkehrsanbieter vor allem darin, dass sie damit die Betriebskosten senken können. Mithilfe der Details von Passagierzahlen und bevorzugten Reisezeiten können sie den Einsatz ihrer Fahrzeugflotten optimieren. Einnahmeausfälle durch Schwarzfahrer oder die Anzahl gefälschter oder falsch gewählter Tickets würden stark zurück gehen, glaubt man den Statistiken der Oystercard, die beim Londoner CiCo-System zum Einsatz kommt. Der Verkehrsanbieter registrierte dort einen Rückgang der Einnahmeverluste von 4,5 Prozent

in 2003 auf 1,5 Prozent in 2007 – insgesamt verdiente das Unternehmen dadurch fast 47 Millionen Euro mehr. Natürlich braucht man auch weiterhin Ticketkontrollen – dabei reicht es meist, die Chipkarte in die Nähe des Kontrollgeräts zu halten, um die Gültigkeit der Fahrkarte festzustellen. Dank der automatischen Erfassung der Wege und Zeiten und der Streckenauslastung können die Verkehrsanbieter auch die Tarife neu gestalten: So können sie Stammkunden Rabatte einräumen oder die Benutzung der Züge in Randstunden honorieren und dadurch Anreize zu einer besseren Auslastung schaffen.

Vom elektronischen Ticket spricht man aber nicht nur bei Smartcards. Auch mit Smartphones kann man elektronische Tickets kaufen. Allerdings lässt sich das BiBo-Prinzip technisch nur bedingt über Handys umsetzen. Da zudem nicht jeder ein ausreichend leistungsfähiges Handy besitzt, kann das Mobiltelefon nur eine Alternative und nicht die einzige Lösung sein. Probleme liegen aus Datenschutzsicht auch darin, dass das Handy während der Fahrt angeschaltet bleiben muss und so permanent Daten gespeichert werden, sobald Funkzellen durchfahren werden. Bewegungsdaten sind damit in Echtzeit über den Mobilfunkanbieter abrufbar. Der Manipulationsschutz ist darüber hinaus bei der Smartcard deutlich höher. Doch als alternatives Zugangsmedium hat das Handy durchaus seine Berechtigung. So existieren bereits Lösungen wie das „Handyticket Deutschland“, das von der Siemens-Tochter HanseCom mit dem Verband Deutscher Verkehrsunternehmen realisiert wurde.

Eines ist jedenfalls sicher: Das Ticket aus Papier gehört der Vergangenheit an. Die Smartcard soll langfristig nicht nur im öffentlichen Personenverkehr zum Einsatz kommen: „Je mehr Funktionen wir in der Smartcard integrieren können, desto attraktiver ist sie. Beispielsweise könnten damit auch gebührenpflichtige Parkplätze gezahlt werden oder sie könnte an Mietwagen- oder Bike-Sharing-Stationen zum Einsatz kommen“, erklärt Kalbermatter seine Zukunftsvision. „Und das wichtigste: Alles wird über ein Zahlungsmittel abgerechnet und der Nutzer erhält für alle in Anspruch genommenen Leistungen nur eine Rechnung am Monatsende.“ Ein weiterer Schritt, den öffentlichen Verkehr noch stärker mit dem Individualverkehr zu vernetzen. Schon heute gehören Parkplatznot, Verkehrsstaus und Luftverschmutzung zu den größten Problemen von Städten weltweit. Das eTicketing könnte hier einen Beitrag zur Lösung leisten.

■ Mirjam Blaum



# Der perfekte Beifahrer

Ein plötzlicher Stau, eine Ölspur, oder ein liegengebliebenes Fahrzeug hinter der nächsten Kurve – der Straßenverkehr steckt voller Überraschungen. Doch wie wäre es, wenn alle Verkehrsteilnehmer nützliche Informationen über die Straßensituation miteinander teilen könnten? In Wien funktioniert das bereits auf einer Teststrecke.

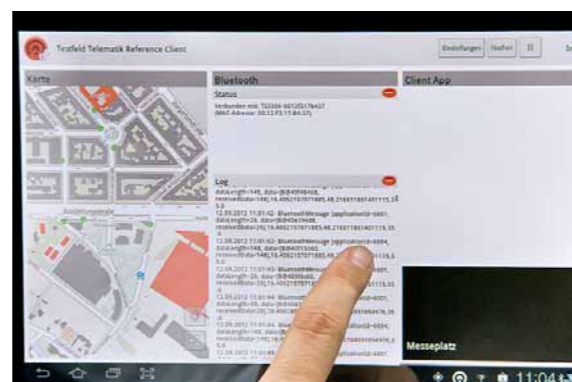
Seit Wochen liefert sich Fritz Kasslatner einen Wettbewerb mit Ampeln. Die Herausforderung: Würde er es schaffen, die zahlreichen Verkehrslichter auf seiner gewohnten Strecke zu passieren, ohne auch nur einmal anhalten oder bremsen zu müssen? Heute gelingt ihm das hervorragend: Zwar ist die nächste rote Ampel schon zu sehen und er nimmt den Fuß vom Gaspedal, doch als die Ampel kurz darauf wie von Zauberhand auf grün umschaltet, huscht ein Lächeln über sein Gesicht. Es hat wieder funktioniert: Fritz Kasslatner surft auf der grünen Welle.

Doch es sind nicht wochenlange Übung und ein gutes Zeitgefühl, die Kasslatner so geschmeidig durch den Wiener Stadtverkehr huschen lassen. Vielmehr hat er einen kleinen digitalen Helfer, der ihm stets wichtige Informationen über die Verkehrssituation zuflüstert: Auf den ersten Blick wirkt der Monitor, der mit einem Saugnapf an der Windschutzscheibe befestigt ist, wie ein herkömmliches Navigationsgerät – er zeigt die

eigene Position, die gewählte Route, die Ankunftszeit und die verbleibende Strecke an.

Nähert sich das Fahrzeug jedoch einer Ampel, rückt plötzlich ein digitaler Tacho ins Bild, und eine Frauenstimme kommentiert: „Grüne Welle bei 50 km/h“ oder „Rote Ampel schaltet gleich um“. Wie ein virtueller Beifahrer, der sich nur ins Geschehen einmischt, wenn es unbedingt nötig ist, dann aber hilfreiche und präzise Anweisungen gibt. Kasslatner muss seinen Fahrstil nur entsprechend anpassen, und rote Ampeln gehören der Vergangenheit an.

Das Geheimnis hinter dem scheinbar allwissenden Gerät sind Hunderte von Kameras sowie Sensoren, die beispielsweise als Induktionsschleifen in die Fahrbahn eingelassen sind und eine Flut an Informationen sammeln: Wie viele Fahrzeuge sind unterwegs und wie schnell fahren sie? Wo staut sich der Verkehr? Wo gibt es Behinderungen? Wie ist die Straßenbeschaffenheit – besteht vielleicht die Gefahr von Aquaplaning, Ölsuren



Verkehrsteilnehmer im Dialog: In Wien testen Forscher die Mobilität der Zukunft. Eine Verkehrsleitzentrale (rechts) sammelt aktuelle Daten über das Verkehrsgeschehen von Kameras und zahlreichen Sensoren an den Straßen und sendet sie an Testfahrzeuge. Onboard-Units (links) zeigen dann den Fahrern genau die Informationen an, die auf ihre Bedürfnisse zugeschnitten sind – etwa, wie man fahren muss, um die grüne Welle an den Ampeln zu nutzen.

oder überfrierender Nässe? Wann schalten die Ampeln um?

Diese Helfer wurden im Rahmen des Projekts „Testfeld Telematik“ entlang einer etwa 45 Kilometer langen Teststrecke in Wien installiert. Ziel ist nichts Geringeres als die Mobilität der Zukunft: nach Wegen zu suchen, den Verkehr in Großstädten effizienter, sicherer und komfortabler zu machen. Das geht nach Ansicht der 14 Projektpartner nur, wenn alle Beteiligten am Straßenverkehr miteinander kommunizieren. Testfahrer Kasslatner, der bei der globalen Siemens-Forschung, der Corporate Technology (CT), in Österreich für kabellose Kommunikation zuständig ist, bringt es auf den Punkt: „Wir müssen all die Informationen, die auf den Straßen herum-schwirren, ins Fahrzeug hineinbringen“.

**Stets aktuelle Verkehrsmeldungen.** CT-Forscher entwickelten gemeinsam mit der Siemens-Division Mobility and Logistics für den ITS Weltkongress 2012 in Wien einen

Dank vieler fleißiger Datenlieferanten kann hier auf einem Meer an Bildschirmen ständig die aktuelle Verkehrssituation beobachtet werden: Verkehrskameras senden Bilder, Sensoren messen die Wetter- und Straßensituation, auch aktuelle Abfahrtszeiten und Störungen des öffentlichen Nahverkehrs sowie Informationen zu freien Park-and-Ride-Parkplätzen gehen hier ein. All diese Daten werden genutzt, um den Verkehr sicherer und umweltfreundlicher zu machen – durch weniger Unfälle, einen besseren Verkehrsfluss und weniger Abgase.

Ein Beispiel: Wegen eines Unfalls auf der Stadtautobahn ist eine Spur komplett blockiert. Aktuelle Kamerabilder zeigen, wie sich der Verkehr bereits staut. Eine Information, die die Verkehrsleitzentrale umgehend an alle Fahrzeuge in der Umgebung sendet. Auch an Fritz Kasslatner, der gerade mit seinem Testfahrzeug unterwegs ist. Ein Ausrufezeichen erscheint auf seiner „Onboard Unit“. Automatisch ändert sich seine Route, so dass er den Stau umfahren kann. Das Besondere: Diese Hinweise sind aktueller als Verkehrsmeldungen im Radio und vor allem auf die Bedürfnisse eines jeden Autofahrers zugeschnitten: „Bisherige Verkehrsmeldungen kommen teils spät und ungenau. In Zukunft wird jedes Fahrzeug zugleich auch Stau- bzw. Verkehrssensor sein und die Daten in Echtzeit an die Zentrale liefern. Diese kann dann sehr schnell eine neue Prognose erstellen und durch Car2X-Kommunikation gezielt an die unmittelbare Umgebung der Stausituation verteilen. Somit bekommen nur die

Fahrzeuge die Information, die sie auch nutzen können“, erklärt Kasslatner.

**Nutzerfreundlichkeit im Fokus.** Doch es geht im Testfeld Telematik nicht nur darum herauszufinden, wie gut die Kommunikation zwischen Infrastruktur und Fahrzeug funktioniert, sondern auch, welche Funktionen die Fahrer wirklich brauchen. Dazu gehört, dass nur die Informationen angezeigt werden, die den Fahrer im Moment interessieren. Noch klingt dieses „Internet der Fahrzeuge“, in dem die Autos später auch direkt miteinander kommunizieren sollen, nach Zukunftsmusik. Zwar will das Testfeld Telematik zeigen, dass „Car2X“ prinzipiell bereits heute funktioniert. Bis das System jedoch Einzug auf europäischen Straßen hält, muss noch eine ganze Reihe an Voraussetzungen erfüllt sein. Denn die Funktionalität der Telematik-Funktionen steht und fällt mit der Anzahl der beteiligten Fahrzeuge und der entsprechend ausgereiften Infrastruktur.

In Zukunft sollen die Pkw auch Informationen über ihr eigenes Fahrverhalten – wie ihre mittlere Geschwindigkeit – oder über die Straßensituation mit den anderen Verkehrsteilnehmern teilen. Je mehr Fahrzeuge und je mehr Ampeln, Sensoren und Kameras an der Kommunikation teilhaben, umso genauer sind die Daten, die an die Fahrzeuge gesendet werden können. „Um den Verkehrsfluss zu messen, genügt schon ein einziges Auto. Wollen wir aber wissen, wo ein Stau endet, muss das letzte Fahrzeug entsprechend ausgestattet sein“, erklärt Kasslatner.

Bildquelle: Testfeld Telematik, Wien

Eine weitere Herausforderung: Alle Beteiligten, über Marken und Hersteller hinweg, müssen ein und dieselbe „Sprache“ sprechen. Dazu wollen mehrere europäische Fahrzeughersteller, darunter BMW, Volvo und Volkswagen, eine gemeinsame Strategie für die „kooperativen Systeme“ entwickeln. Ab 2015 wollen sie ihren Kunden erste Dienste anbieten, die über Funk direkt ins Auto übertragen werden – etwa Informationen über stehengebliebene Fahrzeuge, Baustellen und ortsgenaue Verkehrsinformationen. Das geht nicht ohne zahlreiche weitere Partner, wie Infrastrukturbetreiber oder Verkehrsmanagement-Zentralen. Sie bilden zusammen das „Car2Car Communication Consortium“, das seit 2002 an den kooperativen Systemen forscht. Ein erster Erfolg: Ein Frequenzband im Bereich von 5,9 Gigahertz ist schon lizenzfrei für sicherheitsrelevante Dienste reserviert.

**Vision wird Realität.** Momentan entwickelt das Konsortium einen minimalen Standardsatz an Funktionen, den jedes Neufahrzeug besitzen soll, und der auch bei einer geringen Verbreitung von Car2X den Fahrern für relativ wenig Geld Nutzen bringt. Dazu gehören vor allem Informationen, die von der Infrastruktur über die Verkehrszentralen ins Auto übertragen werden. Danach sollen weitere Funktionen dazukommen. So überlegen die Forscher, welche Dienste für Fahrer von Elektroautos interessant sein könnten: etwa das Finden und Reservieren der nächsten freien Ladestation. Auch könnten Busse oder Rettungsfahrzeuge direkt mit Ampeln sprechen und erreichen, dass diese schneller auf grün umschalten (*Pictures of the Future*, Frühjahr 2011, S.91).

Gleichzeitig gilt es, die Verkehrsinfrastruktur umzurüsten. „Als erstes kommen dafür Hauptverbindungsstrecken in Städten und Autobahnen mit einem hohen Verkehrsaufkommen in Frage“, sagt Kaslatler. So haben sich in der „Amsterdam Group“ europäische Straßenbetreiber und Fahrzeughersteller zusammengeschlossen. Ihr Ziel: Alle Beteiligten an einen Tisch zu bringen, um kooperativen Car2X-Systemen den Weg zu ebnet.

Noch flüssiger und sicherer würde der Verkehr, wenn Fahrzeuge völlig autonom fahren würden. Ob es so weit kommt, ist weniger eine Frage der technischen Machbarkeit, die bereits in mehreren Forschungsprojekten bewiesen wurde, sondern eher der Kosten und der Akzeptanz. Die Fahrfreude ist auch ein wichtiger Faktor, gibt Kaslatler zu bedenken. Denn ein bisschen hat er schon Spaß gemacht – der tägliche Wettkampf mit den Ampeln. ■ *Nicole Elflein*



Elektrisch durch die City: Die erste Elektrobusflotte im Linienbetrieb rollt emissionsfrei durch Österreichs Hauptstadt Wien.

# Österreich steht unter Strom

**Mit gleich zwei Projekten treibt Siemens derzeit in der Alpenrepublik die Energiewende im Personenverkehr voran. Die erste Elektrobusflotte Europas überzeugt die Wiener Linien im Alltagsbetrieb durch ihr neuartiges Schnellladekonzept. Und ein Joint Venture schickt sich an, den Autofahrern die Sprit-Alternative Elektrizität schmackhaft zu machen.**

**Im Westen Wiens**, in einem klassischen Arbeiter- und Industrieviertel, liegt eine der drei Busgaragen der Wiener Linien. Der unscheinbare Flachbau und die dahinter stehenden Zapfsäulen für Treibstoff lassen nicht ahnen, dass sich hier neue Antriebskonzepte für den öffentlichen Nahverkehr verbergen: Denn hier parken die ersten von insgesamt zwölf Elektrobussen (eBusse) unter Stromschienen, über die sie Energie beziehen.

Bis Sommer 2013 sollen zwei Linien im Zentrum der österreichischen Hauptstadt komplett mit Strom fahren. Hinter der Umrüstung der Innenstadtlinien, auf denen bisher Busse mit Flüssiggas antrieb fahren, stand „ein stadtregerungsübergreifendes Projekt, mit dem Ziel die ‚Öffis‘ weiter auszubauen, zu fördern und mehr Leute dazu zu bewegen, sich in der Stadt umweltfreundlich zu bewegen“, erklärt Anna Reich, Pressesprecherin

der Batterien, derzeit eine der effizientesten Akkumulatortechniken, nachts langsam auf volle Kapazität auf.

**Längere Batterie-Lebensdauer.** An den Endhaltestellen der Linie dockt der Stromabnehmer des eBus an das Straßenbahnnetz an und kann sich über einen Schnellladevorgang binnen zehn bis 15 Minuten wieder aufladen. Dadurch erhöht sich auch die Lebensdauer der Batterien bis um das Doppelte, da es wegen des häufigen Ladens nie zu einer Vollentladung kommt. Für diese enge Verzahnung aus umweltfreundlichem Antrieb und der europaweit einzigartigen Einbindung ins Liniennetz wurde der Bus im Oktober 2012 mit dem „EBUS Award“ des Forums für Verkehr und Logistik ausgezeichnet.

In der Garage führen Josef Hofbauer und Johann Hauswirth stolz zwei der rot-weißen Fahrzeuge vor, auf der Seite prangt das Logo der Wiener Linien, prominent daneben steht „electricity Bus“. Hofbauer ist Projektmanager bei Siemens, Hauswirth Techniker bei den Wiener Linien und für das eBus-Projekt verantwortlich. Er war einer der ersten, die den eBus im Linienverkehr fahren durften.

„Fährt sich ganz normal“, meint er und öffnet die Fahrekabine. Brems- und „Gas“-Pedal,



der Wiener Linien. Im Juli 2012 hat der Verkehrsbetrieb verschiedene Modelle getestet, etwa von einem tschechischen Hersteller oder einen österreichischen Solarbus. Durchgesetzt hat sich aber der Linienbus, den Siemens in Zusammenarbeit mit Rampini hergestellt hat. Die italienische Firma ist schon seit längerem im Elektrobusgeschäft tätig.

Vor allem das eigens entwickelte Schnellladekonzept habe es den Wiener Linien angetan, erklärt Reich. Die Fahrzeuge der Konkurrenten hätten entweder deutlich mehr Batterien benötigt, was weniger Platz für die Fahrgäste bedeutet, oder wären durch die Nutzung von Sonnenenergie nicht praktikabel gewesen.

Das Siemens-Rampini-Modell dagegen greift auf das gut ausgebaute Gleichstromnetz der Straßen- und U-Bahnen zurück. In der Garage laden die Busse ihre Lithium-Fer-

auf den ersten Blick nichts Besonderes. Erst beim Losfahren spürt man die Unterschiede. Kein lauter Verbrennungsmotor, sondern eher ein angenehmes Surren, eine gleichmäßige Beschleunigung und dank des elektrischen Bremsens auch ein angenehmes Stehenbleiben. Hauswirth bekam bei den Probefahrten durchweg positive Rückmeldungen von den Fahrgästen, vor allem auch „von den älteren, das hat mich überrascht, dass die so interessiert an dem Konzept sind“, sagt er.

Die Vorteile liegen im Inneren verborgen. Da der Drehstrommotor von Siemens mit einer Dauerleistung von 85 Kilowatt gleichzeitig als Generator funktioniert, wird Bremsenergie, die ansonsten als Wärme verpuffen würde, direkt in die Batterien zurückgespeist. Dies ist im Prinzip nichts Neues, aber bei anderen Busherstellern werden meist noch Dieselgeneratoren zur Energiegewinnung

eingesetzt – es handelt sich also um Hybridbusse (*Pictures of the Future*, Herbst 2010, S.31). Vergleichbar mit dem eBus in Wien ist ein Fabrikat eines chinesischen Herstellers, gegen das sich Siemens aber durch die integrierte Ladetechnik abhebt, betont Hofbauer: „Es gibt nirgends auf der Welt etwas ähnliches. Im Bussektor ist das einzigartig.“

**Elektromobilität wird erwachsen.** Die Sache mit dem Elektromotor ist aber nicht neu. Bereits im Jahr 1909 brachte ein Batteriebus von Siemens Angestellte und Kunden von der Wiener Hofoper zur Konzernzentrale. Doch weil die Speichertechnologie nicht ausgereift war, konnte er sich nicht durchsetzen. Richtig erfolgversprechend scheint die Elektromobilität erst jetzt, im 21. Jahrhundert, zu werden.

So hat Siemens mit 34 weiteren Firmen eine Plattform namens Austrian Mobile Power ins Leben gerufen, die allerlei Forschungs- und Entwicklungsprojekte anstößt. Aus der engen Zusammenarbeit mit Österreichs führendem Stromunternehmen VERBUND entstand darüber hinaus auch der E-Mobility-Provider Austria, der im Oktober 2012 als Joint Venture von Siemens und VERBUND seine Arbeit aufnahm. Bis 2020 plant das Unternehmen, ein österreichweites Netz von rund 4.500 (semi-)öffentlichen Ladestationen aufzubauen.

Im Jahr 2013 sollen nun erst einmal Unternehmen mit elektrischen Firmenflotten als Kunden gewonnen werden, bevor das Angebot danach auch auf breitere Bevölkerungsgruppen ausgeweitet wird. „Vielen Kunden ist vor allem der ökologische Aspekt wichtig“, sagt Bartha. Daher will VERBUND in das Ladesäulennetz auch nur grünen Strom fließen lassen.

Für ein aus Kostengründen attraktives Angebot will der E-Mobility-Provider zudem ein Gesamtpaket aus flächendeckendem Ladesäulennetz, einer Ladebox für zu Hause, sowie Service- und Abschleppdiensten schnüren. Außerdem sollen die Kunden einmal im Jahr ein „normales“ Fahrzeug mit Verbrennungsmotor für die Urlaubsfahrt erhalten. „Wenn wir Erfolg haben, kann das Modell auch aus Österreich hinausgetragen werden“, hofft Bartha.

In der Garage der Wiener Linien dreht gerade ein weiterer eBus seine Testrunden. Bald wird er nach den behördlichen Genehmigungen ebenfalls in den Linienbetrieb übernommen werden. Als nächstes steht dann die Umstellung der Linien mit Großbussen in der Innenstadt auf Elektrobusse an.

■ *Florian Falzeder*



Strom-Sportler: Den Furtive eGT treibt ein Elektromotor mit Rekord-Wirkungsgrad an. Tilo Moser und Franz Wagner testen den Antrieb auf dem Motoren-Prüfstand (S.109 I.)

# Mehr Kilowatt je Kilogramm

150 Jahre ist der Elektromotor alt. Für den Einsatz in Elektrofahrzeugen überarbeitet Siemens ihn derzeit grundlegend. Vor allem die Leistungsdichte soll weiter steigen.

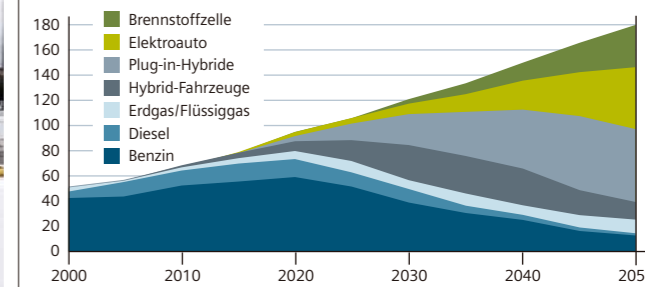
Antriebe. Fast ausnahmslos kommen derzeit entweder „elektrisch erregte“ Asynchronmaschinen oder „permanent erregte“ Synchronmotoren zum Einsatz. Eine Asynchronmaschine fällt bei gleicher Leistung etwa 10 bis 15 Prozent schwerer und größer aus, die Leistungsdichte ist geringer. Doch einen strategischen Vorteil hat dieser Motor: Man braucht keine Permanentmagnete, weil das magnetische Feld durch den Stromfluss selbst erzeugt wird. Der Verzicht auf Dauermagnete bedeutet, dass keine Seltenen Erden wie etwa Neodym benötigt werden. Damit entfallen sowohl die Abhängigkeit vom derzeitigen Hauptabbauort China wie auch die Furcht vor stark steigenden Preisen für Seltene Erden.

Charakteristisch für Asynchronmotoren ist, dass bei hohen Drehzahlen das Drehmoment stärker abnimmt als bei Synchronmaschinen. Bei künftigen Asynchronmaschinen gilt es vor allem, die Leistungsdichte weiter zu steigern. So arbeitet man zum Beispiel daran, neue Bleche mit verbesserten magnetischen und mechanischen Eigenschaften zu



## Elektrische Antriebe könnten ab 2030 den Weltmarkt dominieren

Millionen Neufahrzeuge pro Jahr



Quelle: Internationale Energie-Agentur (IEA)

**Es klingt nach einem Erfindertum:** Ein Motor, der fast 100 Prozent der Energie, mit der man ihn füttert, in Fortbewegung verwandelt. Der aus dem Stand ein Fahrzeug völlig gleichmäßig mit sanfter Kraft beschleunigt. Und der so kompakt ist, dass man für ihn keinen Motorraum mehr braucht, sondern ihn direkt in die Achse oder am Rad verbauen kann. Dieses Idealbild ist alles andere als ein Traum, sondern heute der Realität ziemlich nahe – wenn statt des üblichen Verbrennungsmotors ein Elektromotor das Auto antreibt.

„Eigentlich ist der Elektromotor der perfekte Antrieb“, sagt Dr. Karsten Michels, der im Siemens-Sektor Industry die Entwicklung der Geschäftseinheit „Inside e-Car“ leitet. Doch die Entwicklung der elektrischen Kraft-

spender hat ihre Tücken. Siemens baut zwar seit rund 150 Jahren Elektromotoren, doch man kann nicht einfach ins Regal greifen, einen Industrie-Elektromotor herausziehen und in ein Serienfahrzeug einbauen. Denn die Ansprüche der Automobilkunden sind hoch: So soll ein Automotor hochautomatisiert in zehntausendfacher Stückzahl gebaut werden. Er soll bei hoher Leistung möglichst wenig wiegen, auch bei extremen Temperaturschwankungen funktionieren und so effizient wie möglich arbeiten.

Welches Entwicklungsziel oberste Priorität hat, hängt auch davon ab, welche speziellen Anforderungen der Fahrzeughersteller stellt. Denn so, wie es Otto- und Dieselmotoren gibt, unterscheiden sich auch die elektrischen

verwenden, und die Kühlung zu optimieren. Die Maximalleistung eines Elektromotors ist – anders als beim Verbrennungsmotor – nämlich deutlich höher als die Durchschnittsleistung. Ein 50-Kilowatt-Motor kann durchaus für kurze Zeit auch 120 Kilowatt leisten. Wie lange dieser „elektrische Turbo“ zugeschaltet werden kann, hängt vor allem von der Kühlung ab. Heutige Maschinen werden mit einem Wasser-Kühlmantel umgeben. Besser wäre es, die Wärme zusätzlich direkt aus dem Motorinneren abzuführen. Wasserleitungen durch eine rotierende elektrische Maschine zu führen, klingt abenteuerlicher, als es ist. „Erste Motoren auf dem Prüfstand haben gezeigt, dass dies für den Fahrzeugeinsatz möglich ist“, bestätigt Michels. Besonders die

Asynchronmaschine profitiert davon, da durch den stromdurchflossenen Läufer mehr Verlustwärme entsteht.

**Weniger seltene Erden.** Die Turbos unter den Elektromaschinen sind aber zweifellos die permanent erregten Synchronmotoren. Sie sind effizienter, Wirkungsgrade von 97 Prozent sind greifbar nah. Bei Synchronmotoren folgt der Rotor stets ganz genau dem durch den Stator erzeugten Magnetfeld, es tritt also kein Schlupf auf. Zudem sind die elektrischen Verluste geringer. Ein wichtiger Entwicklungsschwerpunkt ist es, den Einsatz Seltener Erden so weit wie möglich zu reduzieren. Ein Weg dazu könnte ein Hybridmotor sein, der bei Teillast wie ein Permanentmagnetmotor arbeitet, höhere Leistungsanforderungen jedoch mit einer Fremderregung des Magnetfeldes abdeckt.

Der Schwerpunkt des Teams von „Inside e-Car“ liegt momentan jedoch nicht nur auf der Entwicklung neuer Motorenkonzepte, sondern eines optimierten Gesamtsystems. Es

ring, dafür muss er sibirischer Kälte genauso trotzen wie Wüstentemperaturen. Während Inverter für Industrie-Anwendungen oft luftgekühlt sind, können die nötigen Leistungsdichten im Autoeinsatz nur durch Wasserkühlung erreicht werden. „Trotzdem bieten die Industrie-Inverter eine gute Basis, auf der wir aufsetzen können – vor allem hinsichtlich Regelgenauigkeit und Präzision. Hier können wir auf ein breites Wissen in Sachen Motorregelung zurückgreifen, das bei Siemens über langjährige Erfahrung bei der Steuerung von mehrachsigen Werkzeugmaschinen gewachsen ist“, so Michels.

Während die Entwickler von „Inside e-Car“ Serienantriebe für alltagstaugliche Elektroautos vorbereiten, lotet Dr. Tilo Moser von Corporate Technology (CT) in München die Grenzen des Möglichen aus. Im Wortsinne, denn die Grenzen des von ihm mitentwickelten Antriebs für den „Furtive eGT“ werden auf der Rennstrecke erst sichtbar. Der Elektro-Sportwagen des französischen Herstellers Exagon bringt es auf eine Leistung von 300

schäftseinheit Inside e-Car und CT eng zusammen: Die technische Projektleitung liegt bei Moser, das Gesamtprojekt wird von Dr. Franz Wagner geleitet. „Der Vorteil für uns ist, dass wir mit diesem Projekt die Chance haben, an die Grenzen der heutigen Technik zu gehen und gleichzeitig serienreife Qualität sicherzustellen“, erklärt Wagner. Das gilt nicht nur für die Leistungsdichte des Permanentmagnetmotors, sondern auch für den Wirkungsgrad, der bei etwa 96 Prozent liegen soll. Erreicht wird dieser Rekordwert, indem die Siemens-Entwickler mehrere Maßnahmen kombinierten: Sie verwendeten ein spezielles Magnetmaterial und passten die Form und Anordnung so an, dass nur minimale Verluste entstehen.

Für künftige Projekte verfolgt Inside e-Car weitere neue Ideen. So wird derzeit auch bereits an kabellosen Lösungen zum induktiven Laden der Batterie gearbeitet, so wie man es von der elektrischen Zahnbürste bereits kennt. Die Basis hierfür wurde in der CT entwickelt und nach der Konzeptreife an die Ge-

gilt, Kundenprojekte zu bearbeiten und dafür die aus Industrie-Anwendungen bewährte Antriebstechnik an die Fahrzeuganforderungen anzupassen. Besonders gilt dies für den Inverter, der den Gleichstrom aus der Batterie in den für die Elektromotoren benötigten Wechselstrom konvertiert – oder beim Bremsen umgekehrt den von der Elektromaschine im Generatorbetrieb erzeugten Strom speicherfähig macht. Michels: „Hier unterscheiden sich die Anforderungen zwischen einer Werkzeugmaschine und einem Auto noch deutlicher als beim Motor selbst.“

Denn im Elektroauto mit seinen schweren Akkus kommt es auf jedes Kilo Gewicht und jeden Liter Volumen an. Zudem ist die Betriebsdauer mit etwa 8.000 Stunden viel ge-

Kilowatt und ein Drehmoment von mehr als 500 Newtonmetern – Werte, die denen eines großen Achtzylinder-Benzinmotors vergleichbar sind, aber von zwei Elektromotoren auf der Hinterachse erzeugt werden. Dieses Kraftpaket regelt bei 250 km/h ab, nicht weil es nicht noch flotter ginge, sondern um die Batterie zu schonen.

Siemens-Forscher Moser hatte mit seinen CT-Kollegen zunächst einen Prototypen mit dem kompletten Elektroantrieb ausgerüstet. Der überzeugte die Firma Exagon aufgrund seiner hohen Leistungsdichte von 2,6 Kilowatt je Kilogramm so sehr, dass Siemens nun auch die Komponenten für das Serienfahrzeug entwickelt, das Ende 2013 auf den Markt kommen soll. Dabei arbeiten die Ge-

schäftseinheit übergeben. Ferner werden Leistungselektronik und Motor zusammenwachsen, und kompakte Motor-Getriebe-Einheiten werden den Antrieb übernehmen. „Es gibt viele Pfade, die wir gleichzeitig verfolgen“, sagt Michels. Was immer den Elektroantrieb effizienter, leichter und komfortabler macht, kann den Markterfolg von Elektroautos beschleunigen. Nach den Prognosen der Internationalen Energieagentur sollen 2030 mehr als 120 Millionen Autos produziert werden, jedes zweite von ihnen wäre dann elektrifiziert. Das wiederum entspricht einem Weltmarkt von mindestens 60 Millionen Elektromotoren – wobei viele Fahrzeuge aber sogar mehrere Antriebsmotoren besitzen werden. ■ Johannes Winterhagen



Flüsterleiser Koloss: 2015 soll die weltweit erste Elektrofähre im norwegischen Sognefjord in See stechen. Sie kann 360 Passagiere und 120 Autos abgasfrei transportieren.

# Schwimmende Stromer

Siemens hat zusammen mit der norwegischen Werft Fjellstrand die Technologie für die erste elektrisch angetriebene Autofähre der Welt entwickelt. Das Elektroschiff soll 2015 in Dienst gestellt werden und stößt keinerlei Kohlendioxid aus – auch dank des Strommixes in Norwegen.

**Lautlos wie ein Krokodil** schiebt sich der weiße Koloss ans Ufer. Sein meterlanges Maul öffnet sich. Motorengeräusch durchbricht plötzlich die Stille, und aus dem Schlund des schwimmenden Giganten ergießt sich ein Strom aus Lastwagen und Menschen. Odd Moen grinst. Läuft alles nach Plan, wird die Vision des Siemens-Ingenieurs Anfang 2015 Realität: eine Fähre, die flüsterleise und völlig emissionslos ihre Bahnen durch Norwegens Fjorde zieht, nur angetrieben von Elektromotoren – die erste und einzige ihrer Art auf der Welt.

„Schon seit über 100 Jahren gibt es batteriebetriebene U-Boote, die rein elektrisch fahren“, sagt Moen, der sich bei Siemens Norwegen um den Vertrieb von Schiffslösungen kümmert. „Da haben wir uns gefragt: Warum kann man dieses Antriebskonzept nicht an

die Oberfläche bringen?“ Bereits 1999 haben die Experten erstmals versucht, ihre Idee zu verwirklichen. Doch damals, so Moen, war die Technik für den Markt wohl noch zu neu. Das hat sich mittlerweile geändert, zudem spielt die Umweltbilanz eine immer größere Rolle. Genau dies war auch ausschlaggebend für das norwegische Verkehrsministerium, dem alle Schifffahrtswege des Landes unterstehen.

Vor zwei Jahren hatte die Behörde einen Wettbewerb zur Entwicklung der umweltfreundlichsten Fähre ausgeschrieben. Der Preis: Die Konzession für die Fährverbindung zwischen den Dörfern Lavik und Oppedal im Sognefjord. Bislang verkehren dort noch herkömmliche dieselbetriebene Schiffe, die Lizenz für den Betrieb läuft allerdings im Jahr 2015 aus. Danach, so der Plan des Ministeri-

ums, sollen möglichst wenig Lärm und Schadstoffe die Idylle stören.

„Wir haben uns mit der Werft Fjellstrand und dem Fährbetreiber Norled zusammengesetzt und die alte Idee weiterentwickelt“, erzählt Moen. „Dabei haben wir unsere Kompetenzen gebündelt – das Know-how von Fjellstrand im energieeffizienten Schiffbau und unsere Expertise bei den Antrieben.“ Herausgekommen ist ein ausgeklügeltes Konzept, das weltweit einzigartig ist und die Konkurrenz in punkto Umweltfreundlichkeit auf die Plätze verwies. „Das hat die Behörden letztlich überzeugt“, sagt Moen.

Das Ergebnis der Tüftelei ist eine vollelektrische Fähre, die 34-mal pro Tag über den Fjord stromern soll. Für die sechs Kilometer lange Strecke braucht sie rund 20 Minuten. Angetrieben wird das 80 Meter lange Schiff von zwei Elektromotoren mit je 450 Kilowatt Leistung, die ihre Energie aus Lithium-Ionen-Akkus saugen. Die Kapazität der Batterien von insgesamt 1.000 Kilowattstunden (kWh) ist für ein paar Trips zwischen den beiden Fjordgemeinden völlig ausreichend – würde die Reise allerdings weiter gehen, ist schnell „Schicht im Schacht“. Das Reichweiten-

sie war unter diesen Voraussetzungen die einzige Möglichkeit, eine Batteriefähre zu realisieren“, meint Moen. „Ansonsten hätte man das komplette Stromnetz ausbauen müssen, was sich wegen der hohen Kosten nicht rentiert hätte.“

**Grüner Strommix.** Zur guten Umweltbilanz des schwimmenden Stromers trägt allerdings nicht nur der Antrieb bei. Freilich sind die Elektromotoren flüsterleise, verbrennen weder fossilen Treibstoff, noch verursachen sie Schadstoffe – eine konventionelle Fähre auf dieser Strecke verbraucht pro Jahr etwa eine Million Liter Diesel und bläst 2.680 Tonnen Kohlendioxid sowie 37 Tonnen Stickoxide in die Luft. Der eigentliche Clou ist jedoch der Strommix. „Die elektrische Energie in dieser Gegend kommt komplett aus Wasserkraftwerken“, sagt der Siemens-Ingenieur. „Das macht den Strom günstiger als Diesel, zudem stößt das Schiff auch indirekt kein Gramm Kohlendioxid aus.“

Auch bei der Konstruktion der Fähre gehen die Spezialisten neue Wege – denn im Gegensatz zu den meisten Elektroautos wird sie speziell für den elektrischen Antrieb gebaut. Das macht sich vor allem beim Gewicht bemerkbar: Obwohl die Akkus ganze zehn Tonnen wiegen und das Schiff 360 Passagiere und 120 Autos transportieren kann, wird es nur halb so schwer wie konventionelle Fähren sein. Der Grund: Die Fähre wird komplett aus leichtem Aluminium gefertigt, normalerweise kommt im Schiffsbau Stahl

zum Einsatz. Dank der korrosionsfreien Aluminiumkonstruktion braucht sie auch keinen speziellen Anstrich, der herkömmliche Stahlschiffe vor Rost schützt. Der unempfindliche Alurumpf müsse daher kaum gewartet werden, erklärt Moen. Zudem haben die Schiffsdesigner alle gängigen Bordsysteme einer Energieinventur unterworfen, um die größten Stromfresser zu identifizieren. Wenn die Fähre 2015 in See sticht, werden diese dann nicht mehr an Bord sein, sondern von einer neuen Generation energieeffizienter Geräte ersetzt werden – angefangen von Leuchtdioden bis zu ausgeklügelten Wärmetauschern.

Der Siemens-Ingenieur sieht nicht nur für die Zukunft viel Potenzial in den schwimmenden Stromern schlummern. Bereits heute, so Moen, könne das Konzept sinnvoll eingesetzt werden. „Allein in Norwegen gibt es 50 Strecken, auf denen eine Batteriefähre wirtschaftlich fahren könnte“, glaubt er. „Und in fünf Jahren erwarten wir noch um einiges effizientere und günstigere Akkus.“ Zudem seien gerade die Norweger Innovationen gegenüber sehr aufgeschlossen. Das gilt auch für Moen selbst. Dreimal pro Woche fährt der 54-Jährige mit dem Elektrofahrrad ins Büro, und im Winter schwingt er sich abseits der Pisten auf sein Snowboard. Doch trotz allen Fortschritts ist ihm auch Kontinuität wichtig. So ist er nicht nur seit 30 Jahren bei Siemens, sondern verzieht sich auch gerne regelmäßig in seine Garage. Dort restauriert er Oldtimer – die dürfen dann auch einen Verbrennungsmotor haben. ■ Florian Martini

Problem haben die Ingenieure mit einem einfachen Kniff gelöst. „Zwischen jeder Fährfahrt werden die Schiffsbatterien im Hafen wieder geladen“, erklärt Moen. Dafür bleiben aber nur zehn Minuten Zeit, während die Passagiere und Autos von Bord gehen.

Das Problem: In der Region gibt es nur ein schwaches Stromnetz, das darauf ausgelegt ist, kleine Dörfer zu versorgen. „Wenn wir nun kurzzeitig so viel Energie vom Mittelspannungsnetz in die Fähre pumpen, gehen in allen Häusern die Waschmaschinen aus – das wollten wir den Menschen natürlich nicht zumuten“, so Moen. Die Siemens-Experten werden daher jeweils eine Lithium-Ionen-Batterie an der Landestelle in den beiden Häfen installieren, die als Puffer dient: Während des Stopps soll der 260-kWh-Akku die Fähre mit Strom versorgen, danach saugt er sich wieder langsam aus dem Ortsnetz voll – bis das Schiff erneut anlandet, um „vollzutanken“. Die Ladestation ist dabei in einem kleinen Gebäude von der Größe eines Kiosks untergebracht. Über Nacht, wenn das Elektro-Boot am Kai dümpelt, werden seine Batterien wieder direkt aus dem Netz aufgeladen. Die Lösung klingt ebenso genial wie simpel, „und

## Elektrische Karriere



**Flüsterleise Stromer sind bereits vor rund 130 Jahren über das Wasser gesurrt** – wenn auch nicht in Norwegens Fjorden, sondern auf der Spree im Herzen Berlins. Dort hat Siemens im Jahr 1886 sein erstes Elektroboot erprobt, das quasi als Wasser-Taxi das Nahverkehrsproblem der Metropole lösen sollte. Die „Elektra“ (Bild links) konnte 25 Passagiere aufnehmen und war 14 Stundenkilometer schnell. 25 Jahre später eröffnete die „Akkumulator“ die Motorschiffahrt auf dem oberbayerischen Königssee (Bild Mitte). Das Siemens-Elektroschiff fasste 38 Personen, war 12 Meter lang und rund zwei Meter breit. Bootskörper und Kajüte waren damals noch aus Mahagoni. Den Strom lieferte eine Bleibatterie, die einen Aktionsradius von rund 100 Kilometern ermöglichte. 1965 folgte dann der Höhepunkt der schwimmenden Stromer: Auf einem Teich im Forschungszentrum Erlangen präsentierte Siemens das erste Brennstoffzellen-Boot Europas (Bild rechts).





# Giganten

## der Meere

**Auf dem Seeweg lassen sich Waren umweltfreundlich über weite Strecken transportieren – bei den größten Schiffen der Welt sollen jetzt die Antriebe noch deutlich effizienter werden.**

**Die dänische Reederei** Maersk und der Schiffbauer Daewoo bauen in Südkorea gemeinsam die größten Schiffe der Welt. 400 Meter lang, 59 Meter breit und 73 Meter hoch: In ihrem Rumpf könnte man eine Basketball-Halle, ein American-Football-Stadion und eine Eishockey-Arena mit jeweils mehreren tausend Zuschauerplätzen unterbringen. Insgesamt werden die Schiffe bis zu 18.000 Standardcontainer aufnehmen können – 16 Prozent mehr als das bisher größte Containerschiff „Emma Maersk“. Laut Maersk ließen sich damit 111 Millionen Paar Turnschuhe transportieren, genug für alle Einwohner Mexikos.

Doch nicht nur bei der Größe soll die neue Schiffsklasse „Triple-E“ Maßstäbe setzen: Sie soll auch ein Muster an Energieeffizienz und Umweltschutz sein. Die Ingenieure nehmen hier vor allem die Antriebe genau unter die Lupe. „In der Seefracht entstehen Kosten vor allem durch den Treibstoffverbrauch“, sagt Kay Tigges, Schiffsbauingenieur bei Siemens. So verbraucht die „Emma Maersk“ bei entsprechender Beladung rund 14.000 Liter Schweröl pro Stunde und stößt über 40 Tonnen CO<sub>2</sub> aus – mehr als eine fünfköpfige Familie in Deutschland im Jahr. Jede Einsparung

macht sich also für die Geldbeutel der Reedereien wie für die Umwelt schnell bezahlt.

Die Schiffe der „Triple-E“-Klasse werden deshalb mit einem effizienteren Antriebssystem ausgestattet, für das Siemens wichtige Komponenten liefert. Zwei schwerölbetriebene Motoren mit einer Gesamtleistung von 86.000 PS treiben die beiden 10 Meter breiten und 70 Tonnen schweren Schiffsschrauben an. Im Vergleich zu anderen Schiffsantrieben laufen die Motoren langsamer und haben einen besonders langen Hub, das heißt die Kolben legen im Zylinder einen längeren Weg zurück, was den Treibstoffverbrauch um zwei bis vier Prozent verringert. Allerdings lässt sich der Wirkungsgrad noch weiter verbessern. „Derzeit geht etwa die Hälfte der eingesetzten Energie als Abwärme verloren. Deshalb werden wir in die Triple-E-Frachter ein spezielles System einbauen, das diese Verlustwärme in elektrische Energie umwandelt. Dies haben wir auch bei anderen Schiffen bereits eingesetzt“, sagt Tigges.

Die heißen Abgase der Maschinen werden dabei nicht einfach in die Luft geblasen, sondern erhitzen Wasser und treiben damit eine Dampfturbine und einen Generator an. Der

Effizienz auf hoher See: Frachtschiffe der „Triple-E“-Klasse sparen dank eines effizienten Antriebssystems CO<sub>2</sub> und bares Geld.



so gewonnene Strom kann auf dem Schiff verwendet werden, wodurch zusätzliche Dieselaggregate zur Stromerzeugung überflüssig werden. Bis zu 25 Megawattstunden (MWh) Strom erzeugt das Rückgewinnungssystem der Triple-E-Schiffe auf diese Weise im Jahr. Elektrizität wird auf Seefrachtern nicht nur für die Bordelektronik, sondern auch für die Fracht selbst benötigt, denn viele Container müssen während der Fahrt gekühlt werden.

Für den Fall, dass auf den Schiffen weniger Strom gebraucht wird, als der Generator erzeugt, haben die Siemens-Ingenieure an beiden Antriebswellen einen Wellengeneratormotor angebracht. Dieser unterstützt dann mit dem überschüssigen Strom den Antrieb. Im Idealfall kann dadurch an beiden Antriebssträngen zusammen eine zusätzliche Leistung von bis zu sechs Megawatt (MW) abgerufen werden und das bei gleichem Treibstoffverbrauch. Der Wellengeneratormotor kann zudem auch Strom erzeugen: Dann schaltet das System vom Motor-Modus in den Generator-Modus und produziert zusätzlich Elektrizität aus der Bewegung der Antriebswelle. Bei Containerschiffen tritt dieser Fall immer wieder ein, erklärt Tigges: „Oft kann die Dampfturbine nicht genug Energie liefern, um den großen Stromdurst der Kühlcontainer zu stillen – die Kühlleistung kann in warmen Gegenden schon mal acht bis elf MW betragen.“ Das entspricht der Leistung von zwei großen Windturbinen. Mit den Siemens-Systemen würde der Kraftstoffverbrauch um mehr als zwölf Prozent sinken, sagt Tigges. Und damit auch die Treibhaus-

gas-Emissionen. „Pro geladenem Container soll der CO<sub>2</sub>-Ausstoß der Superfrachter deshalb 50 Prozent unter dem Branchendurchschnitt auf der Route zwischen Asien und Europa liegen“, erläutert der Ingenieur.

**Lernfähige Schiffe.** Um die Energiebilanz der ganzen Flotte zu verbessern, wird auf den neuen Schiffen zudem ein digitaler Effizienz-Manager installiert. Das Siemens-System ist bereits auf einigen Schiffen im Einsatz. Es wertet bis zu 10.000 Messpunkte aus, darunter Antriebsdaten wie den aktuellen Treibstoff- und Energieverbrauch, aber auch über die Wasserlage, die Rudereinstellungen oder das Wetter. Wenn nötig werden diese Werte im Sekundentakt abgefragt. „Unsere Lösung ist ein offenes System. Wie bei einem Smartphone können verschiedene Anbieter Apps für diese Plattform entwickeln und alle Daten des Systems nutzen.

Zum Beispiel gibt es ein Programm, das in Abhängigkeit von Schiffsdaten und Wetter eine optimale Route vorschlägt oder die beste Wasserlage für die aktuellen Bedingungen“, sagt Tigges. Per Satellitenverbindung können die Daten auch an die Reederei gesendet werden und eine effiziente Flottenplanung ermöglichen. „Die Schiffe lernen so voneinander. Außerdem fördert das den Wettbewerb unter den Kapitänen, da die Reederei sieht, wer sparsam unterwegs ist. Wenn das System optimal eingesetzt wird, können die Betriebskosten noch einmal um zwei bis drei Prozent gesenkt werden.“

Der Effizienzgewinn macht sich für die Reederei bezahlt und könnte selbst für das Weltklima von Bedeutung sein, denn der Anteil des Schiffsverkehrs an den globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen ist nicht zu unterschätzen. Die International Maritime Organization errechnet in einer Studie aus dem Jahr 2011 für das Jahr 2007 CO<sub>2</sub>-Emissionen durch den internationalen Schiffsverkehr von 870 Millionen Tonnen. Das ist mehr als der jährliche Ausstoß Deutschlands und ein Anteil von 2,7 Prozent an allen weltweiten Emissionen. Effizienzsteigerungen sind daher dringend notwendig, obwohl der Seeweg gemessen an den Treibhausgas-Emissionen pro Tonnenkilometer immer noch die umweltfreundlichste Methode ist, Waren über weite Strecken zu transportieren. Die Reederei Maersk gibt an, dass beim Transport einer Tonne Fracht mit den neuen Containerschiffen pro Kilometer nur drei Gramm CO<sub>2</sub> ausgestoßen werden. Zum Vergleich: Wird eine Tonne mit dem Lkw über einen Kilometer transportiert, so sind es laut Maersk 47 Gramm und mit dem Flugzeug sogar 560 Gramm. ■ **Andreas Wenleder**

# Auf den Punkt

**Mehr als neun Milliarden Menschen** werden bis 2050 auf der Erde leben, davon 6,5 Milliarden in Städten – und sie alle haben einen Bedarf nach Mobilität. Die Zahl der Autos wird sich bis 2050 mehr als verdoppeln, und der CO<sub>2</sub>-Ausstoß des Transportsektors wird gravierend ansteigen, wenn keine Maßnahmen ergriffen werden. Holger Dalkmann, Direktor des EMBARQ-Programms des World Resources Institute in Washington D.C., plädiert für eine ganzheitliche Planung nachhaltiger Mobilität und eine Vielfalt von Verkehrsmitteln in Städten. (S.82, 92,100)

**Um die Mobilität** trotz der rasant wachsenden Bevölkerung sicherzustellen, investieren Städte in den Ausbau ihres Nahverkehrssystems: In Istanbul und London entstehen viele zusätzliche Kilometer für das Straßen- und Bahnnetz und in Bangkok soll die Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel bis 2021 von heute 40 auf 60 Prozent erhöht werden – unter anderem dank einer Verdopplung des Bahnstreckennetzes. (S.85, 94, 98)

**Innovativen Warentransport**, der die Straßen entlastet, könnten in Zukunft „Urban Consolidation Center“ leisten: In diesen Lagerhäusern werden alle Warenströme einer Stadt gesammelt und dann nach Straßen gebündelt ausgeliefert. Für den Transport auf hoher See werden auch die Antriebe von Containerschiffen immer effizienter: In den neuesten Triple-E-Frachtern wird Verlustwärme in elektrische Energie umgewandelt. Und tausende Messpunkte sammeln Daten des Frachters, aus denen optimale Einstellungen für das Schiff berechnet werden können. (S.86,112)

**Komplett emissionsfrei** ist ab 2015 die erste elektrisch angetriebene Autofähre der Welt in Norwegen unterwegs. Heute schon fahren die ersten in Serie hergestellte Vollelektrobusse durch die Wiener Innenstadt. (S.106,110)

**Um den zunehmenden Flugverkehr** bei gleichbleibenden Ressourcen zu bewältigen, arbeiten Forscher an der Verbesserung des zentralen Leitstands, der die Effizienz erhöht und die Zusammenarbeit zwischen den zahlreichen Dienstleistern am Flughafen deutlich erleichtert. (S.90)

**Kommunikation zwischen Fahrzeug** und Straße ermöglichen Telematiksysteme, die derzeit in Wien erprobt werden. Sie finden die grüne Welle, kennen aktuell Staus und Störungen im Straßenverkehr und helfen, den Verkehrsfluss zu verbessern – zum Vorteil für Fahrer und Umwelt. (S.104)

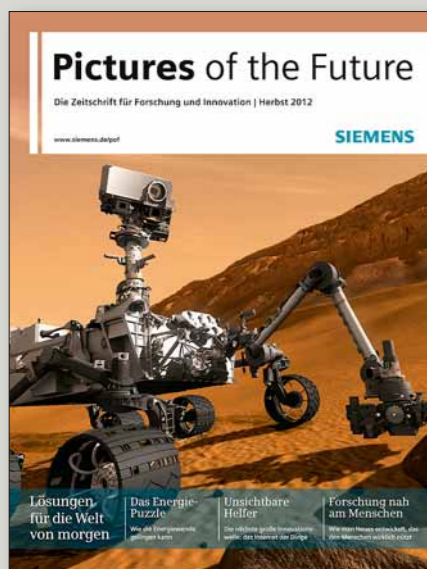
**LEUTE:**  
**Containerschiffe:**  
 Kay Tigges, Siemens Industry  
[kay.tigges@siemens.com](mailto:kay.tigges@siemens.com)  
**Elektrofähre Norwegen:**  
 Odd Moen, Siemens Industry  
[odd.moen@siemens.com](mailto:odd.moen@siemens.com)  
**Elektromobilität Österreich:**  
 Josef Hofbauer, Siemens Infrastructure & Cities  
[josef.a.hofbauer@siemens.com](mailto:josef.a.hofbauer@siemens.com)  
 Roman Bartha, Siemens Infrastructure & Cities  
[roman.bartha@siemens.com](mailto:roman.bartha@siemens.com)  
**Elektromotoren:**  
 Dr. Karsten Michels, Siemens Industry  
[karsten.michels@siemens.com](mailto:karsten.michels@siemens.com)

**E-Ticketing:**  
 Marcel Kalbermatter, Siemens Mobility and Logistics  
[marcel.kalbermatter@siemens.com](mailto:marcel.kalbermatter@siemens.com)  
**APOC / Zentraler Leitstand an Flughäfen:**  
 Dr. Christoph Meier, Head of Aviation IT  
[meier.christoph@siemens.com](mailto:meier.christoph@siemens.com)  
 Dr. Dietmar Böhme, Siemens Mobility and Logistics  
[dietmar.boehme@siemens.com](mailto:dietmar.boehme@siemens.com)  
 Steve Batt, Siemens Building Technologies  
[steve.batt@siemens.com](mailto:steve.batt@siemens.com)

**Rail IT:**  
 Dr. Stefan Wegele, Siemens Rail Automation  
[stefan.wegele@siemens.com](mailto:stefan.wegele@siemens.com)  
 Klaus Hermes, Corporate Technology  
[k.hermes@siemens.com](mailto:k.hermes@siemens.com)  
 Maximilian Eichhorn, Siemens Rail Automation  
[maximilian.eichhorn@siemens.com](mailto:maximilian.eichhorn@siemens.com)  
**Testfeld Telematik Wien:**  
 Fritz Kasslatter, Corporate Technology  
[fritz.kasslatter@siemens.com](mailto:fritz.kasslatter@siemens.com)  
**Urban Consolidation Center:**  
 Dr. Norbert Bartneck, Siemens Mobility and Logistics  
[norbert.bartneck@siemens.com](mailto:norbert.bartneck@siemens.com)

**Extern:**  
**Interview – Holger Dalkmann:**  
[hdalkmann@wri.org](mailto:hdalkmann@wri.org)  
**Interview – Robin Chase:**  
[rchase@alum.mit.edu](mailto:rchase@alum.mit.edu)

**LINKS:**  
**EMBARQ-Zentrum des World Resources Institute für nachhaltigen Verkehr:**  
[www.embarq.org](http://www.embarq.org)  
**World Business Council for Sustainable Development:**  
[www.wbcsd.org](http://www.wbcsd.org)  
**McKinsey & Company – Mobility of the Future:**  
<http://autoassembly.mckinsey.com>



## Wollen Sie mehr über Siemens und unsere neuesten Entwicklungen erfahren?

**Wir schicken Ihnen gern weiteres Informationsmaterial. Bitte kreuzen Sie die entsprechende Publikation und die gewünschte Sprache an und schicken Sie die Seite per Fax an +49 (0)9131 9192-8513 oder per Post an: Publicis, Publishing, Susan Grünbaum-Süß – Postfach 3240, 91050 Erlangen, Deutschland oder per E-Mail an [publishing-address@publicis.de](mailto:publishing-address@publicis.de). Bitte geben Sie als Betreff „Pictures of the Future, Frühjahr 2013“ an.**

**Bücher:**

**Zukunft 2050 – Wie wir schon heute die Zukunft erfinden (€ 17,95) und Innovatoren und Innovationen (€ 34,90). Mehr Informationen: [www.siemens.de/innovation/zukunft2050](http://www.siemens.de/innovation/zukunft2050) oder über den Buchhandel**

**Hefte der Zeitschrift Pictures of the Future (kostenlos):**

- Pictures of the Future, Frühjahr 2013 (Deutsch, Englisch)
- Pictures of the Future, Herbst 2012 (Deutsch, Englisch)
- Pictures of the Future, Frühjahr 2012 (Deutsch, Englisch)
- Pictures of the Future, Herbst 2011 (Deutsch, Englisch)
- Pictures of the Future, Frühjahr 2011 (Deutsch, Englisch)
- Pictures of the Future, Herbst 2010 (Deutsch, Englisch)
  
- Pictures of the Future, Special Edition Green Technologies (Englisch)
- German Green City Index, Umweltanalyse von 12 Großstädten (Deutsch)
- European Green City Index, Analyse wichtiger Städte Europas (Englisch)
- Your Pictures of the Future, Jugend-Sonderausgabe 2012 (Deutsch)

**Weitere Informationen**

zu Siemens-Innovationen finden Sie im Internet unter:  
[www.siemens.de/innovation](http://www.siemens.de/innovation) (F&E-Seiten von Siemens)  
[www.siemens.de/innovationnews](http://www.siemens.de/innovationnews) (wöchentlicher Medienservice)  
[www.siemens.de/pof](http://www.siemens.de/pof) (Pictures of the Future im Internet – auch in Spanisch, Chinesisch, Französisch, Portugiesisch, Russisch, Rumänisch, Türkisch)  
 Pictures of the Future ist auch als kostenlose App im App-Store erhältlich.

- Ich möchte Pictures of the Future kostenlos kennenlernen
- Ich möchte Pictures of the Future abbestellen
- Meine Adresse ist nicht korrekt
- Die Zeitschrift bitte an einen weiteren Interessenten schicken (bitte jeweils ankreuzen und Anschrift eintragen):

\_\_\_\_\_  
 Titel, Vorname, Nachname

\_\_\_\_\_  
 Firma

\_\_\_\_\_  
 Abteilung

\_\_\_\_\_  
 Straße, Hausnummer

\_\_\_\_\_  
 PLZ, Stadt

\_\_\_\_\_  
 Land

\_\_\_\_\_  
 Telefonnummer, Fax oder E-Mail



## Mehr als die Summe der Teile

Noch vor 20 Jahren gab es in Deutschland nur wenige hundert Kraftwerke. Heute sind es fast zwei Millionen kleiner, mittlerer und großer Energieerzeuger. Neben Gas- und Kohlekraftwerken sind dies die vielen Anlagen, die Sonne, Wind, Wasser, Biomasse und Erdwärme nutzen, dazu kommen Blockheizkraftwerke, neue Verbraucher, intelligente Netze. Doch wie bringt man all dies zu einem sinnvollen Ganzen zusammen? Ähnliche Entwicklungen gibt es in Fabriken mit Tausenden vernetzter Sensoren und Aktuatoren sowie bei Kommunikations- und Automatisierungssystemen – oft von unterschiedlichen Herstellern. Ebenso bei Verkehrssystemen, Gebäuden und im Gesundheitswesen: Überall gilt es, Einzelsysteme zu einem stimmigen Gesamtsystem zu vereinen – von den Entwicklungswerkzeugen über die Betriebssoftware bis zum reibungslosen Zusammenwirken der Hardware. Systemintegration heißt diese Herausforderung, der sich Tausende von Forschern und Ingenieuren bei Siemens stellen.



## Immune Infrastrukturen

Infrastrukturen sind die Lebensadern der Zivilisation – ohne Verkehrs-, Logistik-, Energie- oder Gesundheitssysteme wäre unser Alltag nicht zu bewältigen. Doch dass sie funktionieren, ist keine Selbstverständlichkeit. So verdeutlichen Naturkatastrophen wie der Hurrikan Sandy in den USA im Oktober 2012 oder Cyberangriffe auf Kraftwerke oder Industrieanlagen, wie anfällig die Grundlagen unseres Lebens sind. Sie zu schützen und krisensicher zu machen, ist eine der wichtigsten Aufgaben für Forscher, Ingenieure und Politiker – denn bei einem Zusammenbruch wären die wirtschaftlichen, gesundheitlichen und ökologischen Schäden immens. Aber auch kalkulierbare Herausforderungen müssen beachtet werden: So müssen technische Lösungen von Beginn an optimal an ihren Einsatzort angepasst sein, um Effizienz und Lebensdauer zu maximieren – etwa in Gebieten mit hoher Luftfeuchtigkeit, extremer Kälte oder staubreichen Wüsten.

## Wie Ideen erwachsen werden

Es gibt viele Wege, um aus einer Idee ein innovatives Produkt zu entwickeln. Ein kluger Kopf kann einen Geistesblitz hartnäckig über Jahre weiter verfolgen, bis die Zeit reif für seine Vision ist. Ein Team kann gemeinsam und systematisch nach der optimalen Lösung für ein dringendes Problem suchen und diese schnell umsetzen. Allianzen werden gebildet, Kooperationen eingegangen, Leitkunden gesucht. Es ist eine spannende Geschichte, wie Siemens-Erfinder und -Entwickler ihre Arbeit tun: Welche Hürden müssen sie überwinden? Wo finden sie die besten Partner innerhalb und außerhalb des Unternehmens? Manche Verbindungen existieren seit Jahrzehnten, wie die Kooperation von Siemens mit der Technischen Universität München oder der Johannes-Kepler-Universität in Linz. Andere Kooperationen bilden sich neu: im Moment beispielsweise zu nachhaltigen Energiesystemen, zur Zukunft der Fertigung oder zur Frage, wie sich aus einer Vielzahl von Daten Mehrwert für die Kunden schaffen lässt.



## IMPRESSUM

### Herausgeber: Siemens AG

Corporate Communications (CC) und Corporate Technology (CT)  
Otto-Hahn-Ring 6, 81739 München  
Für den Herausgeber: Dr. Ulrich Eberl (CC), Arthur F. Pease (CT)  
ulrich.eberl@siemens.com (Tel. +49 89 636 33246)  
arthur.pease@siemens.com (Tel. +49 89 636 48824)

### Redaktion:

Dr. Ulrich Eberl (Chefredaktion)  
Florian Martini (Chef vom Dienst)  
Arthur F. Pease (Executive Editor, English Edition)  
Hülya Dagli  
Nicole Elflein  
Katrin Nikolaus  
Sebastian Weibel

**Weitere Autoren dieser Ausgabe:** Bernhard Bartsch, Andreas Beuthner, Mirjam Blaum, Dr. Fenna Bleyl, Dr. Hubertus Breuer, Christian Buck, Nils Ehrenberg, Florian Falzeder, Urs Fitze, Andrea Frost, Ines Giovannini, Susanne Gold, Andrea Hoferichter, Bijesh Kamath, Dr. Andreas Kleinschmidt, Sabrina Martin, Valeriya Masjuta, Bernd Müller, Michael Risel, Dr. Christine Rüth, Bernd Schöne, Dr. Sylvia Trage, Silke Weber, Andreas Wenleder, Johannes Winterhagen

**Bildredaktion:** Judith Egelhof, Irene Kern, Jürgen Winzeck, Publicis München

**Fotografie:** Mateo Bernal, Max Etzold, Daniel Gebhart de Koekoek, Dietmar Gust, Cihan Kirman, Thomas Klink, Christian Sinibaldi, Volker Steger, Wang Yuanhong, Jürgen Winzeck

**Internet** ([www.siemens.de/pof](http://www.siemens.de/pof)): Florian Martini, Stefan Schröder

**Hist. Informationen:** Dr. Florian Kiuntke, Siemens Historical Institute

**Adressdatenbank:** Susan Grünbaum-Süß, Publicis Erlangen

**Grafik-Design / Lithographie:** Rigobert Ratschke, Seufferle Mediendesign, Stuttgart

**Illustrationen:** Wolfram Gothe (S.10-11), Arnold Metzinger (S.46-47, 80-81)

**Grafiken:** Jochen Haller, Seufferle Mediendesign, Stuttgart

**Übersetzungen Deutsch – Englisch:** Transform GmbH, Köln

**Übersetzungen Englisch – Deutsch:** Karin Hofmann, Publicis München

**Druck:** Bechtle Druck&Service, Esslingen

**Fotonachweis:** Laif/Tim Michel (5 u.l.), Laif/James Hill (7 l.), Laif/Jeremy Nicholl (7 r.), Arthur F. Pease (15 u., 34 u.), Local Motors (15, 16, 17), Ducati (22 o., m.), iwb/Technische Universität München (24 u.), Technische Universität München (24 m.), action press (35, 96 m.), dpa/Ohlenschläger (39), Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl FAPS (40 r.u.), Audi (50 r., 68 o.), imago (62 m., 63), Arelion AG (64 l.), Anzenberger Agency (64 r., 82), ODOO Project (65 o.), ODOO Project/Balázs Danyi (65 m.), Zutphens Persbureau/Patrick van Gemert (66 u.), PantherMedia (72 l.), Getty images (74), Laif/Todd Heisler (76), eisele photos (83 o.), picture alliance/AP images (84 m.), Maersk Group (84 l., 112), Transport for London (85, 86 o.r., u.), akq-images (86 l.), Siemens Corporate Archives (86 m., 111), sinopictures/images.de (87 o.), vario-images (90), DLR (91), KGM (94), arc-foto/Thomas Kummerow (96 r.), Prisma/Leiva Alvaro (97 u. l.), Bildagentur Schapowalow (97 u. r.), allOver images (102), Testfeld Telematik (104 r., u., 105), NORLED/ Karolina Adolfsson (110/111 o.)  
Alle weiteren Abbildungen: Copyright Siemens AG

Pictures of the Future u.a. sind geschützte Marken der Siemens AG oder assoziierter Gesellschaften. Andere in der Zeitschrift erwähnte Produkt- oder Firmennamen können ebenfalls Marken oder Produktbezeichnungen der Rechteinhaber sein.

Nicht alle Produkte von Siemens Healthcare, die in dieser Ausgabe erwähnt sind, sind bereits auf dem Markt erhältlich. Einige befinden sich noch in der Entwicklung oder werden nur für spezielle Untersuchungen eingesetzt und müssen noch von den entsprechenden Behörden zugelassen werden. Siemens kann nicht für ihre künftige Verfügbarkeit garantieren.

Der Inhalt der Beiträge gibt nicht in jedem Fall die Meinung des Herausgebers wieder. Auch enthält diese Zeitschrift in die Zukunft gerichtete Aussagen, für deren Eintreten Siemens in keiner Weise garantieren kann.

*Pictures of the Future* erscheint zweimal jährlich.

Printed in Germany. Für den Nachdruck von Beiträgen – auch auszugsweise – ist die Genehmigung der Redaktion erforderlich. Dies gilt ebenso für die Aufnahme in elektronische Datenbanken oder das Internet.