

Die angekündigte Revolution Die vierte industrielle Revolution wird gefeiert, ehe sie begonnen hat.

Kollege Roboter Im vollautomatisierten Produktionsprozess muss der Mensch eine neue Rolle für sich finden.

Die Kaffeefälscher Die gescheiterte Suche nach Ersatz für Kaffee führte zum Aufstieg eines Weltkonzerns.

KULTUR & TECHNIK

Industrie 4.0

Intelligente Systeme verändern die Industriegesellschaft.



SIEMENS



Italienische Leidenschaft. Virtuell entwickelt. Effizient gebaut.

Maserati steigert seine Wettbewerbsfähigkeit durch Digitalisierung der Fertigung.

Maserati schreibt gerade das vielleicht spannendste Kapitel der Firmengeschichte. Im neuen Turiner Werk zeigt die Traditions-marke, dass sich höchste Qualität und Effizienz vereinen lassen. Vom Design über Planung und Produktion bis zur Analyse des gesamten Ablaufs ist hier alles digital.

Das Ergebnis: ein gestraffter, vereinfachter Entwicklungs- und Fertigungsprozess mit mehr Raum für Flexibilität. So setzt Maserati neue Maßstäbe und macht die historische Automarke bereit für eine erfolgreiche Zukunft.

Durch die Verbindung von virtueller und realer Fertigung steigert Siemens die Effizienz und Wettbewerbsfähigkeit seiner Kunden. Gemeinsam mit ihnen elektrifiziert, automatisiert und digitalisiert Siemens die Welt, in der wir leben – und verwirklicht das, worauf es ankommt.

Virtuelle und reale Welt
wachsen zusammen:
Steigerung der Effizienz bei
höchster Qualität.



[siemens.com/zukunft-der-industrie](https://www.siemens.com/zukunft-der-industrie)



**Liebe Leserin,
lieber Leser,**

für unsere Kinder wird es irgendwann ganz alltäglich sein: Computer und Roboter als diskrete Helfer, Arbeitskollegen oder sogar Chefs. Die Japaner machen es uns schon vor. Seit 2015 setzt der japanische Elektronikkonzern Hitachi einen lernfähigen Algorithmus als Vorgesetzten in Warenlagern ein. Die Angestellten haben sich dessen Weisungen zu beugen. Gruselig? Bedingt. Überlegen Sie einmal, in wie vielen Bereichen Sie sich schon heute an computergenerierten Vorgaben oder Informationen orientieren. Maschinengeneriertes Wissen hat sich längst in unser aller Leben geschlichen, ohne dass wir uns gegängelt oder gar unterdrückt fühlen. Dennoch finde ich es wichtig, dass wir uns heute darüber Gedanken machen, welche Veränderungen auf uns zukommen und wie wir damit umgehen wollen.

Es wird wohl noch ein paar Jahre dauern, bis Maschinen so intelligent und lernfähig sein werden wie Menschen. Es ist also noch ein wenig Zeit, um sich der Frage zu widmen, wie wir diese Maschinen künftig nutzen wollen. Was das mit »Industrie 4.0« zu tun hat? Viel. Denn

das Ziel von Industrie 4.0 ist der sukzessive Umbau der Industriegesellschaft, wie wir sie heute kennen. Was genau erwartet uns? Erleben wir tatsächlich eine vierte industrielle Revolution, wie die Schöpfer des Begriffs »Industrie 4.0« behaupten? Welche Konsequenzen werden die Veränderungen haben? Diesen Fragen sind unsere Autorinnen und Autoren nachgegangen. Bei Hitachi übrigens konnte die Produktivität dank des virtuellen Chefs um acht Prozent gesteigert werden. Ob die Mitarbeiter mit ihrem Chef zufrieden sind oder er sie sogar zusätzlich motivieren konnte, weiß man noch nicht.

Professor Dr. Wolfgang M. Heckl
Generaldirektor



6
Die vierte industrielle Revolution wird gefeiert, ehe sie begonnen hat. Wie revolutionär ist sie überhaupt?

12
Die Dampfmaschine, das Fließband und der Computer haben die Arbeit und das Leben der Menschen nachhaltig verändert.



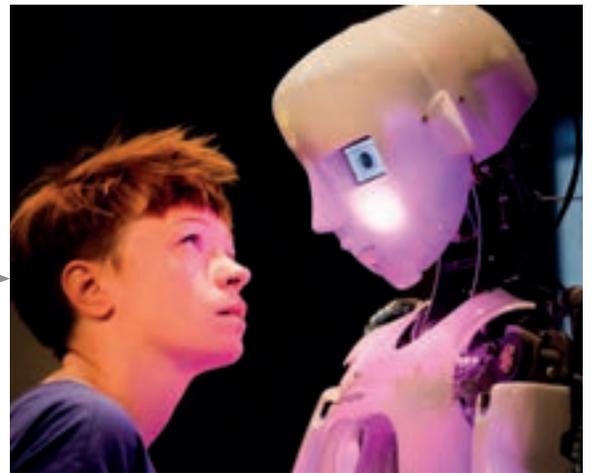
20
Globale Vernetzung und neue Produktionstechniken ermöglichen individuelle Massenprodukte.

30
Automatisierung verdrängt Menschen aus Arbeitsprozessen. Was erwartet uns in der Arbeitswelt 4.0?



36
Einer der weltweit modernsten Containerterminals wurde 2002 im Hamburger Stadtteil Altenwerder eröffnet.

42
In zwanzig Jahren wird es selbstverständlich sein, dass Menschen und Roboter miteinander arbeiten.



52
Der vergeblichen Suche nach einem Ersatz für Kaffee verdankt ein Weltkonzern seinen Aufstieg.

58
Nach jahrelangen Versuchen brachte die Firma Bayer im Jahr 1922 das »Motten-Eulan« auf den Markt.



INDUSTRIE 4.0

- 6 Die angekündigte Revolution**
Wird »Industrie 4.0« die Welt verändern? | Von Bernd Flessner
- 12 Geschichte einer Vision**
Am Anfang war die Dampfmaschine | Von Tina Kubot und Frank Dittmann
- 20 Kollege Roboter**
Menschen und Maschinen arbeiten in Teams | Von Christian Rauch
- 29 Sicherheit im Cyberspace**
Globale Vernetzung ist für Kriminelle verlockend | Von Christian Rauch
- 30 Die neue Arbeit**
Automatisierung verdrängt Menschen | Von Helga Ballauf
- 36 Leinen los!**
Der Containerterminal Altenwerder in Hamburg | Von Sabrina Landes
-

MAGAZIN

- 46 Nachrichten aus dem Deutschen Museum**
Ausstellung Zukunftspreis
Freundes- und Förderkreis
Experimentier-Werkstatt
- 52 Die Kaffeefälscher**
Die vergebliche Suche nach Ersatz für Kaffee | Von Claus Priesner
- 58 Der Feind im Kleiderschrank**
Die Erfindung des »Motten-Eulan« | Von Elisabeth Vaupel und Michael Frings
-

STANDARD

- 3 Editorial**
- 42 MikroMakro**
Die Seiten für junge Leser
- 64 Schlusspunkt**
- 66 Vorschau, Impressum**



Die angekündigte Revolution

Im Gegensatz zu den ersten drei industriellen Revolutionen wird die vierte bereits gefeiert, bevor sie überhaupt begonnen hat.

Wie revolutionär ist sie überhaupt? Von Bernd Flessner

Als die erste industrielle Revolution Mitte des 18. Jahrhunderts die ersten Siege feiern konnte, war den meisten Menschen in Europa und den USA das Revolutionäre gar nicht bewusst. Es brauchte Jahrzehnte, bevor deutlich wurde, wie sehr das sogenannte Maschinenzeitalter tatsächlich ein neues Zeitalter war. Zudem stellten sich die gravierenden sozialen Folgen erst im Laufe des 19. Jahrhunderts ein, die Explosion der Städte sogar erst gegen Ende des Jahrhunderts, während sich die Industrialisierung des Krieges noch bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts hinzog.

Eine lange, eine permanente Revolution, deren Vorgeschichte noch länger ist, wobei hier nur an die Mühlen-technologie erinnert sei, die bereits vor der Erfindung der Dampfmaschine die Menschen konditionierte und mit mechanischen Produktionsabläufen vertraut machte. In nicht wenigen Manufakturen und Betrieben kam es zu keinen großen Veränderungen durch den Austausch des Mühlrades durch Kolben und Zylinder.

Die erste war noch in vollem Gange, als bereits die zweite industrielle Revolution zu einem neuerlichen Wandel ansetzte. Als Startzeitraum gilt das Jahrzehnt zwischen 1870 und 1880. So hat es jedenfalls der französische Soziologe Georges Friedmann 1936 gesehen, der Namensgeber der zweiten Revolution. Er erhob die Elektrizität und die Fließbandproduktion zu den Treibern des Umbruchs.

Nach dem Zweiten Weltkrieg sah man zunächst im euphorisch postulierten Atomzeitalter die dritte Revolution, bevor sich abzeichnete, dass nicht das Atom, sondern der Computer die nächste Revolution anführt, weshalb sie dann auch in digitale Revolution umgetauft wurde. Übrigens hatte auch Georges Friedmann noch Mitte der 1960er Jahre auf das Atom als Agens gesetzt. Da war der Computer bereits 20 Jahre alt. Technologisch-ökonomische Revolutionen sind offenbar gar nicht so leicht zu erkennen, und

das selbst dann nicht, wenn bereits erste Siege gefeiert werden. So nahm 1969 das Arpanet mit ganzen vier Knoten seinen Betrieb auf, die Keimzelle des Internets. Das erste E-Mail-Programm folgte 1972. Im selben Jahr entwarf der NSA-Mitarbeiter Daniel Edwards ein Schadprogramm, das er »trojan horse« taufte – Trojaner. Die Revolution wurde kompliziert, bevor sie allgemein bemerkt wurde.

Das geschah dann in den 1980er Jahren, als die Heimcomputer Büros und Arbeitszimmer eroberten und die Maus noch Abrollgerät hieß. So richtig in Fahrt kam die digitale Revolution erst um das Jahr 2000. Doch nicht einmal zu diesem Zeitpunkt war klar, wie umfassend der ökonomische wie soziale und kulturelle Wandel sein würde. Denn etliche, tiefgreifende Folgen der Revolution offenbarten sich erst im Laufe des 21. Jahrhunderts. Und dieser Wandel ist alles andere als abgeschlossen, die Revolution noch unvollendet, die neue, digitale Welt noch nicht endgültig strukturiert, ubiquitär und ausgelotet.

Revolution oder Evolution?

Historische Periodisierungen erfolgen, sofern sie plausibel sein sollen, in der Regel im Nachhinein. Das zeigen auch die drei bisherigen industriellen Revolutionen, wobei deren verbindliche Definition noch immer aussteht. Die Diskussion hält nämlich an, spätere Umdeutungen sind nicht ausgeschlossen. Während aber einerseits mit gebotener Vorsicht der Themenkomplex wissenschaftlich verhandelt wird, leuchtet schon die nächste Revolution am Horizont auf. Diesmal, so scheint es, will man nicht überrascht werden. Diesmal will man die Barrikaden selber errichten, will man Anführer, will man Avantgarde sein. Etwa in Davos auf dem World Economic Forum im Januar dieses Jahres. Wie in den Jahren zuvor gehörten die Begriffe »vierte industrielle Revolution« und »Industrie 4.0« zu den magischen Wörtern des Forums, die in vielen



der 300 Veranstaltungen beschworen wurden wie einst das »Atomzeitalter«.

Zur Vision erhoben wurden beide Begriffe 2011 im Rahmen der Hannover-Messe. Zu den Initiatoren zählte u. a. der namhafte deutsche Physiker und Industriemanager Henning Kagermann, der im Jahr darauf bei der Bundesregierung vorstellig wurde. Dort wurden die Begriffe dann auch in ein Programm mit einem klaren Ziel überführt und mit entsprechenden Fördermitteln ausgestattet. »Das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 zielt darauf ab, die deutsche Industrie in die Lage zu versetzen, für die Zukunft der Produktion gerüstet zu sein«, heißt es auf der entsprechenden Webseite des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF). Ebenfalls wird betont, wo wir ökonomisch stehen, nämlich »an der Schwelle zur vierten industriellen Revolution«.

So unsicher das Eintreffen der bisherigen industriellen Revolutionen seinerzeit auch war, diesmal scheint Klarheit zu herrschen, und zwar bereits vor dem eigentlichen Beginn der Revolution. Irritierend ist lediglich die Definition des revolutionären Umbruchs, denn das BMBF schreibt: »International steht Industrie 4.0 heute für die Digitalisierung der Industrie.« Die Digitalisierung aber ist bekanntlich das Agens der dritten industriellen Revolution und kann daher nicht auch das der vierten sein. Es sei denn, die vierte ist gar keine weitere Revolution, sondern noch immer die gute, alte dritte, die lediglich zum Sturm auf die Bastille ansetzt, um endgültig über die analoge Welt zu triumphieren. Bei der angekündigten vierten industriellen Revolution könnte es sich demnach lediglich um eine zweite Phase der dritten handeln, wie etwa der Industrie-soziologe Hartmut Hirsch-Kreinsen meint. Was nicht nur diesem Kritiker fehlt, ist ein signifikantes, technologisches Novum. Das wiederum sehen die bekennenden Revolutionäre in komplexen, cyberphysischen Systemen, also in der Konvergenz und Vernetzung von Software und künstlicher Intelligenz auf der einen und mechanischen Produktionstechniken und Hardware auf der anderen Seite. Doch ist diese Konvergenz tatsächlich das entscheidende Novum, das jede bisherige Revolution kennzeichnet? Oder ist sie doch nur eine evolutionäre Stufe der dritten Revolution, ein weiterer Modernisierungsschub?

Szenarien der Revolution

Wie auch immer man die vierte industrielle Revolution aus heutiger Perspektive beurteilt, die Fragen der historischen Einordnung und Periodisierung werden wohl erst nachfolgende Generationen beantworten können. Vielleicht zählen dazu auch künstliche Intelligenzen, die frischen Wind in die von uns Menschen geschaffenen Kriterien bringen. Folgt man Stephen Hawking, könnte die vierte industrielle Revolution sogar einer fünften und letzten den Weg bereiten, die aus dem Menschen ein Auslaufmodell der Evolution macht, während synthetische Superintelligenzen das Spiel fortsetzen.

Aber so weit ist es noch lange nicht. Zunächst stehen die Visionen und Projekte einer Industrie 4.0 an. Und sie basieren auf einigen Tendenzen bzw. Voraussetzungen, die sich auch benennen lassen. Da wäre etwa eine deutliche Zunahme der Konnektivität und des Datenverkehrs. Immer mehr Rechner und Chips tauschen immer mehr Daten aus. Fluktuierten 2005 global Daten in der Größenordnung von 130 Exabyte im Internet, so werden es 2020 – verschiedenen Prognosen zufolge – 40 000 Exabyte (40 Zettabyte) sein. Mit weiterhin steigender Tendenz.

Die schon lange bekannte These, dass Daten das Gold des 21. Jahrhunderts sein werden, bewahrheitet sich. Bei dem Projekt Industrie 4.0 geht es indes nicht um Big Data, also die Auswertung und Nutzung der Datenflut mit Hilfe von Algorithmen. Vielmehr ist der permanente Austausch großer Datenmengen die tragende Säule des Projektes. Die Daten werden nicht mehr nur, wie bisher, intern benötigt, sondern kursieren im Internet und vernetzen Industrieproduktion, deren Produkte, Ingenieure, Designer, Logistiker, Dienstleister und Konsumenten. Statt einzelner, computergesteuerter Maschinen erhält man so ein computerbasiertes System mit bislang unbekannter Transparenz und Flexibilität.

Sind alle Weichen gestellt, haben alle Beteiligten jederzeit Zugriff auf alle relevanten Daten, und das auch mobil. Via Smartphone können Ingenieure in Echtzeit den Status eines Produkts kontrollieren und jederzeit eingreifen. Der Kunde kann Schritt für Schritt verfolgen, wie sein Produkt entsteht, denn es ist ein Smart Product, dessen integrierter Chip an der Steuerung der Produktion beteiligt ist.

Der Chip ermittelt, ob die benötigten Bauteile rechtzeitig eintreffen und kontaktiert selbsttätig das beauftragte Logistikunternehmen. Liegt eine Unterbrechung der Lieferkette vor, versucht das System, das erforderliche Bauteil von einem anderen Anbieter zu erhalten. Ein derartiges System kann natürlich nur effizient arbeiten, wenn es in begrenztem Umfang autonome Entscheidungen treffen kann. Der Mensch wiederum zieht sich immer mehr zurück und übernimmt die Funktion des Kontrolleurs. Einer der großen Vorteile von Industrie 4.0 ist der flexible und agile Produktionsprozess, der nicht mehr auf die Massenproduktion normierter, standardisierter Waren ausgerichtet ist. Eine steigende Anzahl von Produkten kann individualisiert werden. Sogar Änderungen während des Produktionsprozesses sind möglich. Rot statt Grün? Kein Problem bei Industrie 4.0. Der verspätete Kundenwunsch wird umgehend und direkt ins System eingegeben, das die Durchführbarkeit prüft und anschließend umsetzt. Der Konsument wird weitaus stärker in den Prozess eingebunden als bisher und so zum Prosumenten (Kunstwort aus Produzent und Konsument). Das Produkt von der Stange wird zum Auslaufmodell, in Zukunft wird alles maßgeschneidert.

Das Produkt bleibt auch nach der Fertigstellung ein Segment des computerbasierten Systems, der Chip in der Ware verfügt über einen Transponder und ist online. Das Produkt ist im Internet, und zwar im Internet der Dinge, auch Outernet genannt, in dem die Dinge auch ohne menschliche Beteiligung Daten austauschen. Nicht nur der Kunde, auch sein Smart Home kennt somit den Zeitpunkt, an dem der neue Kühlschrank geliefert wird, eine mögliche Verspätung inklusive. Die Energieversorgung des Smart Homes ist ebenso vorbereitet wie die Eingangstür, die sich für den Kühlschrank bereitwillig öffnet. Ist der Kühlschrank angeschlossen – in gar nicht so ferner Zukunft mit Hilfe eines Serviceroboters –, checkt er die ihm anvertrauten Lebensmittel. Dank polymerer Elektronik (Polytronik) und anderer neuer Drucktechniken werden immer mehr Chips auf Papier, Pappe, Kunststoffe, Metalle und sogar Kleidung gedruckt. Mühelos kann der Kühlschrank die Mindesthaltbarkeit überprüfen und via Outernet neue Waren ordern – sofern ihn der Besitzer zu

solchen Aktionen autorisiert hat. Smart Factories, Smart Products und Smart Homes agieren gemeinsam.

Smart, also intelligent, ist ein Schlüsselbegriff und Kennzeichen von Industrie 4.0. Dank intelligenter Sensoren können etwa Maschinen ihren bevorstehenden Ausfall anzeigen und somit repariert werden, bevor das Ereignis eintritt. Und selbst nach Lebensende des Produkts ist es noch immer Teil des Systems. Meldet der Chip des Kühlschranks einen Defekt, dessen Behebung ökonomisch nicht mehr sinnvoll ist, steht umgehend sein Nachfolger vor der Tür. Das alte Gerät steuert natürlich den nachfolgenden Recyclingprozess selbst, gibt Auskunft über Produktionsjahr und verwendete Materialien. Das Recyclingunternehmen kennt die Daten, bevor es den Kühlschrank abholt, und checkt den Marktwert der recycelbaren Stoffe.

Ohne das Internet der Dinge ist dieses Projekt nicht realisierbar. Doch längst zeichnet sich die Entwicklung ab, schärfen sich die Konturen. Den im Jahr 2020 rund 7,7 Milliarden Menschen werden 200 Milliarden via Internet verbundene Produkte, Waren, Maschinen und Objekte gegenüberstehen. Selbst wenn jeder Mensch mehrere Smartphones, Tablets und Rechner benutzen würde, ist ihm die vernetzte Dingwelt 2020 bereits klar überlegen.

Menschliche Kommunikation verliert rasant an Bedeutung; Internet und Outernet scheinen letztendlich für die Dingwelt erfunden worden zu sein. Das gilt auch für die Produktion, denn in den smarten Fabriken der nahen Zukunft werden kaum noch Menschen gebraucht. Im Gegenteil, die könnten sogar zu Störfaktoren werden, da sie nur schwer mit dem digitalisierten System kompatibel sind. Der Mensch rückt, wie schon gesagt, an die Peripherie und befasst sich mit Design, Kontrolle und Service.

Dafür kehrt jedoch die Industrie zurück. Reindustrialisierung heißt dieser Trend, der nicht nur vom Projekt Industrie 4.0 ausgelöst wird, sondern auch vom Fabbings-Boom. Gemeint sind 3-D-Druck und andere Verfahren zur gewerblichen oder privaten Herstellung verschiedener Produkte. Zu Hause werden T-Shirts gefabrt, in der Autowerkstatt Ersatzteile und in der Medizin auch. Dort heißt das Verfahren Bioprinting. Größere und komplexere Produkte aus unterschiedlichen Materialien gibt's im Fabbshop nebenan, ein Pendant zum heutigen Copyshop.



Die Prognosen der Ökonomen klingen euphorisch: Lag der globale Umsatz von Fabbing-Produkten 2013 bei 2,5 Milliarden US-Dollar, so steigt er 2025 auf 550 Milliarden US-Dollar an, wobei etwa zwei Drittel auf den Dienstleistungssektor entfallen. Der Kunde wird erkennbar zum Glied in der Wertschöpfungskette, zum Co-Entwickler, Co-Produzenten und zum Prosumenten. Eine Entwicklung, die längst unter den Schlagworten Prosuming, Open Innovation, User Innovation, Customer-Go-Creation, Urban Developer etc. bekannt ist. Eine Verlagerung von Teilen der Produktion in die Haushalte ist in vollem Gang. Die einst in Billiglohnländer ausgelagerte Industrieproduktion kehrt in die Ursprungsländer zurück, die klassische, menschliche Industriearbeit wird nicht mehr länger benötigt. Smart Factories und Fabbing arbeiten schneller, effizienter und kostengünstiger.

Algorithmen, Roboter und Assistenzsysteme übernehmen

Jede industrielle Revolution ist mit einem Wandel der Arbeit verbunden. Das gilt natürlich auch für die vierte dieser Revolutionen. Allerdings ist die Dimension dieses Wandels erst ansatzweise ausgelotet, schließlich steht er ja noch bevor. Empirische Belege fehlen dementsprechend. Als gesichert kann man den Trend zu einer wissensbasierten Wirtschaft betrachten. Wissen und Kreativität werden die Wertschöpfungsketten der Zukunft maßgeblich prägen. Die Gesellschaft der Zukunft soll eine Wissensgesellschaft sein, der Arbeiter zum Wissensarbeiter mutieren. So sieht es zumindest die Vision vor. Wer gut ausgebildet ist oder ein Studium absolviert hat, braucht den Wandel nicht zu fürchten. Oder?

Zahlreiche Studien stellen derzeit diese Vision infrage, da die vierte Revolution keineswegs nur die Industriearbeit betrifft, sondern weit in das bislang kaum betroffene Terrain der Kreativität und des Wissens hineinreicht. Laut einer aktuellen Studie der London School of Economics (LSE) sind die Revolutionäre 4.0, allen voran Roboter und Algorithmen modernster Provenienz, bereits dabei, allein in Deutschland 51,1 Prozent der Jobs zu übernehmen. Diesmal sind auch Akademiker unter den Opfern: Rechtsanwälte, Ingenieure, Ärzte, Designer, Journalisten.

In der 2015 vom VDI-Technologiezentrum herausgegebenen Studie *Gesellschaftliche Veränderungen 2030* kann man dazu lesen: »Einige Berufsfelder, in denen vergleichsweise hohe Einkommen erzielt werden, wie Medizin oder Jura, umfassen viele Routineaufgaben, die in Zukunft durch Informationstechnologien übernommen werden können. Es wird erwartet, dass dadurch bis 2030 zahlreiche Arbeitsplätze wegfallen bzw. sich deutlich wandeln werden.« Entsprechend nüchtern fällt das Resümee der Autoren aus: »Dem Wegfall des Arbeitsplatzes eines gering qualifizierten Fließbandarbeiters durch Rationalisierung könnte zukünftig der Wegfall des vermeintlich qualifizierten Wissensarbeiters folgen.«

Die Revolution entlässt ihre Kinder. Der Wandel ist schleichend und offensichtlich zugleich. Deutschland gehört schon jetzt zu den Industrieländern mit der höchsten Roboterdichte. Diese wird im Kontext von Industrie 4.0 weiter stark zunehmen und auch den Mittelstand immer umfassender einbeziehen. Roboter wie etwa das Modell Baxter werden in vielen Handwerksbetrieben neben dem Meister stehen. Andere Arbeiten werden von Assistenzsystemen übernommen, die nicht nur selbsttätig Autofahren können, sondern auch stapeln, verpacken, sortieren oder entleeren. Die Maschine wird Partner des Menschen, der weniger Menschen benötigt. Dabei stehen zwei Schlagworte im Zentrum: Kosteneinsparung und Effizienzsteigerung.

Medizinische Expertensysteme und OP-Roboter lösen in Krankenhäusern Ärzte und Chirurgen ab, während Roboter-Journalisten – also recherchierende und schreibende Algorithmen – Autoren und Redakteure ersetzen. Andere Algorithmen spekulieren an der Börse, schreiben Drehbücher oder gestalten Autos und Möbel. Grenzen sind nicht zu erkennen, denn nach langen Jahren der Skepsis macht die Entwicklung der künstlichen Intelligenz endlich Fortschritte. Die alte Vision einer allgegenwärtigen und intelligenten Robotik wird nun wohl doch noch zur Realität.

Bei den ersten drei Revolutionen konnten die nachfolgenden Krisen gelöst, konnte der Wandel der Arbeitswelt bewältigt werden. Bildung, Weiterbildung und neue Berufe fingen den Wegfall von alten Arbeitsplätzen auf. Statt Stoffe zu weben, baute der Weber die mechanischen Web-

stühle, die ihm die Arbeit genommen hatten. Schmiede wurden Automechaniker, Schneider gingen in die Textilindustrie, Büroangestellte befassten sich mit elektronischer Datenverarbeitung. Doch ob diese Form des Wandels auch diesmal gelingt, ist fraglich. Denn die entsprechenden Studien weisen darauf hin, dass der Transfer von einem Beruf in einen anderen im Kontext der vierten Revolution keine Lösung mehr sein könnte. Der durch einen Roboter ersetzte Mensch kann nicht einfach zum Entwickler von Robotern werden, da auch diese Arbeit in Zukunft von Robotern und Algorithmen erledigt wird. Der Transfer wird nur noch in begrenztem Rahmen möglich sein.



Brauchen wir eine Ökonomie 4.0?

Treffen diese Befürchtungen zu, gerät die gesamte Ökonomie in eine schwere Schieflage, ist sie doch vollständig vom Konsum abhängig. Der aber basiert auf der Kaufkraft gut verdienender Konsumenten. Schafft man diese jedoch ab, verstauben die Smart Products in den von menschlicher Arbeit befreiten Smart Factories, während die im Outernet kursierenden Daten bedeutungslos werden. Zu Recht merkt die Studie des VDI-Technologiezentrums dazu an: »Diesem beginnenden Trend steht ein kritischer Diskurs gegenüber, inwiefern das Streben nach (Gewinn-)Optimierung beim Einsatz von Automatisierung zur Produktivitätssteigerung ethisch vertretbar ist. Daher muss hinterfragt werden, welche Folgen eine solche Entwicklung



DER AUTOR

Dr. Bernd Flessner

Zukunftsforscher und Wissenschaftsjournalist, lehrt am Zentralinstitut für angewandte Ethik und Wissenschaftskommunikation der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.

für die Arbeitswelt und die Gesellschaft in Zukunft haben und wie sich Deutschland im internationalen Feld der Algorithmen-Arbeiter platzieren wird.«

Mit dem Projekt Industrie 4.0 ist es also nicht getan, soll die vierte industrielle Revolution ein Erfolg für die ganze Gesellschaft werden. Es muss ein Projekt Ökonomie 4.0 folgen, das die Bedeutung von Wertschöpfungsketten ebenso neu definiert wie den Wert der Arbeit und deren Vergütung. Vor diesem Hintergrund erhält die Diskussion eines bedingungslosen Grundeinkommens neue Nahrung. Seit Beginn der 1940er Jahre wird diese Möglichkeit von Ökonomen in Betracht gezogen und in den USA als »negative Einkommensteuer« erörtert. Als »soziale Dividende« könnten in einem solchen Modell die Bürger an den Gewinnen der »Algorithmen-Arbeiter« beteiligt werden, die ja ihren Platz im ökonomischen System eingenommen haben.

Ihre nach wie vor vorhandene Arbeitskraft könnten die Bürger dann in ehrenamtliche Tätigkeiten oder eine sekundäre Wirtschaftsebene investieren. Urban Farming, Gärtnern in der Stadt, wäre eine solche Option. Oder die Betreuung von Nachbarn, Migranten, Alten und Kindern. Oder studieren, inszenieren, schreiben, filmen, malen, musizieren. Entlastet von der klassischen Arbeit, könnte sich die Gesellschaft neu erfinden und neue Werte und Ziele schaffen. Aber auch das ist natürlich nur eine Vision. Wie das Projekt Industrie 4.0. ■■

Anzeige



Erzbischöfliche Pater-Rupert-Mayer Tagesheimschulen Pullach
- staatl. anerkannt -

Wir sind eine Schulfamilie!



- Gymnasium mit sprachlicher und naturwissenschaftlich-technologischer Ausbildungsrichtung
- Realschule mit den Wahlpflichtfächergruppen I und II (mathem./naturwissenschaftlich/technisch, wirtschaftlich)
- Volksschule mit Teilhauptschule
- Kindergarten mit Kita
- Durchlässige Übergänge zwischen den Einrichtungen

- Bewährtes Tagesheimkonzept (eine Klasse – ein Erzieher)
- Tagesheimzeugnisse
- Fördernde und fordernde Vorbereitung auf den Abschluss
- Großflächige Außenanlagen
- Umfangreiches Zusatzangebot: Chöre, Streichorchester, Schulband, Sprachreisen, Theaterwerkstatt, Golf, Football, Skilager, Schülercafeteria, u.v.a.m.

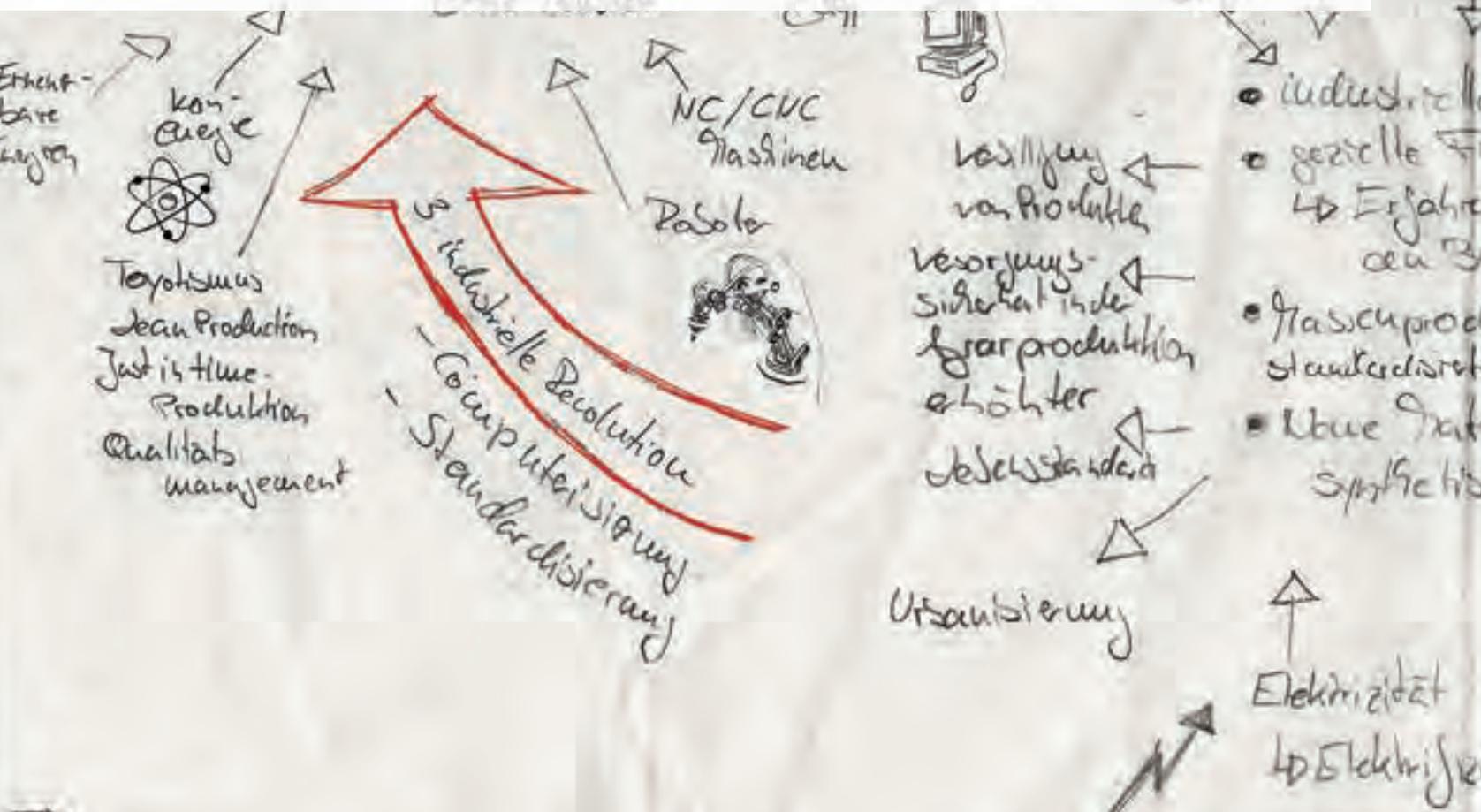
Vom Kindergarten bis zur Mittleren Reife oder bis zum Abitur – eine Biographie – eine Einrichtung.
Sind Sie interessiert?

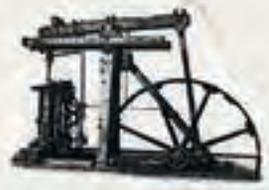
Erzb. Pater-Rupert-Mayer
Gymnasium & Realschule
Wolfratshausenstr. 30 · 82049 Pullach
Tel.: 089/74426100 · www.prmths.de



Geschichte einer Vision

Industrie 4.0 ist in aller Munde. Das gilt insbesondere, nachdem die Bundesregierung in ihrer Hightech-Strategie 2020 das Ziel formuliert hat, dass Deutschland als Anbieter und Anwender zukunftsweisender internetbasierter Technologien für die industrielle Produktion zum internationalen Vorreiter werden soll. Von Tina Kubot und Frank Dittmann





Nutzung fossiler/ nicht-menschlicher Energie

Reduktion



- ortsunabhängige mechanische Energieerzeugung + Umwandlung
- Mechanisierung von Handarbeit durch Maschinen
- Entwicklung von Massentransportsystemen
- massenhafte Verwendung von Kohle + Eisen

Handwerk
einwärts
Fortschrittswissen
ist Voraussetzung

Produktions-
steigerung

Entwicklung von Arbeitszeiten
- Verlagerung der Heimarbeit in Fabriken
- Trennung von Arbeit und Wohnort

Maschinelle
menschliche
Tätigkeiten

neue
Rationalisierungs-
bewegung
Organisations-
Strategie

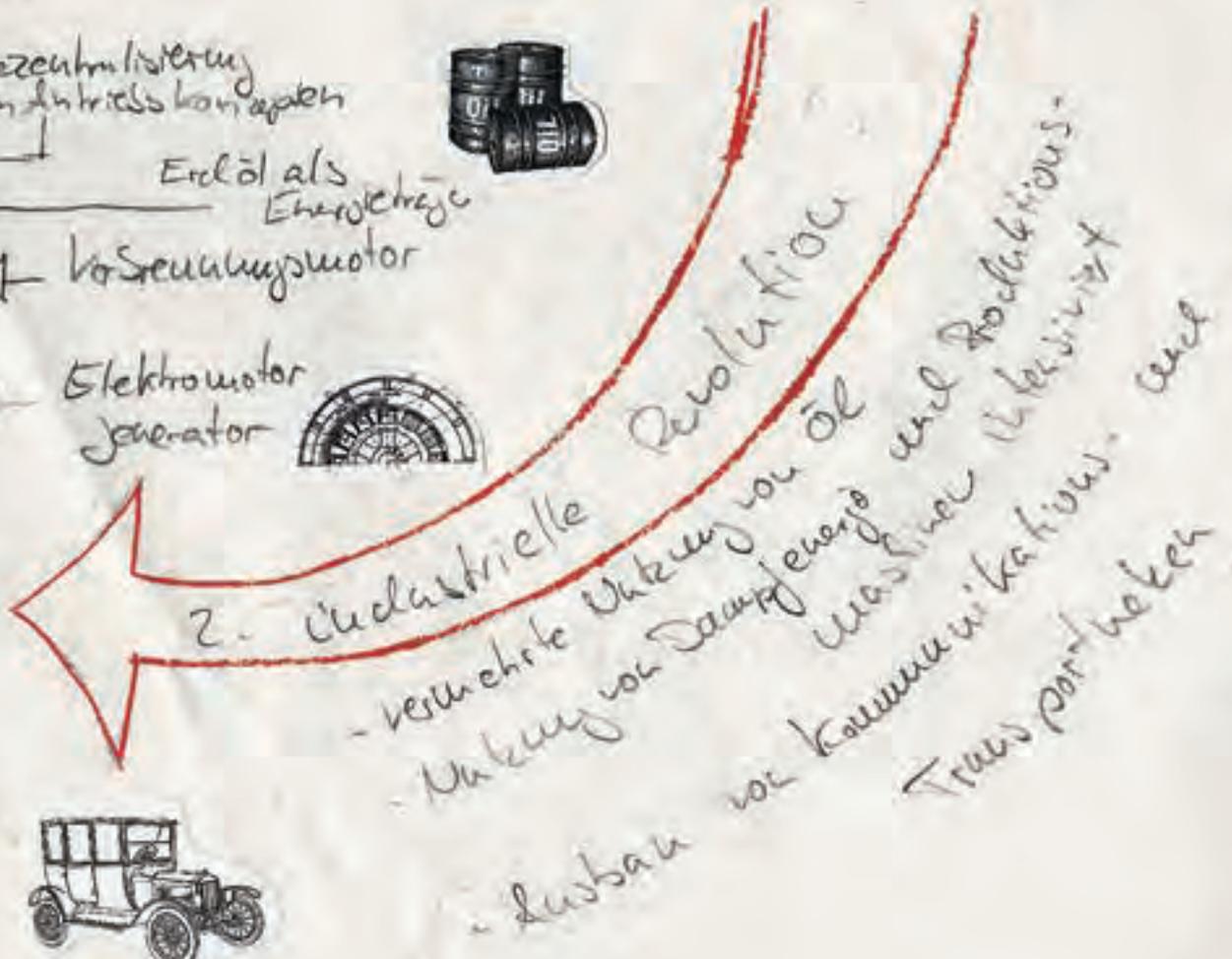
Dezentralisierung
von Antriebskomponenten



Erdöl als
Energieträger

Kraftmaschinenmotor

Elektromotor
Generator



Produktion
Ansprüche
Anforderungen
Produktion
Produkte
Materialien,
Rohstoffe

Telefon



Fließ-
band





1712 baute der Engländer Thomas Newcomen die erste Dampfmaschine, die fünfzig Jahre später von James Watt verbessert wurde.

Industrie 4.0 bezeichnet die Verknüpfung von physischen Systemen, etwa Maschinen in der Produktion, mit der digitalen Welt. Diese Vernetzung soll zu einer intelligenten Fabrik führen, in der Produkt und Produktion miteinander kommunizieren. Anstelle der klassischen Serienfertigung gleichartiger Produkte setzt die neue Vision auf einen selbstorganisierenden Produktionsfluss, bei dem jedes Produkt im Rahmen bestimmter Vorgaben individuell sein kann.

Bei der »Generation Golf« könnte die Idee einer automatischen Fabrik einen Wiedererkennungseffekt erzeugen. Als im Sommer 1983 die Halle 54 von Volkswagen in Betrieb genommen wurde, galt sie als der bis dahin größte Schritt auf dem Weg zu einer automatisierten Fertigung. Bald zeigte sich eine Vielzahl von Schwierigkeiten: In den Medien machte die Halle 54 Negativschlagzeilen unter den Stichworten »Geisterschichten«, »menschenleere Halle« oder »menschenleere Fabrik«.

Angesichts solcher Vorerfahrungen ist die Frage zu stellen, ob wir tatsächlich vor derart fundamentalen Umwälzungen der Wirtschaft und Gesellschaft durch neue Kommunikationstechnologien stehen, dass wir von »Industrie 4.0« als neuer Epoche des Produzierens und Wirtschaftens sprechen können? Unbestritten dürfte sein, dass uns tiefgreifende Veränderungen der Arbeitswelt und davon ausgehend der Gesellschaft erwarten. Derartige Umwälzungen waren allerdings immer schon normale Begleiterscheinungen bei der Einführung neuer Techniken in der Arbeitswelt, wie der Blick in die Geschichte zeigt.

Die erste industrielle Revolution: Mechanisierung

Im späten 18. Jahrhundert begann in England ein tiefgreifender gesellschaftlicher Umbruch, der sich in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts fast überall in Europa durchsetzte und als (erste) industrielle Revolution bekannt ist. Sie ist gekennzeichnet durch eine beschleunigte Entwicklung von Wissenschaften, Technik und Produktivität, begleitet von einer starken Bevölkerungszunahme. Das Handwerk, geprägt durch Erfahrungswissen und Heimarbeit, wurde in einem längerfristigen Prozess mehr und mehr von der industriellen Fertigung verdrängt.

Ausgangspunkt war die Dampfmaschine. Bereits 1712 hatte der Engländer Thomas Newcomen die erste praktikable Dampfmaschine konstruiert, die etwa 50 Jahre später von James Watt erheblich verbessert wurde. Damit war das jahrtausendealte Diktum gebrochen, dass mechanische Energie lokal gebunden ist, weil dafür Wasserkraft oder Windenergie nötig war. Nun konnte Kohle als konzentrierte Energie relativ einfach transportiert und die daraus erzeugte Wärme effektiv und beinahe überall in Bewegungsenergie umgesetzt werden.

Die Entwicklung der Mechanik ermöglichte es, Maschinen zu bauen, die menschliche Arbeit viel schneller verrichten und dabei engere Toleranzgrenzen einhalten konnten. Ganz in diesem Sinne führte der Physiologe und Physiker Hermann von Helmholtz in einem Vortrag von 1854 mit Blick auf die Automaten des französischen Ingenieurs und Erfinders Jacques de Vaucanson und des Schweizer Uhrmachers Pierre Jaquet-Droz aus: »Das Ziel



Förderbänder auf Schlachthöfen inspirierten den Autohersteller Henry Ford zum Einsatz des Fließbandes in seiner Fabrik. Mit dessen Hilfe konnten Autos schneller und billiger produziert werden.

also, welches sich die erfinderischen Köpfe der vergangenen Jahrhunderte ... vorsteckten, war kühn gewählt und wurde mit einem Aufwande von Scharfsinn verfolgt, der nicht wenig zur Bereicherung der mechanischen Mittel beigetragen hat, mit deren Hilfe die spätere Zeit einen fruchtbringenderen Weg zu verfolgen verstand. Wir suchen jetzt nicht mehr solche Maschinen zu bauen, welche die tausend verschiedenen Dienstleistungen eines Menschen vollziehen, sondern verlangen im Gegentheil, dass eine Maschine eine Dienstleistung, aber an Stelle von tausend Menschen, verrichte.«¹

Bekanntlich entstanden in Städten, wie etwa in Manchester, große Fabriken, in denen effiziente Spinn- und Webmaschinen durch Dampfkraft getrieben wurden. Die Weber und Spinner waren mit ihrer handwerklichen Produktion nicht mehr konkurrenzfähig und wurden in die neue, ihnen fremde Form der Fabrikarbeit gezwungen. Nunmehr bedienten sie Maschinen im vorgegebenen Takt. Soziale Konflikte brachen sich Bahn. Bekannt sind etwa die Ludditen, eine Bewegung von Textilarbeitern in England, die gegen die Verschlechterung ihrer Lebensbedingungen kämpften und dabei auch gezielt Maschinen zerstörten. Doch sie konnten den Fortschritt der Technik nicht aufhalten. Die Transport- und Kommunikationsnetze wurden ausgebaut. Verbrennungs- und Elektromotoren traten auf den Plan, Elektrizität wurde flächendeckend eingeführt, die chemische Industrie entwickelte sich. Die Industrialisierung schritt voran, höhere Produktionsraten, die zu preiswerteren Produkten führten, schufen die Basis für einen höheren Lebensstandard von immer mehr Menschen.

Die zweite industrielle Revolution: Fließband und Massenproduktion

Seit Mitte des 19. Jahrhunderts wurden verstärkt arbeitssparende Technologien entwickelt. Markantes Beispiel ist hierfür das Fließband, das um 1870 zunächst in den Schlachthöfen von Cincinnati zum Einsatz kam. Bekannt wurde die »moving assembly line« aber vor allem durch deren Einführung in die Produktion des legendären Model T bei Ford ab 1913. Sprichwörtlich war die monotone Bandarbeit, wie sie Charles Chaplin in seinem Film *Mo-*

Zum Weiterlesen:

Henry Ford, *Mein Leben und Werk*. Leipzig 1923 (online verfügbar).

Peter Brödner, *Fabrik 2000: Alternative Entwicklungspfade in die Zukunft der Fabrik*. Berlin 1986.

Martina Heßler, *Die Halle 54 bei Volkswagen und die Grenzen der Automatisierung. Überlegungen zum Mensch-Maschine-Verhältnis in der industriellen Produktion der 1980er-Jahre*. In: *Zeithistorische Forschungen* 11 (2014), H. 1, S. 56-76 (online verfügbar).

dern Times von 1936 anprangerte. Zugleich kam die fordistische, unflexible Massenproduktion dem Traum vieler Amerikaner nach einem bezahlbaren Auto entgegen, sank doch der Verkaufspreis von anfänglich rund 1000 US-Dollar auf knapp 300 US-Dollar. Flankiert wurde die Rationalisierung der Arbeitsabläufe durch zunehmende Standardisierung von Teilen und Produkten – ein Prozess, der bereits einige Jahrzehnte zuvor begonnen hatte. Symbolisch steht hierfür der berühmte Satz von Henry Ford »You can have it in any color as long as it's black« (»Sie können ihn in jeder Farbe haben, sofern sie schwarz ist.«) – tatsächlich wurde der Wagen zwischen 1915 und 1925 nur in Schwarz produziert, weil dieser Lack schneller trocknete.

Neue Organisationsstrategien sahen vor, alle Arbeitsabläufe ebenfalls durch standardisierte Vorgaben zu vereinheitlichen. Bereits in den 1880er Jahren hatte der amerikanische Ingenieur und Arbeitswissenschaftler Frederick W. Taylor mit immensm materiellen und zeitlichen Aufwand Versuche unternommen, um die scheinbar einfache Frage nach optimalen Schnittwerten bei Werkzeugmaschinen (Schnittgeschwindigkeit, Vorschub, Schnitttiefe) zu beantworten. Die Ergebnisse fasste er in Tabellen und Rechenschiebern zusammen. Ziel war eine überall gleiche Ausführung der Arbeiten. So schreibt Taylor, »daß die treibende Kraft, welche die Versuche so lange Jahre am Leben erhielt und Geld und Gelegenheit dazu beschaffte, nicht ein abstrakter Forschungsdrang nach theoretischem Wissen war, sondern die höchst praktische Tatsache, daß uns die genauen Kenntnisse mangelten, die wir jeden Tag benötigten, um unseren Arbeitern zu helfen, ihre Arbeit möglichst gut und schnell zu verrichten.«²

»Die Arbeiter wurden demnach vom Management als Teil des Maschinensystems angesehen, dem sie sich in Takt, Präzision und sonstigen Anforderungen anzupassen hatten, was diese als Disziplinierung verstanden. Bereits um 1870 kam daher die Idee der »selbsttätigen Maschine« auf. So meinte etwa der deutsche Unternehmer Ludwig Loewe, als er 1870 aus den USA zurückkehrte, dass der Einsatz von solchen Maschinen die Möglichkeit böte, »sich so unabhängig von dem guten Willen und der technischen Leistungsfähigkeit jedes einzelnen Arbeiters zu machen.«³ Auch Friedrich Krupp forderte 1874 die strikte Zentrali-



Unimate hieß der erste Industrieroboter. Ab 1961 wurde er von General Motors für Schweißarbeiten an Kfz-Karosserien eingesetzt.

sierung und Objektivierung des technologischen Wissens im Management: »Was ich erstreben will, ist, daß nichts abhängig sein soll von dem Leben oder Dasein einer bestimmten Person, daß mit derselben kein Wissen und keine Funktion entweiche, daß nichts geschehe ..., das nicht im Zentrum der Prokura bekannt sei, daß man die Vergangenheit der Fabrik sowie die wahrscheinliche Zukunft derselben im Büro der Hauptverwaltung studieren und übersehen kann, ohne einen Sterblichen zu fragen.«⁴ Für den effizienten Betrieb der Fabrik wurden demnach ein möglichst vollständiges Modell der Produktion sowie objektive Daten als abstraktes Planungswissen des Managements als entscheidend angesehen. Aber das technologische Wissen der einzelnen Arbeiter war nicht ohne weiteres verfügbar. Zum einen, da Erfahrungswissen kaum verschriftlicht werden kann. Zum anderen wehrten die Arbeiter den Zugriff auf ihr persönliches Know-how als Enteignung ab.

1911 veröffentlichte Taylor *Die Grundsätze der wissenschaftlichen Betriebsführung*⁵, die zwei Jahre später auf Deutsch erschienen. Dessen Kerngedanken bestimmten lange Zeit maßgeblich die Entwicklung im Management. Der Autor kam zu dem Schluss, dass nicht mehr der einzelne Mensch, sondern Organisation und Systematik an erster Stelle stehen müssten, dass alle Ressourcen effizient zu verwerten und dass die Mitarbeiter am Produktivitätsfortschritt materiell zu beteiligen seien. Folgerichtig wurde die Planung einer Tätigkeit strikt von deren Ausführung getrennt und auf Grundlage von Zeit- und Bewegungsstudien in kleinste Einheiten aufgeteilt, die wegen des minimalen Umfangs bzw. des geringen Arbeitsinhalts schnell und repetitiv wiederholbar waren. Da jeder Schritt im Arbeitsprozess genau vorgegeben wurde, sollten gering qua-

lifizierte Arbeitskräfte Tätigkeiten übernehmen können, für die bislang qualifiziertes Personal notwendig war. Zwar konnten die weitreichenden Ziele des Scientific Managements nie umfassend erreicht werden, aber die rationalisierte Massenproduktion schuf mit ihren preiswerten Produkten die Grundlage der heutigen Konsumgesellschaft. Der Konsumhunger einer steigenden Weltbevölkerung befeuerte den Absatz der Massenprodukte.

Die dritte industrielle Revolution: Automatisierung der Produktion

Die Entwicklung der Elektronik und Computertechnik schuf eine neue Situation, da sie den Aufbau hochgradig komplexer Systeme realisierbar machte. Bereits die Steuerungs- und Regelungstechnik hatte seit den 1920er Jahren gezeigt, dass Technik nicht nur die Arbeit der menschlichen Hand ersetzen, sondern auch – zumindest einfache – intellektuelle Fähigkeiten des Menschen übernehmen konnte. Visionen schossen ins Kraut, so erschien etwa 1930 ein Buch unter dem programmatischen Titel *Automaten. Die Befreiung des Menschen durch die Maschine*.⁶ Ganz in diesem Sinne schrieben 1942 zwei deutsche Ingenieure euphorisch über die mechanische Nachformfräsmaschine, die einen Master abtastet und die entsprechenden Konturen am Werkstück ausfräst: »Feinste Impulsgeräte können heute die Funktion unseres Auges, unseres Tastsinnes ausüben, sie messen Weg oder Zeit, Druck oder Temperatur und lösen über Verstärkeranordnungen jeden gewünschten Steuervorgang aus.«⁷ Selbst der »Automatische Arbeiter« war schon in den späten 1930er Jahren in Berlin durch die Ingenieure Rudolf Nebel und Karl Saur Realität geworden. Zwanzig Exemplare sollten 1944 in der unterirdischen Fabrik der Mittelwerk GmbH bei Nordhausen bei der Waffenfertigung helfen.

Mit dem Aufkommen der Computer in den 1950er Jahren potenzierten sich die Möglichkeiten. Es lag nahe, die neuen Computer in der Produktion zur Maschinensteuerung einzusetzen. Die technische Umsetzung des Industrieroboters, wie wir ihn heute kennen, begann 1954, als der amerikanische Erfinder George Devol ein Patent für einen programmierbaren Manipulator erhielt. Joseph F. Engelberger erkannte den Wert der Idee, als er Devol auf einer Party



Als technischer Flop erwies sich die erste menschenleere Fabrikhalle, die VW 1983 eröffnete. Die Produktion von Fahrzeugen sollte hier weitgehend automatisiert erfolgen.

traf, und gründete mit ihm 1956 die Firma Unimation – die Kurzform von Universal Automation macht den weitreichenden Anspruch deutlich. 1960 stellte das Unternehmen den ersten frei programmierbaren Industrieroboter Unimate vor, der rasch Eingang in die amerikanische Automobilproduktion fand. In Deutschland begann das Zeitalter der Industrieroboter Anfang der 1970er Jahre bei Mercedes-Benz in Sindelfingen mit zwölf Unimate-Robotern.

Der integrierte Schaltkreis, 1958 parallel von Jack Kilby und Robert Noyce entwickelt, schuf eine völlig neue Hardwarebasis zur Informationsverarbeitung – insbesondere in Form des Mikroprozessors ab den 1970er Jahren. Flankiert wurde dieser Prozess durch die rasante Entwicklung zu immer kleineren Sensoren und preiswerten Aktoren, so dass die elektronische Steuerung auch bald großflächig Einzug in die industrielle Produktion hielt. Mit den hoch entwickelten Computern und Industrierobotern gewann die Idee, dass Maschinen den Menschen in der Produktion entlasten und schließlich ersetzen könnten, erneut an Attraktivität. Vor allem schienen die neuen Computer weniger fehleranfällig zu arbeiten als Menschen, was eine automatisierte Fertigung mit hervorragender Qualität zu geringen Kosten versprach. Bereits 1938 hatte der deutsche Pionier der Automatisierung Carl Martin Dolezalek auf den Menschen als Mängelwesen (Arnold Gehlen) verwiesen: »Mit dem Ausschalten des Menschen ist auch die Ausschaltung seiner Fehler und Unzulänglichkeiten verbunden, die uns gerade in der Massenfertigung von hochwertigen Erzeugnissen oftmals unangenehme Überraschungen bereiten.«⁸

Mit der bereits erwähnten Halle 54 bei VW in Wolfsburg, die nach den neuen CIM-Gesichtspunkten ausgerüs-

tet worden war, sollte diese Vision endlich Realität werden, um den Golf II und den Jetta II nach den modernsten Fertigungsmethoden zu bauen. Der Spiegel schrieb 1983 in dem Beitrag »Nichts Vergleichbares«: »Die Fabriken der deutschen Autoindustrie wurden in den letzten Jahren auf hypermoderne Fertigungstechnik umgestellt.« Und weiter: »Nahezu alles, was von außen an einem Auto zu montieren ist, erledigen beim Golf II Maschinen. Nur die Endmontage des Innenraums erfolgt noch per Hand.«⁹

Hauptantrieb waren Kosteneinsparungen, um konkurrenzfähig mit fernöstlichen Autobauern zu bleiben, selbst wenn die Arbeitskosten in Deutschland um 30 Prozent höher lagen. »Menschenleere Fabrik« wurde getitelt, obwohl immer noch 4000 Menschen statt 5000 in der Halle eingesetzt waren. Der Grad der Automatisierung stieg von fünf Prozent auf immerhin 25 Prozent. Der Jobabbau traf vor allem un- oder angelernte Arbeiter. Zugleich änderten sich die Anforderungen für viele Mitarbeiter massiv: Entweder wurden sie zu weniger qualifizierten Arbeiten wie der Bestückung von Maschinen eingesetzt, oder zu höher qualifizierten Facharbeitern weitergebildet, etwa zu Anlagenführern oder Instandhaltungspersonal. Die Gewerkschaften nahmen sich des Themas an und erreichten an vielen Fronten betriebliche Vereinbarungen und Übergangsregelungen.

Von den Zulieferern wurde nun überaus exakte Arbeit verlangt. Zu hohe Toleranzbereiche konnten den Produktionsablauf empfindlich stören. Trotz Computersteuerung und Präzisionsarbeit stand die Montagestraße in der Halle 54 oft still und menschliches Eingreifen war gefordert. Selbst geringe Abweichungen von der Norm führten zu häufigen Ausfällen von Einzelsystemen und damit zum Produktionsstillstand, wodurch die Produktivitätssteigerung nicht so hoch ausfiel wie von den Unternehmensberatern erwartet. Die hohen Investitionen in eine Halle, die letztendlich nur zwei Fahrzeugtypen, den Golf II und den Jetta II, fertigen konnte, rechneten sich nur für Modelle, die in großen Stückzahlen gefertigt wurden. Dies entsprach allerdings nicht dem Trend zu verschiedenen Modellen und individuell anpassbaren Ausstattungen. Man muss es als Ironie der Automation bezeichnen, dass ausgerechnet der Versuch, menschliche Arbeit zu eliminieren,



Im Bosch-Werk in Stuttgart-Feuerbach arbeitet ein Mitarbeiter mit einem automatischen Fertigungsassistenten zusammen. Der Roboterarm ist mit einer Sensorhaut überzogen, die einen sich nähernden Menschen erkennt.

die Bedeutung des Menschen in der Produktion besonders deutlich zeigte. Letztlich bewährte sich die hochgradige Technisierung nicht, weil die Komplexität unterschätzt wurde. In der Folge wurden menschliche Eigenschaften wie breites Erfahrungswissen, die rasche Orientierung auch in komplexen Situationen oder die Fähigkeit, flexibel und lösungsorientiert zu agieren, wieder höher geschätzt. Das Konzept der »bedingungslosen Automatisierung« konnte sich nicht durchsetzen, und so fand ein erneutes Umdenken statt: Nicht mehr zu einer Verdrängung des Menschen aus der Produktion sollte die Automatisierung dienen, sondern zu seiner Unterstützung.

Die vierte industrielle Revolution: Auf dem Weg zur humanzentrierten Automatisierung

Mit der Einführung des Computers wurden große Datenmengen digitalisiert erfasst und konnten damit maschinell verarbeitet werden. Das Internet vernetzte innerhalb kurzer Zeit die Welt, so dass enorm viele Informationen allgemein zugänglich wurden. Heute werden Kommunikation, Transport und Produktion durch Computer gesteuert; Sensoren erkennen über GPS Standorte und melden diese an die Zentrale; Warenmengen, Durchsätze, Kennzahlen und Kundendaten werden computerisiert erfasst. Smarte Elektronik, leistungsfähige Computer und globale Vernetzung ermöglichten in Verbindung mit niedrigen Arbeitskosten in Schwellenländern eine hocheffiziente Produktion mit einem massiven Ausstoß an Konsumgütern und beschleunigten damit auch die Innovationszyklen von Produkten. Als Möglichkeit zur weiteren Effizienzsteigerung wurde eine Reduzierung der Ausschussproduktion identifiziert: Wieder aus der Automobilbranche, diesmal aus Japan, kam in den 1990er Jahren verstärkt das Konzept der Lean Production, auch als schlanke Produktion bekannt. Es handelt sich um eine systematisierte Produktionsorganisation: Just-in-Time-Produktion reduzierte die Kosten für die Lagerhaltung und verminderte die Überproduk-

tion, da jedes produzierte Teil bereits für ein bestimmtes Produkt vorgesehen war und bestellt wurde, Qualitätsmanagement in der gesamten Produktionskette reduzierte den Ausschuss. Kurze Rüstzeiten und kurze Durchlaufzeiten brachten eine höhere Flexibilität in die Produktion; der Schwerpunkt bei der Konzeption von Produktionsmaschinen lag auf einer hohen Verfügbarkeit und geringen Ausfallzeiten. Der Mensch war wieder in der Verantwortung. Mit der verstärkten Übertragung von Verantwortung auf die Basis, also die Arbeiter, entstanden betriebliche Organisationen mit flachen Hierarchien. Die hohe Flexibilität der Produktion wiederum kommt dem Bedürfnis der Kunden nach mehr Individualität im Mainstream entgegen. Mass Customization bezeichnet flexible Produktionssysteme, die Massenprodukte fertigen, die in wenigen, aber relevanten Merkmalen durch den Kunden individuell anpassbar sind. Der Preis liegt durch gezielte Nutzung der positiven Effekte der Massenproduktion nur geringfügig über dem eines standardisierten Massenprodukts.

Aber nicht nur in der Produktion wachsen heterogene und teils hochkomplexe Einzelelemente zusammen. Immer mehr sogenannte Cyberphysical Systems entstehen im Bereich der Infrastruktur, wie etwa in Energie- oder Verkehrssystemen. Mit der Zunahme smarter Objekte, die zunehmend autonome Funktionen besitzen, löst sich die klassische hierarchische Kommunikationsstruktur auf und ein dezentrales, selbst organisiertes Netz – das Internet der Dinge – entsteht. Der Mensch wird zu einem Element in einem hochkomplexen, sich selbst organisierenden Prozess. Es ermöglicht eine höhere Flexibilität und Anpassungsfähigkeit, wirft aber auch viele Fragen bezüglich der IT- und Datensicherheit bzw. des geistigen Eigentums auf. Industrie 4.0 dreht sich letztlich um die Frage der Entwicklung und des Umgangs mit hochkomplexen Technologien. Der Begriff wurde von der Forschungsunion, einem Beratungsgremium der deutschen Bundesregierung, geprägt und geht auf ein gleichnamiges Projekt in der Hightech-Strategie zurück. Auf der Hannover Messe 2011 wurde er erstmals in die breitere Öffentlichkeit getragen. Industrie 4.0 ist also zunächst ein politischer Begriff, der in Deutschland geprägt und international bislang nur sporadisch aufgenommen wurde. Der damit beschriebene

Prozess dürfte weniger eine Revolution als eine langanhaltende Evolution umfassen. Der Wandel war und ist in der menschlichen Gesellschaft stets präsent, ob nun durch Maschinen, Computer, Roboter oder andere Technologien. Entscheidend ist aber, dass bei Industrie 4.0 nicht weiter auf die »Vollautomatisierung« der 1980er Jahre gesetzt wird, sondern im Gegenteil, dass sich die Idee durchsetzt, dass die Fabrik keine Maschine ist und der Mensch nicht als Störfaktor betrachtet werden kann und darf. ■■

Quellen

- 1) Hermann von Helmholtz, *Populäre wissenschaftliche Vorträge*. H. 2. Braunschweig, 1871, S. 102.
- 2) F. Taylor, *Die Grundzüge wissenschaftlicher Betriebsführung*. München, 1919, S. 112 f.
- 3) Zitiert nach Peter Brödner, *Fabrik 2000: Alternative Entwicklungspfade in die Zukunft der Fabrik*. Berlin 1986, S. 38.
- 4) Zitiert nach Hans Rosenkranz, *Soziale Betriebsorganisation unter anthropologischen und pädagogischen Aspekten*. München 1973, S. 42.
- 5) Frederick W. Taylor, *Die Grundsätze wissenschaftlicher Betriebsführung*. München, Berlin 1913.
- 6) Hanns Günther, *Automaten. Die Befreiung des Menschen durch die Maschine*. Stuttgart 1930.
- 7) G. Scharowsky, F. Bauer, *Werden und Stand der Antriebstechnik*. In: *Elektrotechnik u. Maschinenbau* 60 (1942) H. 5/6, S. 54.
- 8) K. M. Dolezalek, *Automatisierung in der Mengenfertigung*. In: *Maschinenbau – Der Betrieb* 20 (1938) H. 21/22, S. 557.
- 9) Zitate aus Nichts Vergleichbares. In: *Der Spiegel* Nr. 37 vom 12. 09. 1983, S. 69–73, S. 69.
- 10) Mark Weiser, *The Computer for the 21st Century*. In: *Scientific American* Vol. 265, No. 3, Sept. 1991, pp. 66-75.



Dr. Tina Kubot
ist Kuratorin für
Mikroelektronik und
Nachrichtentechnik am
Deutschen Museum.



Dr. Frank Dittmann
ist Kurator für Energie-
technik, Starkstromtechnik
und Automation am
Deutschen Museum.

Kleines Glossar »Industrie 4.0«

Im Zusammenhang mit Industrie 4.0 tauchen immer wieder bestimmte Begriffe auf, wie zum Beispiel: Smart Factory, Internet of Things oder Cyberphysical Systems (CPS).

Als »**smart**«, oder »**intelligent**« werden technische Objekte bzw. Systeme bezeichnet, die mittels Sensoren Informationen aus dem Umwelt aufnehmen, diese verarbeiten und an andere System weiterleiten bzw. zum Teil direkt mit der Umgebung interagieren.

Smart Factory beschreibt die Vision einer Fabrik, in der Maschinen, Lagersysteme und Betriebsmittel Daten miteinander austauschen. Einzelne Komponenten lassen sich nach dem Prinzip »Plug and Play« aufgabenbezogen miteinander kombinieren. Die Produkte werden beispielsweise durch RFID-Tags »smart« und damit eindeutig identifizierbar und jederzeit lokalisierbar. Smarte Produktionsnetzwerke sind horizontal mit anderen Abteilungen im Unternehmen und vertikal mit Zulieferern und Kunden verbunden. Dadurch kann die Smart Factory individuelle Kundenwünsche besser berücksichtigen. Ziel ist eine Erhöhung der Flexibilität, der Produktivität sowie eine Qualitätssteigerung.

Das **Internet der Dinge** wurde 1991 von Mark Weiser in einem Aufsatz als Vision entwickelt. Danach würden (Personal-)Computer als Geräte verschwinden und zunehmend durch »intelligente Gegenstände« ersetzt. Diese kleinen, »smarten« Dinge sollen den Menschen unmerklich unterstützen, ohne ihn abzulenken oder überhaupt aufzufallen.¹⁰

Zentral für Industrie 4.0 ist insbesondere der Begriff **Cyberphysical Systems**. Bereits im Oktober 2006 veranstaltete die amerikanische National Science Foundation einen entsprechenden Workshop. 2012 wurde dieser Begriff in Deutschland vom Industriearbeitskreis des Projektes agendaCPS, das unter Beteiligung von Industriefirmen und der 2002 gegründete Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech) arbeitete, in der Studie »Integrierte Forschungsagenda Cyberphysical Systems« benutzt. Bislang existiert keine einheitliche Definition. Cyberphysical Systems sind gekennzeichnet durch eine Verknüpfung von realen (physischen) Objekten und Prozessen mit informationsverarbeitenden (virtuellen) Objekten und Prozessen über offene, teilweise globale und jederzeit miteinander verbundene Informationsnetze.

Computer-integrated Manufacturing (CIM) ist ein bereits 1973 von Joseph Harrington geprägter Begriff. Er bezeichnet die Vision einer durchgängig rechnerunterstützten Informationsverarbeitung in einem Industrieunternehmen – von der Auftragsannahme über die Planung, Entwicklung und Produktion bis zum Verkauf.

Ein globales Netzwerk zur Wertschöpfung

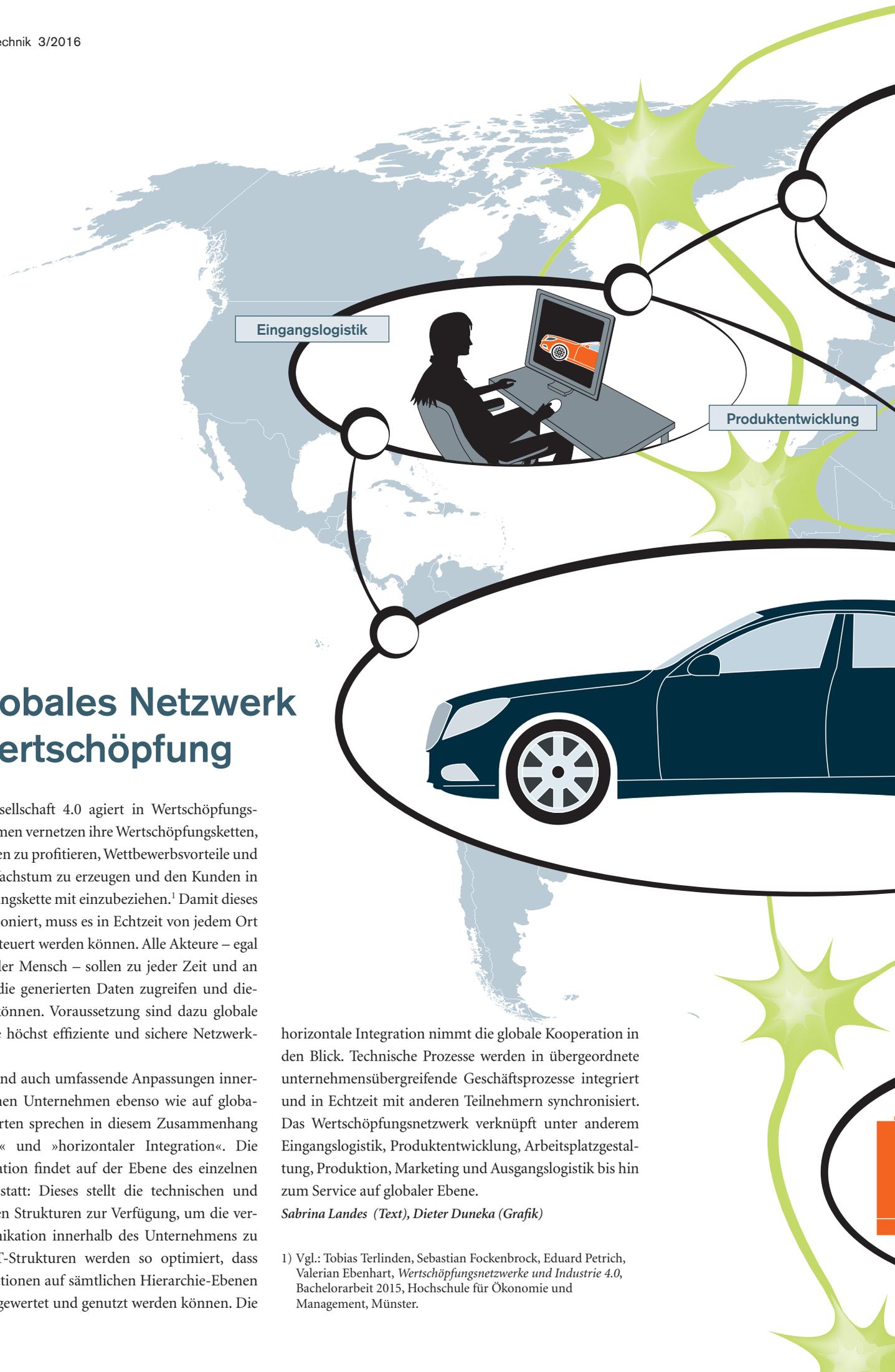
Die Industriegesellschaft 4.0 agiert in Wertschöpfungsnetzwerken: Firmen vernetzen ihre Wertschöpfungsketten, um von Synergien zu profitieren, Wettbewerbsvorteile und gemeinsames Wachstum zu erzeugen und den Kunden in die Wertschöpfungskette mit einzubeziehen.¹ Damit dieses Netzwerk funktioniert, muss es in Echtzeit von jedem Ort der Welt aus gesteuert werden können. Alle Akteure – egal ob Maschine oder Mensch – sollen zu jeder Zeit und an jedem Ort auf die generierten Daten zugreifen und diese verarbeiten können. Voraussetzung sind dazu globale Standards sowie höchst effiziente und sichere Netzwerkstrukturen.

Notwendig sind auch umfassende Anpassungen innerhalb der einzelnen Unternehmen ebenso wie auf globaler Ebene. Experten sprechen in diesem Zusammenhang von »vertikaler« und »horizontaler Integration«. Die vertikale Integration findet auf der Ebene des einzelnen Unternehmens statt: Dieses stellt die technischen und organisatorischen Strukturen zur Verfügung, um die vernetzte Kommunikation innerhalb des Unternehmens zu ermöglichen. IT-Strukturen werden so optimiert, dass digitale Informationen auf sämtlichen Hierarchie-Ebenen empfangen, ausgewertet und genutzt werden können. Die

horizontale Integration nimmt die globale Kooperation in den Blick. Technische Prozesse werden in übergeordnete unternehmensübergreifende Geschäftsprozesse integriert und in Echtzeit mit anderen Teilnehmern synchronisiert. Das Wertschöpfungsnetzwerk verknüpft unter anderem Eingangslogistik, Produktentwicklung, Arbeitsplatzgestaltung, Produktion, Marketing und Ausgangslogistik bis hin zum Service auf globaler Ebene.

Sabrina Landes (Text), Dieter Duneka (Grafik)

1) Vgl.: Tobias Terlinden, Sebastian Fockenbrock, Eduard Petrich, Valerian Ebenhart, *Wertschöpfungsnetzwerke und Industrie 4.0*, Bachelorarbeit 2015, Hochschule für Ökonomie und Management, Münster.







Kollege Roboter

Das Internet der Dinge hält Einzug in die Unternehmen. Individualisierte Massenprodukte und eine volloptimierte automatische Produktion sollen die Zukunft sein. Intelligente Roboter werden neue und auch kreative Aufgaben übernehmen. Von Christian Rauch

Firma S. produziert Visitenkarten-Etuis – doch keine gewöhnlichen. Bei den nach Kundenwunsch personalisierten Etuis gleicht kein Stück dem anderen. Sie variieren in den Farben, tragen einen individuell eingravierten Namenszug und einen Matrixcode, in dem die individuellen Kontaktdaten in digitaler Form hinterlegt sind. Ermöglicht wird das durch die vollautomatisierte Fertigung in einer modularen Produktionsanlage: Zu Beginn wird auf das Ausgangswerkstück für das Etui, die Bodenplatte, ein RFID-Tag aufgebracht, der das »digitale Produktgedächtnis« enthält. Darauf sind alle Kundeninformationen gespeichert, die beschreiben, wie das Etui letztlich aussehen soll. Jedes Modul der Produktionsanlage kann den RFID-Tag auslesen und daraus den auszuführenden Prozessschritt ableiten: Das Montagemodul bringt den Deckel in gewünschter Farbe auf die Bodenplatte, das Fräsemodul platziert die individuelle Aufschrift auf der Bodenplatte und das Lasermodul graviert den Deckel mit den im Matrixcode hinterlegten Kontaktinformationen. Die Module sind miteinander und mit einer zentralen Anlagensoftware vernetzt. Dort werden die Daten und Parameter aller Fer-

»Der gesamte reale Produktionsprozess bei Industrie 4.0 existiert auch virtuell, in der Software der Plattform.«

Thomas Bauernhansl

tigungsschritte in einer Datenbank zur Echtzeitüberwachung gespeichert. So kann die zentrale Software die Herstellung überwachen und jederzeit eingreifen. Erkennt sie zum Beispiel in den Daten auffällige Muster, die auf einen baldigen Ausfall eines der Herstellungsmodul hinweisen, empfiehlt sie eine vorausschauende Wartung. Der Servicetechniker, bei Firma S. heißt er »Smart Operator«, erhält dann eine entsprechende Meldung auf seinem Tablet-PC.

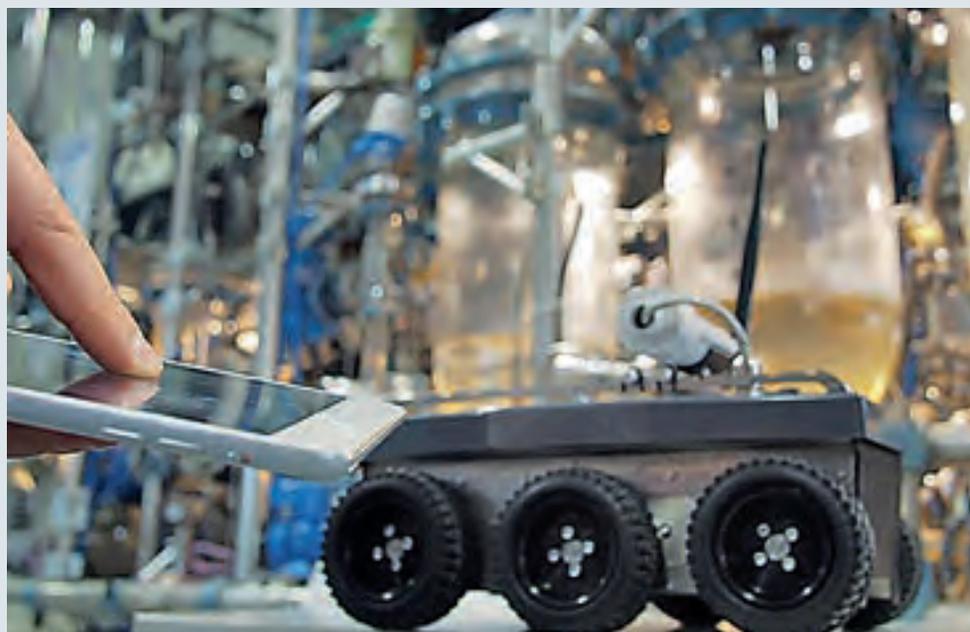
Da die Wartung vermutlich nicht lange dauern wird, entscheidet er, das betroffene Modul für die Dauer der Wartung einfach per Plug-and-Play aus der Produktionsanlage zu entfernen. Fehlende Fertigungsschritte können zwischenzeitlich an einem Handarbeitsplatz manuell durchgeführt werden. Dort liest ein Kollege den RFID-Tag ein und erhält individuelle Augmented-Reality-Anweisungen für den Montageschritt durch eine Datenbrille. Auch der Servicetechniker, der zwischenzeitlich das fehlerhafte Modul wartet, wird durch Augmented Reality auf seinen »Smart Glasses« unterstützt. Durch sie kann er blitzschnell die technische Dokumentation studieren und erhält überdies empfohlene Lösungsschritte. Dank dieser Mensch-

Maschine-Schnittstelle kann Firma S. stets eine lückenlose Produktion gewährleisten.

Firma S. gibt es wirklich: Die SmartFactory^{KL}, ein von zahlreichen Industrie- und Forschungspartnern gefördertes Kompetenzzentrum in Kaiserslautern. Die dort hergestellten Equis dienen der Demonstration von »Industrie 4.0«. Seit zwei Jahren tüfteln Ingenieure wie Dr. Dominic Gorecky an der Pilotanlage. »Prinzipiell könnte man sie auch für die Herstellung komplexerer Produkte, wie beispielsweise Smartphones, ausbauen«, erklärt er. Mittels Plug-and-Play müssten dann weitere Fertigungsmodule zur Integration der Handyelektronik und des Displays hinzugefügt werden. »Das Grundprinzip von Industrie 4.0 bleibt aber erhalten«, so der Maschinenbauer. »Die Produktionsanlage erkennt selbst, welche Produkte sie auf welche Art fertigen muss. Durch die vollständige, digitale Vernetzung reagiert sie auf individuelle Kundenaufträge, sich abzeichnende Maschinenfehler oder Engpässe und kann gar Optimierungspotenziale, zum Beispiel zur Energieeinsparung, selbstständig erkennen und heben.« Und die Vernetzung ermöglicht noch mehr Funktionen. So könnte die Anlage zukünftig selbstständig auf Produktmängel reagieren, die aus der eigenen Qualitätskontrolle am Ende des Herstellungsprozesses oder durch Feedback von Kunden eingehen. Die Analysesoftware könnte die Mängel begutachten, zum Beispiel eine unzureichende Stabilität des Gehäuses, und die Einstellungen bei dem entsprechenden Fertigungsmodul – in diesem Fall der Presse – anpassen.

Ein digitaler Schatten

»Der gesamte reale Produktionsprozess bei Industrie 4.0 existiert eben auch virtuell, in der Software der Plattform«, erklärt Professor Thomas Bauernhansl, Leiter des Fraunhofer-Instituts IPA und Institutsleiter an der Universität Stuttgart. »Die echte Anlage hat also so etwas wie einen digitalen Schatten.« Dieses logische Abbild vergleicht sich selbst mit dem realen Produktionsablauf und kann mit entsprechender Software gleichzeitig vorausdenken, nicht nur um frühzeitige Wartungsschritte und Produktverbesserungen einzubauen. »Ist die Fabrik mit anderen Fabriken vernetzt, und gibt es beispielsweise an einer Stelle



Engpässe, simuliert das digitale Abbild Verbesserungen«, so Bauernhansl. »Die Aufträge können dann zwischen den Fabriken neu verteilt werden.« Das zusätzlich Interessante daran: Nicht jedes Unternehmen muss selbst sämtliche Plattform- und Softwarefunktionen in seiner eigenen Industrie-4.0-Anlage besitzen. Es kann solche Dienste auch mieten, beispielsweise indem es sie von einem Anbieter abonniert, der eine branchenspezifische 4.0-Plattform über die Cloud betreibt.

Die Schonung von finanziellen und materiellen Ressourcen ist somit ebenso Ziel von Industrie 4.0 wie eine weitere Erhöhung der Produktivität. Die größte Besonderheit aber ist wohl die Fähigkeit, Massenprodukte zu individualisieren. Ein Kartentui nur für mich? Ein Handy mit einer Farbe, wie sie kein anderes hat? Oder der ganz spezielle Lieblingsjoghurt? Den produziert Professor Birgit Vogel-Heuser vom Lehrstuhl für Automatisierung und Informationssysteme an der Technischen Universität München. »Stellen Sie sich vor, Sie können im Internet alles auswählen: das Material für den Becher, seine Farbe, und welche Joghurtmischung hinein soll, bis zum individuellen Etikett.« Ein Becher aus Biokunststoff mit Magerahmstufe, Erdbeeraroma und Schokostreuseln? Oder

An der TU München simuliert eine Forschungsgruppe die vollautomatische Herstellung von Joghurt für jeden Geschmack. Der Kunde bestellt »seinen« Joghurt, die Zutaten und sogar die individuelle Verpackung im Internet – so die Idee.



Die luftigen Kokons von Raupen standen Pate für den 3-D-Cocooner der Firma Festo. Aus einer Düse werden harzgetränkte Glasfaserfäden zu stabilen Formen gesponnen.

ein Glas voll Rahmjoghurt mit pürierten Himbeeren und einer Haube aus Zitronencreme? Millionen von Kombinationsmöglichkeiten kennt die Anlage »My Joghurt«, die Birgit Vogel-Heuser mit Kollegen anderer Universitäten implementiert hat. Die Erzeugnisse von »My Joghurt« kann man allerdings nicht essen, die Joghurts und ihre Zutaten werden durch gefärbtes Wasser und unterschiedlich große Plastikkügelchen simuliert. »Uns ist wichtig, dass die Anlage selbst entscheiden kann, welche Kombinationen von Joghurts sie herstellen kann«, sagt Birgit Vogel-Heuser. Wünscht sich ein Nutzer also zum Beispiel halbierte Mandeln als Beimischung, weiß das System, dass es die Mandeln zwar bestellen kann, diese aber nicht durch die Rohrleitungen der Zuführung passen werden. Ein System, das auf diese Weise so viele Kundenwünsche wie möglich automatisch und schnell realisieren kann, gewisse Grenzen aber selbst kennt – intelligenter und smarter kann Produktion wohl kaum aussehen.

Was Universitäten und Forschungseinrichtungen für die Industrie 4.0 simulieren und testen, ist freilich für die Unternehmenswelt nicht eben übernehmbar. »In der realen Wirtschaft kann das nur stufenweise erfolgen, denn kein Unternehmer wird seine Infrastruktur von einem Tag auf den anderen ausmustern, um eine brandneue Industrie-4.0-Lösung einzuführen«, sagt Sibylle Wirth von der Technologiekommunikation bei Festo in Esslingen. Für den Maschinenbauer ist Industrie 4.0 aus zweifacher Perspektive eine Herausforderung. »Als Hersteller wollen wir unsere Produktion selbst nach 4.0-Maßstäben ausrichten und haben in unserer Technologiefabrik Scharnhausen bereits erste Anwendungen implementiert.« Dort kommen unter anderem die direkte Zusammenarbeit von Menschen mit einem flexiblen Roboter, ein intelligentes Energiemanagementsystem, das Produktion und Gebäude ganzheitlich betrachtet, sowie Tablet-Apps für Wartungsarbeiter zum Einsatz. Da Festo Produkte für die Steuerungs- und Automatisierungstechnik herstellt, stellt das Unternehmen aber auch selbst Werkzeuge für den industriellen Wandel bereit. Beispielsweise Robotergreifer, die dank integrierter Steuerung auf einen aufwendigen Schaltschrank verzichten können und einfach in ein Industrie-4.0-Umfeld eingebunden werden können. Aus

der dreiachsigen Aufhängung im Raum ist bei Festo darüber hinaus die Idee für einen Technologiedemonstrator namens »3-D-Cocooner« entstanden. Dieses bionische Leichtbauverfahren wurde von den Fähigkeiten der Spinnen und Raupen inspiriert, die ein extrem leichtes stabiles Netz oder einen Kokon schaffen. Entsprechend spinn die Cocooner-Düse am Festo-Roboterarm im dreidimensionalen Raum harzgetränkte Glasfaserfäden zu stabilen Strukturen. Dem Industrie-4.0-Gedanken entsprechend, könnte für eine Kundenbestellung, beispielsweise aus einem Architekturbüro, die Bauanleitung von der Plattform direkt an den Cocooner gesandt werden, der blitzschnell die gewünschte Konstruktion produziert, je nach Anforderung einzeln oder in kleinster Serie. Danach erhält er den nächsten Auftrag, beispielsweise von einem Medizinerhersteller für Implantate. Der Cocooner erweitert die Möglichkeiten des »flach« aufeinander aufbauenden 3-D-Drucks in den Raum – beide Werkzeuge sind somit für die Industrie-4.0-Produktion ideal.

Software wird lernfähig

Auch einer der führenden Hersteller für Industrieroboter, Kuka in Augsburg, hat in seiner Produktion Konzepte der Industrie 4.0 umgesetzt. Bei Kuka werden die Werker von eigenen Robotern in der Roboterproduktion unterstützt. In den Fertigungshallen arbeiten Leichtbauroboter vom Typ »LBR iiwa« (intelligent industrial work assistant) direkt mit den Menschen zusammen. Diese Roboter tragen eine so ausgefeilte Sensorik, dass sie unmittelbar auf Berührungen reagieren können und damit die sichere Zusammenarbeit ermöglichen. Statt der üblichen Sicherheitszäune zwischen Mensch und Roboter arbeiten iiwa und Mensch hautnah nebeneinander und in Kooperation.

Eine solch sichere und intelligente Mensch-Roboter-Kooperation (MRK) gilt als eines der entscheidenden Werkzeuge für Industrie 4.0. Dazu kommen neuartige Schnittstellen wie Smart Glasses (Datenbrillen), die mittels Augmented Reality die Zusammenarbeit von Mensch und Maschine erleichtern, sowie der effiziente Umgang mit großen Datenmengen (Big Data) und Cloud-Technologien. Sollen Plattformen und Module von Industrie-4.0-Anlagen darüber hinaus selbst Verbesserungen und Optimie-

lungspotenziale erkennen, muss ihre Software lernfähig und zu einem gewissen Grad intelligent werden. »Deep Learning«, das auf dem Prinzip neuronaler Netze beruht, ist die gegenwärtig erfolgversprechendste Methode dafür. Was »Deep Learning« kann, beweisen auch die Anbieter von sozialen Netzwerken, etwa Facebook, das mittels solcher Algorithmen längst Fotos auf Gesichtern erkennt.

Neue Lösungen sind auch auf der Ebene der Standardisierung und Interoperabilität erforderlich. Dabei kommt es einerseits auf die verschiedenen Steckverbindungen und elektrischen Schnittstellen der Roboter und Maschinen an. »Hier werden sich Hersteller und Markt wie bisher auf die nötigen Standards einigen«, ist Dagmar Dirzus, Sprecherin für Industrie 4.0 beim Verein Deutscher Ingenieure VDI und Geschäftsführerin der VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik, überzeugt. Viel wichtiger ist aus ihrer Sicht eine gemeinsame digitale Architektur, die einheitlichen Datenaustausch für ein Produkt und eine Produktionsanlage entlang der Wertschöpfungskette und des gesamten Lebenslaufs ermöglicht.

»Stellen Sie sich vor, Sie fahren in einigen Jahren das Elektroauto eines deutschen Herstellers«, erklärt Dagmar Dirzus. »Sie bemerken, dass der Ladestand kritisch wird, und steuern eine Tankstelle an. Dort wird seit kurzem eine besondere Schnellladetechnik eingesetzt. Wenn die Hersteller von Auto, Batterie und Ladetechnik ein gemeinsames digitales Modell verwenden, werden Sie keine Probleme haben und Ihr Fahrzeug schneller als bisher laden.« Das kann so weit führen, dass ein Autoinhaber über Nacht ein Update des Automobilherstellers oder eines Konkurrenten wie Google oder Apple lädt, das aus den Sensoren im Auto eine noch bessere automatische Einparkfunktion oder einen intelligenteren Bremsassistenten »herausholt«.

Das Industrie-4.0-Architekturmodell, das eine solche digitale Harmonisierung von Produkten und Anlagen über die gesamte Lebenszeit ermöglicht, heißt in Deutschland RAMI4.0 und wurde vom VDI und dem Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI) vorangetrieben und zur Hannover Messe veröffentlicht. »Das Ziel ist, dieses Modell bis zum nächsten Jahr europaweit zu harmonisieren und danach, in Absprache mit den USA, mit China und anderen in einen internationalen Standard



Beim Augsburgener Hersteller Kuka helfen Roboter mit, Roboter zu bauen. Spezielle Leichtbauroboter arbeiten dazu direkt mit den Menschen zusammen.

überzuführen«, sagt Dagmar Dirzus. Erst die standardisierte Vernetzung der Wertschöpfungsketten, von der Idee eines Produkts über die Produktion und den Betrieb bis zu seinem Ableben und Recycling sowie die durchgängige Kommunikation aller Abteilungen eines Unternehmens miteinander sowie mit Zulieferern und Dienstleistern kann das Potenzial von Industrie 4.0 ausschöpfen: neuartige industrielle Dienstleistungen und eine effiziente Produktion kundenindividueller Produkte.

Bedrohung für die Privatsphäre

Und auch nach dem Verkauf und der Auslieferung bleiben Produkte im 4.0-Umfeld vernetzt, was kreative Dienstleistungen ermöglicht: So baut die baden-württembergische Firma Friedr. Dick GmbH & Co. KG RFID-Chips in ihre Fleischermesser ein, damit diese in Fleischereibetrieben eindeutig Mitarbeitern zugeordnet werden können, um Sicherheit, Diebstahlschutz und ein Monitoring der Arbeitsabläufe zu gewährleisten. Allerdings birgt ein solches »Tagging«, das bei vielen Produkten möglich wird, auch die Gefahr, dass Mitarbeiter überwacht und ihre Privatsphäre verletzt werden könnte.

Nicht nur zu Hause, auch im industriellen Umfeld können Maschinen und Geräte mit dem Smartphone gesteuert werden.



Softwareagenten identifizieren Schnittstellen

Birgit Vogel-Heuser forscht an der Technischen Universität München währenddessen an Werkzeugen, die Maschinen auch kommunizieren lassen, wenn kein gemeinsamer Standard existiert. Auf der Messe Automatica 2014 überraschten die Professorin und ihr Team die Anwesenden mit Softwareagenten, die unterschiedliche Roboter an vier getrennten Messeständen zusammenschalteten, um für die Messebesucher individualisierte Flaschenöffner zu produzieren. Fahrende Roboter transportierten den entstehenden Flaschenöffner von Stand zu Stand, wo der Metallrohling automatisch und schrittweise mit Kunststoff ummantelt, mittels Lasergravur individualisiert und schließlich verpackt wurde. »Wir haben gezeigt, dass man nicht auf einen Standard warten muss, sondern dass Firmen sich über ihre Schnittstellen rasch verständigen und ihre Maschinen und Roboter über Softwareagenten zusammenschalten können.«

Zwiebelschalenmodell für mehr Sicherheit

Wie jede Revolution ist auch der Wandel zur Industrie 4.0 nicht ohne Risiken und Herausforderungen. Besonders die IT-Sicherheit bereitet den Fachleuten Kopfzerbrechen. »Damit steht und fällt Industrie 4.0«, sagt Dagmar Dirzus vom VDI. Denn die klassische Schutzsoftware wie auf einem PC reicht in der Industrielwelt nicht aus. »Wenn ein intelligenter Roboter, der mit einem Menschen zusammenarbeitet, mal eben ein Update für seinen Virens scanner erhält und wenn er dadurch nur für Bruchteile einer Sekunde in seiner Funktion eingeschränkt ist, entsteht daraus eine echte Gefahr für den danebenstehenden Arbeiter.«

Forscher und Ingenieure arbeiten daher an einer tiefgestaffelten Sicherheitsarchitektur, einer Art Zwiebelschalenmodell für die Software, die maximale Sicherheit gewährleisten soll. Dies betrifft nicht nur die Produktion, sondern auch mit dem Internet verbundene Produkte. Wenn zum Beispiel ein vernetztes Auto während der Fahrt gehackt wird, muss es in einen sicheren Zustand versetzt werden – es darf jedoch auf der Autobahn nicht plötzlich anhalten, sondern muss nach neu erarbeiteten intelligenten Konzepten reagieren.



Eine Datenbrille, die über produktionsentscheidende Parameter informiert, erleichtert die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine.

Eine weitere Herausforderung von Industrie 4.0 betrifft die Rolle des Menschen. Zwar betonen Experten die Relevanz menschlicher Arbeitskräfte, die beispielsweise als »Operators« Teil der Produktion bleiben, indem sie überwachen, eingreifen, mit Robotern zusammenarbeiten und die kreative Perspektive übernehmen. Doch während damit der Bedarf an hoch qualifizierten Kräften steigen wird, werden Niedrigqualifizierte zunehmend überflüssig.

Die Kompetenzen für Industrie 4.0 gehen über den bloßen Umgang mit Computern und Internet weit hinaus. Sie erfordern die Fähigkeit, die dargebotenen Daten zu verstehen und komplexe Zusammenhänge zu interpretieren. Besonders die Generation »55 plus« muss sich hier dringend weiterbilden, betonen Experten. Denn die vierte industrielle Revolution kann angesichts des demografischen Wandels auch für ältere Arbeitnehmer nur dann nutzbringend sein, wenn »Kollege Roboter« nicht nur anstrengende physische Arbeiten übernimmt, sondern der Mensch jederzeit den Überblick über die Automatisierung behält. Umgekehrt wird die frühzeitige »digitale Bildung« an Schulen eine ausreichende Qualifizierung der Lehrkräfte ebenso wie die Anschaffung von digitalen Geräten erfordern – Experten gehen von notwendigen Kosten in Milliardenhöhe aus. ■■



DER AUTOR

Dipl.-Ing. Christian Rauch ist freier Journalist für Zeitungen und Zeitschriften. Seine Schwerpunkte: Wissenschaft/Technik sowie Reise und Kulturwandern (dazu mehrere Buchveröffentlichungen).



»Der Mensch ist unersetzbar!«

Heinrich Munz ist Lead Architect Industrie 4.0 beim Augsburger Roboterhersteller Kuka. Er kennt die Branche seit über 30 Jahren und kümmert sich bei Kuka um Industrie-4.0-konforme Produkte und Anwendungen. Die Fragen stellte Christian Rauch.

Schon 1973 produzierte Kuka erste Industrieroboter für die Automobilbranche. Wie sehen Sie die Entwicklung seither?

Heinrich Munz: Die Roboter sind wesentlich leistungsstärker geworden. Zum Beispiel konnte einer unserer Industrieroboter im Jahr 1981 gerade einmal 60 Kilogramm Maximallast tragen. Unser heute stärkster Roboter, der Titan, wiegt selbst gut zweimal so viel wie dieser Vorgänger, seine Traglast ist aber mehr als zwanzigmal größer geworden! Und seit kurzem bieten wir sensitive Leichtbauroboter, die sicher und direkt mit Menschen zusammenarbeiten können.

Was kann so ein sensitiver Leichtbauroboter?

Beim LBR iiwa sind Sensoren in die Drehachsen integriert. Der Roboter weiß damit, ob er die vorgeschriebene Bewegung mit den vor-

gesehenen Kräften ausübt. Wenn nicht, muss ein Hindernis, zum Beispiel ein menschlicher Arm, im Weg sein und er stoppt. Den iiwa kann man damit unmittelbar mit Menschen kooperieren lassen, ein Schutzzaun ist nicht mehr nötig. Der Mensch kann ihn über einfache Gesten, wie zum Beispiel Berühren des Roboters, auch beeinflussen und steuern.

Entspricht Ihre eigene Produktion damit schon Maßstäben von Industrie 4.0?

Die iiwas werden bei uns bisher in einzelnen Fertigungsinseln eingesetzt. Der nächste große Schritt wird sein, die gesamte Fertigung zu vernetzen. Dazu werden wir die Daten aller Sensoren, in sämtlichen Maschinen und Robotern, die dort bisher nur für einzelne Fertigungsschritte genutzt werden, abgreifen und zusammenführen können.

Wie könnte Industrie 4.0 dann bei Ihnen in der Fertigungshalle aussehen?

Bereits jetzt kann unser mobiler KMR iiwa die Werker an ihren Arbeitsplätzen mit den benötigten Schrauben und weiteren Kleinteilen beliefern. Er entnimmt die Boxen aus dem Lagerregal, hält sie an einen QR-Code-Scanner und erkennt so deren individuelle Zielpositionen. Die Box sagt dem Roboter, was mit ihr zu tun ist. Die intelligenten Systeme werden immer mehr in der Lage sein, bestimmte Aufgaben selbstständig zu erfüllen und autonom auf Einflüsse zu reagieren, indem sie Rückschlüsse aus verschiedenen Datenzusammenhängen ziehen.

Was bedeutet das alles für menschliche Arbeitsplätze?

Auf die – ausreichend qualifizierte – menschliche Arbeitskraft werden wir auf sehr lange Sicht nicht verzichten können. Auch hier in unserer Roboterproduktion sind Menschen unersetzbar, wenn es darum geht, kreativ zu entscheiden, sowie mit Ausnahmen oder selbst kleinen Abweichungen umzugehen – und die werden selbst in der intelligentesten Produktionsanlage vorkommen.

AUTOMATISIERTE FERTIGUNGSSTRASSE



Die automatisierte Fertigungsstraße demonstriert das Potenzial von Computer Integrated Manufacturing (CIM): die Vernetzung von Maschinen und Abläufen zur Optimierung der Produktion.



Schummrig beleuchteten altertümliche Glühbirnen die Werkstatt aus dem 19. Jahrhundert. Sie markiert den Beginn einer Entwicklung, die das Deutsche Museum in seiner Ausstellung Werkzeugmaschinen nachzeichnet. An deren (vorläufigem) Ende steht im dritten Raum eine hochmoderne Fertigungsstraße. Produziert werden hier kleine Haftmagnete. 180 Sekunden dauert ein Produktionsprozess auf der sechs Meter langen Anlage – beginnend mit der Auswahl des Rohmaterials über die einzelnen Montageschritte bis zur Ausgabe des fertigen Produkts. Die Steuerung dieser automatisierten Produktion können die Besucher bei speziellen Führungen selber ausprobieren.

modasafe

Die Lichtschachtabdeckung,
die schützt.

Das besondere Angebot für alle Hauseigentümer.

GRÜNES LICHT

FÜR WASSER-, SCHMUTZ- UND EINBRUCHSCHUTZ!

Tauschen Sie jetzt Ihren alten Gitterrost aus!

- Optimaler Schutz vor Wasser, Schmutz und Einbrechern
- Licht- und luftdurchlässig
- Garantierte Stabilität, PKW-befahrbar
- Individuelles Aufmass vor Ort
- Lieferung und Einbau deutschlandweit
- Deutsche Handarbeit



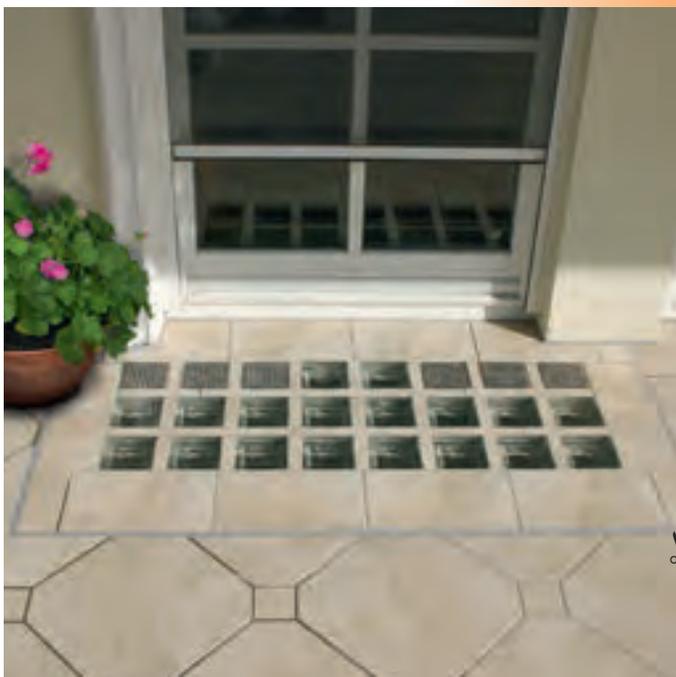
**Einbruchshemmung
RC3 zertifiziert
DIN EN 1627**

 +49(0)81 76/93 10-0

 www.moda-safe.de

 info@moda-safe.de

modasafe – eine Marke der Modahum GmbH
Weihermühle 2, 82544 Egling bei München



MM

Ja, schicken Sie mir kostenlose Informationen zur
modasafe Lichtschachtabdeckung

Name

Straße/Nr.

PLZ/Ort

Telefon E-Mail

Lichtschachtbreite (cm) Lichtschachtlänge (cm)

Coupon ausschneiden, auf Postkarte kleben oder in ein Kuvert stecken und
an Modahum GmbH, Weihermühle 2, 82544 Egling bei München senden.



Sicherheit im Cyberspace

Kryptotrojaner, Spyware, Würmer und Viren sind die Feinde der digitalen Netzwerke. Je größer das Netzwerk umso schlimmer die Folgen eines Angriffs. Können Unternehmen sich dagegen überhaupt schützen?

Der Trend zur Digitalisierung und Vernetzung in den Produktions- und Wertschöpfungsketten birgt eine Reihe neuer Herausforderungen zum Thema Sicherheit. Dabei wird die »Arbeits- bzw. Betriebssicherheit« (»Safety«) von der rein informationstechnischen Sicherheit (»IT-Security«) unterschieden, die sich im Kontext von Industrie 4.0 als besonders tückisch erweist. »Wir sprechen von Cybersicherheit«, erklärt Quirin Blendl, Referent für Digitalisierung, Innovation und Gesundheitswirtschaft beim Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI).

»Produktionsanlagen sind zunehmend mit dem Internet verbunden. Zum einen werden mobile und vernetzte Endgeräte wie Tablets oder Datenbrillen in die Steuerung oder Wartung eingebunden und zum anderen wird die Produktion mit der Office-Infrastruktur anderer Abteilungen vernetzt.« Und dort, bei den Bürorechnern und ihren klassischen Windows-Anwendungen, befindet sich das mit Abstand größte Einfallstor für Schadsoftware. Häufig ermöglicht menschliches Fehlverhalten, wie der Einsatz privater USB-Sticks oder das unbedachte Öffnen von Anhängen, es Angreifern, in den Office-Rechner einzudringen und von ihm aus bis zur Produktion vorzudringen. Die kriminellen Ziele sind vielfältig: Jüngst besonders zugenommen hat das Blockieren von Software mit dem Ziel, Geld für einen Freischaltcode zu erpressen. »Sollten solche Kryptotrojaner mittels Industrie 4.0-Vernetzung in Fertigungsanlagen geraten, kann das teure Produktionsausfälle verursachen«, fürchtet Quirin Blendl. Noch kritischer kann es werden, wenn die Schadsoftware einen versteckten Datentunnel zum Angreifer eröffnet, der dann vielfältige Möglichkeiten zur Manipulation, Spionage oder zum Datenklau erhält. Mehr Schutz muss also implementiert werden – auf verschiedenen Ebenen: So kann die Richtung des Datenflusses reglementiert werden, zum Beispiel indem Office-Rechner von Mitarbeitern nur noch einseitig Informationen von einer automatisierten Kette



Quirin Blendl ist Referent für Digitalisierung, Innovation und Gesundheitswirtschaft beim Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI). In dieser Funktion beschäftigt er sich intensiv auch mit dem Thema Cybersicherheit.

zwischen Zulieferern und Produktion erhalten, selbst aber nichts dorthin schicken können. Muss der Datenfluss bidirektional sein, dann muss die Kommunikation von den Office-Computern in Richtung Produktion über sichere Kanäle erfolgen. In letzter Instanz lässt sich schließlich die Steuerungshardware in der Produktionsmaschine oder dem Roboter sicherheitstechnisch »abhärten«.

»Technisch gesehen kann man die Hürden beliebig hoch ziehen, es muss jedoch immer das Kosten-Nutzen-Verhältnis für das Unternehmen passen«, weiß Blendl. Daher hält er nichts von zu viel staatlicher Regulierung. »Das im letzten Jahr in Kraft getretene IT-Sicherheitsgesetz, das die Betreiber kritischer Infrastrukturen wie Energie, Informationstechnik und Telekommunikation, Transport und Verkehr, Wasser, Gesundheit oder Ernährung zu mehr Schutz verpflichtet, ist erst einmal ausreichend. Doch für andere Industriebereiche sollten wir abwarten, was wirklich notwendig wird.« So wird die Art und Weise, wie sich Industriebetriebe im Detail vernetzen, von Branche zu Branche, womöglich gar von Unternehmen zu Unternehmen unterschiedlich aussehen. Außerdem ist man sich beim BDI sicher, dass die Unternehmen genügend eigenes Interesse an ausreichender Cybersicherheit haben. Das gilt auch für den Datenschutz: Wo aufgrund des Booms sozialer Netzwerke jüngst viel über den Schutz personenbezogener Daten diskutiert wurde, werden Maschinendaten noch stiefmütterlich betrachtet. Was aber, wenn ein Betrieb durch Industrie 4.0 z.B. neue Maschinen least und überdies eine Fernwartung mit einem weiteren Anbieter vereinbart – welcher der drei Akteure hat nun welches Zugriffsrecht auf welche Daten? »In einem solchen Fall ließe sich das am besten über Geschäftsvereinbarungen zwischen den dreien regeln«, ist Quirin Blendl überzeugt. »Das kann sogar neue Geschäftsmodelle schaffen, zum Beispiel nach dem Motto: Du bekommst die Maschine günstiger und ich darf die Daten auswerten.« *Christian Rauch*



Die neue Arbeit

Vernetzte Automatisierung verdrängt Menschen aus Arbeitsprozessen. Von der vierten industriellen »Revolution« sind nicht nur produzierende Betriebe betroffen. Auch der Dienstleistungssektor wird sich grundlegend verändern. Was erwartet uns in der Arbeitswelt 4.0?

Von Helga Ballauf

Eine Studie der beiden Oxford-Wissenschaftler Carl Benedikt Frey und Michael A. Osborne von 2013 über die Zukunft der Arbeit in Zeiten von Computerisierung und Digitalisierung schlug ein. In vielen Ländern wurden auf Basis dieser Zahlen blitzschnell die Folgen für den heimischen Arbeitsmarkt hochgerechnet. Ergebnis für Deutschland: 18 Millionen Beschäftigte arbeiten in Berufen, die wohl durch den technologischen Wandel obsolet werden. Ein medialer Aufschrei folgte. Nur langsam setzt sich seither die Erkenntnis durch, dass die Lage längst nicht so dramatisch ist – dafür komplizierter und widersprüchlicher.

Erstens. Bei Umbrüchen auf dem Arbeitsmarkt fallen Tätigkeiten weg, nur selten ganze Berufe. Jobs mögen sich radikal verändern, bleiben aber meist bestehen. Zweitens. Die Wirtschafts- und die Beschäftigungsstrukturen in Deutschland und den USA unterscheiden sich gewaltig. Schlichte

Noch steuern Menschen die Veränderungsprozesse, die durch Digitalisierung ausgelöst werden.

Vergleiche der zu erwartenden Folgen der Digitalisierung treffen daher nicht zu. Drittens. Die Entwicklung zur Industrie 4.0 ist kein unveränderlicher, schicksalhafter Prozess. Sie ist von Menschen ausgelöst und durch politische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Impulse steuerbar. Viertens. Der Veränderungsprozess ist durch eine hohe Ungleichzeitigkeit gekennzeichnet: Nie sind alle Wirtschaftszweige, Unternehmensteile oder Tätigkeiten zum gleichen Zeitpunkt betroffen. Die »Revolution« verläuft mal schnell und mal langsam, hier schleichend und dort diskontinuierlich.

Mensch oder Maschine. Wie viele Arbeitsplätze wird die Digitalisierung vernichten oder verändern? Mit welchen Folgen für Qualifikationsanforderungen und Arbeitsbedingungen ist zu rechnen? Ein Streifzug durch die Arbeitswelt 4.0, durch Branchen, Beschäftigungsfelder und Berufszweige.

IT-Wirtschaft. Die »Enabler« werden sie auf Neudeutsch genannt, Ermöglicher. Es sind jene Beschäftigten, die neue informationstechnische Konzepte, Geräte und Anwendungen erdenken, entwickeln, verbessern und am Laufen halten. Der digitale Umbruch der Wirtschaft ist ihr Werk. Ihre Fachkompetenz ist gefragt. Einen Jobabbau muss diese Branche nicht befürchten. Vielmehr sind es die IT-Spezialisten, die mit ihrer Arbeit tendenziell die Beschäftigungsmöglichkeiten ihrer Kolleginnen und Kollegen beeinflussen bis zerstören. Ohne es recht zu merken. Denn die Aufgaben der IT-Abteilung sind in vielen Unternehmen – von Banken und Versicherungen bis zum produzierenden Gewerbe – längst in eigene Tochterfirmen ausgelagert. Das ist ein erster Schritt auf dem Weg zu einem ganz neuen Unternehmenstyp, zu einer neuen Form der Arbeit. So jedenfalls das Ergebnis eines Projekts des Münchner Instituts für Sozialwissenschaftliche Forschung (ISF) im Auftrag des Bundesbildungsministeriums. Unternehmen in einer global vernetzten Ökonomie müssen demnach neuartige Formen der Organisation, der Steuerung und des inneren Zusammenhalts ausbilden. Es geht um die Steigerung der geistigen Produktivkräfte und die »Industrialisierung der Kopfarbeit« – das arbeitsteilige und taktgebundene Denken wie am Fließband. Die IT-Unternehmen sind der Forschung zufolge die Ersten, die diesen Wandel vollziehen (müssen). Der Rest der Wirtschaft wird folgen.

Landwirtschaft. »SMS aus dem Kuhstall«, titelt eine Regionalzeitung. Berichtet wird, wie der Bauer am frühen Morgen zuerst den Rechner startet, dann die detaillierte Wettervorhersage abrufen, sich über die Verkaufspreise von Milch und Korn informiert und schließlich eine Drohne über den Acker dirigiert, um die Stellen zu erkennen, an denen mit wachstumsfördernden Mitteln nachgeholfen werden muss. Und dann meldet die erste Kuh dem Computer, dass es Zeit zum Melken ist. Was wie Science-Fiction wirkt, ist in der industrialisierten Landwirtschaft teilweise schon Realität oder könnte es bald werden.

Autoindustrie. Sie gilt als Herzstück des deutschen produzierenden Gewerbes, mit derzeit rund 790 000 Beschäftigten. Längst sind die Werkhallen von hochautomatisier-

ten Fertigungsstraßen und Robotern geprägt. Dennoch zählt das Bundeswirtschaftsministerium den Fahrzeugbau zu den »unterdurchschnittlich digitalisierten« Branchen. Ein Wirtschaftszweig mit weiterem Rationalisierungspotenzial also.

Offen reden darüber nur wenige. Horst Neumann tat es in seiner Zeit als Personalvorstand des VW-Konzerns. Ende 2014 schrieb er im Konzernmagazin *Group News*, »dass ein neuer Automatisierungsschub bevorsteht.« Die Arbeitslosigkeit werde dadurch aber nicht steigen. Neumanns Argumentation: Besonders VW habe in den 70er Jahren überdurchschnittlich viele Mitarbeiter aus der »Babyboomer«-Generation eingestellt. Zwischen 2015 und 2030 werden die meisten von ihnen in Rente gehen. »Deshalb haben wir die Möglichkeit, Menschen durch Roboter zu ersetzen«, so Neumann. Sozialverträglich.

Versicherungswirtschaft. Seit einigen Jahren ist die »Dunkelverarbeitung« üblich. Immer mehr Kundenbescheide und Mahnungen werden vollständig automatisiert erledigt, unbeeinflussbar von Sachbearbeitern. Auch die Risikoprüfung läuft maschinell ab; nur noch in Sonderfällen überprüft ein Mensch das Ergebnis. Und das Zukunftsszenario der Branche heißt »Selfservice«: Nach einem Autounfall beispielsweise fotografiert der Versicherte mit dem Handy den Schaden und schickt per App alle notwendigen Daten an die Assekuranz. Dort wird vollautomatisch über den Fall »entschieden« und entsprechend reagiert. Ganz ohne Personal. Bisher läuft der Arbeitsplatzabbau schleichend. Dramatisch werden die Folgen für die Beschäftigten in den kommenden fünf bis zehn Jahren werden, schätzen Branchenkenner.

Gesundheitswesen. Ein schmackhaftes, optisch ansprechendes Menü aus dem 3-D-Drucker für Menschen mit Kau- und Schluckbeschwerden – das versprechen mehrere kleine Unternehmen, gemeinsam mit der Hochschule Weihenstephan bis Ende 2017. Die EU unterstützt dieses Projekt. Krankenkost soll künftig nicht nur bekömmlich sein sondern auch gut aussehen. Die computergesteuerte Technik des 3-D-Drucks, für die derzeit industrielle Anwendungsmöglichkeiten getestet werden, soll Altenheim-



Die Smartwatch am Handgelenk des Mechanikers informiert über verschiedene technische Parameter des Fahrzeugs.

und Klinikküchen revolutionieren. Im Imagefilm ist zu sehen, wie »Essen auf Knopfdruck« künftig funktionieren kann: Der Drucker wird mit Erbsenpaste gefüllt und baut daraus schichtweise ein dreidimensionales Gebilde. Ein geschmeidiges Ding, das optisch einer Erbse gleicht und problemlos durch die Kehle gleitet. Die erste Zutat fürs versprochene Menü. Ein Beispiel dafür, dass man mit digitalen Anwendungen durchaus neue Produkte und Lösungen auf den Markt bringen – und auf diese Weise neue Arbeitsplätze schaffen kann, ohne bisherige zu gefährden. Ganz im Gegensatz zu einer weiteren Entwicklung, mit der das Gesundheitswesen auf andere Beine gestellt werden soll: auf die von Pflegerobotern.

Woran man sich in Japan bei der Betreuung alter Menschen schon gewöhnt hat, stößt in Deutschland allerdings auf hinhaltenden Widerstand von Gesellschaft und Politik. Bisher. Auch die Dienstleistung einer New Yorker Krankenkasse löst hierzulande (noch) keine Euphorie aus: Sobald sich der Versicherte krank fühlt, informiert er die Kasse per Smartphone über Symptome und Körperwerte. Ein automatisiertes Programm erstellt eine Ferndiagnose und gibt erste Ratschläge. Auf Anforderung wird auch ein Arzt für die persönliche Telefonberatung vermittelt. Offen ist: Entwickeln sich hier die Geschäftsfelder von übermorgen? Schaffen sie neue Jobs oder verdrängen sie nur alte? Oder behält unsere Gesellschaft bei Krankheit und im Alter lieber »altmodische« Beziehungen zu qualifiziertem Personal aus Fleisch und Blut bei?

Zwischenbilanz I. Arbeit 4.0 – für wen? Das Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB) in Nürnberg und das Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB) in Bonn suchen Antworten in einer mehrstufig angelegten Studie. Das Forscherteam hat diverse Szenarien durchgespielt und Einflussfaktoren gegeneinander aufgerechnet: Bis zum Jahr 2025 werden demnach 490 000 Arbeitsplätze in Deutschland im Zuge der weiteren Digitalisierung der Wirtschaft verloren gehen.

Andererseits entstehen 430 000 Jobs völlig neu. »Dabei sind Arbeitskräftebewegungen zwischen Branchen und Berufen weitaus größer als die Veränderung der Anzahl der Erwerbstätigen insgesamt«, betont das Forscherteam

Zum Weiterlesen

www.arbeitenviernull.de
Die Website des Bundesarbeitsministeriums dient dem fachlichen und öffentlichen Dialog über das Arbeiten von morgen.

www.bmbf.de
Unter »Zukunftsprojekt Industrie 4.0« präsentiert das Bundesministerium für Bildung und Forschung Handlungsempfehlungen – nicht nur für Aus- und Weiterbildung.

www.de.digital
Unter dieser ungewöhnlichen Netzadresse präsentiert das Bundeswirtschaftsministerium die »Digitale Strategie 2025«.

Marc Ingo Wolter (u. a.).
Industrie 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Wirtschaft. Szenario-Rechnungen im Rahmen der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsfeldprojektionen. IAB-Forschungsbericht 8/2015. (Kurzfassung im Netz: http://doku.iab.de/aktuell/2015/aktueller_bericht_1516.pdf) »Industrie 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Wirtschaft«. Aktuelle Berichte 16/15)

in einer Stellungnahme vom 30. September 2015 an den Bundestagsausschuss »Digitale Agenda«. Allerdings verändern sich Arbeitsinhalte und -abläufe für die meisten der Berufstätigen. Insbesondere Routinetätigkeiten fallen weg, sofern es sich um »nach programmierbaren Regeln ausführbare Tätigkeiten« handelt, erläutern die Forscher. Entscheidend für die Beschäftigten ist die Unterstützung beim Um- und Weiterlernen.

Die Nachfrage nach Höherqualifizierten wird zunehmen, zulasten von un- und angeleiteten Kräften, darüber herrscht weitgehend Konsens unter den Arbeitswissenschaftlern. Nicht einig sind sich dagegen die Experten, wie es mit der deutschen Facharbeit weitergeht. Ein Szenario heißt »downgrading«: Demnach werden Beschäftigte trotz einer soliden dualen Ausbildung zu schlichten Handlungen von Robotern und anderen Maschinen. Das Gegenstück – »upgrading« – bedeutet, dass die Tätigkeiten angereichert werden und die Arbeitnehmer in die Gruppe der planenden, steuernden, überwachenden und entscheidenden Höherqualifizierten aufschließen.

Mittelstand. Die im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) entstandene Studie *Erschließen der Potenziale der Anwendung von »Industrie 4.0« im Mittelstand* kommt im Juni 2015 zu dem Schluss, den meisten Klein- und Mittelunternehmen in Deutschland fehle »eine konkrete Umsetzungsstrategie« für die sich abzeichnenden Veränderungen. »Lediglich 29 Prozent aller Unternehmen haben bereits eine explizite Strategie zur Einführung von Industrie 4.0«, so heißt es. Und weiter: »Für einen Großteil des Mittelstandes (70 Prozent) hat der Einsatz digitaler Technologien im Herstellungsprozess noch keine oder nur eine geringe Relevanz.«

Arbeitnehmervertreter bestätigen diesen Befund. In vielen Betrieben wird nach wie vor mit uralter Technik gearbeitet. Nichts deutet auf einen Wandel hin. Müssen die Arbeitnehmer selbst die Entwicklung anstoßen, weil sonst alle Arbeitsplätze gefährdet sind, wenn das Unternehmen die Entwicklung verschläft? Eine durchaus berechtigte Frage. Denn unter den Bedingungen der Digitalisierung etablieren sich bereits ganz neue Formen des beruflichen Handelns und Geldverdienens.

Drei Szenen aus der Landwirtschaft 2016: Ein Unkrautroboter zupft störende Pflänzchen aus dem Boden. Mit dem Traktor erntet ein Bauer das reife Getreide. Und in Ländern wie Rumänien dient nach wie vor das Pferd als starker Helfer beim Ziehen schwerer Lasten.



Crowd- oder Clickworking. Eine neue Form der Arbeit, die es bereits in diversen Ausprägungen gibt. Die Einfachvariante: Eine Person, von der keine besonderen Vorkenntnisse erwartet werden, arbeitet an einem beliebigen Ort am Computer im schnellen Takt eine klar beschriebene Aufgabe ab. Auf eigene Rechnung, als Freelancer. Beispiel: Ein Foto nach dem anderen wird blitzschnell den passenden Schlagwörtern zugeordnet. Click. Centbeträge sind der Lohn für die gewissenhafte Kategorisierung am laufenden Band. Oder besser gesagt, im unablässigen Datenstrom der Bilder auf der digitalen Plattform. Anspruchsvoller wird es, wenn eine Crowd – eine zufällig zusammengesetzte Gruppe in der virtuellen Wolke – arbeitsteilig einen Auftrag erfüllt. Das kann die Übersetzung eines Buches sein oder die Entwicklung eines diffizilen ingenieurtechnischen Werkstücks. Außerdem existiert eine Alles-oder-nichts-Variante der Clickarbeit: Ein Kunde will beispielsweise ein neues Firmenlogo und schaltet eine Crowdworking-Plattform ein. Viele kreative Köpfe beginnen nun, in zeitlicher und inhaltlicher Konkurrenz zueinander, ein passendes Markenzeichen zu entwickeln. Bezahlt wird nur die vom Auftraggeber schließlich gewählte Lösung. Die neue Form grenzenloser Fließband- und Akkordarbeit steht erst am Anfang; sie wird im Zuge der Digitalisierung weltweit an Bedeutung gewinnen. Hierzulande erkunden Gewerkschaften bereits neue Informations- und Organisationswege für die isolierten digitalen Tagelöhner. Und der Gesetzgeber denkt über arbeitsrechtliche Mindeststandards nach.

Frauen. Margret Klein-Magar erwartet sich viel. Die Sprecherin der leitenden Angestellten im Aufsichtsrat von SAP glaubt, dass Frauen nun ihre große Chance erhalten. »Die Digitalisierung verändert das System und die Strukturen der Arbeit dramatisch. Unternehmen, die sich nicht wandeln, werden nicht überleben.« Höchste Zeit also für fitte Frauen, glaubt Klein-Magar. Sie ist mit ihrer Zuversicht nicht allein auf der Tagung »Frauen in der digitalen Arbeitswelt von morgen«, die im März 2016 in München besonders die Karrierechancen in IT und Ingenieurwesen auslotet. Auch die Arbeitswissenschaftlerinnen Anja Bultheimer (Universität Erlangen-Nürnberg) und Kira Marrs

(ISF München) werten die digitale Transformation der Wirtschaft als »historischen Umbruch«, der Frauen nützt. Ein Wissenschafts-Praxis-Dialog hat sie optimistisch gestimmt: Wenn immer stärker der Wunsch des Kunden bestimmt, wie eine Geschäftsbeziehung abläuft, reicht technisches Expertentum allein nicht mehr aus. Die Beschäftigten müssen vielmehr über kommunikative und soziale Fähigkeiten verfügen, kaufmännisch denken und interdisziplinär sowie in vernetzten Zusammenhängen arbeiten können. Ein Plus für Frauen – zumindest in der bisher klassisch männlich geprägten Welt der Entwickler, meinen die Wissenschaftlerinnen. Dass die Arbeit 4.0 automatisch allen Frauen zugutekommt, daran gibt es auch auf dieser Tagung Zweifel. Etwa mit Blick auf viele Tätigkeiten in der Verwaltungs- und Büroarbeit, die ersatzlos wegfallen werden.

Zwischenbilanz II. Die digitalisierte Arbeitswelt verändert Qualifikationsanforderungen und Berufsbilder. Von Arbeitnehmern wird künftig tendenziell erwartet: IT-Kompetenz, Verständnis für Wertschöpfungsprozesse und



In Seniorenheimen könnten Roboter zahlreiche Service-Aufgaben übernehmen. Aber wollen das die Bewohner? Und hätte das Personal dann mehr Zeit für persönliche Bedürfnisse und Zuwendung oder würden stattdessen Arbeitskräfte eingespart?

Kostenrechnung, die Bereitschaft, ständig weiterzulernen sowie Kommunikations- und Teamfähigkeit. Das ist viel verlangt, liegt aber angesichts der neuen Arbeitsbedingungen durchaus im Interesse der Angestellten selbst. Die Arbeit 4.0 eröffnet über mobile Endgeräte viele Freiräume, trägt aber auch die Gefahr der Entgrenzung in sich: Wo arbeite ich und wie lange? Wann habe ich ein Recht aufs Abschalten? Wie wird Leistung gemessen, wenn Anwesenheit nicht mehr alles ist? Wo bleibt das Recht auf informationelle Selbstbestimmung?

Es ist viel im Fluss. Welche Entwicklungen sich durchsetzen, ob und wie sie einem kontrollierenden rechtlichen



BUNDESREGIERUNG UND PARLAMENT.

Vier Ministerien fühlen sich bei der Gestaltung der vierten industriellen Revolution besonders angesprochen. Das Verkehrsministerium (BMVI) ist zuständig für das technische Rückgrat: für schnell funktionierende Datenautobahnen mit Abzweigungen selbst zu jeder abseits gelegenen Arbeitsstätte. Das Bundesministerium für Forschung und Bildung (BMBF) fördert die Entwicklung belastbarer Softwaresysteme, unterstützt alle Anstrengungen, die IT-Sicherheit zu erhöhen, und wirbt für eine vorausschauende berufliche Qualifizierung. Im Wirtschaftsministerium (BMWi) sähe man es am liebsten, wenn alle Fäden in diesem Ressort zusammenlaufen würden, haben Industrie 4.0/Digitalisierung doch das Vermögen, die Wirtschaft und ihre Spielregeln insgesamt umzuwälzen. Das Arbeitsministerium (BMAS) schließlich hat einen großen öffentlichen Dialog angestoßen, um den Folgen der Veränderungen für die Beschäftigten auf die Spur zu kommen und frühzeitig zu erkennen, wo steuernd einzugreifen ist. Nicht nur das BMAS hat einen externen Expertenkreis berufen,

um nah dranzubleiben am Thema. Der Bundestag hat einen eigenen Ausschuss »Digitale Agenda« installiert. In öffentlichen Fachgesprächen holen sich die Abgeordneten Sachverstand von außen zu allen möglichen Apekten des Themas. Auch zum gesetzgeberischen Handlungsbedarf bei der Gestaltung der digitalen Arbeitswelt. Als da wären: Regelungen zum Beschäftigtendatenschutz; ein Weiterbildungsrahmengesetz, das u. a. regelt, wann der Arbeitgeber für die berufliche Qualifizierung verantwortlich ist; arbeitsrechtliche Schutzmaßnahmen bei Click- und Crowdarbeit.



SOZIALPARTNER. Abgesandte von Arbeitgeberverbänden und Gewerkschaften sind in allen Kommissionen und Gesprächsforen der Bundesregierung zu Industrie 4.0 vertreten. Im Moment geht es beiden Seiten darum, zu beobachten, ins Gespräch zu kommen, die eigene Expertise aufzubauen und erste Positionen zu beziehen.

Tarifpolitische Festlegungen stehen noch aus. Dabei zeichnet sich dringender Regelungsbedarf schon ab: bei Rationalisierungsschutz, Weiterqualifizierung und Arbeitszeit.

Rahmen unterliegen, das muss von den gesellschaftlichen Akteuren noch ausgehandelt werden.

Gesellschaft. Arbeit 4.0 – für wen? Wie wollen wir morgen und übermorgen leben und wie unseren Lebensunterhalt verdienen? Wer gibt den Takt vor: Mensch oder Maschine? Grundsätzliche gesellschaftliche Weichenstellungen sind möglich, die Debatten darüber haben gerade erst begonnen. Dabei liefern die digitale Arbeitswelt und ihre Folgen neue Argumente für altbekannte Modelle. Etwa für Arbeitszeitverkürzung. So wird (wieder) über eine 25- bis 30-Stundenwoche für alle diskutiert, mit der sich Arbeit gerechter verteilen und zugleich eine bessere Vereinbarkeit von Beruf und Familie erreichen ließe. Im Gespräch ist auch, neben der bisher üblichen Besteuerung der menschlichen Arbeit andere Finanzierungsquellen für staatliche Aufgaben aufzutun. Die Idee einer Maschinensteuer findet neue Anhänger, heute unter dem Namen »Automatisierungsdividende«. Und schließlich erhält auch die Diskussion um ein garantiertes Grundeinkommen für jeden neue Nahrung. Es darf und muss gestritten werden. ■■



DIE AUTORIN

Helga Ballauf
ist freie Fachjournalistin in München. Sie schreibt über Arbeit, Beruf und Bildung.

RADSPIELER

Seit 1841



*Radspieler –
damit
Einrichten
Freude
macht!*



*F. Radspieler & Comp. Nachf.
Hackenstraße 7
80331 München
Telefon 089/23 50 98-0
Fax 089/26 42 17
www.radspieler.com*



KUNDIN UND KUNDE. Sie sind die Stars der digitalisierten Wirtschaft, um sie dreht sich alles. Es begann mit dem personalisierten Serienbrief. Jetzt heißt das Ziel, eine Eins-zu-eins-Beziehung zum Konsumenten aufzubauen, sie oder ihn gar zur gemeinsamen Gestaltung des Produkts oder der Dienstleistung einzuladen. Das ist das Credo der neuen

Unternehmensphilosophie. Man kann die Rolle des »mitarbeitenden Kunden« (so nennt ihn Arbeitsforscher Tobias Kämpf) auch nüchterner betrachten: Er oder sie übernimmt gratis Aufgaben, die bisher bezahlte Profis erledigten – ob bei Bankgeschäften, Reiseplanung, Mediengestaltung oder im Warentest –, und schafft andererseits neue Jobs – etwa bei der Lieferung von Internetbestellungen. Ab und an wird eine andere Rolle sichtbar, wenn Verbraucher/innen ihre Marktmacht als gesellschaftliche Kraft einsetzen, bestimmte Trends forcieren und andere bremsen. Etwa bei der Frage, wie Arbeit 4.0 aussehen soll. Da liegt Gestaltungspotenzial, frei nach dem Motto: Wer zahlt, schafft an.

Leinen los!

Auf dem Hamburger Terminal Altenwerder wird heute schon gelebt, was in wenigen Jahren die internationale Logistikwirtschaft umkrempeln soll: Über intelligente Sensoren kommunizieren Transportmittel, Waren und Maschinen miteinander.

Von Sabrina Landes

Hamburg hat den größten Seehafen Deutschlands. Schon im 9. Jahrhundert landeten Handelsschiffe am Reichenstraßenfleet, einem Mündungsarm der Bille zur Alster. Seither wurden die Hafenanlagen kontinuierlich erweitert. Im Bild zu sehen: vorne rechts die Katharinenkirche, links am Bildrand die Speicherstadt. Im Hintergrund der Hamburger Hafen und die Landungsbrücken.





Dampfkräne erleichterten die Arbeit der Hafentarbeiter am Sandtorkai um 1870.



Der anschwellende Wind lässt die Barkasse durch die Wellen tanzen. Routiniert navigiert der Kapitän an der Hafencity, an Piers, Krananlagen und Containerriesen vorbei mitten hinein in die Industriesiedlung am Wasser. Eine Rundfahrt durch die Hamburger Hafenbecken gehört zu den Highlights eines Besuchs in der Hansestadt. Über 7200 Quadratkilometer groß ist der nach Rotterdam und Antwerpen drittgrößte europäische Seehafen und damit das größte zusammenhängende Industriegebiet Deutschlands.

Seit dem 14. Jahrhundert wurde der Hafen kontinuierlich ausgebaut, mehrmals verlagert und an die Bedürfnisse der jeweiligen Zeit angepasst. Wenn es darum geht, die Bedingungen für gute Geschäfte zu optimieren, waren und sind die Hamburger Hafenunternehmer wenig zimperlich. Und da der Hafen einer der Hauptarbeitgeber der Stadt und der nahen Region ist, hat die Politik dazu stets gerne ihr Placet gegeben.

Schauerleute und Tallemänner

1883 wurden sogar zwei ganze Stadtviertel geräumt, um dem expandierenden Hafen Platz zu machen. Mehr als 25 000 Menschen mussten aus ihren Wohnungen ausziehen. 1000 Häuser wurden anschließend abgerissen. Bis 1888 wurde auf diesem Gelände dann die Speicherstadt errichtet. Dampfgetriebene Schiffe hatten zu dieser Zeit die Großsegler schon weitgehend verdrängt. Die Kaufleute konnten nun ihre Waren im Freihafen nicht nur löschen und laden, sondern auch zwischenlagern und ohne Zollformalitäten weitertransportieren.

Auf den Kaianlagen und im Hafenbecken herrschte damals ein reges Treiben. 25 000 Menschen arbeiteten hier: Allein 5000 Schauerleute be- und entluden die Schiffe. Zwischen den Lastkähnen fuhren 2000 Ewerfahrer mit Waren von und zu den großen Transportschiffen. Die Ladung wurde in Schuten längsseits der Schiffe oder am Kai übernommen und dort auch wieder gelöscht. Ob Kisten, Säcke, Fässer oder Gummiballen – alles musste einzeln von Hand angefasst werden. In den Speichern verstauten 1600 Arbeiter das Stückgut, das in Ballen, Körben, Kisten und Säcken geliefert wurde. Über alledem wachten Tallemänner, kontrollierten die Ladung und die Papiere. Trotz mechanischer Kräne war die Arbeit des einfachen Hafentarbeiters hart und gefährlich. Vor allem Ungelernte verdingten sich hier für ein karges Salär.



Für die Speicherstadt wurden 1883 mehr als 25 000 Menschen umgesiedelt. Seit 1991 stehen die ehemaligen Lagerhallen unter Denkmalschutz. Heute ist der gesamte Komplex Teil der Hafencity und beherbergt unter anderem Büros, Agenturen und Museen.

Bis in die späten sechziger Jahre war Hafentarbeit vor allem Hand- und Muskelarbeit. Immerhin 6000 Arbeiter waren hier um 1960 noch täglich beschäftigt. Das änderte sich mit der Erfindung des Containers.

Im April 1956 schickte der amerikanische Spediteur Malcolm McLean die ersten genormten 58 Kisten aus Stahl auf die Reise. Für seine Idee wurde McLean zunächst verspottet. Doch schon 1966 wurden die ersten Container in Bremen entladen. Alle ökonomischen Argumente sprechen für die genormten Kisten aus Stahl. Sie lassen sich dank Standardmaßen dichtest stapeln. Formalitäten und Kontrollen werden erleichtert, da jeder Container eine Nummer trägt, mit der Absender, Empfänger und Inhalt ermittelt werden. Spezielle Speicher werden unnötig, da der Container selber als Speicher dient. Malcolm McLeans Erfindung setzte sich innerhalb weniger Jahre durch und revolutionierte das Transportgeschäft.

Mitte 1968 wurde das erste US-amerikanische Vollcontainerschiff in Hamburg abgefertigt. Im gleichen Jahr entstand mit dem Burchardkai ein Terminal für den Containerumschlag mit zunächst vier Liegeplätzen. 1969 wurden hier bereits 60 805 TEU (ein TEU entspricht einem 20-Fuß-Standard-Container) umgeschlagen. Drei weitere Terminals für Container kamen in den nächsten Jahren hinzu und 2014

Containerbrücken am
HHLA Containerterminal
Altenwerder.



wurden insgesamt bereits 9775745 TEU umgeschlagen. Die Anzahl der Beschäftigten ist im Verhältnis dazu kontinuierlich gesunken. Und auch die Anforderungen veränderten sich grundlegend: War die »Knöt«, also die Muskelkraft, vor dem Siegeszug des Containers ein ausreichendes Argument, um am Stückguthafen einen Job zu bekommen, so brauchte man am Containerhafen qualifizierte Arbeitskräfte. Seit 1975 gibt es daher eine eigene Fachausbildung für Hafentarbeiter.

Die letzte große Umsiedlungsaktion zugunsten des Hafenausbaus fand ab 1973 statt: Das Fischerdorf Altenwerder stand dem weiteren Ausbau des Containerhafens im Weg. 1000 Menschen wurden in den folgenden Jahren umgesiedelt. Dann rückten die Abrissunternehmen an. Vom alten Dorf blieb nur das Kirchlein stehen, und auf der frei gewordenen Fläche entstand der weltweit erste weitgehend vollautomatisierte Containerhafen.

Vom Touristenboot aus lassen sich allerdings nur die riesigen Pultkräne erspähen. Den Containerterminal Altenwerder selbst erreicht man über ein Gewirr von Straßen und Brücken – als Tourist nur per Reisebus: Die Containerterminals gelten als Hochsicherheitsgebiete. Für *Kultur & Technik* gibt es eine Extraführung. Abgeholt werde ich von Karl Olaf Petters, Pressesprecher der Hamburger Hafen Logistik AG (HHLA). Im Elektroauto geht es zum Herzstück der Anlage.



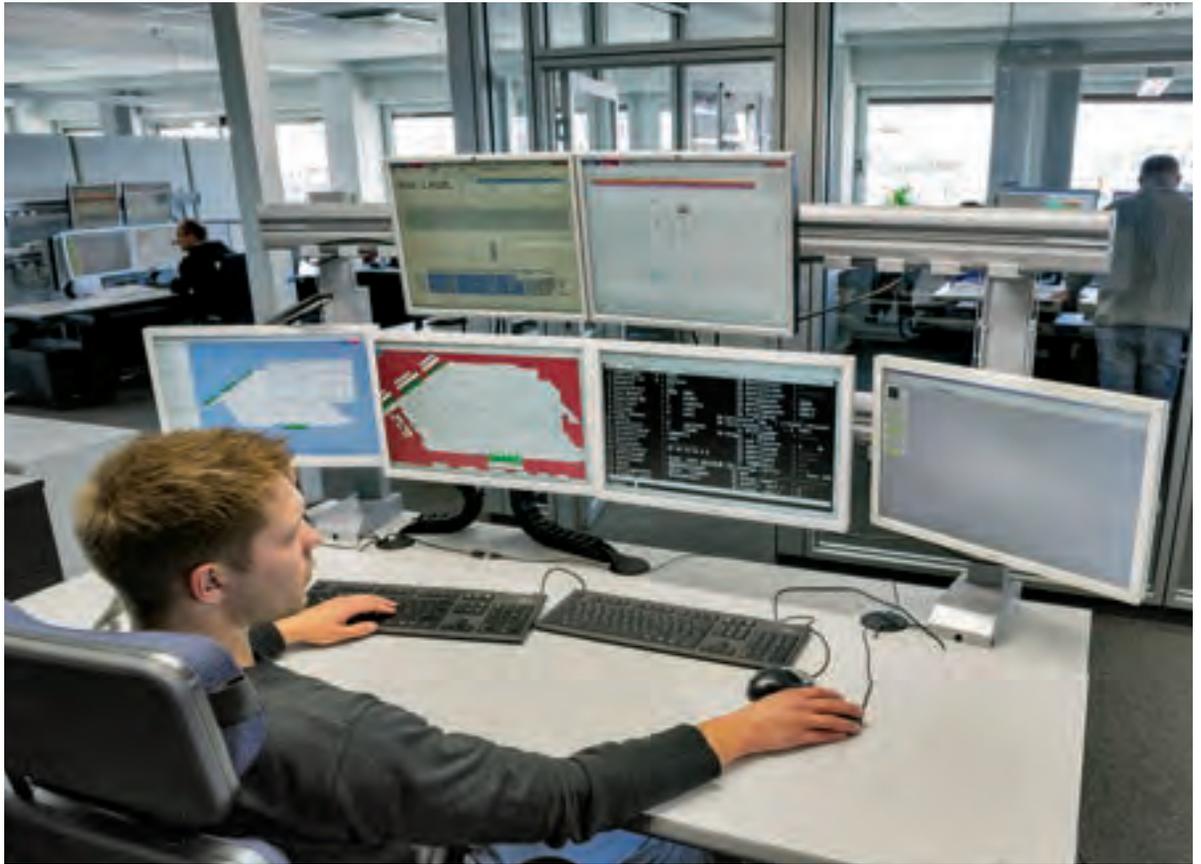
Per Zug oder Lkw werden die Container auf dem Land weitertransportiert. Die Beladung der Fahrzeuge erfolgt vollautomatisch.

Wir fahren an der Kaimauer entlang. Gerade ist ein schwarz lackierter Riese angekommen, auf dem sich unzählige Container stapeln. Kleidung, elektronische Geräte, Lebensmittel und vieles mehr enthalten die Blechschachteln. Ungefähr 30 Tage lang dauerte die Reise der Waren von Shanghai bis in den Hamburger Hafen. Was genau in den Containern steckt, interessiert die Logistiker nicht. »Außer es handelt sich um Gefahrgüter oder Kühlcontainer, darüber müssen wir natürlich Bescheid wissen«, sagt Petters.

Arbeit rund um die Uhr

Sobald das Schiff fest vertäut ist, beginnt die Arbeit der Kranbrückenfahrer. Mit einem Greifarm, dem »Spreader«, angeln sie Container um Container vom Frachtschiff und setzen ihn an Land ab. An 360 Tagen im Jahr, rund um die Uhr werden die Schiffe im Schichtbetrieb entladen. Die Frauen und Männer leisten Schwerstarbeit: 40 Meter über Wasser, vornübergebeugt sitzend, steuern sie die Bewegungen des Spreaders zentimetergenau. Sobald der Container auf einer Plattform an Land abgestellt wurde, übernehmen Maschinen die Arbeit. Leise surrend rollt eine große Ladefläche heran, ein Lkw ohne Fahrerkabine. Ein Kran platziert den Container auf dem Transportroboter. Gesteuert werden diese Fahrzeuge durch 19000 Transponder, die im Boden eingebaut sind

Der Leitstand ist das Gehirn des Containerterminals Altenwerder. Von hier aus wird das komplexe Geschehen auf dem Terminal gesteuert.



Das gut organisierte Lager ist ein zentrales Element der Logistik. Automatisierte Prozesse ermöglichen die optimale Ausnutzung der Kapazitäten. In Altenwerder sind die Straßen zwischen den Containerlagern menschenleer. Sensoren im Boden steuern autonom fahrende Transporter zuverlässig zum richtigen Zwischenlager.

und über eine Software den kürzesten Weg berechnen. Reihe um Reihe wachsen die Containerstapel des Blocklagers: Je zwei schienengebundene Portalkräne sortieren die Boxen softwaregesteuert in die 26 Lagerblöcke ein oder fischen aus Tausenden von Containern genau den heraus, der auf einen bereitstehenden Zug oder Lkw gehievt werden soll. »Menschen würden den reibungslosen Ablauf hier stören«, erklärt Petters. Die kommen erst wieder ins Spiel, wenn es darum geht, die beladenen Züge oder Lkws an ihre Bestimmungsorte zu fahren. Die menschenleeren Blocklager ermöglichen die bestmögliche Ausnutzung der knappen Fläche. Auf der

Rückseite des Lagers erstrecken sich die Gleisanlagen für die Züge, welche die Container landeinwärts befördern sollen. Sieben Gleise stehen derzeit zur Verfügung, neun sollen es demnächst sein. Seit Jahren steigt der Gütertransport über die Schiene. Ein Trend, von dem die HHLA profitieren möchte. Platz allerdings ist Mangelware, deshalb werden die Abstände zwischen den Gleisen verringert. »Bisher fuhren Mitarbeiter zwischen den Gleisen entlang, um die Daten der Container zu erfassen. Auch dieser Arbeitsgang wird automatisiert. Die Züge passieren bei der Einfahrt ein Traingate, das sämtliche Daten automatisch erfasst und richtig zuordnet.« Ein weiterer Automatisierungsschritt, der Kosten spart und Abläufe optimieren wird.

»Menschen werden deshalb nicht überflüssig«, versichert Petters. Heute kümmern sich 720 hoch qualifizierte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter darum, dass Altenwerder funktioniert. 150 sind vor Ort am Terminal für die Wartung und Reparatur der Maschinen zuständig. Das Gehirn des Terminals aber befindet sich im Leitstand. »Von dort aus werden alle Systeme gesteuert und dort wird auch eingegriffen, wenn irgendetwas nicht funktioniert.« Und Probleme gibt es täglich: Ein Schiff verspätet sich, vor den Kaimauern stauen sich die Feederschiffe: Jede Abweichung vom vorhergesehenen Takt stört die Abläufe des automatischen Systems. An den Bildschirmen der Leitstelle arbeiten Blocklagerkransteuerer, Schiffsplaner und Prozesssteuerer neben IT-Experten. Ihr spezielles Know-how ist auch an dieser Stelle gefragt.

»Unser nächstes Ziel ist es, jedes Element der gesamten Lieferkette im Blick zu haben. Dazu müssen aber alle, die an

der Prozesskette beteiligt sind, nach denselben technischen Standards arbeiten«, sagt Petters und deutet auf den Container, der am Kran vor uns in der Luft schaukelt.

Würde jeder angelieferte Container zuverlässig Auskunft über Herkunftsort, Inhalt, Ziel und andere wichtige Details seiner Reise geben, würde das das Geschäft der Logistiker noch einmal optimieren. Dazu müsste jeder Container mit einem RFID-Transponder ausgestattet sein. Wirtschaft und Politik setzen große Hoffnungen auf dieses »Internet der Dinge« – die Vernetzung von intelligenten Geräten, Maschinen und anderen Gegenständen, die durch Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) virtuell abgebildet, überwacht und gesteuert werden können.

Milliarden für den Strukturwandel

Auch die Stadt Hamburg, immerhin zu 68 Prozent Anteilseignerin bei der HHLA, glaubt an die Zukunft des digitalisierten Containerverkehrs und will die Kapazitäten dazu weiter ausbauen. 9,7 Millionen Boxen wurden im Jahr 2014 umgeschlagen. 2025 sollen es 25,3 Millionen sein. Die genutzte Fläche soll sich im gleichen Zeitraum durch Ausbau und optimierte Nutzung der bestehenden Terminals verdoppeln.

Ein nicht unumstrittenes Vorhaben. Denn der Hamburger Hafen kämpft in den letzten Jahren mit massiven Problemen: Als Tidehafen ist er von Ebbe und Flut abhängig. Viele Schiffe mit größerem Tiefgang können nur bei Flut einlaufen. Hinzu kommt, dass Containerschiffe immer größer werden. Reeder und Terminalbetreiber fordern daher seit Jahren die Vertiefung der Elbe. Ein Projekt, das von Umweltschützern vehement kritisiert wird. Probleme machen auch marode oder ungeeignete, weil zu niedrig gebaute Brücken, von denen viele erneuert werden müssten. Die Köhlbrandbrücke kann schon heute von den großen Schiffen nur bei niedrigstmöglichem Wasserstand durchfahren werden und die neuen Superfrachter steuern die Hamburger Terminals nur halb beladen an, um nicht in den Fahrrinnen stecken zu bleiben.

In Hamburg ist man dennoch zuversichtlich, dass der Hafen der Hansestadt trotz massiver Konkurrenz durch Rotterdam, Antwerpen oder den Tiefseehafen Jade-Weser-Port auch zukünftig eine wichtige Rolle spielen wird. Schnelligkeit, Zuverlässigkeit und – eines der wichtigsten Argumente für Hamburg: die Topanbindung an die immer wichtigere

Wie funktionieren RFID-Sensoren?

RFID steht für Radio Frequency Identification (Identifizierung durch Radiowellen). Mit dieser Technologie können Objekte berührungslos identifiziert werden, wenn sie einen Transponder, auch RFID-Tag genannt, besitzen. Nähern sie sich mit dem Tag einem Lesegerät werden die gespeicherten Daten automatisch und berührungslos ausgelesen. Die Vorteile dieser Technik ergeben sich aus der geringen Größe, der unauffälligen Auslesemöglichkeit und dem geringen Preis der Transponder, der teilweise im Cent-Bereich liegt.

Die Transponder sind sehr klein und können vielfältige Formen annehmen. Sie enthalten eine Antenne, Steuerschaltkreise und einen permanenten Speicher. Die bekanntesten Formen sind implantierbare Chips für Haustiere, in Klebeetiketten des Einzelhandels, in Ausweise sowie in Chipkarten zur Bezahlung in Kantine bzw. zur Zeiterfassung bei Arbeit oder Sport. Komplexere Formen werden z. B. in der Containerlogistik eingesetzt.

Das Auslesen funktioniert bei passiven RFID-Systemen durch vom Lesegerät erzeugte magnetische Wechselfelder oder hochfrequente elektrische Felder. Der RFID-Tag moduliert das vom Lesegerät ausgestrahlte Feld und überträgt so die abgefragten Daten. Das eingestrahlte Feld dient auch zur Energieversorgung. Werden dagegen höhere Reichweiten benötigt, kommen Transponder mit eigener Energieversorgung zum Einsatz, sogenannte aktive RFID-Systeme.

Die ersten Einsätze von RFID waren militärischer Natur: Am Ende des 2. Weltkrieges trugen Flug- und Fahrzeuge Transponder, um eigene von gegnerischen Einheiten zu unterscheiden. In den 1970er Jahren gab es die ersten Anwendungen im Alltag, etwa zur Diebstahlsicherung von Waren im Einzelhandel. Seit den 1980er Jahren erobert die Technologie immer mehr Einsatzgebiete, vor allen in der Warenlogistik. *Tina Kubot*



DIE AUTORIN

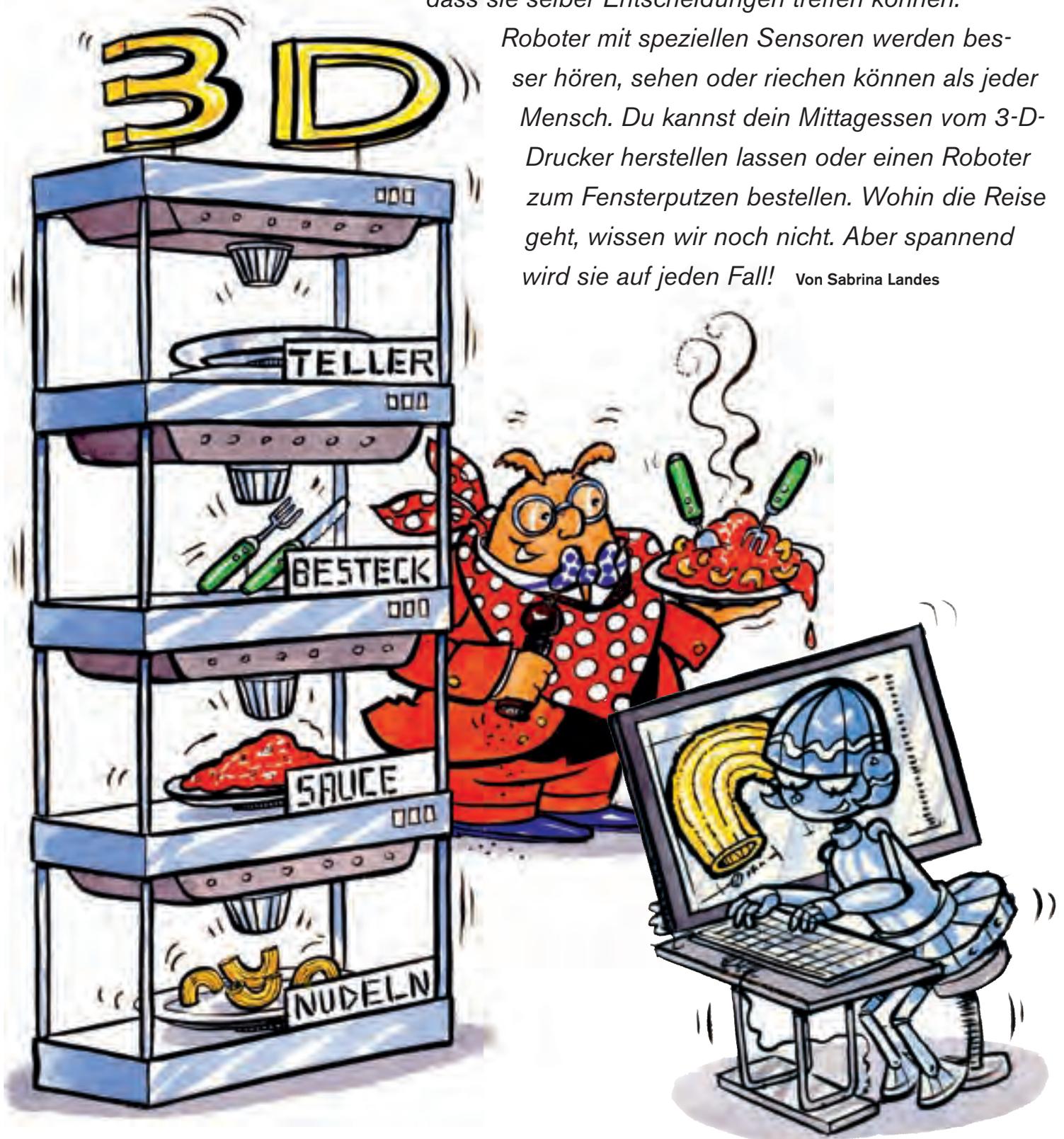
Sabrina Landes M.A.
leitet die Redaktion von *Kultur & Technik*. Sie hat Chemie, Germanistik und Geschichte in München studiert.

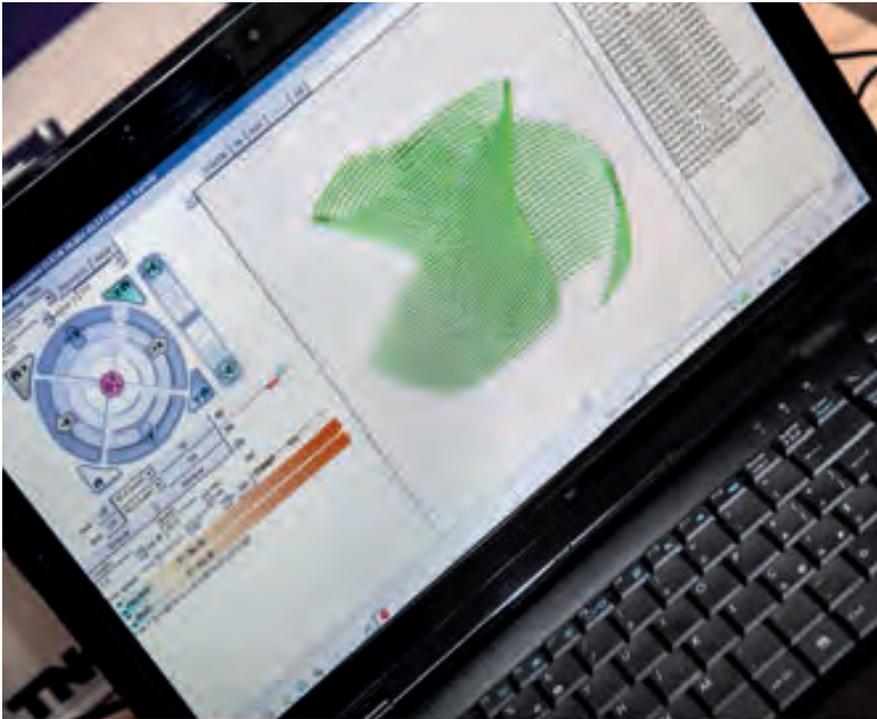
Schiene – sind entscheidende Argumente im Wettbewerb Die Investitionen allerdings, die auf die Elbmetropole in den kommenden Jahren insbesondere hinsichtlich der Modernisierung der verkehrlichen Infrastruktur zukommen, sind gewaltig. Spannend wird sein, inwieweit Gewerkschaften und Umweltverbände ihre Ideen und Forderungen durchsetzen und wie die Stadtgesellschaft mit den Herausforderungen umgehen wird. Hamburg hat sich und seinen Hafen schon in der Vergangenheit immer wieder rasch und flexibel an die Bedürfnisse der jeweiligen Zeiten angepasst – beste Voraussetzungen, um auch diesen Strukturwandel gut zu meistern. ■■

Ab in die Zukunft!

Wissenschaftler, Unternehmer und Politiker diskutieren, wie die Vernetzung von Menschen und Dingen unser Leben verändern wird. Sie sagen, dass wir derzeit eine Art Revolution erleben. Diese Revolution kommt nicht mit großem Getöse daher, aber sie erfasst doch so ziemlich alle Bereiche des Lebens. Maschinen werden so schlau, dass sie selber Entscheidungen treffen können.

Roboter mit speziellen Sensoren werden besser hören, sehen oder riechen können als jeder Mensch. Du kannst dein Mittagessen vom 3-D-Drucker herstellen lassen oder einen Roboter zum Fensterputzen bestellen. Wohin die Reise geht, wissen wir noch nicht. Aber spannend wird sie auf jeden Fall! Von Sabrina Landes





Der Nudeldrucker

3-D-Drucker sind eine feine Sache. Man kann damit alle möglichen Gegenstände herstellen: Schrauben, Autoteile, Turnschuhe und sogar Nudeln. Allerdings braucht der Nudeldrucker ganze zwei Minuten für eine einzelne Nudel. Nichts für hungrige Mäuler. Aber die Forscher sind zuversichtlich: In wenigen Jahren soll in zwei Minuten ein ganzes Pastagericht fertig sein. Zu Hause könnte dann jeder seine eigene Nudel entwerfen: kleine Elefantennudeln, Sonnenblumennudeln oder Schlangennudeln. Der Fantasie sind keine Grenzen mehr gesetzt. Bevor eine Nudel gedruckt werden kann, wird mit einem speziellen Zeichenprogramm im Computer ein Modell erstellt. Diese Daten werden an den Drucker geschickt und der beginnt, Schicht für Schicht das Modell aus einem Grieß-Wasser-Brei nachzubauen. Besser als mit Nudelteig funktioniert der 3-D-Druck schon mit Pulver aus Plastik oder Metall. Die winzigen Kügelchen werden in eine heiße Düse gepresst, dort schmelzen sie und werden als dünner Faden aus der Düse herausgespritzt. Für Architekten oder Produktdesigner ist das eine tolle Sache. Sie können den Entwurf für ein Haus, ein Auto oder eine Waschmaschine erst einmal als 3-D-Modell ausdrucken. So sehen sie, ob ihre Idee wirklich gut war, ob sie an alles gedacht haben oder ob noch etwas verändert werden muss. Irgendwann wirst du dir vielleicht sogar zu Hause oder im Laden ums Eck ein paar Turnschuhe oder ein Fahrrad ausdrucken können. Und das Tolle daran: Du selbst kannst bestimmen, wie die Dinge, die du dir ausdrückst, aussehen sollen.

An eine zarte Blüte erinnert die Nudel, die ein Designer zuerst auf dem Bildschirm entworfen hat (Bild oben). Zwei Minuten hat der 3-D-Drucker gebraucht, um den hübschen Kringel zu fertigen.



www.obermenzinger.de
**SCHLAUE KÖPFE
LERNEN BILINGUAL!**

Staatlich anerkanntes Ganztagsgymnasium

- Bilingualer Zug: 3-5 Fächer auf Englisch
- Zwei-Pädagogen-Prinzip
- Wirtschaftswissenschaftlicher Zweig ab 8. Klasse
- ABiplus® – Berufsausbildung parallel zum Abitur



**OBERMENZINGER
GYMNASIUM**

EINE EINRICHTUNG DER MÜNCHNER SCHULSTIFTUNG ERNST V. BORRIES



www.ueberreiter.de
**OHNE
PROBEUNTERRICHT
ZUM GYMNASIUM!**

Staatlich genehmigtes Ganztagsgymnasium

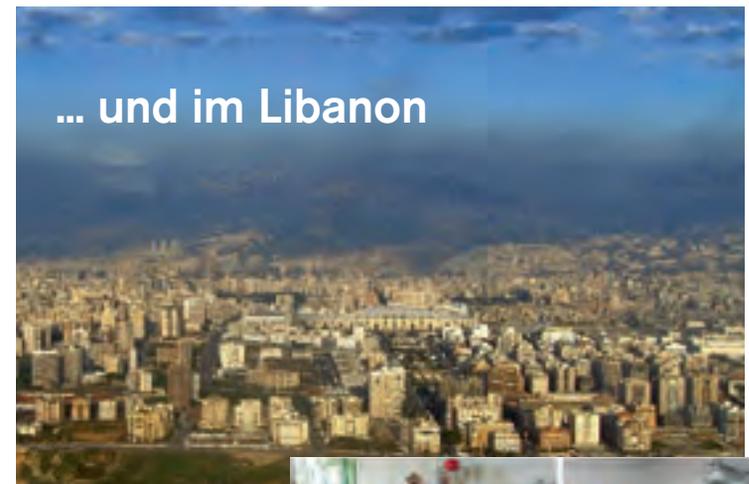
- Aufnahmegespräch statt Notenschnitt
- Intensive Hausaufgabenbetreuung
- Allgemeine Hochschulreife (Abitur)
- Aufnahme während des Schuljahres möglich – auch für Realschüler



**DR. FLORIAN ÜBERREITER
PRIVATGYMNASIUM**

EINE EINRICHTUNG DER MÜNCHNER SCHULSTIFTUNG ERNST V. BORRIES

- Unterricht digital -



Lernen ohne Bücher und Hefte? Für die meisten deutschen Schulen ist das noch Zukunftsmusik. In England oder den Niederlanden hingegen gibt es bereits etliche Schulen, in denen Schüler nach der Grundschule nur noch ein Notebook benötigen, um zu lernen und Hausaufgaben zu erledigen. Statt mit Kreide auf eine Tafel schreiben die Lehrer auf ein Whiteboard.

Immerhin: Im oberbayerischen Neubuern gibt es eine Privatschule, in der ab der 9. Klasse nur noch mit Tablets gearbeitet wird. Schulhefte und Bücher? Braucht hier niemand. Schreiben können die Schüler trotzdem. Zusätzlich zur Tastatur hat jeder Laptop eine

Schreibfläche mit einem hochauflösenden Touch-Display. Darauf kann man mit einem speziellen Stift schreiben. Alle Unterrichtsmaterialien, aber auch Termine, Tests, Noten und Hausaufgaben werden von Schülern und Lehrern am PC verwaltet und bearbeitet. Gemogelt wird dabei nicht: Die Software erkennt die Handschrift jedes Schülers.

Auch die Deutsche Schule in Beirut, der Hauptstadt des Libanon, hat den Unterricht vollständig auf elektronische Tafeln und Tablet-Laptops umgestellt. Nur Klassenarbeiten werden noch auf Papier geschrieben.

Für die Schule war es zunächst gar nicht so einfach, Schulbücher für den PC zu bekommen. Schließlich verdienen Schulbuchverlage an jedem verkauften Buch. Nach längerer Suche fand die Schulleitung einen Verlag, der bereit war, die Bücher als PDF zur Verfügung zu stellen. Die Schule gibt an, wie viele Schüler dort unterrichtet werden, und bezahlt dann einen Jahresbeitrag für jeden einzelnen Schüler.

Die Lehrer können die Inhalte der Bücher auf dem Whiteboard zeigen und erklären. Außerdem sehen sie, was die Schüler auf ihren Rechnern machen. Über ein internes Netzwerk sind alle miteinander verbunden. Die Schulleitung hat festgestellt, dass die Schüler seit der Umstellung lieber und konzentrierter mitarbeiten.



JUGENDLICHE REDEN MIT Mit Ideen über die Zukunft ist das so eine Sache. Viele kluge Leute zerbrechen sich den Kopf darüber – und am Ende kommt doch alles ganz anders. Sicher ist eigentlich nur, dass du als Erwachsener anders leben und arbeiten wirst als deine Eltern. Deine Generation wird einmal darüber entscheiden müssen, wie sie all diese technischen Möglichkeiten für sich nutzen möchte. Da wäre es doch nur fair, dass du auch heute schon gefragt wirst, wie du einmal leben und arbeiten möchtest.

Eine Möglichkeit, über solche Fragen nachzudenken, bietet das Europäische Jugendparlament Deutschland e.V. (EJP). Hier können Jugendliche zwischen 16 und 22 ihre Meinungen äußern und – ganz wichtig – Politiker oder Vertreter von Verbänden hören sich das auch an und diskutieren mit. Wer mitmachen will, kann sich alleine oder mit einer Gruppe von insgesamt sieben Schülerinnen und Schülern einer Schule beim jährlichen Schulwettbewerb bewerben. Hineinschnuppern können Interessierte bei regionalen und nationalen Veranstaltungen und Treffen in ganz Deutschland. www.eyp.de

Ab 16 Jahren kannst du im Europäischen Jugendparlament mitmachen.

Was war vor »Industrie 4.0«?

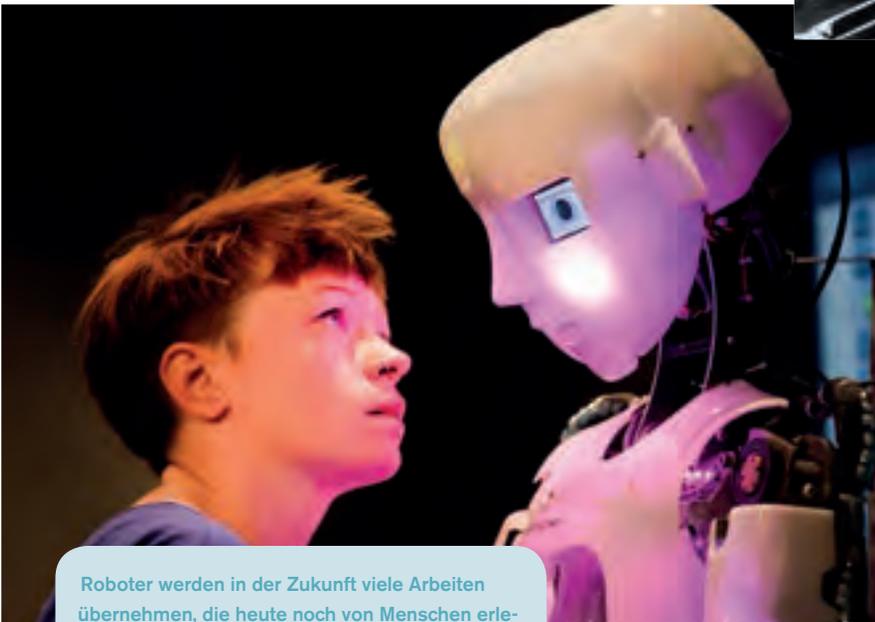
Von der Dampfmaschine zum Roboter



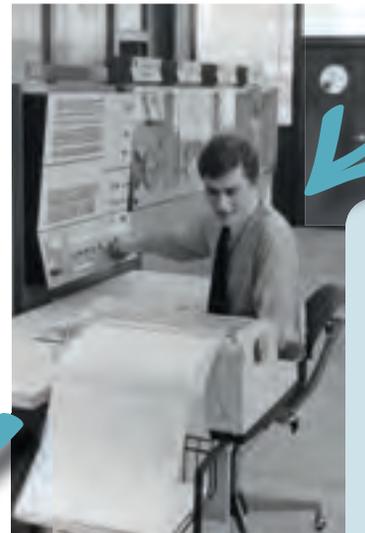
Jahrtausendlang erledigten die Menschen schwere Arbeiten selber. Oder sie nahmen starke Tiere zur Hilfe: Pferde, Esel, Ochsen, Elefanten ... Mit der Dampfmaschine hat sich das geändert. Sie konnte die Muskelkraft ersetzen. Erfunden hat diese Kraftmaschine 1712 der Engländer Thomas Newcomen.



Der amerikanische Unternehmer Henry Ford führte 1913 das Fließband in seinem Betrieb in Detroit ein. Damit lief die Produktion von Autos wesentlich schneller als zuvor. Die Autos wurden billiger und immer mehr Menschen konnten sich ein eigenes Fahrzeug leisten.



Roboter werden in der Zukunft viele Arbeiten übernehmen, die heute noch von Menschen erledigt werden. Wenn du eine Pizza bestellst, könnte die zum Beispiel von einem Pizzaservice-Roboter gebracht werden. Viele Menschen haben deshalb Angst, dass es für sie bald keine Arbeit mehr geben könnte.



Computer wurden ab den 1960er Jahren in Unternehmen eingesetzt. Es entstand der Beruf des Programmierers. Das ist ein Experte, der der Maschine ihre Arbeitsbefehle gibt. Dazu nutzt der Programmierer eine spezielle mathematische »Sprache«, die der Computer versteht.

Mitmachen und gewinnen

Wie möchtest du in einer Welt 4.0 leben?

- Welche Arbeit sollen Maschinen für dich übernehmen?
- Was möchtest du lieber selber tun?
- Welche Ideen und Wünsche hast du für deine Zukunft?

Schreibe uns deine Gedanken oder eine kurze Geschichte. Deine Zuschrift werden wir in unserer nächsten Ausgabe veröffentlichen.

Sende deinen Text oder ein Bild per E-Mail an:
mikromakro@publishnet.org

oder per Post an: Redaktion »MikroMakro«
c/o publishNET, Hoferstraße 1, 81737 München
Einsendeschluss ist der 1. September 2016

Bitte schreibe uns auch dein Alter (!) und deine Adresse.
Zu gewinnen gibt es diesmal das Buch *Roboter* von
Kultur & Technik-Autor Bernd Flessner.



Lupine statt Steak

Ausstellung Deutscher Zukunftspreis

Die Weltbevölkerung wächst rasant. Mehr als achteinhalb Milliarden Menschen werden die Erde 2030 bevölkern. Ideen, wie wir künftig alle satt werden, ohne dass die Umwelt kollabiert, gibt es viele. Im Fokus sind hochwertige Proteinquellen, die Fleisch ersetzen können. Genau hier bietet die Lupine unerwartete Möglichkeiten. Die einheimischen Lupinen sind Hülsenfrüchte, die aus ernährungsphysiologischer Sicht bedeutsame Proteine enthalten. Im Vergleich zum Futterbedarf eines Nutztieres benötigen Lupinen nur ein Fünftel der Anbaufläche, um die gleiche Proteinmenge zu produzieren.

Um diese vielversprechende Proteinquelle besser nutzen zu können, haben Stephanie Mittermair, Peter Eisner und Katrin Petersen vom Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung vor 27 Jahren in Freising das Projekt »Lebensmittelzutaten aus Lupinen – Beitrag zu ausgewogener Ernährung und verbesserter Proteinversorgung« ins Leben gerufen. »Es hat lange gedauert, bis wir soweit waren. Anfangs haben wir mit gelben Lupinen aus Italien gearbeitet.« Dann entwickelte das Forscherteam Verfahren für die bit-

tere Lupine. In Deutschland gelang es, erste Sorten der Süßlupine mit ganz geringem Alkaloidgehalt zu züchten. Mit diesen Sorten findet seit gut zehn Jahren eine intensivere Arbeit statt.

Aus bitteren Pflanzen werden genießbare Lebensmittel

Von den Samenkörnern wird zunächst die Schale entfernt. Die Samen werden flockiert und entölt. Mit diesem Verfahren gelingt es, einen großen Teil der Substanzen, die grün riechen, bitter schmecken oder die ein Bohnenaroma vermitteln, herauszulösen. Anschließend wird das Protein extrahiert. Dazu werden die Proteine mit Hilfe von Wasser aus den Flocken herausgelöst und aufkonzentriert. Übrig bleiben zwei Fraktionen: das gelöste Protein, daraus werden Eis und Milch produziert, und die restlichen Fasern. Diese eignen sich hervorragend als ballaststoffreicher Zusatz für Lebensmittel.

Die weichen und schneeweißen Fasern können wie Mehl verarbeitet werden. Man kann daraus zum Beispiel Pizzaböden zubereiten. »Das ist das Wertvolle an den Ballaststoffen aus der Lupine. Sie können in Applikationen eingesetzt werden, bei denen die Kon-

VIelfältige Lupine – Im Garten wächst sie farbenprächtig blühend und auch am Wegesrand oder an Straßenböschungen fühlt sich die bescheidene Pflanze wohl. Wilde Lupinen enthalten Alkaloide, die für den bitteren Geschmack verantwortlich sind und Fressfeinde abwehren. Bauern und Gärtner schätzen die Lupine, weil ihre Wurzeln den Boden tiefgründig lockern. Lupinen sind aber auch wertvolle Bienenpflanzen, was wiederum die Imker und Honigfreunde erfreut.

Weltweit gibt es circa 200 Arten. Einige von ihnen werden bereits seit über 2000 Jahren als Lebensmittel genutzt. In Südamerika und in Ägypten zählten Lupinen zu den Grundnahrungsmitteln. Die Lupinensamen wurden gewässert und anschließend in Essig und Öl oder in Salzlake eingelegt. Auch heute noch sind Lupinensamen in südlichen Ländern ein beliebter Snack, den es knusprig geröstet und gesalzen auch im Supermarkt zu kaufen gibt.



Das Ausstellungsmodul »Lupinen« im neuen Saal des Deutschen Zukunftspreises.



Kunstvolles Modell einer Lupinenschote, in der die Samen verborgen sind.

sumenten sonst sagen würden, das sieht mir zu natürlich aus. Viele Verbraucher wollen zum Beispiel einen Keks, der einfach nach Keks aussieht. Wir können mit dem Lupinenmehl einen gesunden, ballaststoffreichen Keks produzieren, der aber ganz ungesund aussieht«, erläutert Peter Eisner.

Alkaloide gegen Feinde

Der Alkaloidgehalt schützt die Lupine vor Fraßfeinden und Krankheiten. Über Jahrzehnte ist es den Menschen gelungen, bei der Pflanze die Komponenten herauszuzüchten, die unerwünscht waren und auch den Alkaloidgehalt so weit zu reduzieren, dass man die Produkte auch essen kann.

Seit 2011 gibt es Lupineneis zu kaufen. Heute hat sich die Produktpalette deutlich vergrößert. Es gibt Lupinenmilch, Lupinenkäse, Lupinenjoghurt oder -mayonnaise, -pudding und -teigwaren. Die Entwicklung ist noch in vollem Gange. »Der Markt reagiert sehr positiv mit deutlicher Nachfrage. Von den Supermärkten wird immer wieder nachgeordert, es entwickelt sich erfreulich«, berichtet Eisner.

Seit vielen Generationen wissen die Landwirte, dass die Lupine mit ihren tiefen Pfahlwurzeln den Bo-

den verbessert. Das wirkt sich positiv auf die Folgefrucht aus. Durch die natürliche Stickstoffanreicherung ist deutlich weniger Dünger nötig. Lupinen gelten daher als ideale Zwischenfrucht gegen Bodenermüdung. Schon Friedrich der Große brachte die Lupine aus Italien nach Deutschland mit, um seine Erträge beim Getreide zu steigern. Auf circa 20000 Hektar werden heute in Deutschland alkaloidarme Süßlupinen als Nutzpflanzen angebaut.

Preis des Bundespräsidenten

Das Forscherteam erhielt 2014 den Deutschen Zukunftspreis für Technik und Innovation, verliehen vom Bundespräsidenten Joachim Gauck. Die Auszeichnung kam noch mitten in der Forschungsarbeit. Peter Eisner: »Den Juroren hat wahrscheinlich schon die Entwicklungsarbeit so gut geschmeckt, dass sie sich für diesen Preis entschieden haben.«

Die Ausstellung zum Deutschen Zukunftspreis

Die Dauerausstellung »Deutscher Zukunftspreis« ist wegen der Sanierungsarbeiten auf die Empore des Zentrums Neue Technologien umgezogen. Hier ist auch die Lupinenpräsentation neben weiteren preis-

gekrönten Projekten zu sehen. Die Ausstellungseinheit veranschaulicht die Arbeits- und Produktionsschritte von der Pflanze zum proteinreichen Nahrungsmittel Die einzelnen Projektinseln der Ausstellung laden sinnlich-spielerisch zur Beschäftigung mit dem jeweiligen Projekt, den wissenschaftlichen Grundlagen

und der Motivation der verschiedenen Forscherteams ein. Im Rahmen der Wiedereröffnung der Ausstellung zum Deutschen Zukunftspreis im Deutschen Museum erfolgte die Inauguration des Moduls zur Präsentation der Preisträger.

Beatrix Dargel

SZENERIEN UND ILLUSION

Reihe Abhandlungen und Berichte

Neu erschienen in der Reihe »Abhandlungen und Berichte des Deutschen Museums« ist ein Band mit wissenschaftlichen, aber – wie in dieser Reihe üblich – für jedermann gut lesbaren Aufsätzen zu Dioramen in Museen.

Die Autorinnen und Autoren erzählen die ebenso lange wie faszinierende Geschichte des Dioramas nicht nur anhand bekannter Beispiele aus Naturkunde und Ethnologie, sondern zeigen auch, wie archäologische, technische und naturwissenschaftliche Museen und Sammlungen weltweit dessen Potenziale nutzen. Der thematische Bogen spannt sich vom orientalischen Drogen- und Parfümladen bis zum Holocaust. Ein Schwerpunkt liegt auf den Dioramen des Deutschen Museums.

Alexander Gall, Helmuth Trischler (Hrsg.), *Szenarien und Illusion. Geschichte, Varianten und Potenziale von Museumsdioramen. Abhandlungen und Berichte, Neue Folge, Band 32, Göttingen 2016, 472 S. mit 135, ca. zur Hälfte farbigen Abb., geb., Schutzumschlag, ISBN 978-3-8353-1798-7, 39,90 Euro*





Der reparaturbedürftige Schwergut-Ladebaum der »Etha Rickmers« wartet auf Instandsetzung durch den ehrenamtlichen Technikerservice des Deutschen Museums.

Der ehrenamtliche Technikerservice

Die Mitarbeiter vom ehrenamtlichen Technikerservice (ETS) sind die guten Geister des Deutschen Museums. Ohne der von ihnen gepflegten »Kultur der Reparatur« wäre vieles anders auf der Isarinsel.

Einen Tag im Monat nimmt sich jeweils ein Mitglied des ehrenamtlichen Technikerservice des Deutschen Museums Zeit, um mit einem Mitarbeiter der Museumswerkstätten durch sämtliche Abteilungen des Hauses zu gehen. Gemeinsam wird nach Demonstrationsobjekten gefahndet, die nicht mehr funktionieren.

Seit 2007 gibt es dieses Serviceteam. Ins Leben gerufen wurde es

von Norbert Buchali und drei weiteren ehrenamtlichen Mitarbeitern des Deutschen Museums. Sie ärgerten sich schon seit längerem über nicht funktionierende Experimente und überlegten sich, wie sie das Haus bei der zeitnahen Reparatur unterstützen könnten. Denn auch im Zeitalter von virtuellen Realitäten und Bildschirmpräsentationen: gerade die Knopfdruckexperimente sind bei den Besuchern sehr beliebt.

Das Steuerhaus der »Adolph Woermann« im Untergeschoss der Abteilung Schifffahrt wurde überholt.

Der Druckknopf ist instandgesetzt, die Brunnenanlage der alten Saline in Bad Reichenhall funktioniert wieder. Zwei oberflächliche Wasserräder treiben die Gestängepumpen an.



»1,5 Millionen Besucher zählt das Deutsche Museum im Jahr! Da kann man sich ausrechnen, dass die Demonstrationsobjekte durchschnittlich vier Stunden am Tag im Dauerbetrieb sind«, rechnet Norbert Buchali vor. Und so mancher Besucher geht mit ihnen nicht allzu pfleglich um. Kein Wunder, dass sie immer wieder einmal ihren Dienst verweigern. »Bei meinen Diensten als Museumsaufsicht habe ich viele Demonstrationen gesehen, die defekt waren. Die Werkstätten sind mit der Arbeit einfach nicht mehr nachgekommen.«

Generaldirektor Wolfgang Heckl war von der Idee der Ehrenamtlichen sofort begeistert. Der Gedanke des Reparierens ist Heckl ein Herzensanliegen, so dass er gerne seine Unterstützung zusagte. Hinzu kommt, dass die nicht funktionierenden Hands-on-Stationen

von den Besuchern immer wieder kritisiert werden. Nach dem »Go« durch die Museumsleitung fanden sich rasch weitere technisch versierte Museumsfreunde, die gerne mitmachen wollten. Auf 25 Helfer ist das Team des ETS mittlerweile angewachsen.

Die Arbeit geht dem ETS nicht aus: Nach der Bestandsaufnahme trifft sich das Team jeden ersten Donnerstag im Monat zum Jour fixe. Dort wird ein Arbeitsplan erstellt: In der Abteilung Physik ist die Demonstration »Druck in ruhenden Gasen« defekt, in der Schifffahrt streikt das »Echolot«, ein »Schwergut-« und der »Leichtgutladebaum« bewegen sich nicht mehr. Die Demonstration »Vergasung von Braunkohle im Hochtemperatur-Winkler-Vergaser« im Bergwerk funktioniert ebenso wenig wie

der »Fahrsimulator« im Verkehrszentrum. Jeweils zu zweit gehen die Freiwilligen des ETS an die Arbeit. Einfache Schäden werden vor Ort repariert. Sind die Defekte schwerwiegender, dann muss ein Ausstellungsobjekt auch schon einmal abmontiert werden. Das Team verfügt über einen eigenen Arbeitsraum, in dem die Reparatur in diesen Fällen in aller Ruhe und Sorgfalt stattfinden kann.

Alle Mitglieder des ETS sind handwerklich und technisch versiert. Wichtig ist ihnen allerdings, keine Konkurrenz zu den angestellten Mitarbeitern der Museumswerkstätten aufzubauen. Man möchte entlasten und mithelfen. Die Museumswerkstätten sind daher immer die letzte Instanz. Alle Reparaturen erfolgen in ihrem Auftrag und werden am Ende auch von ihnen kontrolliert.

Monika Czernin

Wer kann mitmachen?

Im ETS arbeiten Ruheständler, mit einer technisch-handwerklichen Ausbildung. Derzeit hat das Deut-

sche Museum allerdings genügend ehrenamtliche Helfer. Wenn Sie Interesse haben, lohnt es sich dennoch, regelmäßig auf der Website unter »Ehrenamt« nachzusehen, ob es wieder Bedarf gibt.

Unterstützen Sie den Freundeskreis des Deutschen Museums!

Jahresbeitrag:

- 500 Euro für persönliche Mitgliedschaften
- 250 Euro für Juniormitgliedschaften (bis 35 Jahre)
- 2500 Euro für Mitgliedschaften mittelständischer Unternehmen nach EU-Norm
- 5000 Euro für Mitgliedschaften großer Unternehmen

Kontakt:

Freundes- und Förderkreis
Deutsches Museum e. V.
Museumsinsel 1 · 80538 München

Ihre Ansprechpartnerin:

Claudine Koschmieder
Tel. 089/2179-314
Fax 089/2179-425
c.koschmieder@
deutsches-museum.de

EXPERIMENTIERWERKSTATT

TINKERING & HANDS-ON SPACE

Die neue Experimentier-Werkstatt in der Physik-Ausstellung (Ebene 1)



Geheimnisse des Lichts

Die Experimentier-Werkstatt in der Physik-Ausstellung



Durch eine Wärmebildkamera sieht die Welt gleich ganz anders aus.

Die Experimentier-Werkstatt bietet Anregungen, um zu Hause weiterzutüfteln.

Auch der Generaldirektor des Deutschen Museums, Wolfgang M. Heckl ist von den Möglichkeiten der neuen Experimentier-Werkstatt begeistert. »Man sieht, wie einfach etwa ein Spektrometer gebaut werden kann. Eine Weinkiste schwarz auskleiden, einen Schlitz ins Papier schneiden, dann eine Webkamera davor und einen kleinen Filter. Den kann man im Museumsshop kaufen.« Wolfgang M. Heckl ist sich bei den jungen Besuchern sicher: »Das werden die Wissenschaftler, Physiker, Chemiker, Maschinenbauer und Handwerker der Zukunft.«

Schatten an der Wand

Spiele mit Licht und Schatten – vielen von uns sind sie noch aus Kindertagen in Erinnerung. In einem dunklen Raum bewegen sich Schatten an der Wand. Der übergroße Wolf sperrt sein Maul auf und will das arglose Häschen, als willkommene Mahlzeit, verspeisen. Und da ist ein Gespenst, flattert eine Fledermaus oder ein ganz unbekanntes Wesen, der eigenen

Fantasie entsprungen. Hände vor einer Lichtquelle zaubern solche Schattenspiele an die Wand. Seit Generationen haben diese einfachen Spiele einen großen Unterhaltungswert und nichts von ihrer Faszination verloren. Wie wäre es, diese Spiele mit farbigem Licht zu erweitern? Einfach zu Hause einen Raum abdunkeln und weiter experimentieren.

Farbige Schatten. Wie entstehen sie?

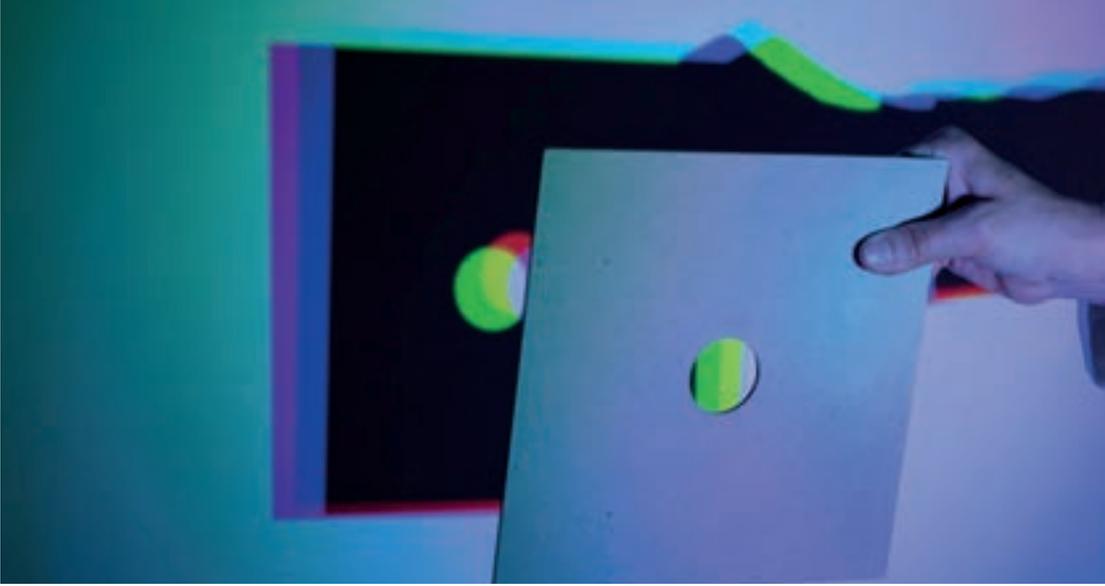
Im Deutschen Museum, in der Experimentier-Werkstatt der Physik-Ausstellung, in der »Black Box«, der Dunkelkammer, einem schwarzen Raum, wird dieses Geheimnis gelüftet. Hier stehen Lichtstrahler mit farbigem Licht: Rot, Grün und Blau. An der Stelle, wo alle drei Farben vereint zusammentreffen, entsteht ein weißer Lichtfleck. Bringt man in diesen Lichtkegel ein Objekt ein, sind farbige Schatten zu sehen. Es verbirgt sich immer eine Lichtquelle hinter dem Objekt, manchmal sind es auch zwei Lichtquellen. Dann sind all diese Farbanteile zu erkennen, die sich im weißen Licht befinden. Eine Lochblende macht das farbige Licht sichtbar. Wird die Lochblende hin und her bewegt, überlagern sich der grüne und der

Vorbeikommen, Zuschauen, Mitmachen. Dazu lädt die neue Experimentier-Werkstatt seit Anfang Mai 2016, große und kleine Museumsbesucher ein. Testen Sie am Spektrometer, ob Ihre Brille UV-Licht abhält. In der »Black Box« sorgt ein grüner Laserstrahl für rotes Leuchten. Wieso? Lüften Sie dieses und andere Geheimnisse des Lichts und der Physik.

In der großzügigen Experimentier-Werkstatt, mit Licht und »Black

Box«, werden Physik und Technik greifbar. Ein schönes Ergebnis zum Mitnehmen bietet unter anderem die Beschäftigung mit UV-Licht.

Die Projektleiterin Jutta Schlögl und ihr Team hatten nur wenig Ausrüstung für die Werkstatt fertig eingekauft. Viele Dinge entwickelten sie im Vorfeld so, dass man versteht, was bei den Experimenten passiert. Versuche mit Alltagsgegenständen und dem eigenen Han-



In der »Black Box« erfährt man anschaulich, wie weißes Licht zusammengesetzt ist.



Ein junger Forscher untersucht das Licht einer Glühlampe am Spektrometer.

rote Lichtanteil. Dieses Licht summiert sich zu Gelb auf. Die Lichtfarben werden gemischt.

Und damit kann gleich experimentiert werden. Eine Zitrone beispielsweise ist plötzlich rot. In weißem Licht ist die Zitrone gelb, wie sie jeder kennt. Denn die Zitrone absorbiert vor allem den blauen Anteil aus dem Licht. Wird die Zitrone mit einer Lichtmischung aus Rot und Blau beleuchtet, also mit dem Farbton »Magenta«, dann

erscheint die Zitrone rot, weil nur der blaue Lichtanteil absorbiert wird. Trifft nur blaues Licht auf die Frucht, dann nimmt sie dieses blaue Licht komplett in sich auf und zu sehen ist eine fast schwarze Zitrone.

Grüner Laser und rotes Leuchten

In der »Black Box« finden auch Experimente mit farbigen, fest eingebauten Lasern statt. Eine kleine Ne-

belmaschine lässt den Laserstrahl sichtbar werden und nicht nur den Punkt, der auf die Wand auftrifft. Was geschieht, wenn Laserlicht durch verschiedene Flüssigkeiten fällt? Projektleiterin Jutta Schlögl: »Da geschehen nette Dinge. Ein grüner Laser regt in Olivenöl das Chlorophyll an und dann leuchtet es rot in diesem Bereich.«

Die Experimentier-Werkstatt ist seit Anfang Mai 2016 für Besucher geöffnet. Schulklassen und Besu-

cher aller Altersstufen können hier nach Anmeldung kommen. Momentan sind drei Workshops auf der Internetseite buchbar. Vorerst liegt der Schwerpunkt im optischen Bereich. Später sind weitere Themen geplant: Werkstoffe, Mechanik, Elektronik und Elektrotechnik.

Ermöglicht wurde der moderne Mitmachbereich durch die finanzielle Unterstützung der Preisträger des Deutschen Zukunftspreises von 2013 (Thema: Ultrakurzpuls-Laser für die industrielle Massenfertigung – Produzieren mit Lichtblitzen). Nähere Informationen zu Preisträgern und Thema sind in der wieder eröffneten Ausstellung zum Deutschen Zukunftspreis, in der »Hall of Fame« im Deutschen Museum zu finden.

Regelmäßig findet in der Experimentier-Werkstatt eine offene Werkstatt statt mit wechselnden Themen, beispielsweise zum 3-D-Drucken oder Experimentieren. An diesen Tagen können Besucher auch unangemeldet hereinkommen und mitmachen, fünf Minuten oder eine Stunde bleiben, wie sie eben wollen, um Licht zu »zerlegen« und die Geheimnisse des Lichts zu ergründen – oder bei anderen, angebotenen Experimenten mitmachen. *Beatrix Dargel*



Die Kaffeefälscher

Nichts schmeckt so gut, wie eine Tasse Bohnenkaffee? Stimmt, denn an der künstlichen Herstellung des Kaffeearomas beißt sich die Chemie seit über hundert Jahren die Zähne aus. Die Erforschung eines authentischen Ersatzes für das beliebte Getränk ist eine spannende Geschichte, an deren Ende zwar keine gute Tasse Kaffee steht, aber ein Nobelpreis und der Erfolg eines Weltkonzerns. Von Claus Priesner

Als sich im 17. Jahrhundert die Geistesrichtung der Aufklärung durchsetzte, begann der Siegeszug eines Getränks, das zum weltweit am häufigsten konsumierten Genussmittel wurde. Pro Tag werden heute etwa zweieinhalb Milliarden Tassen Kaffee getrunken. Dem Ziel der Aufklärer, die Welt mit den Augen der Vernunft zu betrachten, kam der Kaffee einst durch seine anregende und wachmachende Wirkung sehr entgegen. Vor seiner Verbreitung trank man in Europa gerne Wein oder Bier, da Trinkwasser häufig – vor allem in den Städten – mit Bakterien und anderen Schadstoffen belastet war. Beides enthält Alkohol, der keimtötende Wirkung hat. Bier wird zudem mit kochendem Wasser gebraut. Kaffee dagegen wird nicht nur mit kochendem Wasser gebrüht sondern auch heiß getrunken. Zu dieser Neuerung kam die wachmachende und konzentrationsfördernde Wirkung des Alkaloids Coffein, das 1820 von Friedlieb Ferdinand Runge (1794–1867) iso-

Das Wiener Kaffeehaus gehört heute zum immateriellen Weltkulturerbe. Hier traf man sich zum Spiel oder Gespräch, las seine Zeitung, schrieb Romane oder ließ den Tag verstreichen während der Kaffeekocher den dunklen Trank für seine Gäste zubereitete. (Gemälde, Künstler unbekannt, 1839)

liert und 1895 von Emil Fischer (1852–1919, Nobelpreis für Chemie 1902) erstmals synthetisch hergestellt wurde.

Im Gegensatz zum Tee war Kaffee damals weitgehend unbekannt. Sein Geschmack, sein Geruch, sein Aussehen und seine Wirkung waren neu und überraschend. Die beim Rösten der Kaffeebohnen gebildeten Aromastoffe verliehen dem Getränk einen angenehmen Geschmack und verlockenden Duft. Allerdings war »echter« Kaffee, also Bohnenkaffee, teuer und musste gegen harte Devisen importiert werden. Ein weiterer Nachteil des Kaffees – zumindest in den Augen des herrschenden Adels – war seine anregende Wirkung. Kaffee, so befürchtete man, könnte, vor allem wenn er in Kaffeehäusern gemeinsam konsumiert werde, unliebsame politische Debatten anregen. Das Bürgertum hatte durch seine wachsende wirtschaftliche Macht zunehmende politische Bedeutung erlangt, welche Adligen und Klerus Anlass zur Sorge gab. Immerhin war es eine Rede vor dem Café de Foy in Paris gewesen, mit der der Journalist und Rechtsanwalt Camille Desmoulins (1760–1794) am 12. Juli 1789 einen Bürgerprotest auslöste, der zum Sturm auf die Bastille und zur Französischen Revolution führte. Der hohe Preis der Kaffeebohnen und wohl auch die Angst vor seinem politischen Gefährdungspotential führten daher schon bald nach der Einführung des Bohnenkaffees zu Bemühungen, diesen durch einheimische Produkte ohne Coffein zu ersetzen.

Die Erfindung des Zichorienkaffees

Der erste erfolgreiche »Ersatzkaffee« war der Zichorienkaffee. Die Zichorie, eine Unterart der Wegwarte, war schon lange als Heilpflanze bekannt. Der Erfinder des Zichorienkaffees war der »Kunst- und Lustgärtner« J. D. Timme. Timme, dessen Geburtsjahr und Vornamen unbekannt sind, war vermutlich von 1723 bis 1749 Hofgärtner der Fürsten von Schwarzburg-Sondershausen in Arnstadt, Thüringen. 1750 stellte Timme Versuche mit der getrockneten, gerösteten und pulverisierten Wurzel der »Edelzichorie« an und erhielt einen dunkel gefärbten, ziemlich bitteren Extrakt. 1769 gründete ein gewisser Christian Gottlieb Förster zusammen mit



Dicht nebeneinander hängen die Früchte des Kaffeestrauches.

Christian v. Heine in Braunschweig die erste Fabrik zur Erzeugung von Zichorienkaffee und erhielt ein Fabrikationsprivileg von Herzog Carl zu Braunschweig und Lüneburg. 1770 erteilte auch König Friedrich II. von Preußen eine entsprechende Konzession, worauf 1771 eine weitere Fabrik in Berlin errichtet wurde. Da man Probleme mit der ausreichenden Beschaffung von Zichorienwurzeln hatte, lief das Geschäft jedoch nicht so gut wie von den Unternehmern erhofft. Förster und Heine zerstritten sich, Heine schied aus dem Unternehmen aus, die Fabrik in Braunschweig wurde geschlossen und 1773 in Wandsbek eine neue gebaut, was aber den Bankrott nicht mehr aufhalten konnte.

Andere Unternehmer traten an ihre Stelle und bald folgte ein kontinuierlicher Aufschwung, der durch die Kontinentalsperre Napoleons noch verstärkt wurde. In den 1820er Jahren existierten bereits zahlreiche Fabriken in Nord-, Mittel- und Südwestdeutschland. Zum dominierenden Unternehmen der Branche wurde eine 1828 in Vaihingen (Württemberg) von Johann Heinrich Franck (1792–1862) gegründete Firma. Bereits 1913 existierten 27 Fabriken der Firma »Franck« in elf Staaten. Der Zichorienkaffee und andere Ersatzkaffees machten damals schon einen erheblichen Teil der Versorgung der Bevölkerung mit Heißgetränken aus. In einem Aufsatz zur Geschichte des Zichorienkaffees von 1938 wird die Zichorie sogar als »ständige Begleiterin des Kaffees« gerühmt.

Ziemlich bitter schmeckt Kaffeeersatz aus der Wurzel der Zichorie.



Der Malzkaffee und die Firma Kathreiner

Ersatzkaffee-Konsumenten schienen generell wenig Wert auf eine tatsächliche Ähnlichkeit ihres Getränks mit echtem Bohnenkaffee zu legen. Erst im Zuge der Lebensreformbewegung, die die Industrialisierung und die damit verbundene zivilisatorische Entwicklung sehr kritisch sah und die Rückkehr zu einer »natürlichen« Lebensweise propagierte, rückte der fehlende Nährwert des Zichorienkaffees in den Fokus einer öffentlichen Debatte. In den Augen der Lebensreformer ersetzte Zichorienkaffee lediglich einen sinnlosen Konsumartikel (Bohnenkaffee) durch einen anderen, ebenso sinnlosen. Beide galten als überflüssig, weil sie keinen Nährwert besaßen und der echte Kaffee überdies noch »nervös« mache.



Kaffeebohnen waren teuer und über die Wirkung des Koffeins gingen die Ansichten auseinander. Daher begann man im ausgehenden 18. Jahrhundert nach einheimischen Ersatzstoffen für das beliebte Getränk zu suchen.

men habe. Diese Kritik wurde schließlich bei »Kathreiners Malzkaffee« berücksichtigt. Anstelle der praktisch kalorienfreien Zichorienwurzel verwendete dieses Kaffee-Surrogat Gerstenmalz als Basis. 1890 engagierte die Firma Kathreiner den Lebensmittelchemiker Heinrich Trillich, einen langjährigen Mitarbeiter Max v. Pettenkofers an der »Kgl. Untersuchungsanstalt für Nahrungs- und Genussmittel« in München, zur Entwicklung eines nahrhaften Malzkaffees. Trillich, einer der fähigsten Nahrungsmittel-Chemiker der damaligen Zeit, kam auf die Idee, »dem Kaffeemalz koffeinfreien Bohnenkaffee-Extrakt zuzusetzen, womit eine höchstmögliche Annäherung an den Geschmack des echten Bohnenkaffees erzielt wurde«. Es gelang, den Pfarrer und prominenten Lebensreformvertreter Sebastian Kneipp (1821–1897), für den der Kaffeestrauch eine »Giftpflanze« und ein »Menschenmörder« war, als Mitstreiter und Werbeträger zu gewinnen, und schon 1891 brachte Kathreiner mit dem noch heute erhältlichen »Kneipp Malzkaffee« einen der größten Verkaufserfolge in der Geschichte des Ersatzkaffees heraus. Zwar gab es vorher schon Malzkaffees, aber erst der »Kathreiner-Malzkaffee« konnte – dank des Zusatzes von Bohnenkaffee – geschmacklich überzeugen. Zichorienkaffee dagegen entsprach zunehmend weniger dem Publikumsgeschmack.

Der Hygieniker Max v. Pettenkofer (1883–1901) bezeichnete den Kaffee daher als »Peitsche ohne Hafer«.

1882 stellte der Armenarzt und Fabrikinspektor Fridolin Schuler fest, »dass die Fabrikbevölkerung den Genussmitteln im Allgemeinen einen außerordentlich hohen Wert beimesse und ein starkes Bedürfnis danach bekunde, da die stete Aufmerksamkeit der Arbeiter unabweislich die Zufuhr von Genussmitteln verlange«. Schuler kam es offenbar darauf an, dass diese Genussmittel auch wirklich eine anregende Wirkung hatten, die nur durch das Coffein des echten Kaffees zustande kommen konnte. Er kritisierte nicht den Gebrauch von Ersatzkaffee solange dieser dem Bohnenkaffee in mäßigen Dosen zugemischt werde, konstatierte aber: »Ein wahres Unglück ist's aber, dass mit solcher Frechheit Kaffee-Extrakte, -Essenzen etc. dem Arbeiter angeboten werden, die angeblich die wirksamen Stoffe des eigentlichen Kaffees enthalten, in Wirklichkeit aber die werthlosesten Präparate ohne die mindeste Verwandtschaft mit den Kaffeebohnen sind.«

Damit nahm Schuler eine damals kaum verbreitete Position ein, indem er nämlich verlangte, dass der Ersatzkaffee dem echten Kaffee hinsichtlich seiner Inhaltsstoffe und seiner Wirkung zumindest einigermaßen nahe zu kom-

Ersatzkaffee und Weltkrieg

In Friedenszeiten war es kein Problem, die Nachfrage nach Zichorien- und Malzkaffee zu befriedigen, wohl aber nach Ausbruch des Ersten Weltkrieges. Aufgrund der Seeblockade der »Achsenmächte« durch die britische Marine gab es bald keinen Bohnenkaffee mehr zu kaufen, was die Nachfrage nach Surrogaten stark steigen ließ. Im Verlauf des Krieges wurden immer mehr Rationierungsmaßnahmen nötig und ab Oktober 1917 durfte Malzkaffee nur noch für Heer und Marine fabriziert werden. Dies führte in der Bevölkerung zu beträchtlichem Unmut, denn, »eine Tasse heißen »Kaffees« als erstes Frühstücksgetränk ist für die meisten Deutschen ein derartiges Gewohnheitsbedürfnis, dass Kaffee-Ersatz ein Zwang der Notwendigkeit ist; die im Frieden gebräuchlichen Ersatzstoffe aber reichen – selbst in der friedensmäßig erzeugten Menge – auch nicht annähernd aus, den riesenhaft gestiegenen Bedarf zu decken.«



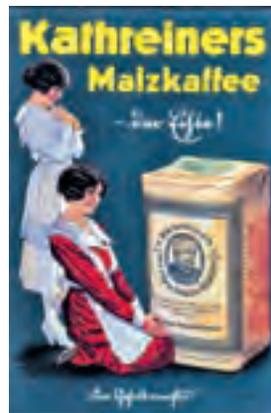
Zu diesem Fazit kam im selben Monat Oktober 1917 ein Teilnehmer der 15. Hauptversammlung der Deutschen Nahrungsmittelchemiker in Berlin. Dort diskutierte man über Alternativsubstanzen, quasi einen Ersatz für Ersatzkaffee. Die Ansprüche waren dabei denkbar gering. Einer der Experten drückte es so aus: »Vom Kaffee-Ersatz ist also zu verlangen: Gutes Färbevermögen, in den meisten Fällen gleichbedeutend mit Ausgiebigkeit, kein abschreckender Geschmack (ich drücke mich vorsichtig aus), Gehalt an Aromastoffen, Abwesenheit von schädlichen Stoffen, von verdorbenen Stoffen, von reinen Beschwerungsmitteln.« Entscheidend war letztlich nur die ausreichende Verfügbarkeit des Ersatzmaterials – im Idealfall ohne dass dazu Anbauflächen für andere wichtige Agrarprodukte in Anspruch genommen werden mussten.

Schließlich wurde die Frage erörtert, ob es sinnvoll sei, eine Anregung des Chemie-Nobelpreisträgers Emil Fischer aufzugreifen und während des Krieges den Ersatzkaffees synthetisches Coffein zuzusetzen. Der Vorschlag wurde aber nicht weiter verfolgt, da man befürchtete, dass bei unsachgemäßer Zumischung des Coffeins Vergiftungen auftreten könnten.

»Ersatzstoffe« und Kaffee-Aroma

Einer der namhaftesten deutschen Chemiker der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts, der vor allem durch seine Forschungen zur Makromolekularchemie (diese behandelt die chemische Beschaffenheit von natürlichen und synthetischen Polymeren) bekannt wurde, war Hermann Staudinger (1881–1965, Nobelpreis für Chemie 1953). Nach Kriegsende konzentrierte sich Staudingers Interesse auf die Erforschung des Aromas von Bohnenkaffee und dessen synthetische Nachbildung. Das Ziel war, ein künstliches Aroma zu schaffen, das mit Malz- oder Zichorienkaffee gemischt, nicht nur die Farbe, sondern auch den Geruch und den Geschmack echten Bohnenkaffees imitieren würde. Allerdings unterschätzte er die Schwierigkeiten ganz erheblich, als er 1922 seinen Assistenten Tadeusz Reichstein (1897–1996, 1950 Nobelpreis für Medizin) damit betraute, ein künstliches Kaffeearoma zu fabrizieren.

Die Arbeiten Reichsteins wurden nicht, wie sonst üblich, als öffentlich finanzierte Hochschulforschung durchge-



Gerstenmalz war die Basis von Kathreiners Malzkaffee. Die Firma gewann Sebastian Kneipp als prominenten Werbeträger.

führt, sondern erfolgten im Auftrag der »Internationale(n) Nahrungs- und Genußmittel AG« (INGA), an der unter anderem die bereits erwähnten Unternehmen »Franck« und »Kathreiner« beteiligt waren. Daher durfte Reichstein seine Ergebnisse nicht in wissenschaftlichen Fachzeitschriften publizieren. Über die benutzten Methoden und die erzielten Ergebnisse sind wir nur durch die entsprechenden Patentschriften sowie durch Archivalien informiert, die dem Archiv der Firma Haarmann & Reimer (H&R) entstammen, dem damals (und bis heute) führenden Hersteller synthetischer und natürlicher Aromaextrakte. Das Unternehmen sollte im Auftrag der INGA die Produktion des künstlichen Kaffee-Aromas übernehmen. Als Markenname war die Bezeichnung »Coffarom« vorgesehen.

Die Forschungen von Tadeusz Reichstein

Um das Aroma des Kaffees, also die Gesamtheit seiner Geschmacks- und Geruchsstoffe, imitieren zu können, musste man natürlich erst einmal herausfinden, wie dieses Aroma zusammengesetzt war. Das Deutsche Reichspatent Nummer 457266, erteilt am 24. Januar 1925, trägt den Titel »Verfahren zur Gewinnung der Aromastoffe aus geröstetem Kaffee«. Bislang hatte man die Aromastoffe des Bohnenkaffees durch Erhitzen des gerösteten Kaffees im Vakuum und Auffangen des Destillats in einer auf -20°C gekühlten Vorlage gewonnen. Damit konnte man allerdings nur einen kleinen Teil der aromabildenden Substanzen isolieren, weshalb das neue Patent eine Kühlung mit flüssigem Stickstoff vorsah. Zur Trennung der Komponenten konnte man unterschiedlich stark gekühlte Vorlagen verwenden. Durch Zusammenmischen sämtlicher Kondensate erhielt man ein Produkt, »das völlig dem Kaffeearoma gleicht, da es alle Bestandteile desselben enthält.«

Das Verfahren zur Extraktion des Gesamtaromas war für die 1920er Jahre labortechnisch anspruchsvoll aber durchaus beherrschbar. Die eigentliche Schwierigkeit bestand in der Isolierung einzelner Komponenten des Gemischs und deren chemische Charakterisierung. Hier ging Reichstein an die Grenzen des damals Möglichen, denn zur Trennung der Bestandteile stand lediglich die fraktionierte Destillation zur Verfügung (der erste Gaschromatograph



Englische Arbeiter
verladen Zichorienwurzeln
zum Transport in eine
Rösterei um 1932.

Zum Weiterlesen:

Claus Priesner, *Von Coffarom zu Nescafé. Ein synthetisches Kaffeearoma*. In: *Chemie in unserer Zeit* Heft 1, 2014, S. 22-35.

Tom Standage, *Kaffee im Zeitalter der Vernunft*, in: ders., *Sechs Getränke, die die Welt bewegten*, 2007, S. 122-159.

Roman Rossfeld, *»Ein Mittel Kaffee ohne Kaffee zu machen«: Zur Geschichte der schweizerischen Zichorien- und Kaffeesorrogat-Industrie im 19. und 20. Jh.*, in: ders. (Hg.), *Genuß und Nüchternheit. Geschichte des Kaffees in der Schweiz vom 18. Jh. bis zur Gegenwart*, 2002, S. 226-55.

Albert Pfiffner, *»A real winner one day«: Die Entwicklung des »Nescafé« in den 1930er Jahren*, in: Rossfeld, *Genuß und Nüchternheit*, S.123-47.

Wolfgang Schivelbusch, *Der Kaffee und die protestantische Ethik*, in: ders., *Das Paradies, der Geschmack und die Vernunft*, 1980, S. 25-95.

wurde erst 1951 gebaut). Ebenso konnten die einzelnen Komponenten nur mit Hilfe klassisch organisch-chemischer Analyseverfahren identifiziert werden, da spektroskopische Methoden ebenfalls noch nicht bekannt waren, was bei der großen Flüchtigkeit vieler Komponenten und bei der sehr geringen Menge in der sie gewonnen wurden – diese lag in manchen Fällen bei Bruchteilen eines Gramms – mit enormen experimentellen Schwierigkeiten verbunden war. Zudem darf nicht vergessen werden, dass es sich bei den gefundenen Aromastoffen vielfach um noch unbekannte Moleküle handelte, für welche erst Synthesen entwickelt werden mussten. Bedenkt man diese Hürden und Probleme, sind die Leistungen Reichsteins und anderer beteiligter Chemiker in höchstem Maß bewundernswert.

Als ein wesentlicher Bestandteil des natürlichen Kaffee-Aromas wurde ein Stoff bestimmt, der in reiner Form schon in winzigen Mengen einen unerträglichen Gestank verbreitet: Das »Furfurylmercaptan«. Das Geheimnis liegt hier in der Konzentration: In sehr hoher Verdünnung duftet diese organische Schwefelverbindung angenehm. Sie allein würde aber auch dann noch nicht an das Aroma von Bohnenkaffee erinnern. Erst die Zumischung weiterer Komponenten, viele davon in winzigen Mengen, ergibt ein dem natürliche Aroma zumindest ähnliches Ergebnis.

Mit dem Deutschen Reichspatent 489613, erteilt am 5. November 1925, wurde schließlich ein synthetisches Aroma geschützt. Der Titel des Patents lautete: »Verfahren zur Herstellung eines Produktes, welches für die Aromatisierung von Nahrungs- und Genußmitteln, insbesondere von Kaffeesurrogaten, bestimmt ist.« Einleitend heißt es in

der Patentschrift: »Gegenstand der Erfindung ist die Herstellung von künstlichem Kaffeearoma durch Vermischen der im ätherischem Öl des gerösteten Kaffees nachgewiesenen oder in ihrer Wirkung ähnlichen Substanzen, welche entweder künstlich hergestellt oder aus Naturprodukten gewonnen werden, sowie die Verwendung der erhaltenen Produkte, um das Aroma des gerösteten Kaffees anderen Stoffen zu verleihen.« Es ging also darum, das natürliche Aroma zu analysieren und ein synthetisches Aroma zu mischen, das aus den gefundenen Substanzen und/oder aus »in ihrer Wirkung ähnlichen«, aber im Naturaroma nicht enthaltenen Molekülen bestand. Der Grund hierfür liegt in der teilweise sehr schwierigen und aufwendigen Synthese vieler Naturstoffe. Es hatte sich bereits gezeigt, dass das natürliche Kaffee-Aroma aus sehr vielen Einzelsubstanzen besteht. Heute weiß man, dass darin fast 1000 verschiedene Stoffe enthalten sind.

Aromarezepte in der Patentschrift

In der Patentschrift folgen einige Beispiele für synthetische Aromamischungen. Dieses Vorgehen war und ist etwas ungewöhnlich, aber sehr zweckmäßig, da dadurch verhindert wurde, dass ein Konkurrent lediglich einen oder zwei Bestandteile hinzufügen oder die Mischungsverhältnisse variieren musste, um den Patentschutz zu umgehen. Das einfachste der Beispielpatente lautet: »6 Teile Acetylpropionyl, Methyläthylacetaldehyd, 4 Teile Acetaldehyd, 4 Teile Furfurol, 0,4 Teile Methylmercaptan werden zusammengemischt. Es wird dann Schwefelwasserstoff kurze Zeit eingeleitet, wobei die Mischung mit Aceton oder Alkohol, Fetten oder Ölen verdünnt werden kann. ... Von dem obenstehenden Gemische werden etwa 2 bis 10 Teile zur Aromatisierung von 1000 Teilen Nahrungs- oder Genußmitteln gebraucht, z. B. werden 3 Teile der Mischung von [Beispiel] Nr. 3 in 10 Teilen Rüböl gelöst, mit 100 Teilen Getreidekaffee oder Zichorie innig vermengt und weiter 1000 Teile Kaffeesurrogate zugemischt.«

Irgendwelche Untersuchungen zur möglichen Gesundheitsschädlichkeit der verwendeten Komponenten wurden offenbar nicht angestellt. Man ging davon aus, dass die Verdünnung der einzelnen Stoffe ausreicht, um sie ungefährlich zu machen.



Der Versuch, Kaffeearoma künstlich zu produzieren, scheiterte. Umso erfolgreicher war die Idee des Chemikers Max Morgenthalers, ein lösliches Kaffeepulver herzustellen. Mit »Nescafé« begann der Aufstieg der Firma Nestlé zum größten Nahrungsmittelkonzern der Welt.

die Verbraucher den Ersatzkaffee dem mit natürlichem Bohnenkaffee aufgehübschten Malzkaffee vorziehen würden. Dies erwies sich jedoch als unrealistisch.

Max Morgenthalers »Nescafé«

Der wirtschaftliche Erfolg stellte sich mit einem völlig anderen Konzept ein. Infolge einer Rekordernte in Brasilien war 1930/31 der Preis für Bohnenkaffee sehr stark gefallen und der Schweizer Lebensmittelkonzern Nestlé beauftragte den jungen Chemiker Max Morgenthaler mit der Entwicklung eines Kaffee-Extrakts, der sowohl haltbar (der Preis für Kaffee würde eventuell wieder steigen) wie auch rasch und einfach zuzubereiten sein sollte. Morgenthaler stellte nach der von Reichstein entwickelten Methode einen Kaffee-Extrakt her, konnte diesen aber nicht mit einer Trägersubstanz verbinden und haltbar machen. 1934 stellte Nestlé die Versuche ein.

Vielleicht wäre Nestlé heute noch einer von vielen kleinen Lebensmittelfabrikanten, wenn Morgenthaler nicht auf eigene Faust – und auf eigene Kosten – weitergeforcht hätte. Im Frühjahr 1936 entdeckte er, dass der Schlüssel zum Erfolg in der verwendeten Trägersubstanz liegt. Nicht Fette oder fettähnliche Substanzen, mit denen auch Reichstein und Kerschbaum experimentiert hatten, waren geeignet, sondern eine ganz bestimmte Art der Kohlenhydrate. Es kam sogar darauf an, die in der Kaffeebohne enthaltenen Fette soweit als möglich zu entfernen. Als Träger verwendete Morgenthaler schließlich eine sirupartige Mischung aus Maltodextrin und Glucose, die aus Weizenmehl, Reis oder Kartoffelstärke gewonnen wurde.

Am 1. April 1938 kam »Nescafé« auf den Markt und war sofort ein großer Erfolg. Der wirkliche Bedarf der Käufer lag nämlich nicht in einem mehr oder minder guten Ersatzkaffee, sondern im Instant-Kaffee. Das Naturprodukt Kaffee musste nur in eine rasche und unkomplizierte Zubereitungsform überführt werden. Für Nestlé brachte der lösliche Kaffee einen enormen wirtschaftlichen Aufschwung und es ist nicht übertrieben zu behaupten, dass Morgenthalers Instantkaffeepulver den Grundstein für die Expansion des Unternehmens zum größten Nahrungsmittelkonzern der Welt legte. ■■

Produktion des Coffaroms

Mit den Patenten war die Forschung noch lange nicht abgeschlossen, denn die Ergebnisse konnten weder geschmacklich noch geruchlich wirklich überzeugen. Im Frühjahr 1928 schloss die INGA einen Vertrag mit H&R zur Produktion des Coffaroms. Der mit der Durchführung betraute Chemiker, Max Kerschbaum, erwies sich als kongenialer Partner für Reichstein. Hunderte von Mischungen wurden hergestellt und von Versuchspersonen getestet. Gleichzeitig setzte man die Suche nach weiteren Komponenten fort. Wie sich zeigte, war es zwar möglich, ein »Coffarom« herzustellen, das ziemlich ähnlich wie Bohnenkaffee roch, leider aber nicht so schmeckte. Bei anderen Mischungen war wiederum der Geschmack einigermaßen akzeptabel, aber der Geruch stimmte nicht. Allen Bemühungen zum Trotz gelang es nicht, ein dem Aroma des Bohnenkaffees vergleichbares Kunstaroma zu erzeugen. (Dies gilt übrigens bis heute.)

Auch die Vermarktung des Coffaroms gestaltete sich unerwartet schwierig und bereits zwei Jahr nach Produktionsbeginn folgte das Aus. 1932 wurden auch die Aromaforschungen beendet. Die Gründe für das Scheitern der Entwicklung und Markteinführung des Coffaroms sind sowohl wissenschaftlicher wie ökonomischer Art. Chemisch und technisch hatte man die Schwierigkeiten erheblich unterschätzt, die mit der Analyse des natürlichen Kaffeearomas und mit der Entwicklung eines synthetischen Ersatzaromas verbunden waren. Andererseits hat die dabei verwendete Arbeitsmethode der organischen Mikroanalyse, die höchste experimentelle Anforderungen stellte und teilweise die Entwicklung neuer Arbeitsmethoden erforderte, die Voraussetzungen für Reichsteins spätere Arbeiten geschaffen, nämlich seine Untersuchungen der Hormone der Nebennierenrinde (Corticosteroide), die ihm den Nobelpreis einbrachten.

Aus ökonomischer Sicht beruhte die gesamte Coffarom-Forschung von Anfang an auf einer Fehleinschätzung der Gegebenheiten. Sowohl Staudinger wie auch die INGA und H&R gingen von der Annahme aus, dass Bohnenkaffee dauerhaft so teuer bleiben werde, dass es sich lohne, einen mit synthetischem Aroma verbesserten Ersatzkaffee aus Malz oder Zichorie zu produzieren. Sie hofften, dass



DER AUTOR

Prof. Dr. Claus Priesner lehrt als Wissenschaftshistoriker an der Ludwig-Maximilians-Universität in München. Seine Interessen gelten der Geschichte der Chemie und Alchemie, des Berg- und Hüttenwesens und der Drogen.

Der Feind im Kleiderschrank

Jetzt fliegen sie wieder, die graugelben kleinen Motten. Sobald es draußen wärmer wird, suchen sie nach geeigneten Plätzen, um den Fortbestand der Art zu sichern. Bis zu 250 einzelne Eier verteilt jedes Mottenweibchen auf Textilien, Teppichen und Polstermöbeln. Knapp eine Woche später beginnen die geschlüpften Larven meist unbemerkt mit ihrem Zerstörungswerk. Um dem gefräßigen Nachwuchs den Appetit zu verderben, brachte die Firma Bayer 1922 das »Motten-Eulan« auf den Markt. Von Elisabeth Vaupel und Michael Frings

Es ist zum Heulen: Das feine Wollkleid, der teure Kaschmirpullover und die neue Pelzjacke haben trotz Lavendelsäckchen und Zedernholzplättchen Löcher bekommen. Die edlen Stücke wurden von den Larven der Kleidermotte (*Tineola bisselliella*), vielleicht auch von den Larven der Pelzmotte (*Tinea pellionella*) aus der Familie der echten Motten (*Tineidae*) angeknabbert. Die gefräßigen Raupen ernähren sich von den typischen, in Wolle, Haaren und Federn enthaltenen Struktur- und Gerüsteweissen, die als Keratine bezeichnet werden und in der Haut und deren Anhangsgebilden wichtige Stützfunktionen über-



Drei bis viereinhalb Millimeter groß ist ein Teppichkäfer.

nehmen. Nur wenige Insekten sind in der Lage, Keratine zu verdauen, nicht nur die Larven der erwähnten Motten, sondern auch die Larven der Speckkäfer (*Dermestidae*), etwa die des dunklen Pelzkäfers (*Attagenus piceus* Olio), des gefleckten Pelzkäfers (*Attagenus pellio*) oder des Teppichkäfers (*Anthrenus scrophulariae*). All diese Organismen gehören zur sogenannten Kadaverfauna, die sich in der Natur neben Pilzen, Bakterien und anderen Insekten durch Keratinabbau an der Beseitigung von Tierleichen beteiligt. Die Schädlinge kommen deshalb auch nur auf totem keratinhaltigen Material vor, nicht aber im Fell, in

Linke Seite: Kopf einer Kleidermotte aus der Familie der echten Motten. Die Motte selbst frisst keine Löcher in Kleider oder Pelze. Sie legt hier nur ihre Eier ab. Die eigentlichen Schädlinge sind die Larven.



den Haaren oder den Federn lebender Organismen, auf denen sich allerdings durchaus andere unangenehme Insekten tummeln können. Durch die Zerstörung von Objekten aus tierischem Material – Wolltextilien, Teppichen, Fellen, Pelzen, Möbeln und Matratzen mit Rosshaarpolsterung, Tier- und Vogelpräparaten – richten die Larven dieser Insekten Jahr für Jahr enorme wirtschaftliche Schäden an. Die kleinen Räumchen häuten sich während ihres Wachstums mehrmals, bis sie sich schließlich in einem Kokon verpuppen, aus dem dann nach mehreren Tagen oder Wochen das fertige Insekt schlüpft. Die Larven der Kleidermotte befallen sowohl Roh- als auch bereits verarbeitete Wolle, besonders, wenn diese durch Speisereste oder Schweiß verschmutzt ist. Eine wichtige Maßnahme, um die unliebsamen Materialschädlinge fernzuhalten, ist daher Sauberkeit. Auch regelmäßige Bewegung der gefährdeten Gegenstände durch Schütteln, Bürsten oder Klopfen verhindert, dass sich die Motten- und Käferlarven dauerhaft an einer Stelle ansiedeln und dort ihre charakteristischen Löcher hineinfressen können.



Mittel gegen Mottenbefall

Als natürliche Mottenschutzmittel wurden jahrhundertlang aromatisch duftende Pflanzen wie Sadebaum, Rosmarin, Thymian, Myrte, Wermut, Zitronenschale, Anis, Lavendel, gemahlener Pfeffer oder Tabak, gelegentlich auch stark riechende, aus Naturprodukten isolierte Inhaltsstoffe wie der Kampfer verwendet, ferner Pyrethrum, ein ursprünglich aus dem Orient stammendes, unangenehm riechendes Insektenpulver aus fein vermahlenden Chrysanthemenblüten. Obwohl alle diese Mittel nicht zuverlässig vor Mottenfraß schützen und bestenfalls eine Teilwirkung entfalten, musste man mangels besserer Alternativen lange Zeit mit ihnen vorliebnehmen. Selbst das Pyrethrum, dessen Inhaltsstoffe, die Pyrethrine, in der Tat wirksame Insektizide sind und nachweislich als Insekten-Repellent fungieren, bot keinen wirksamen Schutz, weil das Pulver nicht tief genug in das Gewebe der Wollteppiche oder -textilien eindrang. Auch die ätherische Pflanzenextrakte enthaltenden Mottentinkturen, die auf Fließpapierstreifen aufgeträufelt zwischen die Kleidungsstücke gelegt wurden, waren weitgehend wirkungslos.

Die ersten wirksamen Mottenschutzmittel hatten ihre Entdeckung dem Aufschwung der chemischen Industrie in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts zu verdanken. Das Naphthalin, das sich um die Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert zunehmend als Mottenschutzmittel etablierte und in den Mottenkugeln steckte, die unsere Groß- und Urgroßmütter verwendeten, war ein aromatischer Kohlenwasserstoff mit ganz charakteristischem Geruch. Die Substanz wurde aus Steinkohlenteer isoliert, der Rohstoffquelle der Teerfarbenfabrikation. Neben dem Naphthalin setzte sich Anfang des 20. Jahrhunderts noch eine weitere Chemikalie als Schädlingsbekämpfungsmittel durch, das Paradichlorbenzol, ein wichtiges Zwischenprodukt der Farbstoffproduktion. Es war der Wirkstoff des »Globols«, eines Mottenschutzmittels, das 1911 von der Agfa auf den Markt gebracht wurde. 1920 begann die Chemische Fabrik Griesheim Elektron eine weitere chlorhaltige Verbindung als Mottenschutzmittel zu vermarkten, das Hexachlorethan (Perchllorethan). Anders als die erwähnten pflanzlichen Präparate töteten diese organisch-chemischen Verbindungen die Motten und ihre Brut tatsächlich wirkungsvoll ab, allerdings nur, wenn sie hinreichend hoch konzentriert

Kaum aus dem Ei geschlüpft, beginnen die Pelzmottenlarven zu fressen. Die zehn bis elf Millimeter großen Tiere stellen sich eine schützende Hülle aus Spinndrüsensekret her, die sie mit sich herumtragen.



Das »Dalmatiner Insectenpulver« bestand aus fein vermahlene Blütenköpfchen bestimmter Chrysanthemenarten. Die insektiziden Wirkstoffe zersetzten sich an Licht und Luft allerdings relativ schnell.



angewandt wurden. Naphthalin, Paradichlorbenzol und Hexachlorethan besitzen schon bei Zimmertemperatur einen hohen Dampfdruck, so dass sie als Atemgifte wirken konnten. Die für die Schädlinge toxischen Dämpfe waren allerdings auch für die unangenehmen Eigenschaften dieser Präparate verantwortlich – ihren langanhaltenden, penetranten Geruch. Die große Flüchtigkeit dieser Verbindungen hatte gleichermaßen zur Folge, dass diese Wirkstoffe in häufig geöffneten Kleiderschränken schnell an Wirkung verloren und daher keinen dauerhaften Schutz vor Mottenfraß boten.

Faserstoffmangel im Ersten Weltkrieg

Den entscheidenden Impuls, nach wirksameren Mottenschutzmitteln zu suchen, gab der Faserstoffmangel während des Ersten Weltkriegs. Das rohstoffarme Deutsche Reich war auch auf dem Gebiet der Textilrohstoffe nicht autark. Es musste nicht nur Baumwolle, die in Mitteleuropa aus klimatischen Gründen nicht gedeihen kann, sondern auch Wolle in großem Stil aus dem Ausland importieren.

Angesichts des Mangels an textilen Rohstoffen, der durch die 1914 verhängte britische Seeblockade erheblich verschärft wurde, lag die Idee nahe, die wertvolle, in Deutschland so knappe Wolle wenigstens so gut wie möglich vor Schäden zu bewahren und gezielt nach effektiven Mottenschutzmitteln zu suchen. Die missliche Rohstoffsituation während des Ersten Weltkriegs markierte deshalb nicht nur in der Geschichte des chemischen Vorrats- und Pflanzenschutzes einen entscheidenden Wendepunkt, sondern auch in der Geschichte des Materialschutzes.

Als man bei den Farbenfabriken vormals Friedr. Bayer & Co. in Leverkusen 1910 damit begann, nach geeigneten Mottenschutzmitteln zu suchen, und diese Bemühungen während des Ersten Weltkriegs forcierte, knüpfte man an eine Beobachtung von Hausfrauen aus der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts an. Grün gefärbte Wolltextilien und Teppiche würden, so behaupteten diese, angeblich nicht von Motten befallen. Die Überprüfung dieser Hausfrauenerfahrung durch den Bayer-Chemiker Ernst Meckbach ergab nun, dass tatsächlich ein Fünkchen Wahrheit in den Berichten steckte. Allerdings konnte er zeigen, dass das Phänomen nicht durch die grünen Farbstoffe verursacht wurde, sondern vom bei deren Ausfärbung mitverwendeten Martiusgelb (2,4-Dinitro-1-naphthol), einem schon 1864 von dem Chemiker Carl Alexander von Martius auf den Markt gebrachten gelben, ziemlich giftigen Nitrofarbstoff.

Weil alle in der Frühzeit der Teerfarbenindustrie produzierten grünen Wollfarbstoffe blaugrüne Nuancen hatten, erhielt man nur durch Mitfärben von Martiusgelb den eigentlich gewünschten gelbstichigen Grünton. Folglich enthielten nicht nur die gelben, sondern auch die in damaligen Teppichmustern wesentlich häufiger vorkommenden grün gefärbten Partien immer Martiusgelb. An den Fraßmustern, die Anilinfarben-gefärbte, von Motten zerstörte Wollteppiche zeigten, war zu erkennen, dass die Schädlinge es ganz offensichtlich vermieden, jene Partien zu fressen, in denen Martiusgelb (mit)verwendet worden war, und stattdessen selektiv Stellen mit anderen Farbstoffen attackierten. Dass es nicht die Farbe des Martiusgelbs war, die die Mottenlarven vom Fraß abhielt, zeigten Versuche mit anderen gelben Teerfarbstoffen, die eindeutig nicht vor Mottenbefall schützten. Aus der Beobachtung, dass man keinen wirksamen Mottenschutz erreichte, wenn das Martiusgelb bloß auf die Wollfaser aufgestreut wurde, sondern nur dann, wenn die Faser gleichmäßig mit diesem Teerfarbstoff durchgefärbt worden war, ließ sich folgern, dass das Martiusgelb einen ganz anderen Wirkungsmechanismus haben musste als die bis dahin üblichen, leichtflüchtigen Mottenschutzmittel vom Typ des Naphthalins.

Diesen chemisch interessanten und wirtschaftlich wichtigen Beobachtungen wollte man bei Bayer nun genauer



Stoffe, die mit »Martiusgelb« gefärbt waren, wurden von Mottenlarven gemieden.

auf den Grund gehen. Man hoffte, eine Farbstoffgruppe zu finden, die sich sowohl zum Färben als auch zum Mottenschutz der Wolle eignen würde. Um solche Verbindungen entwickeln und testen zu können, wurde 1919 in Leverkusen ein eigenes Mottenlaboratorium eingerichtet, in dem Chemiker, Insektenkundler und Textillaboranten eng zusammenarbeiteten. Während die Entomologen die Metamorphose und vor allem den Verdauungsprozess der bis dahin noch kaum erforschten Kleidermotte untersuchten, fahndeten die Chemiker nach geeigneten Molekülen, mit denen man die Wolle schon beim Färben dauerhaft mottenecht ausrüsten konnte. Damit die Chemiker die Wirkung dieser Verbindungen testen konnten, wurden sie von den Entomologen mit zahllosen, eigens für ihre Versuche gezüchteten Mottenlarven versorgt.

Schnell wurde entdeckt, dass gewisse anorganische Fluorverbindungen, die aus wässriger Lösung auf die Wollfaser aufgebracht wurden, diese tatsächlich vor Mottenbefall schützten. Ein Präparat auf der Basis dieser Fluorverbindungen kam 1922 als »Motten-Eulan« auf den Markt. Der Markenname leitete sich vom Griechischen »eu« für schön, gut und dem Lateinischen »lana« für Wolle ab. Allerdings war dieses Präparat nur ein Imprägniermittel. Da die Verbindung noch nicht fest an die Faser gebunden war

und bei der nächsten Wäsche wieder ausgespült wurde, handelte es sich hier nur um einen ersten, ephemeren Zwischenerfolg.

Langfristig strebte man an, ungefärbte, geruchlose Verbindungen zu finden, die von der Wolle in kleinen Mengen aus wässrigen Lösungen aufgenommen und fest an die Fasern gebunden wurden. Sie sollten ihr einen dauerhaften Mottenschutz verleihen, ohne dass die wertvollen Eigenschaften der Wolle durch diese Behandlung beeinträchtigt wurden oder verloren gingen. Das erste organische, faseraffine Präparat, das 1927 in den Handel kam, war die Chlorkresotinsäure. Ende der 1920er Jahre brachte Bayer unter der Bezeichnung Eulan NK eine quartäre Phosphonium-Verbindung heraus. Da sich das Präparat bei niedriger Temperatur und aus neutraler Färbeflotte applizieren ließ, waren die Reaktionsbedingungen so mild, dass die empfindliche Wollfaser keinen Schaden nahm. Obwohl das Mittel nur ungenügend vor Käferlarven schützte, hatte es vor allem während der Weltwirtschaftskrise Ende der 1920er/Anfang der 1930er Jahre große Bedeutung.

Wegen der nachweislichen Mottenschutzwirkung des Martiusgelbs orientierte man sich bei der Suche nach wirksameren Verbindungen an den Strukturen bereits bekannter Wollfarbstoffe. Das seit 1927 hergestellte »Eulan



In einem eigens eingerichteten »Mottenlabor« forschten Wissenschaftler seit 1919 nach geeigneten Antimottenmitteln. Textilien wurden mit Testsubstanzen behandelt und deren Wirkung auf Mottenlarven getestet.



Neu« war deshalb ein Abkömmling einer seit den Anfängen der Teerfarbenindustrie produzierten Farbstoffklasse, der Triphenylmethanfarbstoffe. Das Präparat verhielt sich wie ein saurer Wollfarbstoff und war das erste waschechte Eulan. Es wurde in einer Menge von drei Prozent pro Warengewicht auf die Wollfaser ausgefärbt und ging wie ein Farbstoff eine echte chemische Bindung mit der Wolle ein. Das »Eulanisieren«, wie man das Aufbringen des Mottenschutzmittels auf die Faser nannte, konnte gleichzeitig mit dem eigentlichen Färbeprozess vorgenommen werden.

Durch Molekülabwandlungen konnten noch bessere Eulane hergestellt werden. 1934/35 kam das »Eulan CN extra« auf den Markt, das erste Präparat, das sowohl vor Motten- als auch vor Käferlarven schützte. Da das Präparat jedoch schwerlöslich war und erst bei Temperaturen von über 60°C auf die Faser aufzog, war auch dieser Wirkstoff verbesserungsbedürftig. 1934 brachte Bayer das Eulan BL heraus. Es konnte in organischen Lösungsmitteln angewendet werden, ließ sich also bei der chemischen Reinigung auf die Faser aufbringen. Chemisch handelte es sich bei diesem neuen Wirkstoff um ein Sulfonamid, eine Substanzklasse, über die in der pharmazeutischen Abteilung der Bayer-Werke viel geforscht wurde. Das Eulan BL eignete sich besonders zur mottenechten Ausrüstung von Fertigwaren oder Kleidungsstücken, die keine Nassbehandlung vertrugen. Doch auch dieses Präparat



hatte noch gewisse Nachteile und musste weiter verbessert werden. Festzuhalten bleibt, dass sich hinter dem Markennamen »Eulan«

chemisch sehr verschiedene Wirkstoffe verbargen, die kontinuierlich optimiert wurden, damit sie nicht nur auf Motten-, sondern auch auf Käferlarven wirkten, wasch- und lichtecht waren und bei möglichst milden, wollschonenden Reaktionsbedingungen auf die Faser aufgebracht werden konnten. Nach mehr als 40 Jahren Mottenschutzforschung und dem Erscheinen von etwa 30 verschiedenen Eulanen kam 1957 schließlich das Eulan U 33 auf den Markt, das alle diese Anforderungen erfüllte. Das Mittel wurde dreißig Jahre lang erfolgreich vermarktet, musste dann aber 1988 zusammen mit weiteren Eulanen aus der Sulfonamid-Reihe aus wirtschaftlichen und ökologischen



Gründen vom Markt genommen werden. Nach dem Auslaufen des Patentschutzes der einzelnen Präparate waren osteuropäische Firmen mit billigen Nachahmerpräparaten auf den Markt gekommen, so dass sich die Produktion für Bayer nicht mehr rechnete. Zudem waren viele Eulane hochgradig chlorierte Verbindungen. Diese chemisch sehr beständigen, schwer abbaubaren Substanzen garantierten zwar einen langanhaltenden Mottenschutz; nach der in den 1970er Jahren vehement geführten Debatte um die mittlerweile als sehr problematisch erkannte Langlebigkeit chlororganischer Verbindungen vom Typ des DDT, Aldrins, Dieldrins oder Hexachlorcyclohexans war allerdings abzusehen, dass die Herstellung und Nutzung derartiger Verbindungen früher oder später verboten werden würde.

Moderne Mottenschutzmittel

Die Eulane waren Verbindungen, die ganz spezifisch nur auf Wollschädlinge wirkten, indem sie die Keratinverdauung der Larven verhinderten beziehungsweise unterbrachen. Da die Enzyme im Darm der Motten- oder Käferlarven Eulan-behandelte Wolle nicht mehr abbauen konnten, verhungerten die Schädlinge letztlich. Im Zuge der nicht nur in deutschen und Schweizer Industrielaboratorien, sondern auch an verschiedenen staatlichen und universitären Textilforschungsinstituten betriebenen Forschung wurden nach 1945 noch andere Möglichkeiten entdeckt, Wolle wirksam vor Mottenfraß zu schützen, etwa durch chemische Modifikation des für Wollschädlinge unverzichtbaren Nahrungsmittels Keratin. Ein Mekka der Wollforschung in Deutschland war das an der RWTH Aachen angesiedelte, 1957 eröffnete Deutsche Wollforschungsinstitut, eine Gründung der deutschen Wollwirtschaft.

Seit Ende der 1980er Jahre enthalten die meisten Mottenschutzmittel, auch die weiter verbesserten Eulane, Pyrethroide als Wirkstoff. Das sind synthetisch hergestellte Insektizide, die den Wirksubstanzen im pflanzlichen Pyrethrum nachgebildet wurden, aber deutlich stabiler und effektiver sind als diese. Die Pyrethroide, die als Nervengifte wirken, gelten derzeit als die besten, für den Menschen zugleich am wenigsten problematischen Mottenschutzmittel. Allerdings wird seit einigen Jahren eine neurotoxische Wirkung auf besonders empfindliche Personen nicht ganz



In den 1950er Jahren nutzte man zur Bekämpfung von Motten das äußerst wirksame Breitbandinsektizid DDT. Das Mittel wurde in den 1970er Jahren verboten, unter anderem aufgrund seiner Langlebigkeit und der Anreicherung in der Nahrungskette.

ausgeschlossen. Mottenecht ausgerüstete Teppiche und Wohntextilien mit Wollsiegelqualität sind heute meist mit Pyrethroiden ausgerüstet, üblicherweise mit dem Wirkstoff Permethrin. Der Verbraucher muss daher letztlich selbst entscheiden, ob er das Risiko eines Insektenlarvenbefalls eingehen möchte oder ob er bereit ist, in seltenen Fällen mögliche gesundheitliche Beeinträchtigungen, wie Hautreizungen, Kopfschmerzen, Übelkeit oder Müdigkeit, durch Mottenschutzmittel in Kauf zu nehmen. ■



Prof. Dr. Elisabeth Vaupel
ist Chemiehistorikerin im Forschungsinstitut des Deutschen Museums.



Michael Frings
war Mitarbeiter im Bayer-Archiv von 1975 bis 2016. Zuletzt war er verantwortlich für das Foto- und Filmarchiv.

Kaffee und Kuchen



Text:
Daniel Schnorbusch

Illustration:
Michael Wirth

Die größte Sorge des Menschen ist ja, dass er irgendwann überflüssig wird. Dass man ihn einfach nicht mehr braucht. Der Gipfel seiner Sorge dabei ist, dass er nicht nur nicht mehr von seinem Arbeitgeber gebraucht wird, von seinen Freunden, seinen Kindern oder gar seinem Ehepartner, nein, dass er überhaupt nicht mehr gebraucht wird. Dass der Kosmos ihn nicht mehr braucht. Dass Gott ihn nicht mehr braucht. Und haben wir nicht eigentlich längst alle verstanden, dass für all die ganzen Misereen der Vergangenheit und Gegenwart, für die Kriege, die Flüchtlingskrisen, den Klimawandel und die erneute Meisterschaft des FC Bayern niemand anders verant-

wortlich ist, als – mit Gottfried Benn zu sprechen – die Krönung der Schöpfung, das Schwein, der Mensch. Was wäre das für eine schöne, problemlose Welt – ohne uns! Das Irre aber ist, dass derselbe, um sich selbst und seine fadenscheinige Notwendigkeit besorgte Mensch an kaum etwas intensiver arbeitet als an ebendiesem Projekt seiner eigenen Verüberflüssigung. Das ging spätestens los mit der Erfindung der Dampfmaschine, der Mutter aller Maschinen, und hat seinen vorläufigen Höhepunkt mit der Entwicklung des Computers.

Ich saß nach langen, kalten Tagen das erste Mal wieder auf der Terrasse und blätterte alte Zeitungen durch. »Hast du das gelesen?«, fragte ich Fräulein Schröder, die gerade damit beschäftigt war, das Unkraut aus den Beeten zu rupfen. »Jetzt reden wieder alle von künstlicher Intelligenz, dieser alten Kamelle, nur weil irgend so eine Maschine ein Bild pinseln kann, das wie ein Rembrandt aussieht. Und so was soll Kunst sein! Ha! Dass ich nicht lache!« Fräulein Schröder blickte kurz hoch, strich sich eine Haarsträhne aus dem Gesicht, lächelte und stach mit Inbrunst den nächsten Löwenzahn heraus. »Wenn das so weitergeht«,



polterte ich, »dann behaupten diese Ignoranten noch, dass die Rechner auch Symphonien komponieren, Romane schreiben und mit dem 3-D-Drucker eine Venus von Milo 4.0 ausspucken können.« »Und was, wenn es tatsächlich so wäre?« Fräulein Schröder stellte den Unkrauteimer neben meinen Stuhl und legte ihre Gartenhandschuhe auf den Tisch. »Verstehst du nicht?«, erwiderte ich erschüttert, »ganz gleich, was da alles Dolles aus den Geräten herauskommt, es ist doch immer nur das Resultat von Algorithmen, die sich irgendwelche Nerds ausgedacht haben. Die Maschinen selbst sind so dumm wie Brot und so kreativ wie ein Holzklötz.« »Ist doch egal. Wenn's keiner merkt! Hauptsache das Bild ist schön, die Musik klingt gut und der Roman ist spannend.« Mit diesen Worten drückte sie mir das Stecheisen in die Hand und sagte: »Hier. Du bist dran.« Ich war sprachlos. »Ist doch egal ... Wenn's keiner merkt ...« Nix ist egal. Wie konnte sie nur so etwas sagen! Ich rampte das Stecheisen in den harten Boden und operierte irgendein Grünzeug heraus. »Oh, nicht doch!«, rief Fräulein Schröder herüber. »Meine schönen Tulpen!« Ich gebe zu, dass ich florotechnisch nicht unbedingt ein Exper-



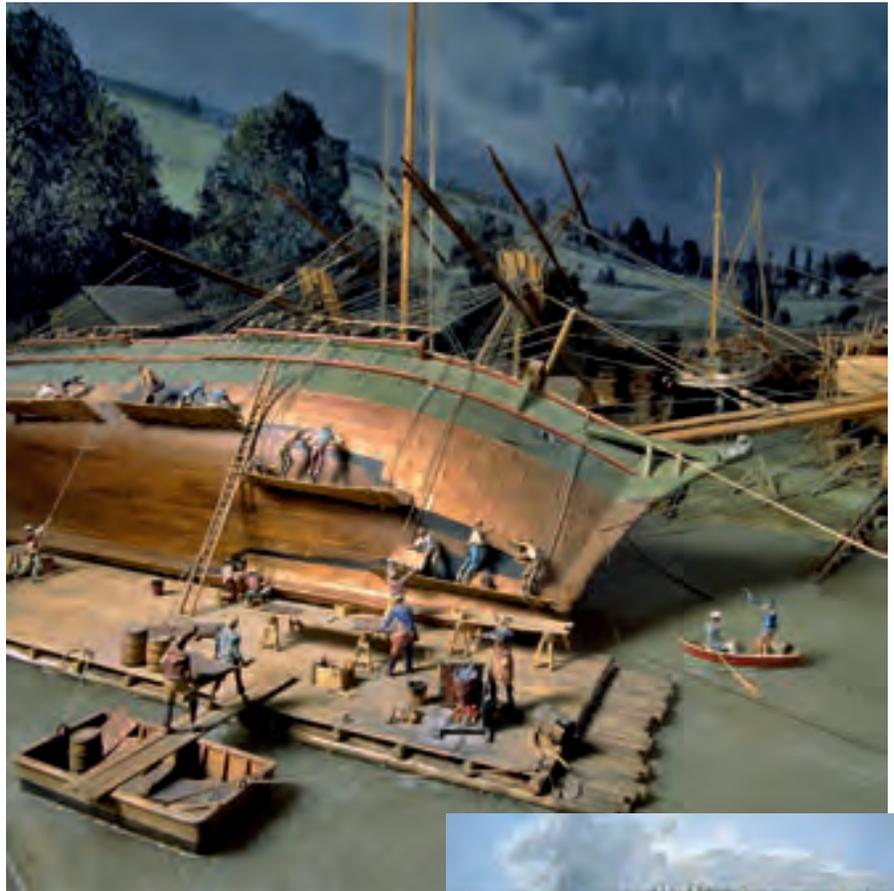
DER AUTOR

Dr. Daniel Schnorbusch
geboren 1961 in Bremen,
aufgewachsen in Hamburg,
Studium der Germanistischen
und Theoretischen Linguistik,
Literaturwissenschaft und
Philosophie in München,
ebendort aus familiären
Gründen und nicht mal
ungern hängengeblieben,
arbeitet als Lehrer, Dozent
und freier Autor.

te bin. Ich stopfte den Rest der Blume wieder in die Erde. Nach der dritten Tulpe aber nahm mir Fräulein Schröder das Stecheisen aus der Hand. Stattdessen bekam ich eine Gartenschere und sollte nun Sträucher schneiden. Ich weiß auch nicht, was ich dabei dann wieder falsch gemacht habe, aber bald schon fand ich mich mit einem Besen wieder und sollte die Terrasse und den Vorplatz kehren und auch den Gehweg vor dem Haus. Das war offenbar das, was sie mir gerade noch zutraute. Gehweg kehren. Straße fegen. Müll aufsammeln. So was eben. Mir war das aber eigentlich ganz recht. Ich konnte meinen Gedanken nachhängen und mir Besenstrich um Besenstrich überlegen, wozu ich eigentlich noch taugte und was ich kann, was eine Maschine nicht kann und vielleicht auch nie können wird. Gehwege kehren gehörte schon mal nicht dazu. Rasenmähen auch nicht. Kartoffeln schälen? Kaffee kochen? Krabben pulen? Socken stricken? Läuft alles längst vollautomatisch. Wie wäre es mit Haare kämmen? Schon schwieriger, aber nicht unmöglich. Auto fahren? Nach Googles Wille demnächst nur noch ohne Fahrer! Die machen eh nur Scherereien, fahren zu schnell, drängeln oder setzen die Karre gegen die Wand. Kinder zeugen? Ja! Das geht noch nicht automatisch. Aber wie lange noch? Der Weg vom Reagenzglas zur vollautomatischen Zeugungs-, Brut- und Gebärmachine, das ist doch auch nur noch eine Frage der Zeit. Und außerdem: Schon jetzt bauen Maschinen Maschinen und programmieren Programme Programme. Fortpflanzung ohne Austausch von Körperflüssigkeiten. Der Nachwuchs ist halt wieder was Maschinelles. Macht ja nichts! Mitten in diesem Flow hörte ich ganz von Ferne meinen Namen rufen. Ich hielt inne, drehte mich um und wunderte mich. Was machte denn Fräulein Schröder da winkend am Horizont? Es dauerte etwas, bis ich begriff, dass ich schon fast an der U-Bahn-Station angekommen war und alldieweil tausend Meter öffentlichen Gehweg gesäubert hatte. Ich schlurfte mit meinem Besen zurück und war niedergeschlagen. Ist der Mensch nicht am Ende doch nur ein Unkraut in Gottes Garten, das ausgerupft und kompostiert gehört! Und ich selbst, ich war nur ein gewöhnlicher Löwenzahn, ein ordinärer Schachtelhalm, ein gemeiner Gänsefuß! »Ich bin nur ein nutzloses Unkraut!«, mit diesen Worten begrüßte ich Fräulein Schröder, als sie mir den Besen aus der Hand nahm. Sie sah mich entsetzt an. »Was ist denn mit dir los? Komm! Es gibt Kaffee und Rhabarberkuchen.« Kaffee und Rhabarberkuchen! Könnte es je eine Maschine geben, die Kaffee trinkt und Kuchen isst und die dabei das empfindet, was ich empfinde? Undenkbar! Ich küsste Fräulein Schröder für diese Einsicht dankbar auf die Stirn und sagte: »Auch wenn ich zu gar nichts taugte und es wohl ansonsten besser wäre, es gäbe mich gar nicht, es gibt doch niemanden, der deinen Kuchen so liebt wie ich. Und deshalb darf ich bleiben und du auch.« Aber das hatte sie gar nicht mehr gehört, denn sie war schon in der Küche verschwunden, um die Sahne zu schlagen. ■

Inszenierungen des Lebens

Was wäre das Deutsche Museum ohne seine Dioramen? Als Miniaturabbilder realer Welten lassen sie Geschichte und Objekte lebendig werden und unterstützen so geradezu vorbildlich den didaktischen Ansatz des Hauses. Für das Deutsche Museum haben Dioramenbauer und Landschaftsmaler Meisterwerke geschaffen, sie haben den Dioramenbau perfektioniert und weiterentwickelt. Nach wie vor gehören die großen und kleinen Szenerien hinter Glas zu den Anziehungspunkten in den Ausstellungen. Mit Geschichte und Zukunft dieses Mediums beschäftigen wir uns in der nächsten Ausgabe. Wir stellen Ihnen ausgewählte Dioramen vor und besuchen die Werkstätten des Museums, in denen auch heute noch Dioramen gebaut werden.



Bilder oben: Die Arbeit auf einer Schiffswerft des 19. Jahrhunderts zeigt das Diorama *Holzschiffswerft* in der Abteilung Schifffahrt. Bild links: Als wäre man dabei, so lebendig ist die Szenerie, die das Diorama *Drachenaufstiege und -konstruktionen* entwirft.

Impressum

Das Magazin aus dem Deutschen Museum

40. Jahrgang

Herausgeber: Deutsches Museum München
Museumsinsel 1
80538 München
Postfach 80306 München
Telefon (089) 21 79-1
www.deutsches-museum.de

Gesamtleitung: Rolf Gutmann (Deutsches Museum),
Dr. Stefan Bollmann (Verlag C.H.Beck, verantwortlich)

Beratung: Dr. Tina Kubot, Dr. Frank Dittmann

Redaktionsleitung: Sabrina Landes, Agentur publishNET
Hoferstraße 1, 81737 München, redaktion@publishnet.org;
Redaktion: Birgit Schwintek (Grafik), Inge Kraus (Bild),
Andrea Bistrich, Manfred Grögler (Korrektur)

Verlag: Verlag C.H.Beck oHG, Wilhelmstraße 9, 80801
München; Postfach 400340, 80703 München, Telefon (089)
3 81 89-0, Telefax (089) 3 81 89-398, www.chbeck.de

Redaktioneller Beirat: Dr. Frank Dittmann (Kurator Ener-
gietechnik, Starkstromtechnik, Automation), Gerrit Faust
(Leiter Presse- und Öffentlichkeitsarbeit), Dr. Tina Kubot
(Kuratorin Mikroelektronik, Nachrichtentechnik), Dr. Isabel
Martin (wissenschaftliche Mitarbeiterin), Prof. Dr. Elisabeth
Vaupel (Forschungsinstitut)

Herstellung: Bettina Seng, Verlag C.H.Beck oHG

Anzeigen: Bertram Götz (verantwortlich), Verlag C.H.Beck
oHG, Anzeigenabteilung, Wilhelmstr. 9, 80801 München;
Postfach 400340, 80703 München; Bärbel Schott, Telefon
(089) 3 81 89-606, Telefax (089) 3 81 89-599. Zurzeit gilt
Anzeigenpreisliste Nr. 32, Anzeigenschluss: sechs Wochen
vor Erscheinen.

Repro: Rehbrand, Rehms & Brandl Medientechnik
GmbH, Friedenstraße 18, 81671 München

Druck und Bindung: Memminger MedienCentrum,
Fraunhoferstraße 19, 87700 Memmingen

Versand: Kessler Druck+Medien GmbH & Co. KG, Michael-
Schäffer-Straße 1, 86399 Bobingen

Bezugspreis 2016: Jährlich 26,- Euro
Einzelheft 7,80 Euro, jeweils zuzüglich Versandkosten

Für Mitglieder des Deutschen Museums ist der Preis für
den Bezug der Zeitschrift im Mitgliedsbeitrag enthalten
(Erwachsene 52,- Euro, Schüler und Studenten 32,- Euro).
Erwerb der Mitgliedschaft: schriftlich beim Deutschen Mu-
seum, 80306 München.

Für Mitglieder der Georg-Agricola-Gesellschaft zur För-
derung der Geschichte der Naturwissenschaften und der
Technik e.V. ist der Preis für den Bezug der Zeitschrift im
Mitgliedsbeitrag enthalten. Weitere Informationen: Georg-
Agricola-Gesellschaft, Institut für Wissenschafts- und Tech-
nikgeschichte, TU Bergakademie Freiberg, 09596 Freiberg,
Telefon (03731) 393406

Bestellungen von Kultur & Technik über jede Buchhand-
lung und beim Verlag. Abbestellungen mindestens sechs
Wochen vor Jahresende beim Verlag.

Abo-Service: Telefon (089) 3 81 89-679

Die Zeitschrift erscheint vierteljährlich. Sie und alle in
ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urhe-
berrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der
engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes bedarf der
Zustimmung des Verlags. Der Verlag haftet nicht für
unverlangt eingesandte Beiträge und Bilddokumente.
Die Redaktion behält sich vor, eingereichte Manuskrip-
te zu prüfen und gegebenenfalls abzulehnen. Ein Recht
auf Abdruck besteht nicht. Namentlich gekennzeichnete
Beiträge geben nicht die Meinung der Redaktion
wieder.

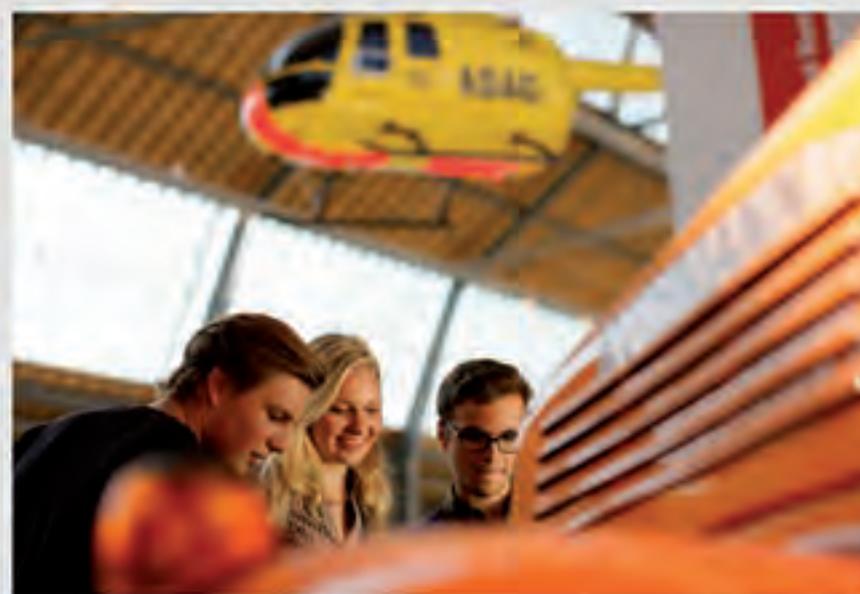
ISSN 0344-5690



Verschenken Sie ein Museum!

Sie sind auf der Suche nach einem besonderen Präsent?
Mit einer Geschenkmitgliedschaft verschenken Sie
ein ganzes Museum.

Das Anmeldeformular sowie weitere Informationen erhalten Sie unter
www.deutsches-museum.de/information/mitglied-werden
oder bei Ihrer Mitgliederbetreuung: Tel. 089 / 2179-310, Fax 089 / 2179-438



Deutsches Museum



Museumsinsel 1, München · Tel. 089 / 2179-1 · täglich 9–17 Uhr · www.deutsches-museum.de