

ZUKUNFT IM BRENN- PUNKT



WISSENSCHAFTLER AUS DEN
FORSCHUNGSVERBÜNDEN:
IHRE VISIONEN, PROGNOSEN,
TRENDS

Band 5 (2006)



Arbeitsgemeinschaft der Bayerischen Forschungsverbände

BESSER LEBEN MIT DEN GEISTESWISSENSCHAFTEN

Von Jürgen Mittelstraß



Auf einer vom Bundesverband Deutscher Stiftungen im Mai 2005 in Freiburg veranstalteten Tagung wurde ich gebeten, zur Frage, „warum wir ohne Geisteswissenschaften viel besser leben würden“, Stellung zu nehmen. Nun wird selbst der hartherzigste Verächter der Geisteswissenschaften auf diese Frage, zumal sie auf der Unterstellung beruht, dass wir ohne Geisteswissenschaften besser leben würden –, mit einem „Nein“ antworten. Vielleicht mit einem „Nein, aber“. Ich selbst habe denn auch die Frage bzw. die mit ihr einhergehende Unterstellung herumgedreht – warum wir mit den Geisteswissenschaften besser leben – und mit einem „Ja, aber“ beantwortet. Wir leben besser mit den Geisteswissenschaften – wenn diese nur so wären, wie wir dies wünschen, und sich so verstünden, wie dies eine wissenschaftsgetriebene Kultur, die wir sind, erwarten darf. Dazu die folgenden Überlegungen:

Die Geisteswissenschaften sind derzeit in aller Munde. Das bedeutet nicht, dass sie auch in aller Herzen oder gar in aller Köpfe, vor allem in den Köpfen der Bildungs- und Wissenschaftspolitiker, wären. Da sind vielmehr in der Regel die wissenschaftlichen Konkurrenten der Geisteswissenschaften, vor allem die Natur- und Ingenieurwissenschaften, aber auch die Sozialwissenschaften, wenn diese etwa in Form der empirischen Sozialforschung gute Dienste für den politischen und den verwaltenden Verstand tun.

Die Geisteswissenschaften tun sich schwer, sich in dieser Situation

nützlich zu machen, sind ihre Gegenstände doch häufig das wenig Nützliche, das Schöne, das Historische und das Gebildete, dessen Nutzen beginnt, wenn die nützlichen wissenschaftlichen Konkurrenten ihren Teil getan haben, wenn eine Kultur nicht arbeitet, sondern feiert. Das ist natürlich ein Klischee, aber ein solches, das sich fest im öffentlichen Bewußtsein eingegraben hat, das das Mitleidige im Blick der Vertreter der anderen Wissenschaftsseite ausmacht und den schwachen Stand, den die Geisteswissenschaften in der Öffentlichkeit haben, wenn diese mit Geld und anderem Nützlichem befasst ist. Vom Besserleben ohne die Geisteswissenschaften ist da noch gar nicht die Rede. Wer entbehrlich ist, stört nicht unbedingt.

Dabei begann die Geschichte der Geisteswissenschaften ganz anders, anspruchsvoller, ja philosophisch. Die Geisteswissenschaften sind nämlich eine „Erfindung“ der idealistischen Philosophie. Diese – Fichte und Hegel lassen grüßen! – entdeckte den Geist als den wirklichen Weltbaumeister und die Wissenschaften vom Geist als dessen wahrhaftige Interpreten. Daher auch ihr theoretischer Anspruch, der sie wesentlich vom Selbstverständnis der angelsächsischen Humanities, die weit pragmatischer und empirischer orientiert sind, unterscheidet. Eingelöst hat diesen (theoretischen) Anspruch allerdings allenfalls die Philosophie; die Geisteswissenschaften, wie sie sich im 19. Jahrhundert jenseits der Philosophie ausbilden, geraten alsbald, mit dem Aufstieg der Geschichtswissenschaften und Philolo-

gien, unter ein historisches und philologisches Joch. Unter diesem gehen sie immer noch, ob sie dies selbst so sehen oder nicht. An der Rationalität unserer Welt und deren Beförderung haben sie wenig Teil.

Und dennoch, ihre Preisgabe, die heute manche empfehlen – ob sie nun Mitleid oder Verachtung empfinden –, ginge für die Welt, in der wir leben, und für uns selbst, für homo sapiens sapiens, wie wir uns stolz nennen, nicht gut aus. Ein besseres Leben ohne Geisteswissenschaften? Es wäre wohl eher ein Leben ohne begriffene Kultur, ein Schlaf der Dummen, jener nämlich, die unter Natur (allenfalls noch unter dem Markt) alles und unter Geist und Kultur nichts verstehen. Schließlich ist das, was der Geist schuf und ständig schafft, nicht das Kräuseln der Wellen auf der Natur des Menschen, sondern dessen zweite Natur, ohne die auch die erste (die physische Natur) – wenn sie denn den Menschen will – keine Chance hätte. Mensch ist der Mensch nur als Kulturwesen, und Mensch durch und durch auch nur, wenn er dies nicht nur ist, sondern auch begreift.

Eben dieses Begreifen ist noch immer die Aufgabe der Geisteswissenschaften. Die Welt des Menschen hat nicht nur eine natürliche, sondern auch eine kulturelle Form – zu der übrigens auch die Wissenschaften und das Wirtschaften gehören –, und sie wird in Wahrheit zur kulturellen Form auch des Menschen selbst erst dann, wenn der Mensch diese Form nicht nur hat, wie man vielleicht blaue Augen oder platte Füße hat, sondern sie zum Teil seines

Selbstbewußtseins macht. Die höchste Form des Selbstbewußtseins aber ist (frei nach Hegel) das wissenschaftliche (oder philosophische) Bewußtsein. Erst reflektierend begreift der Mensch sich selbst; und diese Reflexion sind die Geisteswissenschaften – wenn sie sich nur selbst recht begreifen.

Das tun sie in der Regel nicht, weshalb auch die Schelte der anderen Kulturseite, der naturwissenschaftlichen, aber auch der ökonomischen und politischen Seite, nicht immer unbegründet ist. Damit sind die Geisteswissenschaften an ihrem faktischen Bedeutungsverlust aber häufig auch selbst schuld. Sie lieben die Erinnerung, die vergangene Welt und kommen in der eigenen Welt nicht zu recht. Und wenn sie es dennoch versuchen, verstärken sie meist nicht die Vernunft dieser Welt, sondern gehen ihr aus dem Wege, verlieben sie sich z.B. in das Geschwätz der Postmodernen, geraten sie auf die Rückseite von Vernunft und (wissenschaftlicher) Rationalität und bestätigen damit die Vorurteile ihrer Verächter.

Kein Zweifel, die Geisteswissenschaften stecken in einer Krise, und keineswegs nur in einer herbeigereiteten. Krisen wiederum enden glücklich oder mit dem Tod, selten damit, dass alles so bleibt, wie es ist. Das aber bedeutet, dass die Geisteswissenschaften aus der derzeitigen Situation entweder wieder erstarkt an Leib und Seele, an ihrem institutionellen oder seelischen Sein hervorgehen oder anhaltendes Siechtum, wenn nicht gar der disziplinäre Tod, der auch ein institutioneller Tod wäre, ihr Schicksal ist.

Dagegen gilt es – mit Blick auf das über den Menschen als Kulturwesen und das über den theoretischen Anspruch der Wissenschaften vom Geist Gesagte – wieder deutlich zu machen, dass die Geisteswissenschaften ihrer ursprünglichen Idee entsprechend der „Ort“ sind, an dem sich moderne Kulturen bzw. Gesellschaften ein Wissen von sich selbst, und zwar in Wissenschaftsform, verschaffen. Sie tun dies nicht im Sinne eines positiven Wissens nach Art der Naturwissenschaften, sondern im Sinne eines orientierenden Wissens, ohne dass sie deshalb, wie manchmal vermutet oder verlangt, gleich den Status von Orientierungswissenschaften beanspruchen müssten oder könnten. So gibt es im strengen Sinne auch gar keine Orientierungswissenschaften, wohl aber eine Orientierungsaufgabe, der auch die Wissenschaften, alle Wissenschaften, dienen sollten. Dass dabei den Geisteswissenschaften eine besondere Rolle zukommt, liegt unter anderem daran, dass ihre Gegenstände, die Gegenstände, die sie erforschen, selbst häufig eine Orientierungsform haben. Das gilt z.B. von ihren geschichtlichen Gegenständen ebenso wie von ihren literarischen. In der richtig verstandenen geisteswissenschaftlichen Forschung verbindet sich diese Form mit einer kulturellen Form im Allgemeinen, mit der kulturellen Form der Welt.

Mit dieser Form ist nicht das gemeint, was heute oft auf dem Hintergrund einer Zwei-Kulturen-These und einer Kompensationsvorstellung (gemeint ist eine Kompensation von

Modernisierungsschäden) den Geisteswissenschaften in Form einer halbierten Kultur zugewiesen wird. Vielmehr geht es um einen Kulturbegriff, dessen Teile auch die Wissenschaften selbst sind. Kultur bedeutet eben zweierlei: Sie ist allgemein Inbegriff aller menschlichen Arbeit und Lebensformen, und sie bezeichnet besondere Formen dieser allgemeinen Kultur. Die Rede von technischer Kultur, wirtschaftlicher Kultur und politischer Kultur macht das deutlich; sie markiert den Übergang vom Begriff der Kultur im besonderen Sinne (zu dem auch der so genannte 'Kulturbetrieb' gehört) zum Begriff der Kultur im allgemeinen Sinne.

Um einer drohenden oder schon eingetretenen Verzweigung der Geisteswissenschaften in der neueren Bildungs- und Wissenschaftsdebatte zu wehren und jener Bedeutungszuschreibung gerecht zu werden, die in den Geisteswissenschaften den „Ort“ sieht, an dem sich moderne Kulturen bzw. Gesellschaften ein Wissen von sich selbst in Wissenschaftsform verschaffen, ist daher auch nicht der übliche besondere, sondern der hier hervorgehobene allgemeine Kulturbegriff angezeigt. Die Geisteswissenschaften beziehen sich rechtverstanden forschend, analysierend, beurteilend nicht nur auf ein kulturelles Teilsystem, sie vermitteln auch nicht nur affirmativ und „kompensierend“ Modernisierungsprozesse ihnen fremder Art. Ihre Optik und ihre Arbeit gehen vielmehr auf das kulturelle Ganze, naturwissenschaftliche

und andere Entwicklungen eingeschlossen. Und wer oder welche Kultur wollte auf eine derartige Anstrengung und das mit ihr verbundene Begreifen verzichten? Wohl nur eine Kultur, die sich als rationale Kultur selbst schon aufgegeben hat bzw. die sich mit einem verkürzten Kultur- und Bildungsbegriff selbst in den Rücken fällt. Das ist der Grund, warum wir mit den Geisteswissenschaften besser leben – wenn sie sich nur selbst und wir sie besser begreifen.

Zentrum Philosophie
und Wissenschaftstheorie
Universität Konstanz



Prof. Dr. Jürgen Mittelstrass (geb. 1936 in Düsseldorf) war von 1970 - 2005 Ordinarius für Philosophie und Wissenschaftstheorie an der Universität Konstanz, zugleich Direktor des Zentrums Philosophie und Wissenschaftstheorie. 1989 erhielt er den Leibniz-Preis der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Er ist Mitglied zahlreicher in- und ausländischer Wissenschaftsakademien, unter anderem der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften (Berlin) und der Pontifical Academy of Sciences (Rom). Seit 2002 ist er Präsident der Academia Europaea (London), seit 2005 Vorsitzender des Österreichischen Wissenschaftsrates. 2006 verlieh ihm der Bayerische Ministerpräsident den Bayerischen Verdienstorden.

INHALT

Jürgen Mittelstraß 2
Besser leben mit den Geisteswissenschaften



WELT DER KULTUR 9

Kenneth Hanshew und Walter Koschmal 11
N€IN zu Europa

Dirk Holtbrügge und Jonas F. Puck 17
Drahtseilakt mit Netz – Investitionen in Russland

Peter Klaus 21
Logistik und Galileo



WELT DER INFORMATION 27

Heinz Ulbrich 29
Johnnie und Lola

Matthias Wimmer und Simone Hämmerle 35
Bitte recht freundlich



WELT DES LEBENS 39

Monika Pischetsrieder 41
Gib BSE keine Chance

Jürgen Heesemann 45
Der Kampf gegen Infektionskrankheiten

Beate Winner, Ulrich Bogdahn und Jürgen Winkler 49
Adulte Stammzellen für den Morbus Parkinson



WELT DER MATERIE 53

Hartmut Spliethoff 55
Neue Kraftwerke braucht das Land!

Doris Schmitt-Landsiedel 61
Cooler Chips für heiße Elektronik

Jochen Mannhart 67
Volle Leistung mit kalten Elektronen

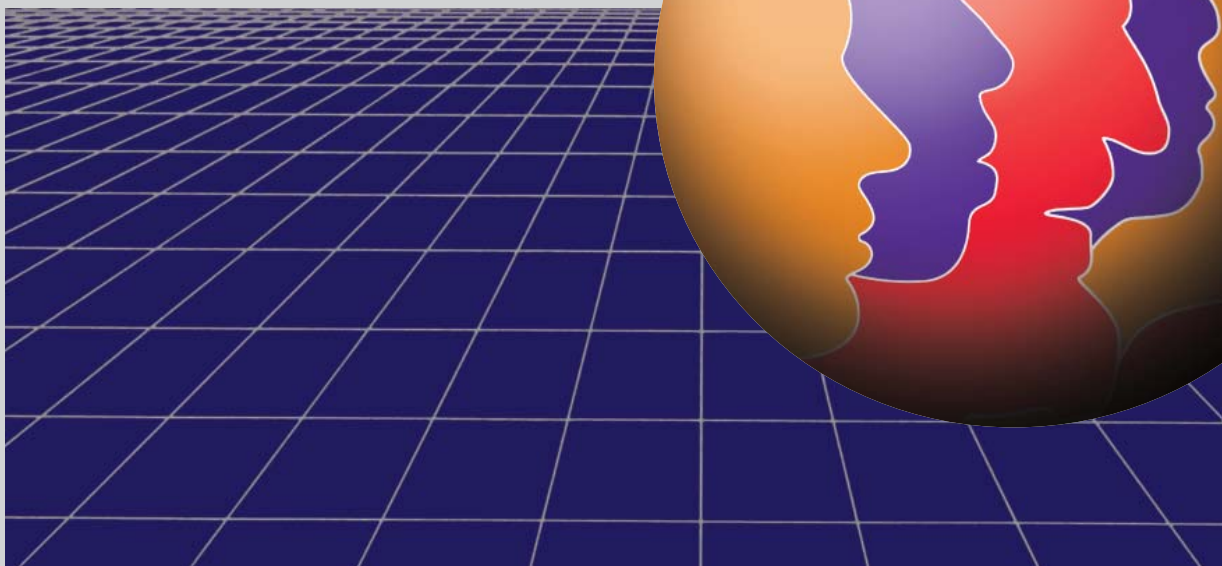
Murat Arbak und Kay Wagner 73
Langes Leben für Werkzeuge

DIE FORSCHUNGSVERBÜNDE DER ABAYFOR 79

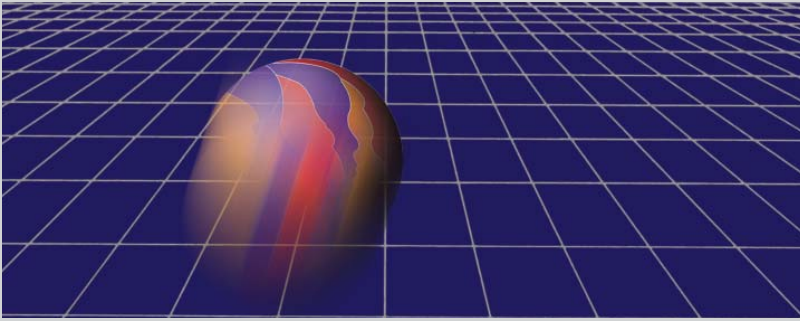
Christian W. Scheiner, Peter Mertens und Kai-Ingo Voigt 78
Von der Verbundforschung zum Spin-off

Liste der Forschungsverbünde 82

Impressum 83



WELT DER KULTUR



N€IN ZU EUROPA

Tschechische Skepsis und kein Ende

Kenneth Hanshew und Walter Koschmal

Vor der Volksabstimmung über den Beitritt der Tschechischen Republik in die Europäische Union im Jahre 2003 kochten die Emotionen hoch. Alte und uralte Stereotypen wurden wieder zum Leben erweckt, vor allem um Stimmung gegen den Beitritt zu machen: Die „Euroskeptische Initiative“, eine Vereinigung konservativer politischer Gruppen, entfachte ihre Wahlkampagne N€.

Europa wurde schon mit diesem Wort ein doppeltes tschechisches „nein“ zu Europa entgegengeschleudert, ein inhaltlich kompromissloses, aber auch ein grafisches: Das Eurozeichen ersetzt den Vokal „e“ in der tschechischen Partikel für „nein“ („ne“). Das vehemente Votum gegen die tschechisch-europäische Verbindung offenbarte ihr ganzes Ausmaß in den Wahlplakaten (siehe Bild 1).

nämlich die Zerschlagung der Tschechoslowakei durch Nazi-Deutschland nach dem Münchner Abkommen und der Beginn des Protektorats sowie der sowjetisch unterstützte kommunistische Putsch mit den folgenden langen Jahren des „Sozialismus“ werden mit einem damals künftigen Ereignis gleichgesetzt: mit dem Beitritt in die EU! Da dieser für Tschechien nur einen erneuten totalen Verlust der Freiheit bedeuten würde – so die Botschaft – kann allen drei Ereignissen nur ein entschlossenes N€ gelten. Damit werden traumatische, kaum verarbeitete Erfahrungen der tschechischen Geschichte propagandistisch instrumentalisiert. Die Frage erübrigt sich, ob es auch rational nachvollziehbare Argumente für einen solchen Vergleich gibt.

Die feinen Unterschiede

Skeptizismus und Kritik an dem Projekt eines gemeinsamen Europa und seiner Umsetzung kommen natürlich nicht nur aus der tschechischen Ecke, auch wenn der damalige EU-Erweiterungskommissar Günter Verheugen mutmaßte: „Wenn es einen Nobelpreis für Skeptizismus gäbe, würden ihn die Tschechen jedes Jahr bekommen.“ Der „Europaskeptizismus von unten“, mitunter weiter verbreitet als die oft magisch beschworene „Europäisierung von unten“, speist sich aus vielen Quellen, so aus der Unübersichtlichkeit des Brüsseler Bürokratismus oder aus absurden Produktionsquoten. Aber auch die Existenz gemeinsamer europäischer Werte wird mit schöner



Bild 1

Der Text und die Symbolik lassen an Eindeutigkeit nichts zu wünschen übrig: „Der Verlust der Freiheit hat viele Gesichter...“ und in der unteren Zeile „Stimmen Sie gegen den Beitritt der ČR in die EU!“. Die „Argumente“ werden in Gestalt von emblematischen „Gesichtern“ in der Mitte chronologisch gereiht. Die suggestive Wirkung dürfte sich schnell einstellen: Jene beiden historischen Ereignisse, die die Tschechen tatsächlich ihre Freiheit kosteten,

Regelmäßigkeit hinterfragt. In Tschechien zeichnet sich jedoch eine sehr ernst zu nehmende, spezifische Skepsis ab.

Plakate wie das obige haben die von den Urhebern erhoffte Wirkung verfehlt: Immerhin hat 2003 eine Mehrheit der Tschechen, wenngleich eine knappe, für den EU-Beitritt votiert. Man könnte nun die provozierende und schockierende Bild- und Textmontage als wirkungslose Ausfälle rechter Randgruppen ad acta legen. Doch Skeptizismus und Ängste haben sich lediglich in eine kaum erkennbare Rhetorik zurückgezogen. Ihre gleichsam untergründige Wirkung ist umso stärker, nicht nur in konservativen politischen Kreisen: Die „Europäische Union“ wird höchst offiziell als „Evropská Unie“ tituliert. Man bedient sich also des Fremdworts „Union“, nicht aber des

sprachlich zu erwartenden tschechischen Wortes „svaz“ für „Union“. „Svaz“ würde zu sehr an „Sovětský svaz“ und an die Unterdrückung durch die „Sowjetunion“ erinnern. Eben deshalb aber bevorzugen die EU-Skeptiker meist „Evropský svaz“. Denn damit werden – fast unmerklich – alle negativen Assoziationen, die sich mit der alten „Sowjetunion“ verbinden, auf die neue „Europäische Union“ übertragen. „Evropská Unie“ klingt nicht nur fremd, sondern dürfte – als gewollte Verhinderung des tabuisierten anderen Begriffs – einen vergleichbaren, wenn auch ungewollten Erinnerungswert haben. Von hier ist es nur mehr ein kleiner Schritt, dies auch noch ins – wohl weniger wirksame – Bild zu setzen (siehe Bild 2).

Diese Montage von Hammer und Sichel und dem Staatenkranz der 12

EU-Sterne in einem dominierenden EU-Gelb-Blau kehrt aber auch in politischen Reden wieder: Vergleiche zwischen der EU und der Sowjetunion gehören noch heute zu den rhetorischen Mitteln des tschechischen Präsidenten Václav Klaus. Er nutzte nicht nur seinen Ukrainebesuch im Juni 2005 dazu, die EU mit der Sowjetunion gleichzusetzen. Damit setzt Klaus die vergangene Abhängigkeit der Ukraine in einer totalitären Sowjetunion mit der Abhängigkeit Tschechiens von der EU gleich.

Alte Geister und neue Ängste

Dies lässt sich nun nicht mehr als bloßer Populismus oder vermeintliche – politische – Randerscheinung abtun. Hier werden mit Hilfe von traumatischen tschechischen Erfahrungen Urängste durch Stereotypen zum Leben erweckt, die jene, die diese Geister rufen, womöglich gar nicht mehr bändigen können. Damit schwimmt man zum einen im „mainstream“, zum anderen erhöht man dessen Strömungsgeschwindigkeit. *Lidové noviny*, eine der meist gelesenen und angesehensten tschechischen Tageszeitungen, berichtet am 24.1.2006 von einer tschechischen Apathie gegenüber der EU und Europa: „Tschechische Bürger haben



Bild 2



nicht das Gefühl, „Europäer“ zu sein. Viele finden, es lohne sich nicht einmal, über die Europäische Union [unie] nachzudenken. Sie sind überzeugt, dass in der Union sowieso alle Entscheidungen im Großmachtstil „o nás bez nás“ [über uns ohne uns] getroffen werden.“ Inhaltlich ist bei dieser Auswertung einer Meinungsumfrage höchst bedenklich, dass damit eine Mehrheit tatsächlich der Meinung Ausdruck verleiht, ihre Freiheit – erneut – an eine größere, übergeordnete Macht verloren zu haben. Mindestens ebenso bedenklich erscheint aber die zitierte, fatalistisch anmutende Redewendung, es werde „über uns ohne uns“ entschieden. Denn diesen Topos, diese stehende Redewendung bezieht jeder geschichtskundige Tscheche zuerst auf die Verfügungen des Münchner Abkommens von 1938. Mit Hilfe der alten traumatischen Ängste werden gleichsam unmerklich, nämlich nur durch die Wortwahl, neue geweckt. „München“ und „Brüssel“ werden – über die jeweiligen Abkommen – zu fatalen Synonymen.

Ein vergangenes und dennoch gegenwärtiges Stereotyp spiegelt die Inschrift des Denkmals zum Sieg der Hussiten auf dem Berg Vítkov in Prag wider: „Eine kleine Handvoll Leute besiegten die Reihen der bewaffneten Verbündeten, denn sie waren von ihrer Wahrheit überzeugt. Damals existierten zwei Seiten: Europa und wir. Und Europa war blass und leichenfaul.“ Das Denkmal wird damit sowohl zum sichtbaren Zeugnis tschechischen Nationalstolzes als auch der Bewunderung für den tradi-

tionell überlegenen Gegner „Europa“. Solche Feindbilder tradieren sich bis heute in langlebigen Stereotypen, nicht nur in Tschechien.

Tschechische Elite steuert gegen

Im Gegensatz zu diesen emotionalen, Europa diskreditierenden Aussagen im „mainstream“, baut die tschechische Elite an der Vision von einem „europäischen Haus“ mit und kämpft für den Erfolg des Projekts „gemeinsames Europa“. Dabei stellt sie sich dem tschechischen Antieuropäismus in Gegenwart und Vergangenheit in den Weg. Sie bemüht sich, die von Emotionen getragenen Stereotypen durch Vernunft und Reflexion aufzulösen, um damit das „Projekt Europa“ voranzutreiben – und stößt dabei nicht gerade auf allgemeine Zustimmung. Der wohl bekannteste Vertreter der tschechischen „Euroskeptiker“, Václav Klaus, nutzte die Aufforderung des Europarats, sich Gedanken über die weitere Entwicklung der europäischen Integration zu machen, sogleich dazu, die Europäische Union gar als antidemokratisch zu desavouieren. Klaus beschreibt das in die Wege geleitete Zusammenwachsen der EU als anmaßende, demokratischen Prinzipien zuwiderlaufende Bevormundung durch die europäischen Eliten. Diesen gehe es nur um Schwächung von Demokratie und Ausweitung ihrer Macht. Demokratie sei aber – so Klaus – ohne den Nationalstaat undenkbar. Die Eliten setzten jedoch auf Passivität und Unaufmerksamkeit der immer unzufriedenen Eu-

ropäer, „die vielleicht sogar denken, das „Europäische“ sei an und für sich besser als das „Eigene““. Hier kehrt bei Klaus das alte tschechische Feindbild von Europa wieder, er bedient damit tief verankerte tschechische Stereotypen.

Die tschechische „mentale Küche“

Will man also den tschechischen Europaskeptizismus der Gegenwart als Erscheinung wie in seinen Ursachen wirklich verstehen, darf man ihn nicht alleine als direkte und bloße Reaktion auf konkrete aktuelle Prozesse begreifen, zum Beispiel auf das Urteil des Europarats über kommunistische Verbrechen. Darauf wies schon Václav Havel hin, als er erklärte, der EU-Skeptizismus in Tschechien sei sozial-historisch verankert. Entscheidend sind die historischen Wurzeln des tschechischen Euroskeptizismus und seine Stereotypen.

Deren Gegenstand bildet nie eine Wirklichkeit, sondern immer nur ein Modell von Wirklichkeit. Dieses Modell liegt dem Denken jener Gruppe zugrunde, die das Stereotyp schafft. Diese entstehen so zum einen historisch in einem Kollektiv, zum anderen aber auch individuell.

Für Havel ist der tschechische EU-Skeptizismus Ausdruck der Tradition „einer sehr paradoxen Kombination“ von Kollaboration und patriotischem Geschrei. Die Euroskeptiker sehen den Nationalstaat bedroht und betonen die nationale Souveränität. Gleichzeitig kollaborieren der Staat und die Wirtschaft. Havel lehnt diese

paradoxe geistige und politische Tradition ab und wersetzt sich ihr. Jeder Versuch, aktuelles politisches Handeln einer Gruppe nur aus der aktuellen Situation heraus zu erklären, wäre zum Scheitern verurteilt, weil er die komplexe „mentale Küche“, in der menschliche Gruppen immer handeln, nicht berücksichtigt. „Mentale Küche“ meint aber konkret emotional geprägte, verallgemeinernde Werturteile, also Stereotypen.

Bilder in den Köpfen

Stereotypen sind kognitive Konzepte, die Verallgemeinerungen über andere Personen oder Gruppen darstellen (A. Zick). Nicht zuletzt wegen der Subjektivität ihrer Werturteile sind sie besonders stark mit Emotionen behaftet (H. H. Hahn). Stereotypen beruhen zudem meist nicht auf eigenen Erfahrungen. Einer bloß rationalen Kritik entziehen sie sich deshalb. Havel spricht nicht zufällig von Paradoxie. Dieser nicht-rationale Diskurs darf aber aufgrund seiner tiefen und breiten gesellschaftlichen Verankerung gegenüber den öffentlichen und offiziellen rationalen Europadiskursen auf keinen Fall ins Hintertreffen geraten. Denn nur bei den Stereotypen haben wir es mit den ausgesprochen wirksamen Bildern in den Köpfen der Menschen („pictures in our heads“, W. Lippmann) zu tun.

Stereotypen bestehen zum einen aus tradierten Haltungen und Konzepten, aus überlieferten Denk- und Wahrnehmungsgewohnheiten, zum anderen aus „Sprachgepflogenheiten“ (H. H. Hahn) wie „über uns

ohne uns“. Die Sprache ist hier deshalb zentral, weil sie über damit verknüpfte Nebenbedeutungen Emotionen transportieren kann. Sie prägt die Wahrnehmung und formt mentale Haltungen. Für Franz Dröge fixieren wir Menschen und Dinge in unseren Vorstellungen stereotyp: Mit unseren vorgeprägten Anschauungen rücken wir von Menschen und Dingen „als vorfindlichen Tatsachen“ gleichsam ab. Nicht die Tatsachen sind für uns primär, sondern die Vorstellungen, die wir von ihnen haben. Stereotypen zeichnen sich demnach – neben dem emotionalen – durch einen apriorischen Charakter aus. Es handelt sich letztlich um Werturteile, die nicht verifizierbar sind, da ihnen keine realen Erfahrungen zugrunde liegen.

Orientierung in turbulenten Zeiten

Umbruchzeiten verlangen geradezu nach Stereotypen, weil sie die schnelle Orientierung erleichtern und „festen Stand“ geben. Erkenntnisökonomisch – so Dröge – verhindern Stereotypen allerdings die für die Erkenntnis von Wirklichkeit eigentlich notwendigen Detailerfahrungen. Der Aufwand ist bei Stereotypen geringer. In Umbruchzeiten entstehen aber auch meist nationale oder – wie in unserem Fall die EU – transnationale Gebilde neu. Die Entstehung transnationaler Gebilde und die zunehmende Bedeutung von Stereotypen bedingen sich gegenseitig, denn Stereotypen stellen eine Voraussetzung für die Bildung eines „pränationalen kollektiven Bewusstseins“ (R.

Jaworski) dar. Mit dem Jahr 2004 beginnt in Tschechien zweifellos eine solche Umbruchsphase, die bis heute unvermindert anhält. Die Zeichnung von Vladimír Renčín erschien am 10.1.2006 in der Zeitung *Právo* (siehe Bild 3).

Trotz verzweifelter Versuche, rechtzeitig zum Stehen zu kommen oder auch vom einmal eingeschlagenen Weg abzukommen, rast der glücklose Skifahrer unaufhaltsam auf die mitten in der Piste stehende Tafel zu: Die 12 EU-Sterne werden von dem Versprechen kommentiert: „Wir werden nicht vom Weg nach Europa abkommen!“ Der Skifahrer wird offensichtlich schon bald ganz andere Sterne sehen. Renčíns Zeichnung entlarvt das Pathos derjenigen, die meinen, den Weg nach Europa selbst eingeschlagen zu haben, in komischer Weise: Sie erscheinen als Getriebene, die letztlich gar nicht anders können – und schon bald auf der Nase liegen werden.

„Europa“ oder „EU“?

Die Karikatur verdeutlicht ein weiteres Phänomen tschechischer Europadiskurse. Es ist die – bewusste – Vermengung von Äußerungen, die sich zum einen gegen Europa und seine Traditionen wenden und zum anderen gegen die EU. Thematisiert der Text ausdrücklich „Europa“, so signalisieren die zwölf Sterne die Europäische Union: Beides findet sich – durchaus symptomatisch für den tschechischen Diskurs – unmittelbar nebeneinander. Die Kritik am „europäischen“ Weg lässt sich als Kritik an der EU verstehen. Dann sind die

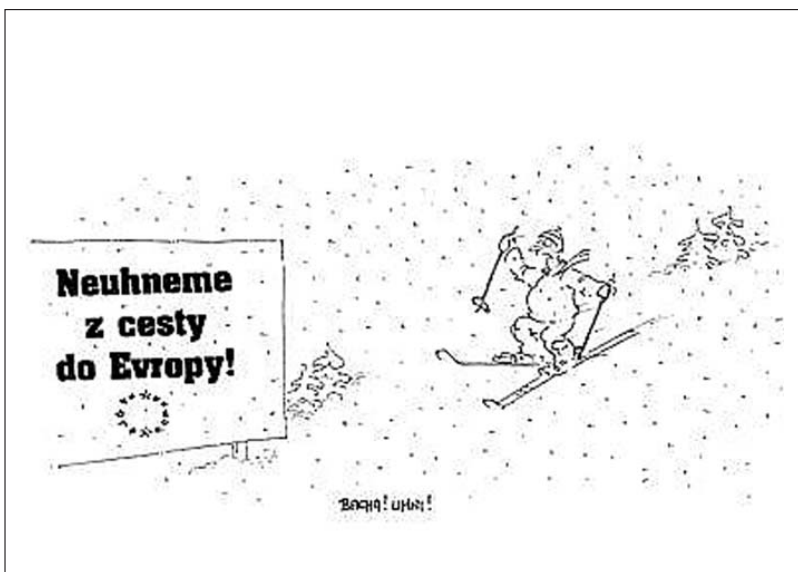


Bild 3

zwölf Sterne – im Sinne der Mehrheit der Tschechen – als Emblem der EU zu interpretieren.

Doch lässt sich die Zeichnung auch als Kritik an einem gemeinsamen Europa lesen: In einem eher europäischen Verständnis würde die Fahne als die europäische Fahne, das heißt „Europa“ tatsächlich als Europa, und nicht als EU aufgefasst: „So sieht die europäische Fahne aus. Sie ist nicht nur ein Symbol der Europäischen Union, sondern auch der europäischen Einheit und Identität in einem weiteren Sinne... Die Zahl der Sterne hat keinen Zusammenhang mit der Zahl der Mitgliedsstaaten. Es gibt zwölf Sterne, weil die Zahl zwölf ein traditionelles Symbol für Perfektion, Vollkommenheit und Einheit ist“ (Zitat aus den Internetseiten der EU).

Die Begriffe „Europa“ und „EU“ werden so vermengt, dass sie ohne einen spezifischen Kontext nicht mehr zu unterscheiden sind.

Die Frage nach dem Sinn europäischer Integration

Diese Verwirrung ist immer auch eine sprachliche. Als sich Václav Klaus im November 2005 weigert, die blaue Fahne mit den Sternen über dem Hradtschin hissen zu lassen, unterstützen 65 % aller Leser eines entsprechenden Internetberichts seine Entscheidung. Sie sprechen von der Fahne der EU. Gleichzeitig verlangen aber die Künstler Bořek Šípek und Michal Kocáb von Klaus, er habe ihre Rechte als europäische Bürger zu respektieren und die „europäische Fahne“ doch zu hissen. Das sprachliche Ping-Pong

zwischen EU und Europa komplettiert die Zeitung *Právo*, indem sie in ihrem Bericht beide Begriffe mit gleicher Bedeutung benutzt.

Selbst in jenen Zeitungsartikeln, in denen ausdrücklich entweder von der EU oder von Europa die Rede ist, stehen vielfach in Wirklichkeit beide zur Debatte. Petr Zavadil kommentiert in *Lidové noviny* in seiner wöchentlich erscheinenden Kolumne „Eurozóna“ (Eurozone) überwiegend aktuelle Themen der EU. Dabei übt er manchmal Kritik an der Realität der EU, doch klammert er Themen, die Europa, nicht aber die EU betreffen, keineswegs aus: So stellt er etwa die Frage, was denn die europäische Zivilisation eigentlich sei. Seine vehemente Kritik an den EU-feindlichen und antieuropäischen Äußerungen von Klaus kleidet Zavadil in die Worte der Euroskeptiker: Klaus' Gegner seien mit Plänen zur Vereinigung Europas befasst. Sie reflektierten aber nicht, warum sie das tun. Dies würde ihnen aber gut anstehen. Letztlich wird also erneut nicht die EU der Kritik unterworfen; vielmehr wird die kritische Frage nach dem Sinn der europäischen Integration gestellt.

Ende der Skepsis?

Angesichts dieser Gemengelage fragt man sich, ob ein Ende der tschechischen Skepsis gegenüber der EU beziehungsweise einem gemeinsamen Europa absehbar sein könnte. Tagespresse und Internetforen aus Anlass des zweiten Jahrestags des EU-Beitritts spiegeln die andauernde tschechische Beschäf-

Prof. Dr. Walter Koschmal (geb. 1952) ist Inhaber des Lehrstuhls für Slavische Literaturwissenschaft und Leiter des Europaeum der Universität Regensburg. Er lehrt im Elitestudiengang „Osteuropastudien“, hat die „Ost-West-Studien“ begründet und leitet ein Projekt im Forschungsverbund Ost- und Südosteuropa (FOROST). Wissenschaftlich beschäftigt er sich aktuell vor allem mit slavischen Literaturen im Vergleich, den slavischen Kulturen und Europa sowie jüdisch-slavischen Literatur- und Kulturbeziehungen.

Dr. Kenneth Hanshew wurde 1969 in Nebraska (USA) geboren und ist wissenschaftlicher Mitarbeiter bei Prof. Koschmal im Elitestudiengang „Osteuropastudien“ und im Forschungsverbund FOROST. Seine Forschungsschwerpunkte sind die tschechische Literatur und komparatistische Literaturwissenschaft.

tigung mit der EU und Europa wider. So prophezeien die Schlagzeilen in *Právo* vom 26.4.2006, dass die Tschechen schon in zwei Jahren mit der EU zufrieden sein werden: Laut Eurobarometer glauben 55 % aller Tschechen, dass ihnen die Mitgliedschaft in der EU Vorteile verschaffen wird. Doch in entsprechenden Internetdiskussionen bezweifeln Leser offen die Glaubhaftigkeit solcher Ergebnisse: Es seien doch wohl höchstens 20 % aller Tschechen oder vielleicht auch nur bestimmte Politiker mit der EU zufrieden. Positive Bestandsaufnahmen stehen neben skeptischen. Doch selbst in den positiven Stellungnahmen wird gemahnt: „Wir sollten vorsichtig sein, Manipulationsversuchen widerstehen, nicht alles sofort glauben, lernen, zwischen den Zeilen zu lesen, gesunden Menschenverstand haben und an allem zweifeln.“ Skepsis und kein Ende.

DRAHTSEILAKT MIT NETZ – INVESTITIONEN IN RUSSLAND



Dirk Holtbrügge und Jonas F. Puck

Berichte über die russische Wirtschaft nehmen in deutschen Medien seit langem einen breiten Raum ein. Zumeist überwiegen dabei allerdings negative Meldungen. Berichte über die „Yukos-Affäre“ mit der Verhaftung von Michail Chodorkowskij, die kurzfristige Einstellung von Gaslieferungen an die Ukraine oder den Einstieg von Altkanzler Gerhard Schröder als Aufsichtsratsvorsitzender der North European Gas Pipeline (NEGP), einem Joint Venture der deutschen Unternehmungen E.ON und BASF mit der russischen Gasprom, zeichnen ein wenig marktwirtschaftliches und schwer durchschaubares Bild des Landes und seiner Wirtschaft.

Die häufig negative Berichterstattung reflektiert auch die verhältnismäßig geringen ausländischen Investitionen in das Land. Im Vergleich zu anderen mittel- und osteuropäischen Transformationsländern sowie etwa zur VR China sind ausländische Investitionen in Russland bislang nur von geringer Bedeutung: Im Jahre 2004, d.h. 15 Jahre nach der außenwirtschaftlichen Öffnung der ehemaligen UdSSR, haben ausländische Unternehmen gerade einmal 11,7 Mrd. US-\$ in Russland investiert. Im Vergleich dazu entfielen etwa auf China rund 60,6 Mrd. US-\$.

Mangelnde Rechtssicherheit birgt hohe Risiken

Als Hauptgrund für diese relative Zurückhaltung führen ausländische Unternehmen immer wieder das hohe Investitionsrisiko an. Die aufgrund häufig wechselnder Gesetze ohnehin schon geringe Rechtssicherheit in Russland werde durch die mangelnde Durchsetzungsmöglich-

keit des Rechts noch verstärkt. Dieses Rechtsvakuum bietet zahlreichen kriminellen und mafiösen Strukturen einen Nährboden, um Tätigkeit ausländischer Unternehmungen in vielfältiger Weise zu beeinflussen. Das rechtliche Risiko eines Engagements in Russland bewerten potenzielle Investoren deshalb im Vergleich zu anderen mittel- und osteuropäischen Transformationsländern als sehr hoch.

Darüber hinaus sind ausländische Unternehmungen in Russland aufgrund intransparenter politischer Strukturen, häufiger Richtungswechsel und weitreichender Eingriffe in ökonomische Prozesse einem hohen politischen Risiko ausgesetzt. Ein Beispiel dafür ist die Intervention des russischen Präsidenten Wladimir Putin gegen die Übernahme des Turbinenherstellers Silovye Mashiny durch Siemens. Bei Mitarbeitern der zentralen, regionalen und lokalen Administration zeigt sich zudem oft ein hohes Ausmaß an Korruption.

Wladimir Putin und Gerhard Schröder – der Präsident der Russischen Föderation und der deutsche Bundeskanzler – hier während einer Vertragsunterzeichnung über das gemeinschaftliche Engagement bei der Öl- und Gasförderung zwischen Russland und Deutschland.

Caro / Meyerbröker



Schwierige Wirtschaftsstrukturen und Kulturunterschiede

Die erst im Aufbau befindlichen marktwirtschaftlichen Strukturen bedingen zudem ein beträchtliches ökonomisches Risiko, das vor allem kleine und mittelständische Unternehmungen aufgrund ihrer geringen Eigenkapitalausstattung betrifft. Vor allem die Finanz- und Arbeitsmärkte sind noch stark unterentwickelt und sehr unbeständig. Nachdem bei der Rubelkrise im Jahr 1998 die russische Währung innerhalb weniger Wochen fast 50 % ihres Wertes verlor, mussten viele ausländische Unternehmungen ihre Aktivitäten erheblich reduzieren oder zogen sich sogar ganz aus dem Markt zurück. Viele russische Unternehmungen sind hoch verschuldet, häufig sogar zahlungsunfähig („virtuelle Ökonomie“). Ausländische Investoren ste-

hen dadurch vor beträchtlichen Problemen, denn die Zahlungsfähigkeit ist aufgrund „kreativer“ Buchführung oft nicht aus Bilanzen ersichtlich, sondern nur Insidern bekannt.

Russen äußern häufig, dass sie Angst haben vor einem Ausverkauf des Landes. Zudem haben sich in dem über viele Jahrzehnte vom Westen weitgehend isolierten Land andere Normen und Werte herausgebildet, vor allem ein ausgeprägter Kollektivismus, der die Gruppe über das Individuum stellt und eine starke Autoritätsorientierung. Die Folge davon sind oft interkulturelle Kommunikations- und Managementprobleme sowie der Abbruch von Auslandsentsendungen deutscher Fach- und Führungskräfte, die sich in ihrem russischen Lebensumfeld unwohl fühlen (kulturelles Risiko). Dies gilt insbesondere nach den terroristischen Anschlägen im Sommer 2004 in Moskau und Beslan, die

– zumindest kurzfristig – die Bereitschaft, eine Tätigkeit in Russland aufzunehmen, bei vielen Ausländern deutlich reduziert haben.

Erfolg durch Netzwerken

Wer Geschick bei seinem Engagement in Russland bewies, blickt häufig auf große Erfolge. Wichtigster Erfolgsfaktor ist dabei das Netzwerk vor Ort. In Russland genügt es nicht, wettbewerbsfähige Beziehungen zu Marktpartnern wie Kunden, Zulieferern, Banken und Kooperationspartnern aufzubauen. Ein erfolgreiches Engagement braucht zusätzlich den engen Kontakt mit nicht-marktlichen Interessengruppen wie Behörden, Gewerkschaften oder Medien. Interessengruppen beziehungsweise Stakeholder stellen Personen oder Gruppen dar, die materielle, politische, informatorische, symbolische oder moralische Interessen an einer Unternehmung haben und die in der Lage sind, für diese Interessen mittels formaler, ökonomischer oder politischer Macht einzutreten. Im Sinne dieses Stakeholder-Ansatzes hängt der Erfolg einer Unternehmung von deren Fähigkeit ab, für ihr Vorhaben die Legitimation von allen Interessengruppen zu erhalten, auf die diese bei der Realisierung ihrer Ziele und Handlungen angewiesen ist.

Bundeswirtschaftsminister Michael Glos (2.v.r.) mit Klaus-Peter Müller (2.v.l.), Vorstandssprecher Commerzbank, Thomas M. Hübner (r.), Vorstandsvorsitzender Metro Cash and Carry, und Emanuele Gatti, Vorstandsmitglied Fresenius Medical Care, auf dem Weg zu den 8. Deutsch-Russischen Regierungskonsultationen am 26.04.2006.
(Foto: © (c) by T. Koehler / photothek.net)



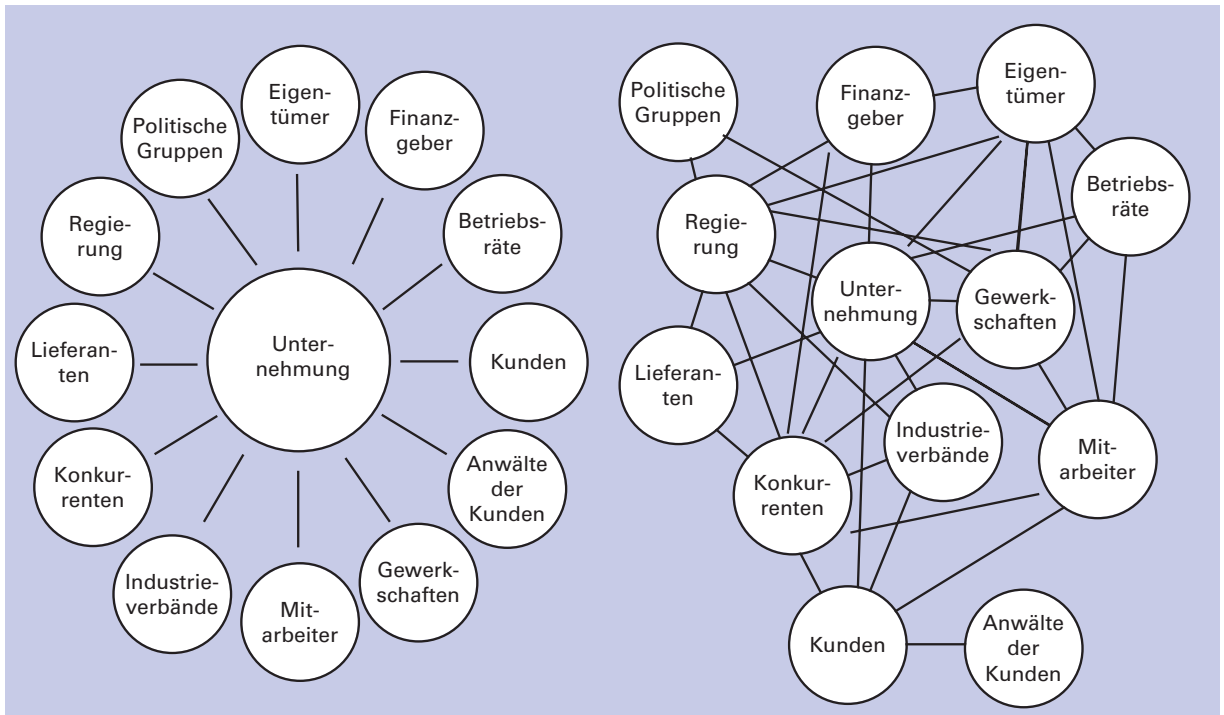


Abb. 1: Unternehmungen als Zentrum und als Netzwerk von Stakeholdern.

Vom Stern zum Netz

In der bisherigen Forschung zum Stakeholder-Ansatz dominiert ein Sternmodell, bei dem die im Zentrum stehende Unternehmung die an der Peripherie angesiedelten Stakeholder als Mittel zur Realisierung ihrer eigenen Ziele ansieht. Zunehmend setzt sich jedoch die Erkenntnis durch, dass diese zentralistische Auffassung die in der Realität bestehenden Stakeholder-Beziehungen nicht adäquat abbildet. So werden etwa die Einflussmöglichkeiten von Unternehmungen systematisch überschätzt und die Interaktionen der Stakeholder untereinander nicht berücksichtigt. Neue Ansätze sehen deshalb die Beziehungen zwischen Unternehmungen und deren Stakeholdern als Netzwerk und fassen Un-

ternehmungen als Teil des Netzwerks unabhängiger Stakeholder auf (vgl. Abb. 1).

Zu den relevanten Stakeholdern im Netzwerk zählen vor allem staatliche Institutionen, die jedoch heterogen und mit uneinheitlichen Präferenzen agieren: Sie zerfallen in zentrale, föderale, regionale, sektorale, klientelistische, politische und soziale Interessengruppen, die alle spezifische Ziele verfolgen und diese – notfalls auch gegeneinander – durchzusetzen versuchen. Weitere bedeutsame nicht-staatliche Interessengruppen sind die Medien, Industrieverbände, verschiedene Nicht-Regierungsorganisationen (NGOs) sowie die häufig als Mafia bezeichneten schattenwirtschaftlichen Strukturen. Enge Kontakte zur Heimatlandregierung sowie

zu in- und ausländischen Industrie- und Interessenverbänden (z.B. AHK, Verband der Deutschen Wirtschaft in der Russischen Föderation) erleichtern es Investoren, Risiken frühzeitig zu erkennen (längere Vorwarnzeit) und risikoreduzierende Maßnahmen zu treffen.

Welchen Einfluss die verschiedenen Netzwerkpartner im Zusammenwirken ausüben, ist kulturell bedingt sehr unterschiedlich und Gegenstand der aktuellen Forschung. So gewinnen etwa in Deutschland und den USA supranationale Organisationen wie die EU oder NAFTA sowie NGOs wie Umweltschutzinitiativen zunehmend an Bedeutung. Auch der Einfluss der Industrieverbände und Gewerkschaften ist sehr groß.

Drahtseilakt mit Netz – Investitionen in Russland

Prof. Dr. Dirk Holtbrügge (Jahrgang 1964) ist Inhaber des Lehrstuhls für Internationales Management an der Universität Erlangen-Nürnberg und Forschungsgruppenleiter im Forschungsverbund Transnationale Netzwerke (FORTRANS). Seit mehr als 15 Jahren untersucht er den Transformationsprozess in Mittel- und Osteuropa (insbesondere Russland und Weißrussland) und bringt seine Erfahrung im Internationalen Bildungs- und Begegnungszentrum Minsk (Weißrussland) und als Gastprofessor in Moskau und St. Petersburg ein.

Dipl.-Kfm. Jonas F. Puck (Jahrgang 1974) ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Internationales Management an der Universität Erlangen-Nürnberg und im Forschungsverbund FORTRANS. Er promoviert über internationale Teams und interessiert sich für International Human Resource Management, Cross-Cultural Management und Kooperationsformen.

Ungeachtet aller Unterschiede gilt für Russland: Strategische Public-Private-Partnerships und die Einbindung in transnationale Stakeholder-Netzwerke, das zeigen etwa die Erfahrungen von BASF, Ruhrgas oder Siemens, reduzieren die hohen Risiken einer Investition und sichern nachhaltige Geschäftserfolge in Russland. Dies gilt insbesondere für kleine und mittelständische Unternehmungen, für die Netzwerke häufig eine besonders effiziente Möglichkeit darstellen, ihre begrenzten finanziellen und personellen Ressourcen flexibel einzusetzen. So lassen sich etwa Entscheidungen der Administration zusammen mit Netzwerkpartnern leichter beeinflussen und dadurch das Investitionsrisiko reduzieren. Zudem erleichtert die Kooperation in Netzwerken die Spezialisierung und damit den zielgerichteten Einsatz begrenzter Ressourcen. Die Etablierung transnationaler Stakeholder-Netzwerke ist jedoch auch ein fundamentales Interesse der russischen Führung, da dadurch die wirtschaftliche und politische Entwicklung des Landes stabilisiert und die Gefahr extremistischer Tendenzen reduziert wird. Je dichter die Netzwerke zwischen Unternehmungen, Behörden, Medien, Gewerkschaften und NGOs sind, desto geringer ist die Gefahr, dass einzelne Akteure einen zu großen Einfluss auf die weitere ökonomische und politische Entwicklung des Landes gewinnen, wie dies in den neunziger Jahren etwa bei den Oligarchen der Fall war.

LOGISTIK UND GALILEO

„Himmlicher“ Beistand für die Logistiker

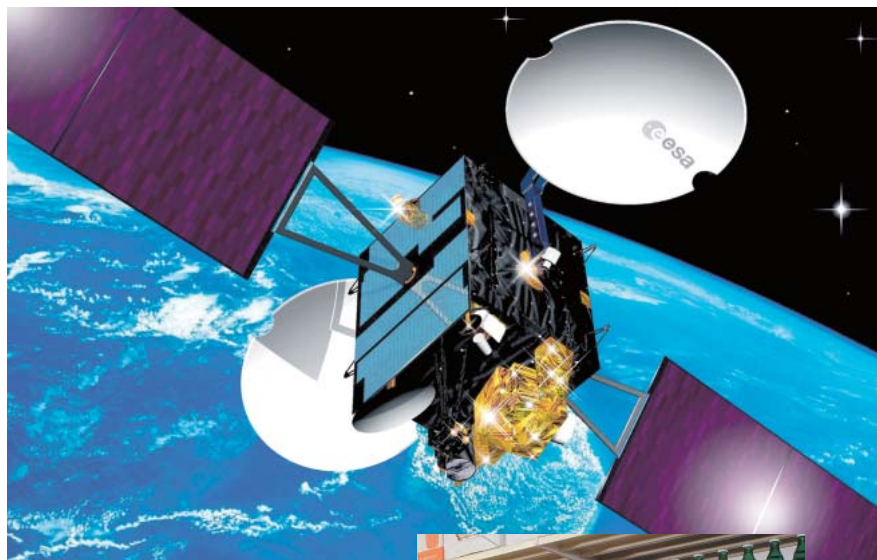
Peter Klaus

50 000 Artikel in den Regalen eines Großmarkts – jeden Tag stückgenau aufgefüllt, präzise kontrolliert und dokumentiert für Sicherheit und Frische, vom Acker des Landwirts bis an die Scannerkasse, dabei außerordentlich kosteneffizient!

Ein über das Internet geordertes Dell-PC – oder das individuell gebaute BMW-Automobil – nach wenigen Tagen geliefert in einer einzigartigen Kombination von Technik, Leistungsmerkmalen und Farben, die der Kunde für sich gewählt hat – zusammengebaut in „schlanken“ Fabriken aus Teilen und Komponenten, die für dieses Produkt aus der ganzen Welt zeitpunktgenau („just-in-time“) und entsprechend der Produktionsreihenfolge für die Montagelinie („just-in-sequence“) zusammengeführt werden!

Eine seltene Blutkonserve, die in 18 Stunden aus einer amerikanischen Blutbank an einen beliebigen Ort der Welt gebracht ist, um das Leben eines Unfallopfers zu retten!

Ohne funktionierende, effiziente, weltumspannende Logistiksysteme wären diese – und unzählige andere – Leistungen nicht verfügbar, die heute zu Selbstverständlichkeiten des modernen Lebens geworden sind.



Die Anfänge

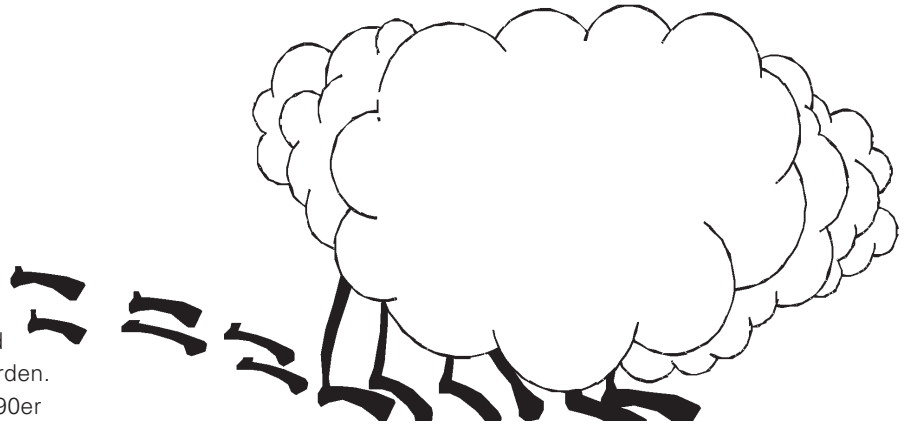
Dabei ist Logistik an sich nicht wirklich etwas Neues: Das Wort verwendeten schon römische Staatsdiener in der Antike, die die Finanz- und Nahrungsgüterverwaltung als „logistika“ bezeichneten. Das Mittelalter verstand unter „logistika“ die praktische Rechenkunst.

Näher am heutigen Verständnis wurde der Begriff erstmals im Frankreich des 18. Jahrhunderts verwendet. Die damaligen Militärs bezeichneten die Aufgabe des Bereitstellens von Wohn- und Schlafgelegenheiten, von Lebensmitteln, Gerät und Munition hinter den Schlachtlinien – abgeleitet von „loger“, der Vokabel für wohnen, logieren, beherbergen – als „logistisch“.

Logistik als Wissenschaft dagegen ist jung. Der Begriff ist in der Sprache der Wirtschaft und der zivilen Technik erstmals – und ganz



Bilder von oben nach unten:
European Space Agency, MEV-Verlag,
BMW AG, DHL Express Vertriebs GmbH &
Co. OHG



vereinzelt – in den 1960er und 1970er Jahren verwendet worden. Im Verlauf der 1980er und 1990er Jahre wurde Logistik zum festen Bestandteil des Wortschatzes der internationalen Wirtschaftsfachsprache, oft verbunden mit Schlagworten wie „Just-in-Time“, „Continuous Replenishment“ und „Supply Chain Management“. Inzwischen ist daraus eine breite, sogar als „modisch“ wahrgenommene Disziplin der Forschung und der wissenschaftlichen Lehre geworden, in der viele Disziplinen, wie insbesondere die Ingenieurwissenschaften, die Betriebswirtschaftslehre, die Mathematik, Informatik und auch die

Karikatur 1: Logistik heute: Viele Erwartungen, viele Beteiligte, aber noch kein klares Bild (Handskizze P. Klaus).

Organisations- und Verhaltenswissenschaften zusammenarbeiten. Logistische Instrumente dienen zunächst hauptsächlich der Kostenminimierung in Unternehmen. Heute wird „exzellente“ Logistik auch als Waffe im Wettbewerb um Kunden, zur Steigerung des Wertes von Produkten und Diensten, damit zur Steigerung von Umsätzen und Gewinnen eingesetzt.

Logistik ist ein Phänomen, mit dem die Wirtschaft heute hohe Erwartungen verbindet: Für Unternehmer und Manager, die mit ihren Unternehmen in immer härterem weltweiten Wettbewerb stehen, bedeutet Logistik das Versprechen auf Quantensprünge an Kostensenkung, beschleunigte Reaktionsfähigkeit auf Kundenwünsche, auf verbesserte Belieferungsqualität, Schlantheit und Anpas-

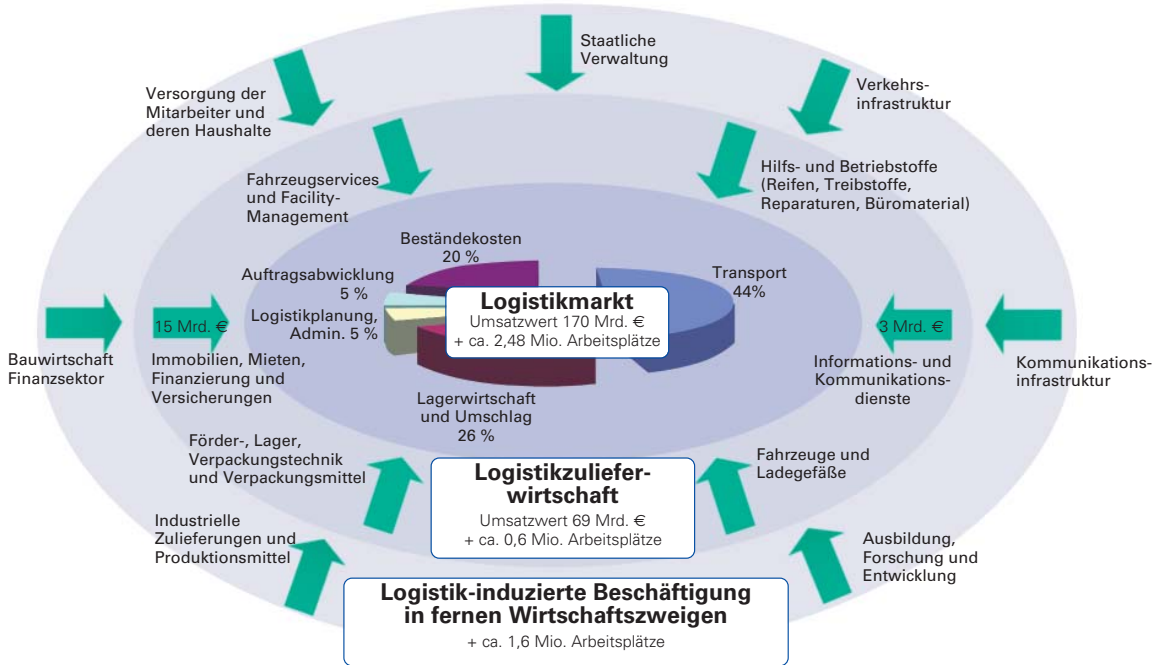


Abb. 1: Logistik als Arbeitgeber und Impulsgeber der deutschen Wirtschaft. Quelle Klaus Peter und C. Kille „Die Top 100 der Logistik“, Hamburg 2006; vgl. dazu auch die aktuellen Untersuchungen zur Bedeutung der Logistik von und Invest-in-Germany und Fraunhofer ATL „Logistikstandort Deutschland“, Berlin/Nürnberg 2005.



sungsfähigkeit der Strukturen. Die „Institutionalisierung“ der Logistik in immer mehr Vorstandspositionen und Fachabteilungen in den Unternehmen und im wachsenden Logistik-Dienstleistungssektor belegt dies. (Karikatur 1)

Fußspuren der Logistik

In jüngster Zeit nehmen auch Medien und Öffentlichkeit wahr, dass die Logistik direkter „Arbeitgeber“ von über 2,5 Mio. Menschen in Deutschland und Wachstumsgenerator und Impulsgeber für eine noch viel größere Zahl von Beschäftigten in anderen Branchen ist. Die Zahl von Jobangeboten steigt: Unter dem

Stichwort „Logistik“ weist die Internet-Jobbörse „Stepstone“ am 28.6.2006 928 Angebote (3,7 % aller offenen Stellen) aus. Die Logistik würde zu den drei größten Branchen der deutschen Wirtschaft nach Beschäftigung, Umsätzen oder Wertschöpfung zählen, wenn sie in den öffentlichen Statistiken als eigenständiges Feld ausgewiesen wäre (s. Abb. 1).

Logistik hilft der Wirtschaft, im weltweiten Wettbewerb erfolgreich zu agieren und kann als Organisator großer Events und als ordnende Kraft im beständig komplexer und turbulenter werdenden Verkehrsgeschehen wirken.

Die Logistik hinterlässt überall Spuren!

Unternehmen nehmen die Konturen der Logistik als Wissenschaftsfeld und auch als Feld praktischer wirtschaftlicher Aktivitäten bisher nur unscharf wahr. Sie nutzen moderne Technologien für ihre Logistik bisher nur zögerlich und punktuell; eigenständige, aktive Logistik-Entwicklungen sind Ausnahmefälle.

Die Wissenschaft hat viele Ansätze und sieht sich vor der zentralen Herausforderung, die Entwicklungen in Unternehmen hineinzutragen und damit die logistischen Prozesse zu beschleunigen, zu verbreitern und zu systematisieren. Inzwischen

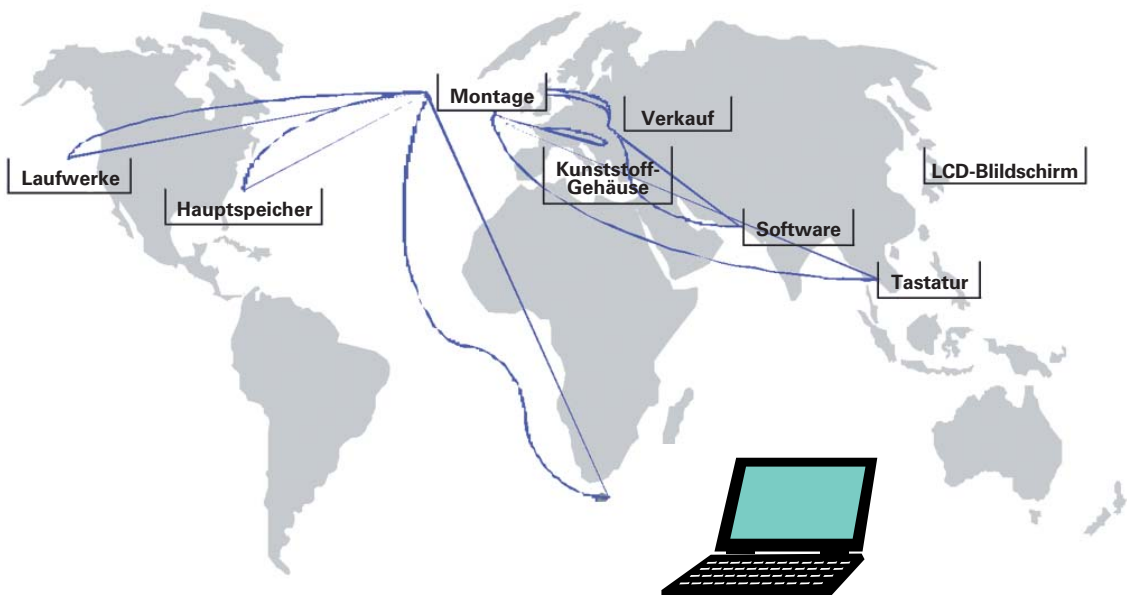


Bild 2: Logistik vernetzt weltumspannende Wertschöpfungsketten.

sind wichtige Weichen gestellt – nicht zuletzt durch den 2005 gegründeten Bayerischen Forschungsverbund Supra-adaptive Logistiksysteme (FORLOG) mit dem Schwerpunkt Automobilwirtschaft und durch die neuen Möglichkeiten, die das künftige europäische Satelliten-Navigationssystem GALILEO bietet.

Flüsse in Netzwerken

Logistik ist heute weit mehr als eine „Kunst, ein Handwerk oder eine Wissenschaft vom Transportieren, Umschlagen/Kommissionieren und Lagern von Gütern (TUL-Logistik)“ – wie sie im einfachsten Sinne Laien,

oft sogar Fachleute, immer noch verstehen. Das Feld entwickelt sich vielmehr zu einer Wissenschaft von „Flüssen in Netzwerken“, dem „Flow Management“. Solche Flüsse in einem Netzwerk sind beispielsweise Informations-, Waren-, Geld- oder auch Kommunikationsflüsse.

Das Flow Management konfiguriert systematisch Netzwerke und ihre Flüsse, die Nutzen und Werte für die Menschen schaffen. Es passt sich kontinuierlich an sich verändernde Aufgaben-Umfelder an, es regelt und navigiert die Flüsse, die sich durch diese Netzwerke bewegen. Wie Abbildung 2 zeigt, sind

solche Flüsse auf mehreren, sich gegenseitig beeinflussenden Netzwerkebenen zu gestalten, zu steuern und zu optimieren. Anstelle von Gütern, auf die sich die Logistik traditionell konzentriert hat, können aber auch Personen, Dienstleistungen, Wissensobjekte, Gelder und Werte Gegenstand der logistischen Optimierungsanstrengungen sein.

Der Erfolg logistischer Optimierung stellt sich aber nicht allein durch Verkürzung, Begradigung, Beschleunigung der primären „Objektflüsse“ auf der untersten Netzwerkebene ein. Erfolgreiche Logistik beherrscht vielmehr simultan alle Datenflüsse und berücksichtigt ihre gegenseitigen Abhängigkeiten und Einflüsse. Sie steuert neben den rechtlichen, finanziellen und institutionellen Aspekten komplexer Netzwerkstrukturen auch die fördernden oder hemmenden zwischenpersönlichen und interorganisatorischen Beziehungen („soziales Netz“).

Helfer aus dem All: Satelliten identifizieren, lokalisieren, navigieren

Modernste Technik unterstützt die Logistik bei einer effizienten Lösung der komplexen Aufgaben. Die Raumfahrt eröffnet ganz neue Möglichkeiten, vor allem das Navigationssystem GALILEO. Schon 2011 sollen 30 GALILEO-Satelliten den Globus „ausleuchten“, kontrolliert durch ein Netz von Bodenstationen. Im Gegensatz zum amerikanischen GPS- und dem russischen GLONASS-System, die der militärischen Kontrolle unterliegen, dient GALILEO ausschließlich

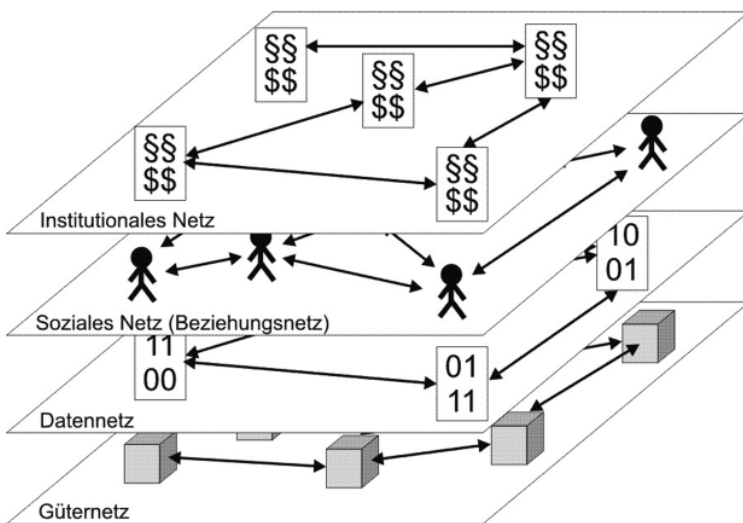


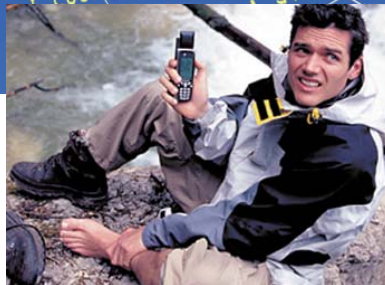
Abb. 3: Logistik als „Flow Management“ in vier Netzwerkebenen. Quelle: Otto, Andreas „Das Management und Controlling institutionaler Vernetzung“ in: Logistik Management, 4. Jg. 2002, Ausg. 3, S. 22-33; vgl. auch Klaus, Peter „Die Dritte Bedeutung der Logistik“, Hamburg 2002.



Bilder: GALILEO Industries

zivilen Zwecken. Ende 2005 und Anfang 2006 starteten die ersten beiden GALILEO-Testsatelliten.

GALILEO erfasst Topographien in einer bisher nicht gekannten Vollständigkeit, Präzision und Aktualität, die logistischen Netzwerke inbegriffen. Und noch wichtiger: Es ist in der Lage, Millionen Objekte – Fahrzeuge, Lademittel, Personen und anderes – simultan zu identifizieren, deren Po-



sition und Wege jederzeit metergenaue zu erfassen und auszuwerten. Hard- und Software ermöglichten es, aus den gewonnenen Identifikations- und Positionsinformationen Steuerungs- und Regelungssignale zu er-

zeugen, die dazu dienen, die Objekte besser zu ordnen und wirtschaftlicher, bedarfsgerecht und unter aktueller Berücksichtigung aller Netzwerk-Statusinformationen zu steuern.

Prof. Peter Klaus, D.B.A./Boston Univ., M.Sc./MIT Cambridge, Dipl.-Kfm. (Jahrgang 1944) ist Inhaber des Lehrstuhls für Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Logistik an der Universität Erlangen-Nürnberg und Leiter der Fraunhofer Arbeitsgruppe für Technologien der Logistik-Dienstleistungswirtschaft ATL in Nürnberg. Er ist Sprecher des bayerischen „Cluster Logistik“, war Sprecher des Bayerischen Forschungsverbands Verkehr- und Transportsysteme (FORVERTS) und engagiert sich aktuell im Bayerischen Forschungsverbund Supraadaptive Logistiksysteme (FORLOG). Seine wissenschaftliche Expertise auf den Gebieten betriebswirtschaftliche Logistik, Management von Logistik- Dienstleistungsunternehmen, Prozessmanagement und die Anwendung organisations- und verhaltenswissenschaftlicher Ansätze auf Logistik und Dienstleistung bringt er als Mitglied in Aufsichts- und Beiräten in zahlreiche Unternehmen ein.

Auf GALILEO ruhen große Erwartungen für die Logistik der Zukunft, denn jederzeit lässt sich der Standort und die Bewegungsgeschwindigkeit der mehr als 100 000 Güterwagen der Deutschen Bahn oder der mehreren Hunderttausend Container, Sattelaufleger und Wechselbrücken, die sich auf den deutschen Straßen bewegen, sogar die Ladungsobjekte, die sich darauf befinden, bestimmen. Der Transportunternehmer DHL ist ein Schwergewicht im internationalen Expressversand: Er liefert pro Jahr über 1,5 Milliarden Sendungen an 120 000 Versandziele weltweit. Die firmeneigene Logistik muss die Flotte von 420 Flugzeugen und 76 200 Fahrzeugen wirtschaftlich einsetzen und immer und überall den Überblick bewahren, welches Fahr- oder Flugzeug sich wo befindet, um bei einer Panne trotzdem die Pakete oder Container fristgerecht zu liefern. Eine hohe Herausforderung, die ohne „den Blick aus dem All“ kaum zu bewältigen wäre.

Aber auch die Polizei könnte von „dem Blick aus dem All“ profitieren und gezielt nach einem gestohlenen LKW suchen. Damit ist sie nicht mehr darauf angewiesen, dass Fußgänger den Wagen zufällig und leer geräumt auf einem abgelegenen Parkplatz finden.

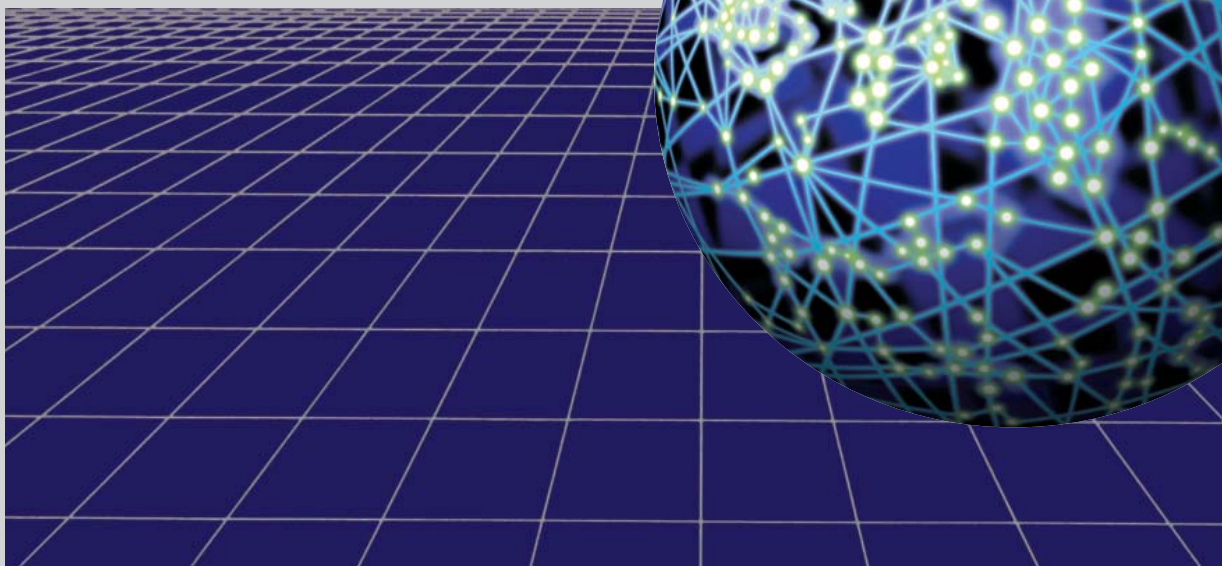
Logistik und Galileo: Ein starkes Team

Hinter GALILEO steckt mächtiges wirtschaftliches Potenzial, das sich nutzen lässt: Besserer Service, weniger Leerfahrten und gleichmäßigere Auslastung der Schienen- und

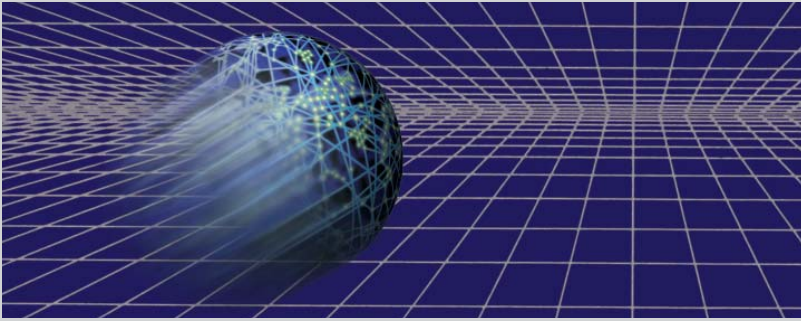
Straßennetze mit weniger Staus. Auch die Park- und Rangieraktivitäten lassen sich damit optimieren. In großen Fabrikanlagen, Logistikzentren, Hafenanlagen, Umschlagsbahnhöfen und „Hubs“ der Logistikunternehmen fallen täglich Hunderte solcher Manöver an; verzögerte Lieferungen durch Staus und Unfälle sind an der Tagesordnung. Die Steuerung über Satelliten hilft, dies zu vermeiden, sie senkt damit die Kosten und reduziert die Aufwendungen für Ad-hoc-Kommunikation.

Satellitengesteuerte Kommunikation eröffnet die Chance, auch kurzfristige, spontane Bedarfe von Menschen für Fahrten zu registrieren und „bedarfsgerecht“ und komfortabel zu bündeln, beispielsweise ähnliche Fahrthanforderungen in „Sammeltaxis“ und „Poolsystemen“ abzuarbeiten. Die Kapazität der über 40 Millionen PKWs in Deutschland, die im Jahresdurchschnitt nur mit 1,1 Personen pro Fahrt ausgelastet sind, könnten wesentlich besser ausgenutzt und dadurch die Verkehrsbelastung verringert werden.

„Logistik und Galileo“ – gemeinsam sind sie sehr stark. Die Kombination eröffnet Möglichkeiten, die Wissenschaftler begeistern und Logistiker in Unternehmen mit neuen Technologien für die Zukunft im globalen Wettbewerb ausrüsten.



WELT DER INFORMATION



JOHNNIE UND LOLA



Heinz Ulbrich

Johnnie ist kein Romantiker mit Gitarre am Lagerfeuer, Johnnie ist ein Laufroboter, zweibeinig und autonom. Er kann auf ebenem und unebenem Boden gehen und sich sogar in Kurven legen. Was für den Menschen die meiste Zeit seines Lebens trivial ist, nämlich sich mit schnellen, dynamischen und stabilen Schritten fortzubewegen, erfordert für das mechanische „Ebenbild“ einen erheblichen Aufwand an ausgefeilten Antrieben, Sensoren und Regelungstechniken.

Roboter in Menschengestalt sind die Vision des dienstbaren Geistes, der auch den Einkauf mit dem einprogrammierten Zettel mal eben alleine erledigt. Je mehr der Roboter dem Menschen ähnelt, desto eher akzeptiert er ihn. Dahinter steckt eine menschliche Eigenart, die Psychologen

bereits lange, zum Beispiel von Spinnenphobien, kennen: Kaum ein Tier ist dem Menschen körperlich unähnlicher und löst so extreme Reaktionen aus wie die Spinne. Humanoide, laufende Roboter faszinieren nicht nur Technikfreaks, sie sind auch für Forscher im 21. Jahrhundert ein weites Betätigungsfeld. Einige künstliche Gestalten sind

als Bastelkits bereits auf dem Markt. Sie stammen zum Beispiel aus den Entwicklungslabors von Kondo in Japan oder Robotis in Korea und erinnern mit ihren plumphen Körpern mehr an Astronauten als an dynamische Helfer. Dies gilt auch für ASIMO, den wohl berühmtesten Laufroboter von Honda, der gehen, balancieren und gestikulieren kann. Das Forschungsmodell (vorgestellt im Dezember 2004) ist 1,30 m groß, wiegt 54 kg und kann etwa 40 Minuten seinen Dienst versehen,

bevor er wieder seine Akkus laden muss. Aktuell rennt ASIMO mit 6 km/h, kann Kreise laufen und ein Tablett mit Kaffeetassen anreichen. Johnnie vom Lehrstuhl für Angewandte Mechanik der TU München ist schon einen Schritt weiter: Er lief auf der Hannovermesse 2003 bereits über einen Hindernisparcours. Der 2001 emeritierte Prof. Dr.-Ing. Friedrich Pfeiffer von der TU München ist der geistige Vater des ersten Münchner Laufroboters. Dass Johnnie Hindernisse erkennt, ist ein Novum, was mit ein Verdienst des Lehrstuhls für Steuerungs- und Regelungstechnik der TU München ist. Johnnie kann zudem



Bild 1: Johnnie

seine Schritte so planen, dass er das Hindernis entweder übersteigt oder umgeht.

Ein Leichtgewicht mit Modelmaß

Johnnie ist 180 cm groß und wiegt dabei nur 49 kg. Er steuert seine Bewegungen über 17 angetriebene Gelenke. Jeweils sechs befinden sich in den Beinen: drei in der Hüfte, eines im Knie sowie zwei im Sprunggelenk. Wie beim menschlichen Gang auch, müssen Johnnies Arme den Drall durch die Laufbewegung ausgleichen. Deshalb besitzen die Gelenke in den Schultern je zwei Freiheitsgrade. Selbstverständlich hat Johnnie auch Ellenbogen und kann den Hals menschlich bewegen, zum

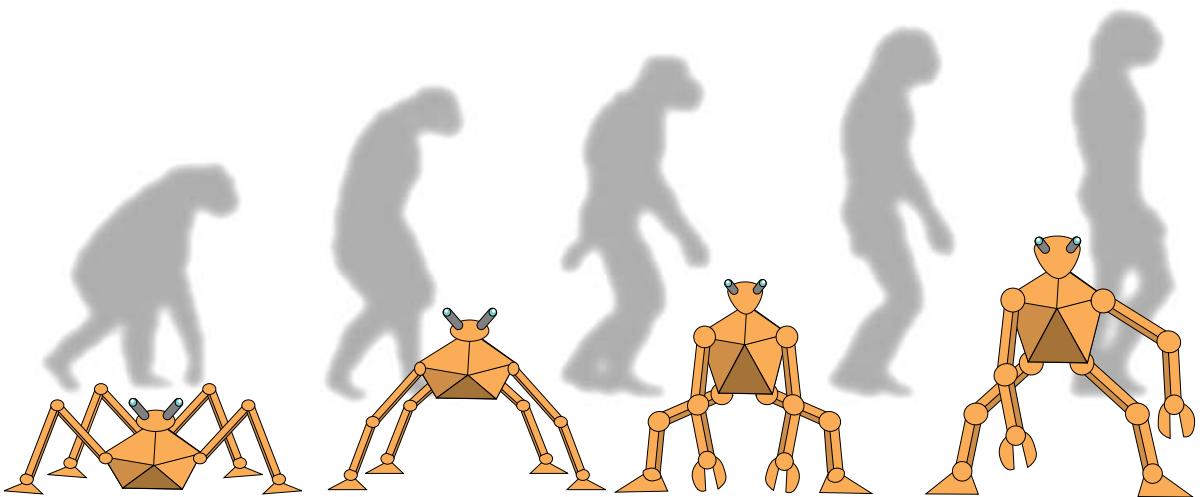
Beispiel um Hindernisse zu „sehen“. Speziell entwickelte Leichtbaugetriebe treiben die Gelenke mit Gleichstrommotoren an. Eine Ausnahme bilden die Sprunggelenke, die als Parallelmechanismus mit Kugelgewindetrieben realisiert sind. Kugelgewindetribe übersetzen eine Drehung (Rotation) in eine Vorwärtsbewegung (Translation). Der Rest von Johnnie besteht überwiegend aus hochfesten Aluminiumlegierungen. Sensorik, Elektronik und Rechner sind direkt auf dem Roboter montiert, so dass Johnnie sehr autonom agieren kann. Lediglich für die Energie benötigt er ein Kabel.

Sensoren messen laufend die Gelenkpositionen und -geschwindigkeiten und auch, wie fest der Roboter

mit beiden Beinen auf der Erde steht (die Bodenaufstandskräfte). Anhand dieser Messungen entscheidet die Regelung, ob Ausgleichsbewegungen notwendig sind, damit der Roboter nicht hinfällt. Der Android orientiert sich mit Hilfe eines Orientierungssensors, der aus Beschleunigungs- und Kreiselsensoren besteht, die die räumliche Drehlage des Oberkörpers erfassen. Seinen PC trägt Johnnie „onboard“, also direkt auf dem Oberkörper. Er verbindet Sensoren und Motorleistungsstufen über eine Schnittstellenkarte.

Aufrecht über Stock und Stein

Bodenunebenheiten oder äußere Krafteinwirkung bringen das High-





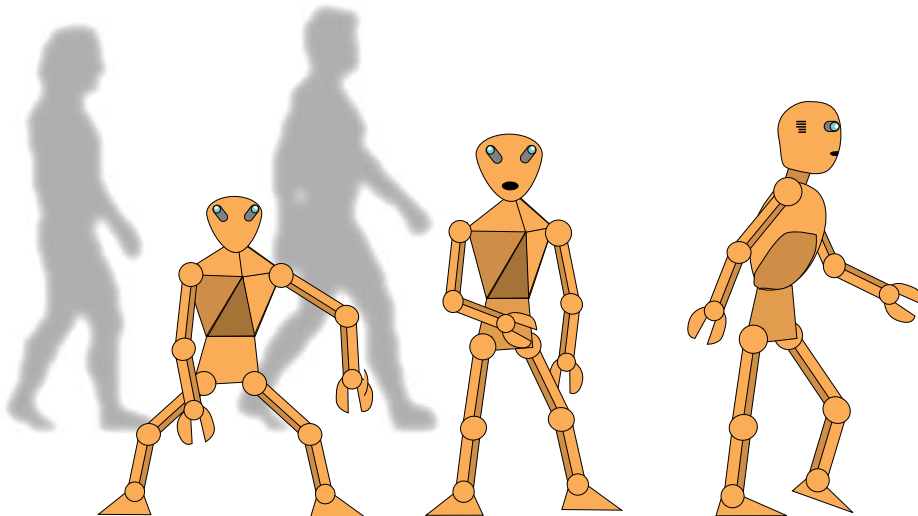
tech-Gerät aus dem Gleichgewicht, der Körper weicht von der idealen Drehlage ab. Bereits kleinste Störungen lassen den Roboter innerhalb weniger Schritte stolpern. Deshalb ist eine Anpassung der Trajektorien beim Laufen erforderlich. Eine Trajektorie bezeichnet den Weg oder die Flugbahn, also eine Kurve im Raum, entlang der sich zum Beispiel der Schwerpunkt eines Körpers mit einer bestimmten Geschwindigkeit bewegt. Ein Orientierungssensor misst die Abweichungen von der idealen Trajektorie und leitet die Daten an den Rechner weiter. Dieser veranlasst die Maschine sofort, das heißt in Echtzeit, zu einer Ausgleichsbewegung, so dass sich der Oberkörper wieder aufrichtet. Das Ganze

darf nur Bruchteile von Sekunden dauern, damit die Ausgleichsbewegung den drohenden Fall verhindert. Die Reaktionsschnelligkeit kommt durch das vereinfachte dynamische Modell der Maschine im Rechner zustande, das alle zeitaufwändigen und für die Ausgleichsbewegung irrelevanten Parameter weglässt.

Die Bewegungsregelung des Roboters ist hierarchisch in zwei Ebenen gegliedert. Auf der obersten Ebene erfolgt die allgemeine Gangkoordination einschließlich des Übergangs zwischen den verschiedenen programmierten Gangmustern, zum Beispiel für Stehen, Gehen und Treppensteigen. Jedes Gangmuster setzt sich aus unterschiedlichen Phasen zusammen (z. B. Standphase,

Schwungphase) und beschreibt den Weg, die Referenztrajektorie, der Füße. Dabei darf der Standfuß natürlich in keiner Phase des Schritts unbeabsichtigt abheben oder kippen, sonst würde Johnnie umfallen. Diese Referenztrajektorien erfüllen die dynamischen Randbedingungen des Systems. Der Roboter ist im Gleichgewicht, solange die Gelenkwinkel im Einklang mit den Referenztrajektorien sind. Die untere Ebene regelt die Bewegungen der einzelnen Gelenke.

Gerät der Roboter also ins Straucheln, berechnet die obere Ebene die notwendige Ausgleichsbewegung, wobei eine Momentenregelung sicherstellt, dass die Füße eben auf dem Boden bleiben. Die Aus-



gleichsbewegung setzte sich aus etlichen zeitgleichen einzelnen Bewegungen der unterschiedlichen Gelenke zusammen, die die untere Ebene unabhängig davon veranlasst.

Läuft Johnnie mit Hilfe des Sichtsystems autonom, erkennt er Löcher im Boden oder Steine, die im Weg liegen. Eine zusätzliche, übergeordnete Reglerebene passt dann vorausschauend das Gangmuster an die aktuellen Umweltgegebenheiten an. Im Experiment erreichte Johnnie mit diesem System eine maximale Geschwindigkeit von 2,4 km/h bei einer Schrittlänge von 55 cm.

Lola rennt

Nun sind 2,4 km/h verglichen mit der menschlichen Fortbewegung nicht gerade schnell. Deshalb unterstützt die DFG nach dem Schwerpunktprogramm SPP 1039 „Autonomes Laufen“ jetzt das Projektpaket „Natur und Technik intelligenten Laufens“, in dem der Lehrstuhl für Angewandte Mechanik die Erkenntnisse und Erfahrungen von Johnnie zu Lola weiterentwickelt.

Lola rennt nicht nur im Film, sondern auch in der Realität: Sie soll den menschlichen Gang noch besser nachahmen und außerdem erheblich schneller werden. Angepeilt sind etwa 5 km/h, womit sie mit dem Menschen schritthalten kann, was derzeit weltweit nur ASIMO schafft. Auch die Laufstabilität soll sich durch größere Autonomie des Gerätes verbessern. Lolas Augen, das Sichtsystem, müssen besser und schneller mit der Laufregelung kommunizieren. Fortschrittliche Strategien sollen

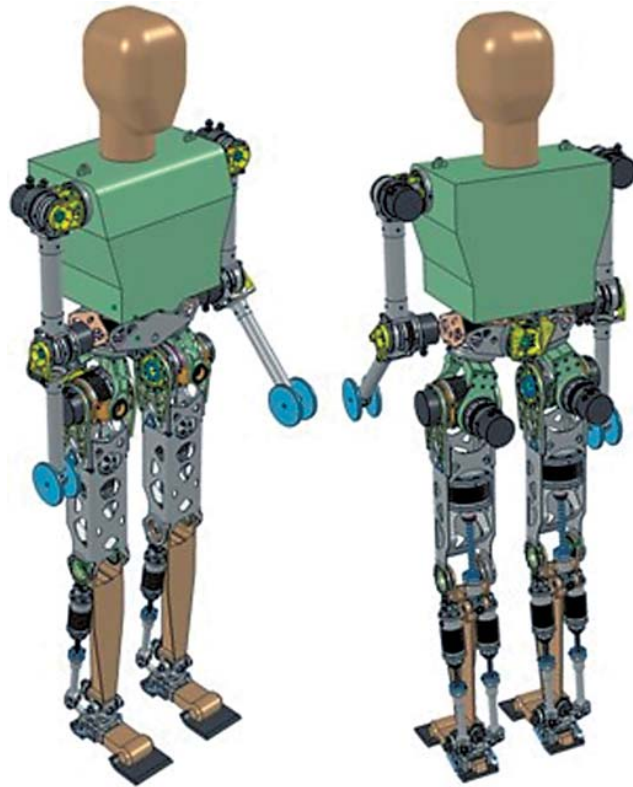


Bild 2: Lola

das Gangmuster situationsabhängig anpassen, um die Bewegungsabläufe zu stabilisieren und die Bewegung bei realen Hindernissen intelligent zu planen. Eine eigenständige Energieversorgung ist ein zentrales Anliegen des Projektes: Das Gerät ist damit vollständig autonom und weder Lola noch ihre menschlichen Partner stolpern länger über das Stromkabel. Damit wäre eine wesentliche Voraussetzung für den praktischen Einsatz humanoider Roboter im menschlichen Umfeld erfüllt.

Lola ist anders – Johnnie auch

Die wesentliche Herausforderung liegt aber in der Beschleunigung von Lola, für die das mechatronische Gesamtsystem grundlegend neu konzipiert werden muss. Hohe Geschwindigkeiten führen unweigerlich zu hohen Beschleunigungen, zum Beispiel wenn Lola vor einem Hindernis abrupt stoppen muss. Je höher die Beschleunigungen, umso reaktions-

schneller muss der Regler und umso stärker muss der Antrieb sein, damit das System auch an seiner Leistungsgrenze stabil bleibt. Der Roboter soll sich zudem mit einem menschlichen Gangbild in beliebigen Richtungen fortbewegen.

Eine der wichtigsten Fragestellungen auf Hardwareseite ist die Wahl einer geeigneten kinematischen Gesamtstruktur, damit der Gang einerseits möglichst natürlich aussieht und andererseits auch auf Holperstrecken schnell und stabil ist.

Simulationen und biomechanische Experimente zum schnellen Laufen zeigen, dass zusätzliche, redundante Freiheitsgrade zu einer natürlicheren und flexibleren Bewegung beitragen und die Fähigkeiten der Androidin insgesamt erweitern. Lola besitzt deshalb 5 Freiheitsgrade mehr als Johnnie, nämlich 22 angetriebene Gelenke. Die Beine verfügen über 14 Gelenke (je sieben), der Oberkörper über zwei und die Arme über sechs. Bild 3 zeigt schematisch die Gelenk-



struktur von Lola. Die neu eingeführten Freiheitsgrade sind rot dargestellt (Rot. = Rotation, Add. = Adduktion, Flex. = Flexion, Beugung).

Lolas Skelett besteht aus Leichtbaukomponenten und auch für die Antriebstechnik kommen Leichtbaumaterialien zum Einsatz, denn je leichter der Roboter ist umso dynamischer und energiesparender kann er sich bewegen. Dem Ziel entgegen stehen allerdings die notwendigen leistungsstarken Antriebe für die Gelenke, denn die sind schwer. Sind diese zu schwach, leiden Geschwindigkeit und Stabilität der Fortbewegung und die Kraft fehlt, auch andere Arbeiten zu verrichten. Die benötigten Antriebe mit maximaler Leistungsdichte können nur modernste Methoden in der Antriebs- und Sensortechnik realisieren.

Gelenke mit „Köpfchen“

Bei einem „intelligenten Gelenk“ regelt ein dezentraler Controller die Bewegung direkt am Gelenk. Auf diesem Grundgedanken baut die neue informationstechnische Strukturierung des Roboters als „intelligentes Sensor-Aktor-Netzwerk“ auf. Ähnlich den hierarchischen Strukturen bei biologischen Systemen werden alle Sensordaten lokal verarbeitet. Die lokale Datenverarbeitung kommuniziert über Glasfaserkabel mit dem Zentralrechner und liefert kontinuierlich die relevanten Daten an die übergeordnete Ebene. Dieses Verfahren verkürzt die Zeit zwischen Aktion und Reaktion enorm.

Neben der optimierten Mechanik, Elektronik und Sensorik des Robo-

ters sind es vor allem grundlegende Verbesserungen und Erweiterungen der Algorithmen, die Ganggeschwindigkeit, Laufqualität und Autonomie steigern. Die Bahnplanung erfordert genauere Modelle, die Nichtlinearitäten, also nicht-planbare Reaktionen, bei zunehmender Geschwindigkeit berücksichtigen.

Darüber hinaus ist es erforderlich, Gangmuster nicht nur für den folgenden Schritt, sondern über einen längeren Zeithorizont, eine längere Strecke hinweg zu berechnen. Theoretisch sollte Lola schneller laufen können, aber bei Geschwindigkeiten über 2 km/h ist ihr Lauf zunehmend instabiler. Verbesserungen durch op-

timierte Regelgesetze und Streckenmodelle reichen für den angestrebten Geschwindigkeitsprung nicht aus. Deshalb arbeiten die Wissenschaftler an einer zusätzlichen Steuerungskomponente, die die Gangparameter (d.h. Schrittlänge etc.) aufgrund von beobachteten Störungen des Ganges anpasst. Diese zusätzliche Ebene der Regelung stellt die Stabilität des Systems insgesamt über einen längeren Zeithorizont hinweg sicher.

Ein langer Weg ...

Schnelles Gehen erfordert zunächst mal ein gutes Herz: Lola braucht deshalb vor allem stabilere und robustere Rechner und Regelungen. Das neu entworfene Gesamtkonzept zur Stabilisierung folgt diesem Grundgedanken und überträgt weitere Faktoren, die den menschlichen Gang stabilisieren, zum Beispiel Schrittlänge und -breite in die Regelung. Die grundlegenden konzeptionellen Arbeiten zu Lola, die Gelenkantriebe, das Sensorsystem und vor allem die Rechnerarchitektur, aber auch die mechanische Konstruktion, sind nahezu abgeschlossen und die lehrstuhleigene Werkstatt fertigt bereits die Teile.

Humanoide Roboter sollen das Leben künftiger Generationen erleichtern. Sollen die Menschen sie bei

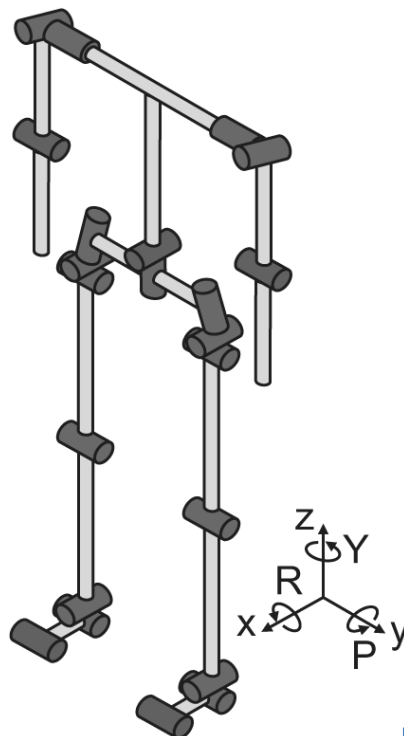


Bild 3: Gelenkstruktur von Lola

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. habil. Heinz Ulbrich

ist seit 2001 Ordinarius des Lehrstuhls für Angewandte Mechanik an der TU München und Forschungsgruppenleiter im Forschungsverbund Bioanaloge Sensomotorische Assistenz (FORBIAS). Einer seiner Forschungsschwerpunkte ist Theorie und Praxis mechatronischer Systeme, bei denen er u.a. biologische Prinzipien auf die Technik überträgt. Weitere Informationen unter www.abayfor.de/forbias.

der Arbeit in Unternehmen und auch im privaten Umfeld als künstlichen Partner, müssen sie so menschlich wie möglich, aber ohne die „menschlichen Macken“, also technisch perfekt, agieren. Diesem Ziel kommt Lolas Motorik ein Stück näher.

Langfristig ist vorstellbar, dass solche Laufroboter im Haushalt helfen: Zum Beispiel Geschirrspüler ein- und ausräumen, Einkaufen gehen und schweres Gepäck tragen. Als Pflege-roboter werden sie zwar das Pflegepersonal in Altenheimen und Krankenhäusern nicht ersetzen können, aber sie können es bei körperlich anstrengenden Tätigkeiten entlasten und dadurch zum Beispiel die Berufsunfähigkeitsquote durch Rückenprobleme des Pflegepersonals reduzieren. Bei chemischen, radioaktiven oder biologischen Störfällen sollen Johnnies und Lolas Nachkommen die heißen Kartoffeln für den Menschen aus dem Feuer holen, denn ein Roboter kann das verseuchte Terrain ohne „gesundheitliche Schäden“ betreten. Die Wissenschaftler wollen die nachfolgenden Generationen von humanoiden Robotern auch mit emotionalen Fähigkeiten ausstatten, zumindest sollen sie Sprache und Emotionen des Menschen erkennen und darauf reagieren. Und wenn sie dann noch mit dem Handy umgehen können, sind sie fast schon Menschen ...

BITTE RECHT FREUNDLICH



Matthias Wimmer und Simone Hämmerle

Jeder, der Fahrkartenautomaten nutzt oder Online-Banking betreibt oder sich auch nur nach den Einreisebestimmungen bei einem Konsulat erkundigen will, kennt die Situation: Nach unzähligen Klicks, unverständlichen Eingabeaufforderungen, Fehlermeldungen und Abbrüchen möchte man das Terminal am liebsten vor das blecherne Schienbein treten. Oft sind elektronische Geräte schwierig zu bedienen: Informationsterminals haben nur wenige Tasten am Rand des Bildschirms, andere Geräte haben nur eine kleine oder gar keine Anzeige. Die Bedienung der modernen Errungenschaften ist keineswegs intuitiv, benutzer- oder situationsangepasst. Viel angenehmer wäre es, wenn die Kommunikation mit den technischen Geräten genauso einfach verlief wie mit Kollegen oder Freunden.

Die menschliche Kommunikation ist komplex: Abgesehen von natürlicher Sprache tauschen Menschen einen großen Teil der Informationen über nonverbale Kanäle aus, zum Beispiel durch Stimmfärbung, Körperhaltung, Gestik und Mimik. „Man kann nicht nicht kommunizieren [...]“, sagt der Altmeister der Kommunikation, Paul Watzlawick (geb. 1921 in Österreich). Und Samy Molcho, Pantomime und Fachmann für Körpersprache, ergänzt: „Was wir sind, sind wir durch unseren Körper. Der Körper ist der Handschuh der Seele, seine Sprache das Wort des Herzens. Jede innere Bewegung, Gefühle, Emotionen, Wünsche drücken sich durch unseren Körper aus.“

Von der „Sprache des Herzens“ sind die technischen Geräte noch weit entfernt. Sie akzeptieren bis jetzt nur Befehle in ihrer eigenen

Sprache über die Tastatur oder die Maus, diese möglichst auch nicht parallel, sondern hintereinander. Notfalls muss der Benutzer sich eben durch 250 Seiten Handbuch kämpfen, um der neuen Telefonanlage den Spruch für den Anrufbeantworter beizubringen. Viele Menschen empfinden technische Geräte als schwierig, aufwändig und umständlich in der Handhabung, denn bis jetzt muss der Mensch die Sprache des Gerätes lernen und sich an sie anpassen. Um dem Menschen menschlich-adäquater nützlich zu sein, müssen Hightechgeräte lernen, den Anwender zu verstehen. Körpersprache oder Stimmführung dürfen dann nicht länger außen vor bleiben, doch bis jetzt ist diese Form des Verständnisses der Maschine noch Zukunftsmusik. Nicht ganz, denn sechs der wichtigsten Mimiken kann der Computer doch schon erkennen ...



Nichts für Pokerfaces

Jeder Blick und jede Gesichtsregung drücken Emotionen aus, die dem Gegenüber helfen, die momentane Situation einzuschätzen. Die Reaktion erfolgt prompt und intuitiv: Der Gesprächspartner stimmt seine eigenen Handlungen und Aussagen auf die erfasste Emotion ab, zum Beispiel bekommt ein traurig ausschauendes Kind spontan Zuwendung.

Mimik entsteht durch Muskelaktivität im Gesicht. Manchmal sind es aber nur winzige Bewegungen, die Mimiken voneinander unterscheiden. Zum Beispiel entscheidet eine minimale Augenbewegung darüber, ob ein Lächeln echt oder nur vorgetäuscht ist. Menschen lernen von Kindesbeinen an, die Mimiken ihrer Umgebung zu interpretieren und erkennen spätestens im Erwachsenenalter innerhalb von Sekundenbruchteilen die Emotion des Gesprächspartners. Für den Computer hingegen ist das eine enorme Aufgabe.

In den 1970er Jahren entdeckten Psychologen die sechs grundlegenden Mimiken, die alle Menschen auf der ganzen Welt, egal ob Ureinwohner oder Industriemensch und unabhängig von jeder Hautfarbe und jedem Kulturkreis gleich ausdrücken und gleich verstehen: Lachen, Trauer, Wut, Angst, Abscheu und Überraschung.

Diese Mimiken sind mit charakteristischen Muskelbewegungen verbunden, die die Wissenschaftler vom Lehrstuhl für Bildverstehen und wissensbasierte Systeme an der TU München nutzen, um dem

Computer etwas von der menschlichen Körpersprache beizubringen. Ohne das menschliche Vorbild funktioniert das natürlich nicht. Deshalb nehmen die Forscher die Gesichter verschiedener Menschen mit unterschiedlichem emotionalem Ausdruck mit einer Kamera auf und entwickeln dann eine Software, die die Mimik in den Bildern erkennt und daraus Rückschlüsse auf die Emotionen zieht. Dies ist ein Schritt hin zur emotionserkennenden Maschine.

Emotionale Computer in Science und Fiction

Die Idee des emotionalen Computers ist nicht neu, sondern ein beliebtes Thema in Science-Fiction-Büchern und -Filmen. Dabei verwenden die Autoren zwei gegensätzliche Verquickungen von Maschinen und Emotionen: Einerseits besitzen Maschinen selbst Emotionen und drücken diese auch aus, andererseits verstehen sie menschliche Emotionen und verhalten sich entsprechend. Wenn Maschinen den Menschen bei der täglichen Arbeit helfen sollen, ist die emotionsausdrückende Maschine nicht besonders erstrebenswert. Wer besitzt schon gerne ein Auto, das Angst hat, schnell zu fahren oder einen Fernseher, der gereizt mit dem Bild flackert, wenn er seine Liebessendung nicht sehen darf. Der depressive Roboter Marvin in „Per Anhalter durch die Galaxis“ braucht mehrfache Aufforderungen für jede Tätigkeit. In der Serie „Star Trek“ wird ein Emotionschip im Roboter „Data“

aktiviert, woraufhin dieser allen möglichen Manipulationen ausgesetzt ist.

Menschen benötigen Maschinen, die ihnen bestmöglich dienen und sie unterstützen. Maschinen sollen deshalb die menschlichen Emotionen verstehen und darauf eingehen. Auch hierfür gibt es Beispiele in der Literatur und in Filmen. Das futuristische Auto KITT aus der Fernsehserie „Knight Rider“ unterhält sich mit seinem Besitzer wie ein Mensch es tun würde und erkennt seine Emotionen. Der Roboter im Film „Nr. 5 lebt“ ist zwar begabt, muss aber dennoch das menschliche Verhalten wie ein Baby erlernen.

Auch die Visionen am Lehrstuhl für Bildverstehen und wissensbasierte Systeme ranken sich um dienstbare Blechgeister. Diese erkennen, wenn der Nutzer genervt ist, und erklären ihm dann, dass er wirklich nur noch zwei Fragen zu beantworten hat, bis er die Fahrkarte wunschgerecht ausgedruckt bekommt. „Sehen und Verstehen“ lautet das Forschungsziel, auch wenn es wahrscheinlich noch 10 bis 20 Jahre dauert, bis Computer die Mimik so sicher erkennen, dass der polizeiliche Lügendetektor überflüssig wird, weil der Rechner jedes „Pokerface“ entlarvt.

Punkt Punkt Komma Strich, fertig ist das Menschgesicht

Die menschlichen Gesichter unterscheiden sich sehr, zum Beispiel durch ihre Hautfarbe, Haarwuchs, Gesichtsform, Brille, oder Bart, was dem Computer das automatische Erkennen erschwert. Deshalb nutzen



die Wissenschaftler allgemeine Gemeinsamkeiten, zum Beispiel, dass die Augen nebeneinander liegen und die Nase sich zwischen Augen und dem Mund befindet. Ein Modell des menschlichen Gesichts enthält dieses Wissen (siehe Bild) und vor allem die nötige Flexibilität, um Gesichter unterschiedlicher Menschen zu analysieren, denn sonst würde der Computer etwa ein Gesicht mit sehr eng zusammenstehenden Augen nicht mehr als Gesicht erkennen.

Wie erkennt der Computer nun die Mimik in den Gesichtern? Eine direkt mit dem Rechner verbundene Farbkamera nimmt den Benutzer von vorne auf. Die eigens entwickelte Software sucht im Kamerabild zuerst das Gesicht und lokalisiert die wichtigen Gesichtspartien wie Lippen oder Augen. Diese Informationen legen die genaue Kopfposition fest. Anschließend wird ein Gesichtsmodell über das Bild gelegt, das sich an die Gesichtszüge des Benutzers anpasst.

Mimiken entstehen durch das Zusammenspiel mehrerer Muskeln: Durch diese Bewegung verändert sich das Gesicht und deformiert das Gesichtsmodell im Rechner. Alle Bewegungen zusammen ergeben eine eindeutige Mimik, die das Programm detektiert. Wenn der Mensch beispielsweise gleichzeitig den Mund öffnet und die Stirn runzelt, erkennt es die Mimik „Erstaunen“.

Mit ganz ähnlichen Verfahren und Algorithmen gelingt es den Wissenschaftlern, die Kopfposition zu erkennen und daraus Kopfbewegungen abzuleiten.



Mittlerweile erkennt der Computer am Lehrstuhl für Bildverstehen und wissensbasierte Systeme die erwähnten sechs universellen Mimiken. Er hat für jede einzelne viele Videos analysiert, die wichtigen Unterscheidungsmerkmale gelernt und kann jetzt selbstständig die Mimiken und auch Kopfbewegungen erkennen.

Zwischen Spiel und Ernst

Sogar für Menschen ist die Mimik des Gegenübers manchmal nicht eindeutig interpretierbar, was zu Fehleinschätzungen und unerwarteten Reaktionen führt. Das komplexe Mienenspiel in einem Gesicht automatisch zu bestimmen, ist heutzutage noch unmöglich. Expressive Gesichtsausdrücke erkennt der Computer aber bereits sehr gut, so dass die Mimikererkennung dort eingesetzt werden kann, wo Menschen aktiv mit dem System arbeiten und mit ausgeprägten Gesichtsbewegungen interagieren.

Computerunterstütztes Lernen ist ein Bereich, der immer beliebter wird. Der Computer übernimmt dabei die Tutorfunktion: Er erklärt den Übungsinhalt und fragt das erworbene Wissen anschließend ab. Versteht

der Rechner dabei das menschliche Verhalten und die Emotionen, erhöht sich die Qualität des Unterrichts enorm. Beispielsweise erkennt er, ob die Person die Übungsschritte eines Lernprogramms für die Führerscheinprüfung als zu langweilig oder zu anspruchsvoll empfindet und passt den weiteren Ablauf des Lernprogramms an.

Auch Spiele sind ein stetig wachsender Markt. Die größten Neuerungen erfährt die Sparte durch die moderne Software: Kameras und Bildverarbeitung machen Tastatur, Maus und Joystick zunehmend Konkurrenz. Sony beweist diesen Trend eindrucksvoll mit der Kamera „EyeToy“ für die Playstation 2. Die Analyseprogramme aus der TU München pepen zwei bekannte Spiele auf: einen Ego-Shooter und den Klassiker „Pac-Man“. Ego-Shooter sind Computerspiele, bei der der Spieler die dreidimensionale Spielwelt durch die eigenen Augen sieht, und selbst Teil des Spielgeschehens ist. Beim Ego-Shooter des Lehrstuhls für Bildverstehen und wissensbasierte Systeme dirigiert der Spieler die Spielfigur durch seine eigene Körperbewegung (z.B. Kopfbewegungen) durch die virtuelle Welt und fühlt

Dipl.-Inf. Matthias Wimmer (Jahrgang 1976)

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Bildverstehen und wissensbasierte Systeme an der TU München und im Bayerischen Forschungsverbund für Situierung, Individualisierung und Personalisierung in der Mensch-Maschine-Interaktion, FORSIP. Er beschäftigt sich mit modellbasierten Bildinterpretationstechniken, vor allem mit Gesichtsmodellen, Gesichtslokalisierung, Gesichtsverfolgung, Augenverfolgung, Blickrichtungsdetektion, Mimikerkennung und Emotionserkennung.

Dipl.-Inf. (FH) Simone Hämmerle M.Sc.

(Jahrgang 1976) ist ebenfalls wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Bildverstehen und wissensbasierte Systeme an der TU München und im Forschungsverbund FORSIP. Ihr wissenschaftlicher Schwerpunkt ist die Erkennung von menschlichen Aktionen in Videobildfolgen.

sich dadurch mehr in das Spiegelschehen hineinversetzt. In derselben Art und Weise lässt sich auch der Pac-Man durch sein Labyrinth lotsen.

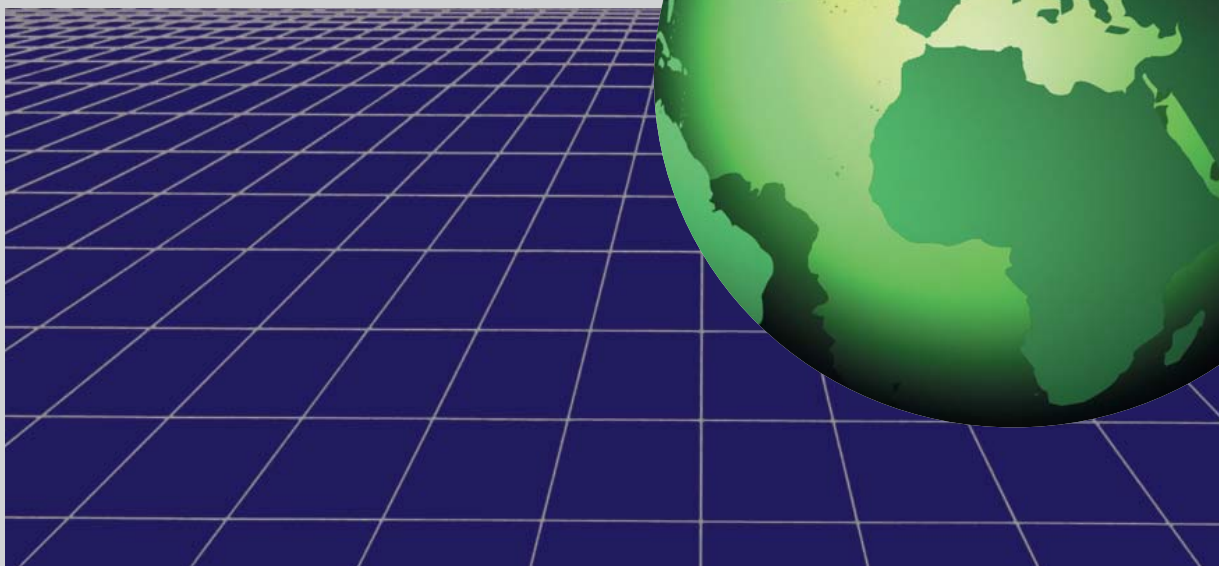
In moderierten Sendungen im Fernsehen zeichnen meist mehrere Kameras den Fernsehmoderator aus verschiedenen Blickwinkeln während der Sendung auf. Wenn er aber dabei eine Kamera anspricht, die gerade nicht aktiv ist, empfindet der Zuschauer das als störend. Die Software aus dem Lehrstuhl für Bildverstehen und wissensbasierte Systeme kann durch die Gesichtserkennung sofort und automatisch die Kamera aktivieren, in die der Moderator gerade schaut. Damit steuert der Moderator die Wahl der Kamera und nicht mehr das Kamerateam, das dem Moderator mit einer roten Lampe auf der Kamera mitteilen musste, in welche er sprechen soll.

Hilfe bieten die Emotionen verstehenden Computer auch einem ganz anderen Personenkreis: Autisten können die Mimiken und die Emotionen ihrer Gegenüber nicht richtig deuten. Therapeuten bringen ihnen dies derzeit mühsam mithilfe von beschrifteten Bildern und Fotos bei. In der Zukunft begleitet der elektronische Helfer den Patienten während seines gesamten Tagesablaufs und analysiert, was in seiner Umgebung emotional gerade passiert. Die Software kann ihm dann in Echtzeit die Emotionen der anderen Personen mitteilen und damit den Trainingserfolg nachhaltig verstärken.

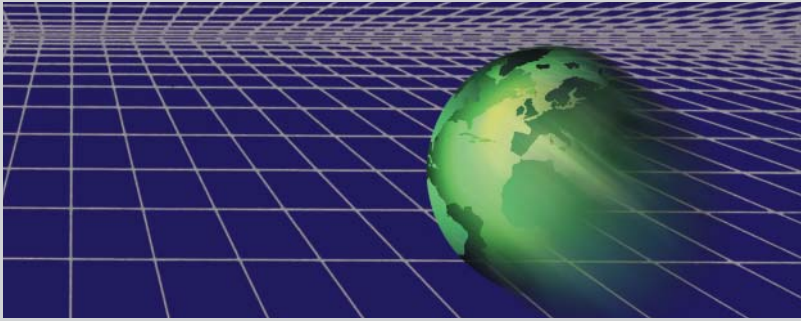
Je nachdem welcher Wirbel verletzt wurde, sind Querschnittgelähmte vom Hals abwärts gelähmt

und können ihre Hände nicht mehr bewegen. Jede Bedienung eines technischen Geräts ist dadurch schwierig oder gar unmöglich, auch beispielsweise die des Steuerknüppels eines elektrischen Rollstuhls. Die Gesichtsmuskulatur ist oft ihre einzige Möglichkeit, mit der Umwelt in Kontakt zu treten. Mithilfe der Mimikerkennung lenken vorher festgelegte Gesichtsbewegungen den Rollstuhl in die gewünschte Richtung. Oder sie ersetzen bei der Arbeit am PC die zweite Hand, indem beispielsweise das Öffnen des Mundes das Drücken der Umschalttaste simuliert.

Die Wissenschaftler präsentierten die neueste Version ihres Systems im Mai 2006 im ThyssenKrupp-Ideepark in Hannover. Die große Resonanz der Besucher spornt sie an, die elektronische Mimik- und Gestikerkennung mit Engagement und Kreativität weiter zu verbessern, damit Computer eines Tages den Menschen wirklich verstehen und ihn adäquat unterstützen.



WELT DES LEBENS



GIB BSE KEINE CHANCE



Monika Pischetsrieder

Mitte der 80er Jahre traten in Großbritannien die ersten Fälle von BSE (Bovine Spongiforme Enzephalopathie) bei Rindern auf. Erkrankte Tiere zeigen zunächst ein schreckhaftes und aggressives Verhalten, das bald von massiven motorischen Störungen begleitet wird. Die Krankheit endet immer tödlich – durch eine schwammartige Zersetzung des Gehirns. Noch immer ist es nicht möglich, eine BSE-Erkrankung im Frühstadium und am lebenden Tier zu diagnostizieren. Trotzdem gibt es Hoffnung für Fleischfans: Ein neues Testverfahren deckt Schlampereien und Unregelmäßigkeiten im Umgang mit nicht zugelassenen Fleischbestandteilen in Lebensmitteln auf und stärkt den Verbraucherschutz.

Epidemieähnliche Ausmaße nahm BSE ab den 90er Jahren an – bis Ende 2005 wurden 184 370 Fälle in Großbritannien gemeldet, mehr als 37 000 allein im Spitzenjahr 1992. Als Ursache für die Verbreitung galt die Verfütterung von Kraftfutter, dem Tiermehl zugesetzt war, das in diesem Fall infektiöses Gewebe von Scrapie-infizierten Schafen enthielt. Scrapie – oder auch Traberkrankheit genannt – ist eine bereits lange bekannte übertragbare Spongiforme Enzephalopathie (TSE), die vor allem bei Schafen auftritt. Das Tiermehl wurde nicht ausreichend erhitzt, um den Krankheitserreger unschädlich zu machen und konnte deshalb die Rinder infizieren. Ein weiterer Übertragungskandidat ist Milchaustauschfutter, das die Kälber statt der Muttermilch erhalten und das ebenfalls zum Teil aus Tierfett besteht und deshalb auch grundsätzlich infiziert sein kann. Der Infektionsweg der Spongiformen Enzephalopathie blieb nicht auf die Übertragung vom Schaf auf das Rind beschränkt. 1996

wurde – ebenfalls in Großbritannien – erstmals eine neue Variante der Creutzfeld-Jakob-Krankheit (vCJD) beim

Menschen beschrieben. Im Unterschied zu der klassischen Form der CJD tritt diese vor allem bei jüngeren Patienten und mit einem längeren Krankheitsverlauf auf. Mehr als 150

Fälle der vCJD wurden bisher registriert, der überwiegende Teil in Großbritannien. Inzwischen geht man davon aus, dass Lebensmittel, die den BSE-Erreger enthalten, die Krankheit beim Menschen auslösen.

In Deutschland trat die BSE-Welle zeitverzögert und in geringerem Umfang auf. Im Jahr 2000 wurden die ersten BSE-Fälle gemeldet, bis heute insgesamt 396 mit fallender Tendenz. Immerhin wurden auch 2005 noch 32 Fälle registriert. Die Krankheit ist also trotz effektiver Schutzmaßnahmen auch weiterhin in Deutschland ebenso wie in anderen Ländern präsent.

Dominoeffekt

So gut wie sicher ist heute, dass der Erreger von BSE und vCJD ein fehlgefaltetes Protein, das Prionprotein (PrP) ist. Welche physiologische Funktion das in seiner natürlichen Form (PrP^C) im Organismus weit verbreitete Prionprotein ausübt, ist dagegen nach wie vor weitgehend unbekannt. Ändert das Protein seine räumliche Struktur (Konformation) durch Umfaltung in die pathogene Form (PrP^{Sc}), löst es die Erkrankung aus. Diese Konformationsänderung erfolgt nur äußerst selten spontan, aber ein falsch gefaltetes Protein veranlasst weitere „normale“ Moleküle, sich ebenfalls umzufalten: Es beginnt ein fataler autokatalytischer Prozess, der immer mehr pathogene Prionproteine hervorbringt. Dies erklärt die Infektiosität des PrP^{Sc} und das neue Phänomen, dass ein einziges Protein alleine eine Krankheit übertragen und auslösen kann.



Die pathogene Form des Prionproteins ist sehr stabil gegenüber chemischem und enzymatischem Abbau und bildet hochmolekulare, unlösliche Aggregate. Diese führen dann letztendlich in einem noch nicht vollständig geklärten Prozess zum Ausbruch der Krankheit und damit zu den schwammartigen Veränderungen im Gehirn.

Verbraucherschutz geht vor

Heute gehen die Wissenschaftler davon aus, dass Spongiforme Enzephalopathien wie BSE oder vCJD durch die Nahrung übertragen werden. Vorrangiges Ziel des Verbraucherschutzes ist es deshalb, TSE-infiziertes Gewebe aus der Nahrungskette auszuschließen. Die EU verbietet deshalb inzwischen die Verfütterung von tierischem Eiweiß an Lebensmittel-liefernde Nutztiere und

schreibt BSE-Tests für alle geschlachteten Rinder vor, die älter sind als 30 Monate.

Bisher scheiterte die Entwicklung eines spezifischen Antikörpers, der ausschließlich an die pathogene Isoform PrP^{Sc} bindet. Alle bekannten Antikörper binden an beide Isoformen des Prionproteins, so dass vor dem immunologischen Nachweis die beiden Formen getrennt werden müssen. Dabei nutzen die gängigen Verfahren die hohe Hydrolysestabilität von PrP^{Sc} und bauen PrP^C vorab enzymatisch ab. PrP^{Sc} ist unter diesen Bedingungen stabil, so dass ein positives Testsignal eine BSE-Infektion anzeigt.

Der Test hat aber entscheidende Nachteile:

Er hat eine relativ geringe Empfindlichkeit. Der Nachweis benötigt deshalb Gehirngewebe, in dem PrP^{Sc} in

besonders großen Mengen vorkommt, und gelingt deshalb nur an toten Tieren. Trotz verschiedener vielversprechender Ansätze gibt es bislang noch keinen Test, der die infektiösen Partikel im Blut lebender Tiere nachweisen kann.

Zudem kann der eingesetzte BSE-Test die Infektion erst in einem relativ späten Stadium des Krankheitsverlaufes nachweisen, also kurz vor dem Ausbruch. Da die Inkubationszeit bei Rindern im Durchschnitt bei 5 Jahren liegt, ist es also möglich, dass Fleisch von infizierten Tieren in den Handel kommt, bei denen die Krankheit nur noch nicht ausgebrochen ist.

Gehirn und Rückenmark verboten

Bisher ist wenig darüber bekannt, wie und wann die Übertragung durch die Nahrung auf den Menschen erfolgt. 2000 erließ die EU eine dritte Vorsorgemaßnahme und bestimmte, dass kein so genanntes spezifiziertes Risikomaterial für die Lebensmittelproduktion verwendet werden darf. Unter diesen Begriff fallen vor allem Gewebe des zentralen Nervensystems (ZNS), also Gehirn und Rückenmark von Rindern, die älter als 24



Zur Zeit können BSE-Tests nur an toten Tieren vorgenommen werden. Laborantin bei der Vorbereitung von BSE-Tests. (Foto: Okapia KG)



Monate sind. Das Verbot beruht auf der wissenschaftlichen Erkenntnis, dass in BSE-erkrankten Rindern das infektiöse Prionprotein PrP^{Sc} in Gehirn und Rückenmark in besonders hohen Konzentrationen nachweisbar ist, während andere Gewebe, wie zum Beispiel Muskel oder Blut, nur geringste Mengen an PrP^{Sc} enthalten. Experimentell ließ sich die Krankheit bei Tieren bisher nur über ZNS-Gewebe übertragen.

Analog zu dieser EU Richtlinie ist der Verzehr von Gehirn und Rückenmark älterer Rinder auch in anderen Ländern wie der Schweiz, USA oder Kanada nicht zugelassen. Deutschland ging sogar noch einen Schritt weiter: Wurstwaren mit Zusätzen von Gehirn oder Rückenmark müssen für den Verbraucher deutlich gekennzeichnet sein – unabhängig von Art und Alter des Tieres, von dem dieses Gewebe stammt. Diese Maßnahmen reduzieren das Risiko einer Übertragung von BSE auf den Menschen weitgehend, selbst wenn ein infiziertes Tier, bei dem die Erkrankung noch nicht nachweisbar ist, für die menschliche Ernährung frei gegeben wird.

Reine Nervensache ...

Um den Ausschluss von ZNS-Material aus der Nahrung sicherstellen zu können, bedarf es jedoch sicherer und empfindlicher Testverfahren, die zuverlässig zwischen ZNS-Material und anderen, erlaubten Geweben unterscheiden. Besondere Probleme bereiten dabei die nahe verwandten, aber harmlosen peripheren Nerven und innere Organe wie Leber oder Herz.

Die Institute für Biochemie und Lebensmittelchemie an der Universität Erlangen-Nürnberg und die Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel in Kulmbach arbeiten an einem neuen Testverfahren, das Spuren von Gehirn oder Rückenmark in Lebensmitteln eindeutig nachweisen kann.

Im ersten Schritt griffen die Wissenschaftler auf Methoden der Bioinformatik zurück und suchten in Datenbanken nach neuen, höchst spezifischen Proteinen, die nur im ZNS-Gewebe vorkommen. Sie wurden fündig: Myelin-Proteolipidprotein (PLP) kommt praktisch nur im ZNS-Gewebe vor, weil es dort die Nerven umhüllt. Der Proteinanteil der Myelinscheide besteht etwa zur Hälfte aus PLP. Damit war die wichtigste Voraussetzung für die Entwicklung eines Nachweisverfahrens erfüllt: ein spezifisches Protein in hoher Konzentration. Doch PLP hat auch noch andere interessante Eigenschaften. Während sich Proteine meistens in Wasser oder Puffer (Lösungen mit einem definierten pH-Wert) lösen, ist das PLP ausgesprochen lipophil, das heißt „fettfreundlich“, und wurde deshalb früher auch Lipophilin genannt. PLP löst sich kaum in Wasser, aber dafür sehr gut in organischen Lösungsmitteln. Durch eine geeignete Lösungsmittelextraktion sollte sich PLP also leicht von den anderen Proteinen in den untersuchten Lebensmitteln abtrennen und anreichern lassen – beste Voraussetzungen für die Entwicklung eines sehr spezifischen und empfindlichen Tests auf PLP.

Antikörper gegen PLP

Um PLP spezifisch nachzuweisen, entwickelten die Wissenschaftler ein Verfahren, das PLP als Marker für vorhandenes ZNS-Gewebe nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ nachweist. Zunächst galt es, einen Antikörper herzustellen, der spezifisch PLP erkennt. Die Erkennungsstelle für den Antikörper ist ein kleiner Bereich (Molekülabschnitt) auf dem PLP-Protein, ein so genanntes Epitop. Die Herausforderung war dabei, einen Molekülabschnitt zu finden, der nur auf dem PLP-Protein vorkommt und nicht auf dem nahe verwandten Protein DM-20, das immer im Nervengewebe – und damit im Fleisch ganz legal – vorkommt und den Test verfälschen könnte.

Bei PLP wurde ein Epitop mit 22 Aminosäuren des Proteins ausgewählt, die der Antikörper später erkennen soll. Die Wahl erwies sich als glücklich und es gelang tatsächlich, einen Antikörper herzustellen, der zwischen PLP und der Isoform des Proteins, dem DM-20, unterscheiden kann. Die Aminosäuresequenz des Epitops wurde im Labor künstlich hergestellt, an ein Trägerprotein gekoppelt und Kaninchen injiziert, die in ihrem Blut anschließend Antikörper bildeten.

Das Testkit ...

Mit Hilfe dieser Antikörper entwickelten und optimierten die Wissenschaftler schließlich ein Testverfahren, in dessen erstem Schritt PLP aus Fleisch oder Fleischwaren durch eine zweistufige Lösungsmittelextraktion gewonnen wird. Ande-

Prof. Dr. Monika Pischetsrieder (Jahrgang 1967) leitet den Henriette-Schmidt-Burkhardt-Lehrstuhl für Lebensmittelchemie an der Universität Erlangen-Nürnberg und ist Forschungsgruppenleiterin im Bayerischen Forschungsverbund Prionen (FORPRION). Sie entwickelt neue Marker und hochempfindliche Nachweismethoden für die Qualitätskontrolle von Lebensmitteln und Medizinprodukten und untersucht Proteinveränderungen, die physiologische Wirkung von Lebensmitteln, vor allem pro- und antioxidative und immunmodulierende Lebensmittelinhaltsstoffe sowie genotoxische Verbindungen.

re Proteine und auch das Fett in den Proben lassen sich damit weitgehend entfernen. Der immunochemische Nachweis erfolgt dann über ein so genanntes Western-Blot-Verfahren: Im ersten Schritt wird PLP elektrophoretisch, das heißt durch Wanderung in einem elektrischen Feld, von noch verbliebenen Proteinen und anderen Verunreinigungen abgetrennt, anschließend auf eine Membran übertragen und mit dem spezifischen, fluoreszenzmarkierten Antikörper angefärbt. PLP ist damit sowohl durch das Laufverhalten bei der Elektrophorese als auch durch die spezifische Bindung an den Antikörper eindeutig identifiziert. Der Test erkennt erwartungsgemäß nur PLP aus Gehirn und Rückenmark. Andere Gewebe wie Leber, Lunge, Muskel oder periphere Nerven stören den Nachweis nicht. Mit der Methode können auch geringste Mengen von ZNS-Verunreinigungen im Fleisch nachgewiesen werden, denn ein Anteil von 0,025 % Hirn oder Rückenmark in Hackfleisch ergibt bereits ein deutliches Signal. Ein wichtiger Vorteil des gewählten Markerproteins PLP ist seine Beständigkeit während der Lebensmittelizeubereitung. Dadurch ist es möglich, Zusätze von Gehirn und Rückenmark auch in Wurstwaren über PLP nachzuweisen. Gehirn verbessert die Emulgierbarkeit von manchen Wurstsorten und war deshalb als Zusatz bei den Herstellern beliebt. Nach der heutigen Rechtsprechung muss ein derartiger Zusatz aber deklariert werden. Mit Hilfe des neuen

PLP-Nachweisverfahrens sind nun in Wurst Beimengungen von nur 0,1 % ZNS-Gewebe eindeutig nachweisbar.

... im praktischen Einsatz

ZNS-Material kann auch unbeabsichtigt während der Schlachtung auf das Fleisch oder auf Arbeitsflächen geraten und die Ware kontaminieren. Der neue PLP-Test ist mit leichten Modifikationen und kombiniert mit einem Wischtest in der Lage, auch diese ZNS-Kontaminationen rasch und einfach nachzuweisen.

Der Test funktioniert für die Analyse von Gehirn und Rückenmark sowohl in Fleisch als auch in Wurst und steht somit der Lebensmittelkontrolle als neues spezifisches und empfindliches Nachweisverfahren zur Verfügung.

Zur Zeit wird der PLP-Test in einer breit angelegten Feldstudie eingesetzt, um einen eventuellen ZNS-Zusatz in über 160 Wurstproben aus industrieller oder handwerklicher Fertigung auf dem bayerischen Markt zu untersuchen.

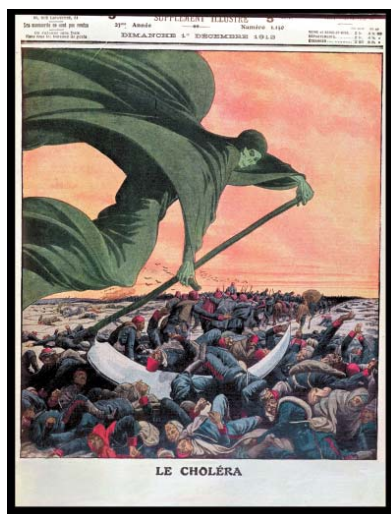
Der neue Test stellt sicher, dass unbeabsichtigte Kontaminationen oder illegale Zumischungen von BSE-Risikomaterial in Lebensmittel entdeckt werden. Der Ausschluss von potenziell infektiösem Risikomaterial aus der menschlichen Ernährung ist wichtig, um das Risiko einer Übertragung von BSE auf den Menschen zu minimieren. Der Verbraucherschutz ist und bleibt ein wichtiges Thema, nicht nur nach Vogelgrippe, Schweinepest und „Gammelfleischskandal“ ...

DER KAMPF GEGEN INFEKTIONSKRANKHEITEN

Eine Sisyphus-Arbeit?

Jürgen Heesemann

Infektionen sind übertragbare Erkrankungen. Bis zum Ende des 19. Jahrhunderts wurde Europa periodisch heimgesucht von den großen Seuchen wie Pest, Cholera, Ruhr, Typhus und anderen, damals noch wenig charakterisierten Infektionen. Sie galten oft als Geißeln der Menschheit und Strafe Gottes für sündhaftes Verhalten. Diese Wahrnehmung veränderte sich drastisch, als es Robert Koch gelang, den ursächlichen Zusammenhang zwischen Infektionskrankheiten und bestimmten Mikroorganismen (Infektionserreger) eindeutig aufzudecken. 1883 konnte er bei der Choleraepidemie in Ägypten zeigen, dass kommaförmige Bakterien (Kommabakterien/Vibrio cholerae), die das Trinkwasser verunreinigten, nach oraler Aufnahme beim Menschen einen wässrigen Durchfall verursachten (Abgabe von bis zu 20 Liter Darminhalt, Cholera, griech.: Traufe).



Diese Trinkwassertheorie der Cholera wurde zur Grundlage für Wasser- und Lebensmittelhygiene im öffentlichen Gesundheitssystem. Auf Anregung von Max von Pettenkofer richtete zuerst die Stadt München eine kontrollierbare zentrale Trinkwasserversorgung und eine zentrale Abwasserkanalisation ein und verbot die Nutzung privater Brunnen und Sickergruben. Diese Maßnahmen zeigten größten Erfolg bei der Verhütung von zukünftigen Choleraepidemien und anderen Durchfallerkrankungen und fanden viele Nachahmer in Europa und anderswo. In Ländern mit niedrigem Lebensstandard und mangelhaften Hygieneverhältnissen gibt es bis heute in vielen ländlichen Gegenden und Armenvierteln kein sauberes Trinkwasser, was dazu beiträgt, dass weltweit täglich über 10 000 Kleinkinder und Säuglinge an banalen bakteriellen und viralen Durchfallerkrankungen sterben.

Feind erkannt, Gefahr gebannt?

Die konsequente Umsetzung der Ergebnisse aus der Infektionsforschung hat in Westeuropa dazu geführt, dass die meisten klassischen Seuchenerreger keine Möglichkeit für epidemische Ausbrüche mehr ha-

Diese Farblithografie aus Le Petit Journal vom 1. Dezember 1912 lässt erahnen, welch verheerende Folgen die Choleraepidemie während des Ersten Weltkriegs auf dem Balkan hatte.
© BRIDGEMANART.COMR



Robert Koch © BRIDGEMANART.COMR

ben. Lebensmittel- und Trinkwasserhygiene, Impfungen gegen Grippe-, Masern-, Mumps- und Rötelnviren, gegen Keuchhusten, Diphtherie, bakterielle Meningitis, der schnelle Nachweis von Infektionserregern und die Meldung dieser Befunde an die Zentrale des Robert-Koch-Instituts (RKI) in Berlin gehören zu diesen Maßnahmen des Infektionsschutzes. Inzwischen ist die Bundesrepublik überzogen von einem Netz Nationaler Referenzzentren (NRZ) und Konsiliarlaboratorien, die allen Ärzten bei der Beratung von Infektionskrankheiten zur Verfügung stehen. Auch die seit über 50 Jahren erfolgreiche Anwendung von Antiinfektiva (Antibiotika, Virostatika, Desinfektionsmittel u. a.) hat uns die Angst vor Infektionserregern genommen. Mit diesem

Der Kampf gegen Infektionskrankheiten

Vertrauen, dass Infektionskrankheiten beherrschbar sind und die wichtigsten Infektionserreger bald „ausgestorben“ sein werden, begeben wir uns allerdings in ein gefährliches Fahrwasser. Neue Forschungsergebnisse zur Evolution von Krankheitserregern zeigen uns deutlich, dass Viren, Bakterien, Protozoen und Pilze sich nicht von Umweltveränderungen oder „Abwehrmaßnahmen ihres Wirtes“ unterkriegen lassen werden. Auch im 21. Jahrhundert sterben jährlich ca. 15 Millionen Menschen weltweit an Infektionskrankheiten. Warum ist das so?

Evolution von Infektionserregern

Die große Fähigkeit der Krankheitserreger, sich neuen Lebensbedingungen schnell anzupassen, ist ein Grund, warum der Kampf gegen Infektionskrankheiten als ein Wettlauf zwischen Hase und Igel betrachtet

werden kann. Charles Darwin hat bereits 1859 seine Theorie zur Evolution der Arten veröffentlicht, nach der Lebewesen einen Überschuss an Nachkommen produzieren. Diese Nachkommen sind nicht identisch (Population von Varianten) und damit unterschiedlich gut an die Umwelt angepasst. Die Folge ist eine Selektion der am besten angepassten Varianten („survival of the fittest“) und es kommt zur Verdrängung der weniger gut angepassten. Anders als Tiere vermehren sich Bakterien asexuell durch Kopieren ihres ringförmigen Chromosoms (Replikation). Hierbei entstehen vereinzelt Fehler in wenigen Genen, die in der Regel noch keinen „Quantensprung“ in der Fitness auslösen.

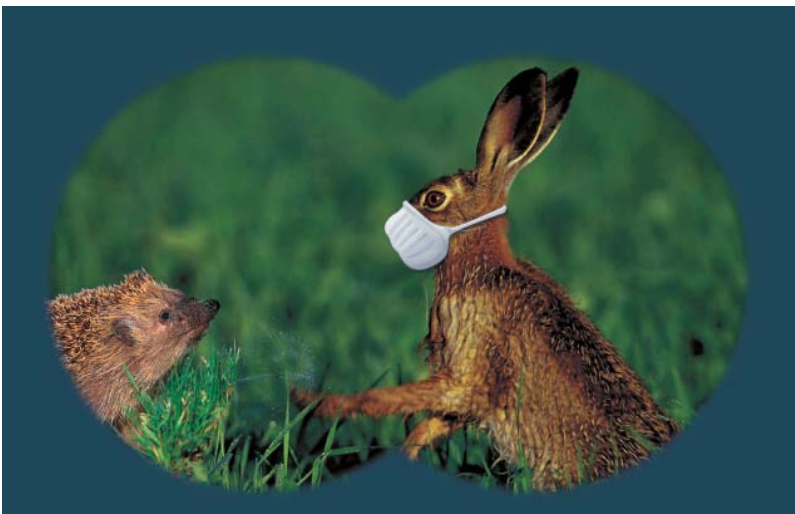
Tauschbörse für Gene

Die großen Konversionen vom harmlosen Bakterium der physiologischen Flora der Menschen zum Infektions-

erreger oder vom antibiotikumsensiblen Erreger zum antibiotikumresistenten Erreger erfordern den Zugriff zum „Genpool“ aller zugänglichen Mikroorganismen in der Umwelt. Durch parasexuelle Genübertragungsmechanismen – hierzu zählen die bekannten Desoxynukleinsäuren (DNS)-Übertragungsmechanismen wie Transformation (Aufnahme von „nackter“ DNS), Konjugation (Übertragung von Episomen/Plasmiden über interbakteriellen Kontakt) und Transduktion durch Bakteriophagen (Bakterien-spezifische Viren) – erwerben die Bakterien bis über 50 neue Gene in einem Schub (horizontaler Genaustausch). Die bakterielle Genomforschung der letzten Jahre hat deutlich gemacht, dass die Pathogenität von Bakterien auf dem Erwerb von fremden Genen, die einen Anteil von bis zu 30 % des Gesamtgenoms ausmachen, beruhen kann. Das tückische an dieser „erworbenen“ genetischen Information ist ihre besondere Übertragungsfähigkeit auf andere Bakterien. Gene für krankheitsauslösende Faktoren (Pathogenitätsgene) sowie für Antibiotikaresistenzen können für Bakterien „infektiös“ sein und spielen daher für die Evolution von neuen Infektionserregern eine wichtige Rolle (s. Bild 1).

Neue Feinde macht der Mensch selbst

Der horizontale Genaustausch und die Spontanmutationen sind verantwortlich dafür, dass kontinuierlich vielfältige neue Erregervarianten oder völlig neue Erregertypen entstehen, die aufgrund eines bestimmten



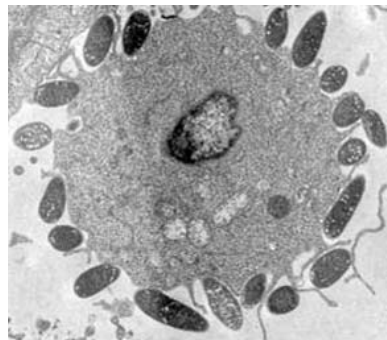
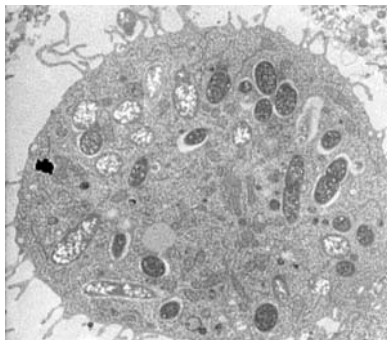
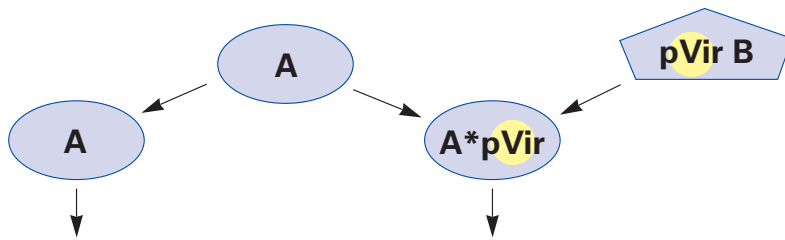


Bild 1:
Oben: Entstehung eines pathogenen Mikroorganismus (A*) aus einem harmlosen (apathogenen) Bakterium (A) durch Aufnahme eines Virulenzplasmids (pVir) eines nicht verwandten Bakteriums (B).
Unten links: Makrophage tötet A nach Aufnahme (Phagozytose) ab.
Unten rechts: Hemmung der Phagozytose nach Kontakt des Makrophagen mit A*.

Selektionsdruckes neu auftauchen und uns in Panik versetzen können, wie im letzten Winter beim Auftreten des Grippevirus H5N1 zu beobachten war. Für die Selektionsbedingungen ist häufig der Mensch verantwortlich, was an einigen Beispielen von neuen bakteriellen Erregern erläutert werden soll.

1. Verändertes Antibiotikaresistenzspektrum

Antibiotika sind von Mikroorganismen produzierte Substanzen, die sich gegen konkurrierende Mikroorganismen richten. Der „Antibiotika-Produzent“ besitzt Gene (Antibiotikaresistenzfaktoren), die für seinen eigenen Schutz bestimmt sind. Wenn solche Antibiotikaresistenzgene auf die Bakterienflora des Menschen übertragen werden und durch Antibiotikatherapie ein Selektionsdruck erzeugt wird, können diese Bakterien sehr schnell zu „Leitkeimen“ von Hospitalinfektionen und Antibiotikaresistenzgen-Überträgern werden. Wird der Selektionsdruck vermindert durch gut begründeten und restriktiven Antibiotikaeinsatz und durch krankenhaushygienische

Maßnahmen (Identifizierung des Erregers, Isolierung von Patienten u. ä.), kann dieses Problem beherrscht werden.

2. Auftauchen neuer Infektionserreger

Legionellen sind Bakterien, die in der Umwelt in Amöben leben. Amöben sind primitive Einzeller, die als Fresszellen ähnliche Eigenschaften haben wie die Phagozyten von Warmblütern (Makrophagen, Granulozyten u. a.). Durch Klimaanlage gelangen die im Luftbefeuchtungswasser lebenden Legionellen-infizierten Amöben in unsere Atemwege. Die Legionellen wechseln von ihrem „Sparringpartner“ Amöbe auf die Phagozyten des Wirtes, in denen sie sich aufgrund ihres „Amöbentrainings“ stark vermehren und dann eine Lungenentzündung verursachen können (Infektion durch erzwungenen Wirtswechsel).

3. Mit Zusatzausrüstung auf die nächsthöhere Stufe

Ein anderes Beispiel sind enterohämorrhagische Escherichia coli-Bakterien (EHEC), die seit 1980 in indus-

trialisierten Ländern gehäuft auftreten und besonders bei Kleinkindern schwere blutige Durchfälle mit Nierenschädigung (hämolytisch urämisches Syndrom) verursachen. E. coli ist eigentlich als ein harmloses Bakterium der Darmflora bekannt. EHECs dagegen haben eine genomische Insel von über 45 Kilobasen (kb) (Pathogenitätsinsel LEE) und ein Virulenzplasmid von 100 kb erworben, was schlicht bedeutet, dass sie nun über ein enormes infektiöses Potenzial verfügen. Darüber hinaus sind EHECs mit Phagen (auf Bakterien spezialisierte Viren) infiziert, die Shigatoxingene tragen. Mit dieser genetischen Zusatzausrüstung können sie einerseits besser im sauren Milieu des Pansen von Rindern überleben (begünstigt durch die Umstellung der Fütterung von Heu auf Grassilage). Andererseits haben sie krankmachende Eigenschaften erworben, die sie zur Infektion der Dickdarmschleimhaut und zur Intoxikation des Menschen befähigen. Für die Ausbreitung dieser Erreger spielt neben der Kontamination von Milch und Fleisch bei Rindern auch die Umstellung von der Weide- zur Stallhaltung

Prof. Dr. Dr. Jürgen Heesemann (Jahrgang 1948) ist Sprecher des Bayerischen Forschungsverbands Infektogenomik (FORINGEN) und war Direktor des Instituts für Hygiene und Mikrobiologie der Universität Würzburg, bevor er 1996 den neu eingerichteten Lehrstuhl für Bakteriologie am renommierten Max von Pettenkofer-Institut für Hygiene und Mikrobiologie der LMU in München übernahm.

Von Haus aus Chemiker mit Promotion in Physikalischer Chemie (Hamburg/Göttingen) und Mediziner mit Promotion in Elektrophysiologie (Göttingen) befasste er sich ab 1980 mit der molekularen Analyse der Pathogenität von Bakterien an der Universität Hamburg. Seine Forschungsschwerpunkte sind:

1. Evolution der Pathogenität von Durchfall- und Sepsis-Erregern (Yersinien, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* u. a.),
 2. Entwicklung neuer Verfahren zum Nachweis von Infektionserregern,
 3. Entwicklung von Lebendimpfstoffen auf Yersinia- und Salmonella-Basis.
-

eine Rolle. Bei der Stallhaltung wird die Gülle auf die Weide verteilt und das kontaminierte Gras den Rindern wieder verfüttert. Damit schließt sich nicht nur der EHEC-Kreislauf, die Erreger gelangen außerdem in Bach- und Trinkwasserbereiche.

Verstärkung der Infektionsforschung

Jede Veränderung unserer Lebensgewohnheiten (Reisetätigkeit, Lebensmittelproduktion, Impfungen, medizinischer Fortschritt wie Transplantation, Gelenkersatz, neue Therapiestrategien u. a.) ist mit Veränderungen von „Selektionsfiltern“ für Viren und Mikroorganismen verbunden und damit auch mit dem Auftauchen neuer Erreger. Diese Entwicklung können wir nicht verhindern, aber wir können mit unseren neu gewonnen Erkenntnissen aus der Infektionsbiologie der Erreger und der Genomforschung schneller reagieren: Neue Erregernachweisverfahren und die gezielte Entwicklung neuer Therapeutika und Impfstoffe machen das möglich. Zudem können wir bei der Veränderung unserer Lebensgewohnheiten die möglichen Einflüsse auf die Selektion neuer Erregertypen berücksichtigen. Das würde die Chancen des Hasen in diesem nahezu aussichtslosen Wettlauf verbessern.

ADULTE STAMMZELLEN FÜR DEN MORBUS PARKINSON



Beate Winner, Ulrich Bogdahn und Jürgen Winkler

1817 veröffentlichte der britische Arzt, Apotheker und Paläontologe James Parkinson (1755 - 1824) sein bekanntestes medizinisches Werk „An Essay on the Shaking Palsy“ (Eine Abhandlung über die Schüttellähmung). Er beschrieb erstmals Patienten mit einem auffälligen Zittern (Ruhetremor), das er als „Schüttellähmung“ bezeichnete. Vermutlich verwandte der französische Psychiater Jean-Martin Charcot (1825 - 1893) den Ausdruck „Parkinson-Krankheit“ für die neurologische Erkrankung 1884 zum ersten Mal. Heute leiden allein in Deutschland mehr als 250 000 Menschen unter dieser Erkrankung, das sind rund 1 % der über 55-Jährigen. Die Parkinson-Krankheit ist die häufigste Bewegungserkrankung und verläuft chronisch über mehrere Jahrzehnte – wie auch die Alzheimer-Demenz. Durch die sich abzeichnende demografische Entwicklung rechnen die mitteleuropäischen Industrieländer mit einer Verdopplung der Anzahl von Parkinsonerkrankungen alle fünf Jahre. Die Krankheit beeinträchtigt die Lebensqualität der Betroffenen erheblich und belastet auch die Angehörigen stark. Für die Gesellschaft wird die zunehmende Zahl von Parkinson-Patienten zu einer kaum zu bewältigenden gesundheitspolitischen Herausforderung. Neue wirksame und zugleich kostengünstige Therapien sind das Ziel der aktuellen Forschungsarbeiten.

Die Parkinson-Erkrankung, auch „Morbus Parkinson“ genannt, beginnt meist zwischen dem 50. und 60. Lebensjahr und trifft Männer fast doppelt so häufig wie Frauen. Die Erkrankung beginnt schleichend und schreitet danach zeitlebens fort. Die Symptome werden im Verlauf stärker und daher auch besser erkennbar: Bewegungsarmut (Hypo- oder Akinese), Muskelsteifheit (Rigor), Ruhetremor (Ruhetremor) und Standunsicherheit (posturale Instabilität). Zu vielen klinischen Symptomen, beispielsweise einer reduzierten Mimik (Hypomimie) oder einer außergewöhnlich kleinen Schrift (Mikrografie), kommen nicht-motorische und psychische Störungen (z. B. Harn- /Stuhlinkontinenz, Depression, Gedächtnisstörung, Riechstörung).

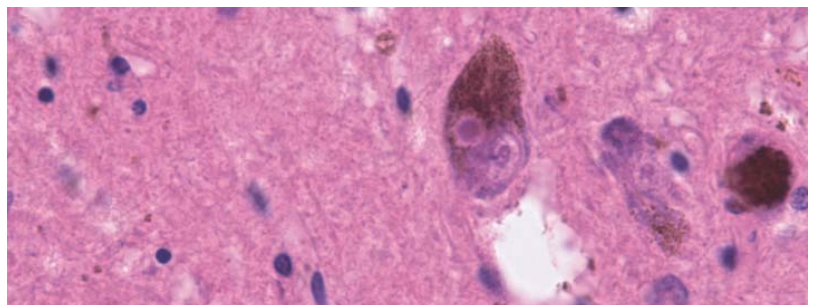
Der Geruchssinn als Frühwarnsystem

Der Morbus Parkinson ist eine degenerative Erkrankung, bei der Nervenzellen des Gehirns absterben, die wichtige motorische, emotionale und kognitive Funktionen steuern. Besonders betroffen sind die Nerven-

zellen in der so genannten pars compacta der Substantia nigra (auch Nucleus niger, „schwarzer Kern“), einem Kernkomplex im Mittelhirn, der viel Eisen und Melanin in den Zellen enthält und deshalb dunkel erscheint. Allerdings fallen die ersten Krankheitszeichen erst auf, wenn weit mehr als 60 % dieser Zellen abgestorben sind.

Was die Erkrankung auslöst, ist nach wie vor nicht geklärt. Wahrscheinlich spielen aber Eiweißablagerungen (Synuklein-Aggregate) oder deren Vorstufen im Zellkörper und in den Ausläufern betroffener Nervenzellen eine entscheidende Rolle bei der Krankheitsentstehung und dem kontinuierlichen Fortschreiten der Erkrankung.

Neuropathologische Gewebeschnitte zeigen, dass diese charakteristischen Eiweißablagerungen in unterschiedlichen Nervenzellverbänden des Hirnstamms und des Riechkolbens (Bulbus olfactorius) schon lange vor den ersten erkennbaren motorischen Symptomen auftreten. Häufig gehen den motorischen Symptomen Riechstörungen voraus: Menschen, die Gerüche schlecht



Lewy-Körperchen in einer Nervenzelle (mit bräunlichem Pigment) der Substantia nigra bei Morbus Parkinson (HE Färbung). Bild: ZNP, LMU München

oder gar nicht wahrnehmen, erkranken nachweisbar öfter an Morbus Parkinson als Personen ohne Riechstörungen.

Funkstille an den Nervenenden

Der deutsche Neuropathologe Friedrich Lewy beschrieb erstmals 1912 homogene Einschlüsse innerhalb der Zellen, die dann nach ihm als Lewy-Körper und Lewy-Neuriten benannt wurden. Durch biochemische Analysen und aufgrund genetischer Studien von familiären Formen des Morbus Parkinson gelang es, α -Synuklein als eines der wesentlichen Bestandteile in Lewy-Körpern und Neuriten zu identifizieren. α -Synuklein ist ein 140 Aminosäuren langes Eiweißmolekül, dessen genaue Funktion im Gehirn noch unklar ist. Gesichert ist aber, dass es bei der Übertragung von Nervenbotenstoffen (Neurotransmitter) zwischen den Nervenenden eine Rolle spielt. Bei der Parkinson-Erkrankung sterben Nervenzellen durch diese Synuklein-Aggregate oder deren Vorstufen in unterschiedlichen Kerngebieten im Gehirn ab, was viele Neurotransmittersysteme deutlich verändert.

Neurotransmitter übertragen Informationen von einer Nervenzelle zur anderen über Kontaktstellen, die Synapsen. Bekannte Neurotransmitter sind zum Beispiel Noradrenalin, Acetylcholin, Dopamin oder Serotonin. Neurone, in denen man Dopamin findet, werden dopaminerg genannt, solche, die Noradrenalin enthalten noradrenerg.

Dopaminmangel ist eine der Ursachen für die motorischen Probleme beim Morbus Parkinson. Für die neuropsychiatrischen Symptome wie Schlafstörungen, Störungen des autonomen Nervensystems, Depression und Demenz sind Defizite bei den Neurotransmittern Noradrenalin, Serotonin und Acetylcholin verantwortlich.

Therapieansätze beim Morbus Parkinson

Die medikamentöse Therapie beim Morbus Parkinson verwendet Substanzen, die die dopaminerge Neurotransmission (Nervenüberleitung) stimulieren, um die motorischen Symptome zu lindern. Dieser Ansatz ist im Frühstadium der Erkrankung zwar sehr effektiv, verhindert jedoch den fortschreitenden Verlust an dopaminergen Nervenzellen (Nervengeneration) nicht. Die Krankheit schreitet somit trotz Therapie unaufhaltsam fort.

Die Hoffnungen richten sich deshalb auf biologische Methoden wie die Zelltherapie. Sie soll krankhaftes Gewebe entweder durch Zufuhr von intakten Zellen von außen (exogener Ansatz) oder durch Stimulation des im Körper vorhandenen zellulären Potenzials (endogener Ansatz) zur Selbstheilung regenerieren. Stammzellen nehmen dabei in der Zelltherapie eine immer wichtigere Stellung ein.

Stammzellen sind im Körper dort vorhanden, wo ein ständiger Umsatz an Zellen nötig ist: vor allem in Knochenmark, Haut und Darm. Sie sorgen für die kontinuierliche Erneuerung und Wiederherstellung (Rege-

neration) von Zellen und Geweben. Auch das Erneuerungspotenzial des Gehirns ist viel höher als vermutet. So befinden sich im Gehirn von Erwachsenen in einer für das Gedächtnis wichtigen Struktur, dem Hippokampus („Seepferdchen“) und entlang der mit Flüssigkeit ausgefüllten Hohlräume des Gehirns, der subventrikulären Zone (SVZ), neurale Stamm- und Vorläuferzellen, die in der Lage sind, lebenslang neue Nervenzellen und Gliazellen (Stützzellen des Gehirns) zu bilden.

Alleskönner Stammzellen?

Stammzellen sind nicht ausdifferenzierte, das heißt noch unspezialisierte Körperzellen. Bei diesen Zellen steht noch nicht fest, ob aus ihnen später beispielsweise eine Hautzelle, oder eine Darm- oder eine Herzzelle wird. Eine Stammzelle ist unabhängig von ihrer Organherkunft etwas ganz Besonderes: Sie kann sich dauerhaft selbst erneuern, sie ist unbegrenzt teilungsfähig, sie ist lebenslang präsent und sie kann zu jedem Zelltyp eines Organismus werden (Pluripotenz).

Stammzellen, aus denen nur ein Typ einer spezialisierten Zelle entstehen kann, heißen unipotent, solche, aus denen mehrere unterschiedliche Zelltypen hervorgehen können, sind pluripotent und solche, aus denen sich alle Zelltypen entwickeln können, totipotent. Nur die totipotenten Stammzellen sind in der Lage, einen gesamten Organismus zu bilden.

Stammzellen haben die Aufgabe, im Organismus kontinuierlich neue Zellen zu generieren, die dann nach

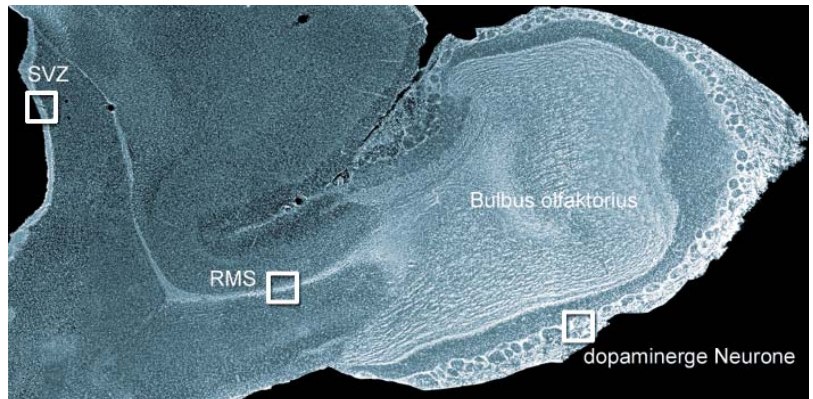


einer Spezialisierung (= Differenzierung) einen Teil der jeweiligen Organfunktion übernehmen. Je nach Reifestadium werden embryonale, foetale und adulte Stammzellen unterschieden. Embryonale und auch foetale Stammzellen besitzen ein sehr hohes Differenzierungspotenzial, doch biotechnische Probleme (die schnelle Teilungsfähigkeit dieser Zellen führt zur Tumoren) und die anhaltende und kontroverse ethisch-juristische Diskussion erschweren die Forschung mit diesen Zellen in Deutschland.

Adulte (erwachsene) Stammzellen sind ethisch unbedenklicher, weil sie sich bereits in vielen unterschiedlichen Organen (Knochenmark, Leber, Haut, Gehirn) bei jedem Menschen jeden Alters nachweisen lassen. Sie stellen eine alternative Ausgangszelle einer zukünftigen Zelltherapie dar.

Vorhandenes besser nutzen

Bei Gehirnerkrankungen unterscheiden die Wissenschaftler, wie bereits erwähnt, zwischen einem exogenen und einem endogenen Therapieansatz. Bei einem exogenen Vorgehen werden dem Gehirn adulte neurale Stammzellen entnommen, außerhalb des Gehirns (ex vivo) aufgereinigt und vermehrt, um sie anschließend demselben Individuum (autolog) wieder zu injizieren (transplantieren). Der endogene Ansatz arbeitet mit chemischen Substanzen oder anderen Interventionen, zum Beispiel körperlicher Anstrengung, um die im Gehirn vorhandene Stammzellaktivität quasi von innen zu steigern. Der endogene Ansatz nutzt also die bereits vorhandene Regenerationsfähigkeit.



Die neurogene Zone besteht aus der Subventrikulären Zone (SVZ), in der sich kontinuierlich neue Zellen teilen. Die neugebildeten Zellen wandern entlang des Rostralen Migratorischen Strangs (RMS) in den Bulbus olfaktorius. Ein Teil der Zellen differenziert sich in dopaminerge Neurone.

Die größte Erfahrung mit der exogenen Zelltherapie besteht derzeit bei Parkinson-Patienten, bei denen der Effekt von foetalem Gewebe (keine kultivierten Zellen, sondern Gewebestücke!) durch mehrere klinische Studien für einen therapeutischen Ansatz getestet wurde. Das transplantierte Gewebe überlebte zwar lange Zeit und lieferte dort auch nachweisbar dopaminerge Nervenzellen, eine klinische Besserung trat jedoch nur bei jüngeren, weniger stark betroffenen Patienten ein, die aber aufgrund der Zelltransplantate unter schweren Bewegungsstörungen litten. Die Studien bei Morbus Parkinson verdeutlichen eindrücklich die Schwierigkeit, exogene Zelltherapieverfahren erfolgreich in die Klinik einzuführen. Bevor ein exogener Zelltherapieansatz (z.B. für adulte neurale Stammzellen) in Erwägung gezogen werden kann, muss ein geeignetes und standardisiertes Zellkultur- und ein klinisches Protokoll entwickelt und die Zelltransplantationstechnik

optimiert werden – alles sehr aufwändige Verfahren. Alle bisherigen exogenen Ansätze kämpfen mit diesen Problemen. Daher ist der endogene Zellersatz, die Stimulation von im erwachsenen Gehirn vorhandenen adulten neuronalen Stammzellen, eine bisher wenig beachtete, aber sehr attraktive Alternative für die Zelltherapie bei Morbus Parkinson.

Die Nase vorne haben

Zurück zur gestörten Riechfunktion als Frühsymptom bei Morbus Parkinson. Auffällig ist, dass auch bei Erwachsenen im Riechkolben immer noch neue Nervenzellen einwandern. Der Bulbus olfaktorius liegt an der Grenze von peripherem und zentralem Nervensystem (siehe Bild). Kontinuierlich wandern aus der Subventrikulärzone neue Neurone in den Riechkolben ein und schütten unterschiedliche Neurotransmitter aus. Einer dieser Botenstoffe, der von neugebildeten Nervenzellen im Riechkolben ausgeschüttet wird, ist Dopa-

Adulte Stammzellen für den Morbus Parkinson

Dr. med. Beate Winner (Jahrgang 1973) ist Fachärztin für Neurologie an der Klinik und Poliklinik für Neurologie der Universität Regensburg und Wissenschaftlerin im Bayerischen Forschungsverbund Adulte Neurale Stammzellen (FORNEUROCELL). Sie arbeitet in der Parkinson-Ambulanz und forscht an Regeneration in neurodegenerativen Erkrankungen mit dem Schwerpunkt Parkinson.

Prof. Dr. med. Ulrich Bogdahn (Jahrgang 1951) ist Direktor der Klinik und Poliklinik für Neurologie der Universität Regensburg und Sprecher von FORNEUROCELL. Als Facharzt für Neurologie und Psychiatrie interessiert er sich für Neuroonkologie, neurologische Intensivmedizin und die Bildgebung bei neurologischen Erkrankungen mit Magnetresonanz- und Ultraschalluntersuchungen.

Prof. Dr. med. Jürgen Winkler (Jahrgang 1958) ist Leitender Oberarzt an der Klinik und Poliklinik für Neurologie der Universität Regensburg und wissenschaftlicher Koordinator von FORNEUROCELL. Er leitet klinisch und wissenschaftlich die Arbeitsgruppe Neuroregeneration, die ihren Schwerpunkt in der Erforschung von neurodegenerativen Erkrankungen sowie der Zelltherapie hat.

min. Dieser Vorgang ist einzigartig, weil somit im Riechhirn neu gebildete, Dopamin produzierende Nervenzellen vorhanden sind – die Zellpopulation also, die an anderen Stellen des Gehirns und insbesondere in der Substantia nigra bei der Parkinson-Erkrankung abstirbt und dort dringend benötigt würde. Die im Riechkolben gebildeten dopaminergen Nervenzellen unterscheiden sich zwar in einigen Charakteristika von denen in der Substantia nigra, dennoch hat der Riechkolben Modellcharakter. Das Verständnis des Systems Riechkolben hilft einerseits, den Zusammenhang zwischen der beobachteten Riechstörung und Morbus Parkinson besser zu verstehen und kann andererseits Mechanismen bei der Zellneubildung aufzeigen. Diese lassen sich auf andere dopaminerge Regionen im Gehirn übertragen und können die Basis für endogene Therapieansätze bilden.

Kaum eine klinische Therapie kommt ohne Tiermodelle aus, auch nicht die Parkinsonforschung. Neurotoxine (z. B. 6-Hydroxydopamin) schädigen selektiv die dopaminergen Neurone im Gehirn von Nagetieren und erzeugen – wie bei Morbus Parkinson – Dopaminmangel. Eine andere Methode verwendet gentechnische Verfahren und erzeugt α -Synuklein-Mäuse, die ein krankes α -Synuklein-Gen des Menschen tragen, was zu parkinsonähnlichen neuropathologischen Veränderungen im Gehirn und zu einer motorischen Einschränkung der Tiere führt.

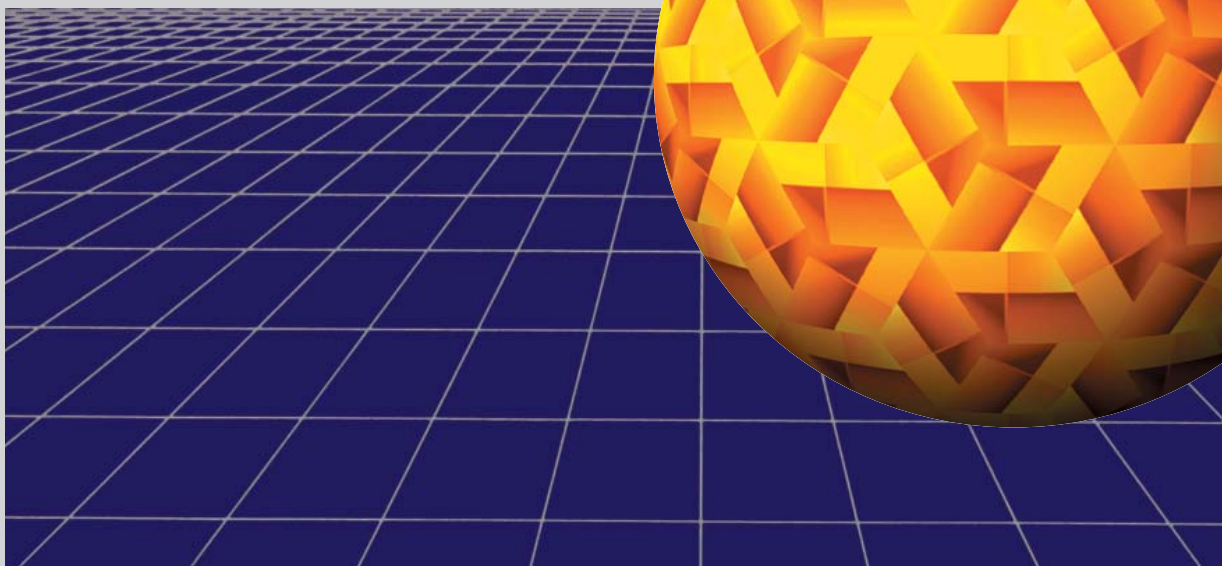
Zunächst war zu klären, ob die Regionen, in denen neue Nervenzellen

gebildet werden und insbesondere der Riechkolben in diesen Parkinson-Tiermodellen verändert sind. Überraschenderweise zeigten beide Tiermodelle Veränderungen bei der Neubildung von Nervenzellen: Die α -Synuklein-Mäuse integrieren weniger neue Nervenzellen und haben insgesamt deutlich weniger Nervenzellen im Riechhirn. Die Abläufe der physiologisch vorhandenen inneren Neubildung sind also bei diesen Tieren gestört.

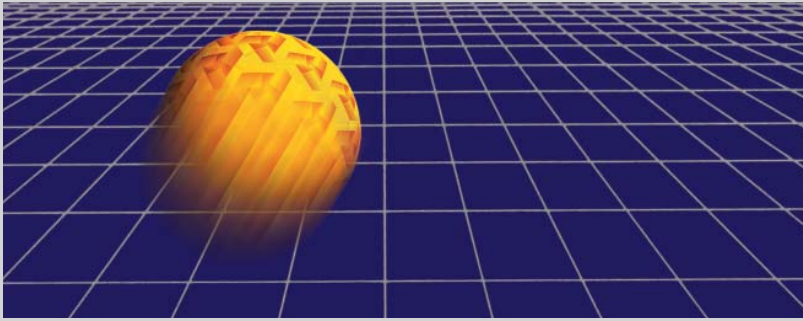
Befunde beider Tiermodelle deuten somit darauf hin, dass das Riechsystem durch das vermehrte α -Synuklein in seiner physiologischen Funktion in den Parkinson-Tiermodellen gestört ist und der Dopaminmangel die Neubildung von Nervenzellen verändern kann.

ForNeuroCell

Die beschriebenen Veränderungen zu verstehen und neue therapeutische Ansätze zu testen, die die endogene Neurogenese stimulieren, ist Teil der Arbeit im Forschungsverbund Adulte Stammzellen, ForNeuroCell. Untersuchungen an verstorbenen Parkinson-Patienten deuteten auf mögliche Veränderungen der endogenen Neurogenese hin. Wäre es möglich, dass nicht nur das Absterben von Zellen, sondern auch eine verminderte Bildung von neuen Nervenzellen ursächlich für die Riechstörung sein könnte? Die Antworten auf diese und andere Fragestellungen im Verbund sollen helfen, dass Parkinson-Patienten ihre Krankheit überwinden und gleichzeitig das Gesundheitssystem entlasten.



WELT DER MATERIE



NEUE KRAFTWERKE BRAUCHT DAS LAND!

Hartmut Spliethoff

Der weltweite Strombedarf steigt in den nächsten 30 Jahren voraussichtlich auf das Doppelte und erfordert deshalb den Bau von Stromerzeugungsanlagen mit einer elektrischen Leistung von 5000 GW. Erneuerbare Energien werden den gestiegenen Strombedarf auch in 50 Jahren nicht alleine decken können und die fossilen Reserven müssen weiter die Stromversorgung sichern. Neue Kraftwerke auf der Basis fossiler Brennstoffe stehen nicht nur vor hohen Anforderungen hinsichtlich Ressourcenschonung, sondern auch im Hinblick auf Umweltfreundlichkeit, Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit. Großkraftwerke müssen zudem die fluktuierende Stromeinspeisung durch erneuerbare Energien ausgleichen. Die Kraftwerksindustrie verfolgt mittelfristig die Strategie, die Effizienz der Energiewandlung zu erhöhen und langfristig CO₂-freie Kraftwerke zu entwickeln.

Im Jahr 2004 betrug der weltweite Verbrauch an Primärenergie (Kohle, Erdöl, Erdgas) 10 224 MTOE (MTOE = Millionen Tonnen Rohöläquivalent) und wurde zu etwa 85 % mit fossilen Energieträgern gedeckt. Für die nächsten 30 Jahre sagt die Internationale Energie Agentur eine Steigerung des weltweiten Primärenergieverbrauchs um 66 % voraus. Das entspricht einer jährlichen Steigerungsrate von 1,7 %. Dieser Zuwachs beruht zum einem auf der Zunahme der Weltbevölkerung, und zum anderen auf dem starken Nachholbedarf der Schwellenländer wie China und Indien. Strom wird wichtiger denn je: Der Stromverbrauch wird sich zwischen 2000 und 2030 rund verdoppeln und die Steigerungsraten liegen mit 2,4 % jährlich deutlich über denen des Primärenergieverbrauchs.

Etwa 40 % des gesamten Primärenergieverbrauchs wurde 2000 in Kraftwerken zur Stromerzeugung

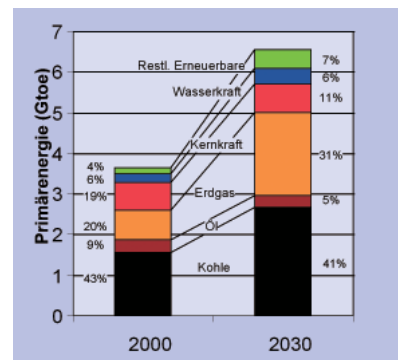


Bild 1: Primärenergieeinsatz zur Stromerzeugung in 2000 und 2030. Quelle: World Energy Outlook 2002

eingesetzt (s. Bild 1). Kohle ist dabei mit rund 43 % der mit Abstand bedeutendste Primärenergieträger in der Stromerzeugung, gefolgt von Erdgas mit etwa 20 % und Kernenergie mit etwa 19 %. Der relative Anteil der Kohle soll bis 2030 nur geringfügig sinken, aber absolut nimmt die in der Stromerzeugung eingesetzte Kohlemenge um 60 % zu.



Foto:
Kraftwerk Rostock
KNG mbh

Neue Kraftwerke braucht das Land!

9 600 neue Kraftwerke bis 2030

Der prognostizierte Anstieg des Stromverbrauchs erfordert in einem nie da gewesenen Ausmaß die Installation neuer Kraftwerksanlagen. Die weltweit installierte Kraftwerksleistung betrug 2000 rund 3 400 GW (1 GW = 1 000 MW) und soll bis zum Jahre 2030 auf 7 200 GW ansteigen. Berücksichtigt man außerdem, dass alte Anlagen vom Netz gehen, so müssen bis zum Jahre 2030 Stromerzeugungsanlagen mit einer Gesamtkapazität von 4 800 GW weltweit errichtet werden. Dies entspricht 9 600 Kraftwerken mit einer elektrischen Leistung von 500 MW, die voraussichtlich überwiegend die Primärenergieträger Erdgas (etwa 2 000 GW) und Kohle (etwa 1 500 GW) verwenden. Allein China plant bis zum Jahr 2020 thermische Kraftwerke mit einer Gesamtleistung von 720 GW und baut jährlich zwischen 30 und 40 neue Kohlekraftwerke mit einer Leistung von 600 MW. Während in den Schwellen- und Entwicklungsländern neue Kraftwerke den Zusatzbedarf abdecken, muss Europa vor allem bestehende Altanlagen durch neue Kraftwerke ersetzen. In Europa sollen bis zum Jahr 2020 etwa 200 GW Kraftwerksleistung neu installiert werden, davon etwa 40 GW in Deutschland. Der beschlossene Ausstieg aus der Kernenergie erfordert zusätzliche neue Kraftwerke.

Großkraftwerke oder Windkraft?

Die beste Strategie bei der Stromversorgung provoziert eine immer

wiederkehrende Diskussion: fossile oder regenerative Energieträger, zentrale oder dezentrale Stromerzeugungsanlagen. In Anbetracht des steigenden Verbrauchs müssen jedoch alle Möglichkeiten genutzt werden. Es bedarf großer finanzieller Aufwendungen – letztendlich durch Verbraucher in vielen Ländern – um weltweit den relativen Anteil der Erneuerbaren Energien anzuheben. Das Beispiel der Windkraft zeigt sehr anschaulich, dass die Energieversorgung auch in Zukunft nur in einem Mix an Energieträgern zuverlässig funktioniert: Windenergiekraftwerke speisen fluktuierend ins Netz ein und können deshalb konventionelle Kraftwerke nicht oder nur zu einem geringen Anteil ersetzen, denn 1 000 MW installierte Windleistung sichern nur 60 MW planbare Leistung. Konventionelle Kraftwerke müssen dann schnell regelbare Energie bereitstellen, um die Unstetigkeit der Windenergie auszugleichen. Hieraus ergeben sich hohe Anforderungen an die Fähigkeit, auch bei sehr geringer Leistung arbeiten zu können (Teillastfähigkeit) und an die Geschwindigkeit, mit der sich konventionelle Kraftwerke anpassen können. Steigt der Anteil der Erneuerbaren Energien in Deutschland wie gewünscht auf 20 %, führen Schwachlastzeiten und starker Wind zu einem Stromüberschuss. Solche extremen Zustände zu beherrschen ist eine große Herausforderung für die Kraftwerksbetreiber.

Auch bei hohen Steigerungsraten regenerativer und dezentraler Energieversorgungseinrichtungen sind

Großkraftwerke, die fossile Energieträger nutzen, in den nächsten 50 Jahren unverzichtbar.

Kraftwerksausbau in Deutschland

In jüngster Vergangenheit veröffentlichten die deutschen Energieversorger regelmäßig Pläne zum Bau neuer Kraftwerke, insgesamt Anlagen mit einer elektrischen Leistung von (laut FAZ vom 20.1.2006) 24 000 MW.

Dabei konkurrieren erdgasgefeuerte Gas- und Dampfturbinenkraftwerke (GuD) mit kohlenstaubgefeuerten Dampfkraftwerken. Erdgasgefeuerte GuD-Kraftwerke sind im Vergleich zu Steinkohledampfkraftwerken preiswerter bei den Investitionskosten, haben hohe Wirkungsgrade und niedrige Emissionen. Steinkohle als Brennstoff ist dagegen kostengünstiger und langfristig geringeren Preisschwankungen unterworfen als Erdgas. Die Planungen in Deutschland sehen 15 000 MW Dampfkraftwerke für Stein- und Braunkohle und 9 000 MW erdgasgefeuerte Gas- und Dampfturbinenkraftwerke vor.

Effiziente Kraftwerke

In der weltweiten Stromerzeugung dominiert das Dampfkraftwerk mit Steinkohlenstaubfeuerung (siehe Bild 2). Kohle wird zu Staub vermahlen, in einer Feuerungsanlage verbrannt und das heiße Rauchgas liefert 560 °C heißen Hochdruckdampf. Dieser treibt eine mechanische Dampfturbine an, die wiederum über einen Generator Strom erzeugt. Thermodynamisch hängt der

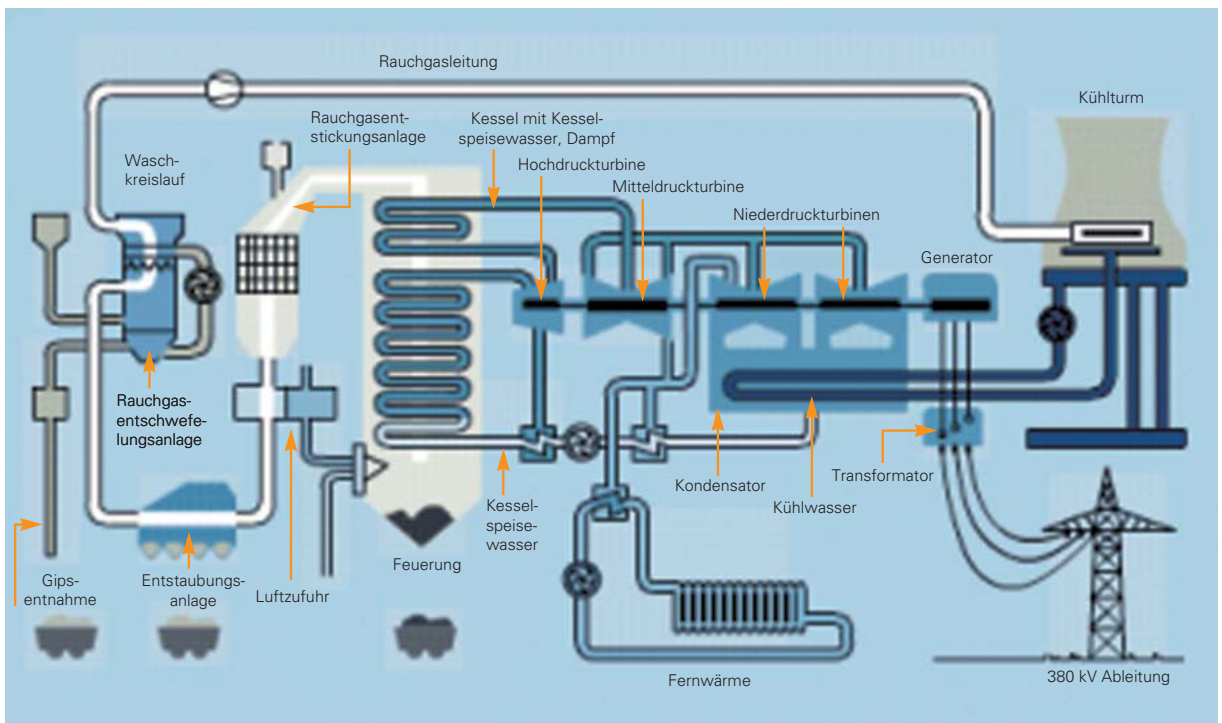


Bild 2: Schema des Steinkohlen-Dampfkraftwerks Rostock. Quelle: Kraftwerk Rostock KNG mbH, Grafik: ©SchwolowDesign

Wirkungsgrad bei der Umwandlung von mechanischer Energie zu Strom von dem Temperaturniveau der Wärmezufuhr im Dampferzeuger und von der Temperatur der Wärmeabfuhr im Kondensator ab. Bild 2 gibt die Daten des neuesten betriebenen Steinkohledampfkraftwerks in Deutschland in Rostock an. Der Wirkungsgrad liegt bei 43,8 %, begünstigt durch die niedrige Kühlwassertemperatur des Standortes.

Das Temperaturniveau der Wärmeabfuhr gibt das am Standort verfügbare Kühlmedium vor. Deshalb können nur höhere Dampftemperaturen und -drücke den Wirkungsgrad stei-

gern. Mit den heute verfügbaren Werkstoffen lässt sich Dampf von maximal 600 °C erzeugen.

Der mittlere Wirkungsgrad der heute betriebenen Kraftwerksanlagen liegt in Deutschland für Kohlekraftwerke bei etwa 40 % und damit deutlich über dem mittleren Wirkungsgrad der weltweit betriebenen Kraftwerke (ca. 35 %). Dabei liegt der real im Betrieb erzielbare Wirkungsgrad üblicherweise unter dem berechneten.

Wirkungsgrad im Höhenflug

Nahezu alle Staaten weltweit unternehmen große Anstrengungen, um

den Wirkungsgrad von Dampfkraftwerken weiter anzuheben. Die EU fördert Projekte, in denen zahlreiche Energieversorgungsunternehmen und Kraftwerkshersteller Kraftwerksanlagen für Temperaturen von 700 °C Dampftemperatur entwickeln und planen. Parallel dazu arbeiten die Beteiligten an Maßnahmen um die Verluste im Kraftwerksprozess zu verringern. Ein so optimiertes Kraftwerk könnte dann seinen Wirkungsgrad auf über 50 % steigern.

Die derzeit geplanten Kohlekraftwerke sehen für Steinkohle einen Wirkungsgrad von 46 % und für Braunkohle von 43 % vor. Bei der

Neue Kraftwerke braucht das Land!

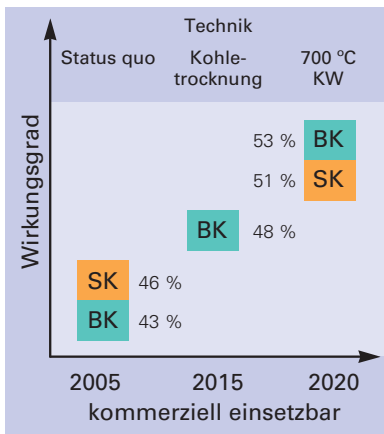


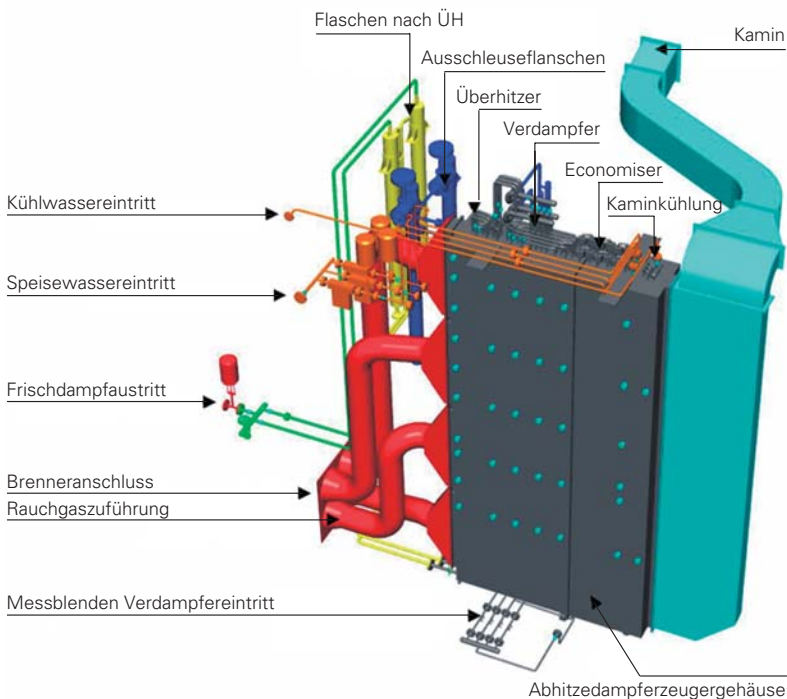
Bild 3: Wirkungsgrade von neuen Dampfkraftwerken. „BK“ steht für Braunkohle, „SK“ für Steinkohle.

Braunkohle senkt der hohe Wasseranteil der Braunkohle von 50 bis 60 % zunächst den Wirkungsgrad. Wird jedoch die Kondensationswärme bei einer externen Vortrocknung genutzt, kehrt sich der Wirkungsgradnachteil in einen Vorteil um (siehe Bild 3).

Mit Erdgas erzielen kombinierte Gas- und Dampfturbinenkraftwerke sehr hohe Wirkungsgrade. Die Planer berechnen für neue, große Anlagen Werte von bis zu 58 %. Durch weitere Maßnahmen, zum Beispiel eine höhere Eintrittstemperatur des Gases in die Turbine und höhere

Dampftemperaturen des Abhitzedampferzeugers peilen sie in Zukunft Wirkungsgrade über 60 % an. Am Standort Irsching soll eine neue Gasturbine mit 340 MWel im geplanten GuD-Kraftwerksblock einen Wirkungsgrad von 60 % erreichen.

Moderne Kraftwerke müssen höchste Anforderungen an die Dynamik erfüllen, um beispielsweise die fluktuierende Einspeisung von Windstrom auszugleichen. Bild 4 zeigt den am Lehrstuhl für Energiesysteme der TU München installierten Abhitzedampferzeuger-Versuchsstand, der dazu dient, das dynamische Verhalten von modernen Abhitzedampferzeugern mit so genanntem Zwangsdurchlauf zu untersuchen und zu verbessern.



CO₂-Abscheidung

Die immensen Wachstumsraten beim Energieverbrauch bedeuten steigende CO₂-Emissionen. Langfristig wird es nicht gelingen, den CO₂-Ausstoß alleine durch effizientere Kraftwerkstechnologien zu begrenzen. Fossile Energieträger können nur dann in einem Energiemix mit erneuerbaren Energieträgern die Stromversorgung sicherstellen, wenn es gelingt, CO₂ aus dem Kraftwerksprozess abzuscheiden und sicher zu lagern.

Bild 4: Abhitzedampferzeuger-Versuchsstand am Lehrstuhl für Energiesysteme (TU München).



Prinzipiell lässt sich CO_2 auf drei Arten aus dem Kraftwerksprozess eliminieren. Bei der nachgeschalteten Rauchgasreinigung (Bild 5) wird das CO_2 aus dem Rauchgas des Kraftwerksabgases abgetrennt und anschließend komprimiert oder verflüssigt. Kraftwerke mit integrierter Kohlevergasung (Bild 6) filtern das CO_2 aus dem Brenngas und verbrennen dann reinen Wasserstoff in der Gasturbine. In den so genannten Oxy-Fuel-Prozessen (Bild 7) ist reiner Sauerstoff das alleinige Oxidationsmittel in einem Dampferzeuger. Das Rauchgas enthält nach der Kondensation von Wasserdampf ausschließlich CO_2 , abgesehen von wenigen Verunreinigungen. Bei der Verbrennung mit reinem Sauerstoff entstehen aber sehr hohe, technologisch nicht beherrschbare Temperaturen. Deshalb muss ein großer Massenstrom von bereits abgekühlten Verbrennungsabgasen in die Feuerung zurückgeführt werden, um die Temperaturen in der Feuerung auf Werte von maximal $1500\text{ }^\circ\text{C}$ – wie in luftgefeuerten Dampferzeugern – zu begrenzen (Bild 8). Diese Rückführung bzw. Rezirkulation eines großen Volumenstromes erfordert zum einen zusätzliche Leitungen und Gebläse und zum anderen einen größeren und damit aufwändigeren

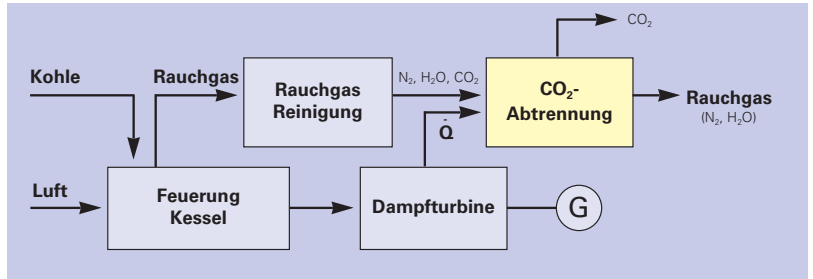


Bild 5: Kohlekraftwerke mit nachgeschalteter CO_2 -Abscheidung. Quelle: Lurgi

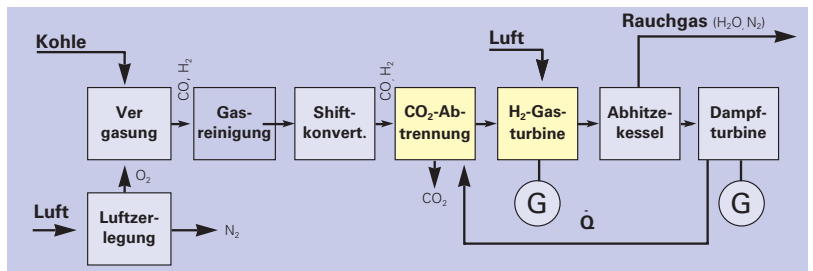


Bild 6: Kraftwerk mit integrierter Kohlevergasung und CO_2 -Abscheidung. Quelle: Lurgi

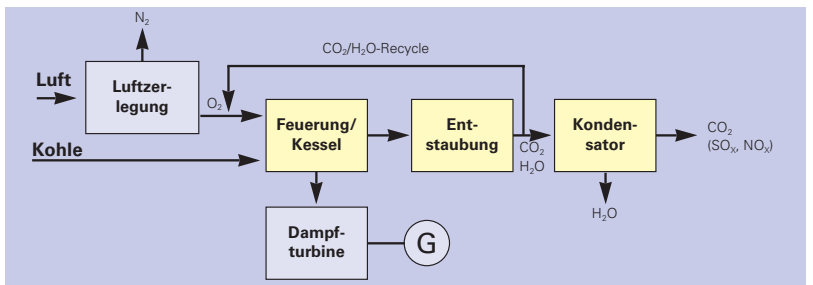


Bild 7: Dampfkraftwerk mit Sauerstoffverbrennung. Quelle: Lurgi

Gleiche Volumenströme wie bei Luftfeuerung

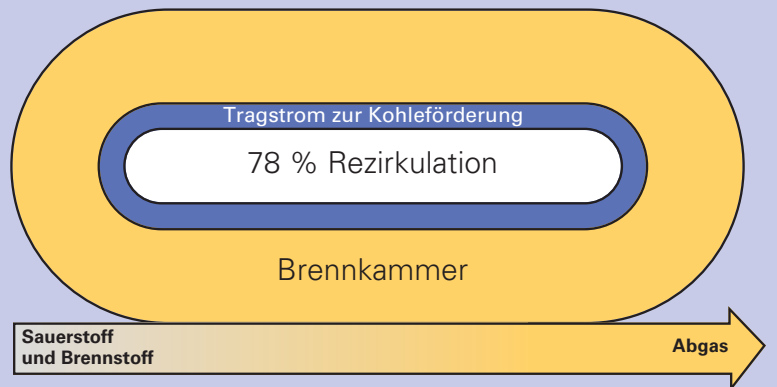


Bild 8: Rauchgasrezirkulation bei Sauerstoffverbrennung.

Quelle: Lehrstuhl für Energiesysteme (TU München)

Neue Kraftwerke braucht das Land!

Prof. Dr.-Ing. Hartmut Spliethoff (geb. 1960) leitet den Lehrstuhl für Energiesysteme an der TU München und ist Forschungsgruppenleiter bei der Forschungsinitiative Kraftwerke des 21. Jahrhunderts (KW 21). Als Vorstandsmitglied des Zentrums für angewandte Energieforschung (ZAE) verantwortet er den Bereich Solarthermie und Biomasse. Seine Forschungsschwerpunkte an der TUM sind zentrale und dezentrale Energieumwandlungssysteme und -anlagen sowie neue Kraftwerkskonzepte und Verfahren zur Abscheidung von CO₂.

	Dampfkraftwerk mit nachgeschalteter CO ₂ -Abscheidung	Vergasung mit CO ₂ Abscheidung	Dampfkraftwerk mit Sauerstoffverbrennung
Entwicklungsstand	Komponenten sind Stand der Technik	Vergasung ist Stand der Technik	Nicht Stand der Technik
Wirkungsgrad-einbuße	10-12 % Punkte (Regeneration Waschmittel)	8 % Punkte	8-10 % Punkte (kryogene Luftzerlegung) 1-6 % Punkte (Membrantechnik)
Spezifische Investitionskosten	+ 80 %	+ 50 % gegenüber Kohlevergasung	+100 %
Forschungsbedarf	Integration Einfluss Kohle auf Waschmittel Energiebedarf	H ₂ -GuD-Prozess Demo Gesamtprozess	Verbrennung/Wärmeübertragung mit =O ₂ /CO ₂ Luftzerlegung mit Membrantechnik

Tabelle 1: Vergleich von Kraftwerksprozessen mit CO₂-Abscheidung für Kohle.

Dampferzeuger. Im Rahmen eines von der EU geförderten Forschungsprojektes untersuchen die Wissenschaftler am Lehrstuhl für Energiesysteme deshalb Konzepte, um den Rauchgasrezirkulationsstrom drastisch abzusenken.

Die Abtrennung von CO₂ verteuert die Stromerzeugung erheblich und verschlechtert den Wirkungsgrad der Anlage (s. Tabelle 1). Zudem werfen die Technologien zur CO₂-Abscheidung noch einer Vielzahl offener Fragen auf. Deutsche Stromversorger

haben bereits den Bau von ersten CO₂-freien Kraftwerken angekündigt: Vattenfall will dabei die Oxy-Fuel-Technologie in einer 30 MW Anlage einsetzen, RWE hat den Bau eines Kohlevergasungskraftwerkes mit CO₂-Abscheidung beschlossen. Damit ist eine neue Ära von Kraftwerken eingeläutet.

COOLE CHIPS FÜR HEIßE ELEKTRONIK

Doris Schmitt-Landsiedel

Alles begann mit dem Wunsch nach immer leistungsfähigeren Rechnern. Heute durchdringt die Mikroelektronik alle Bereiche unseres Lebens und wird es in Zukunft noch mehr tun. Darin schlummert auch ein gewaltiges Innovationspotenzial.

Die Strukturen auf einem Chip sind inzwischen kleiner als 100 nm; die produktionstechnische Evolution vollzieht den Schritt von der Mikroelektronik zur Nanoelektronik. Je kleiner die Strukturen, je höher die Anzahl von Transistoren auf einem Chip ist, umso höher ist nicht nur die Rechenleistung sondern leider auch der Energieverbrauch. Diese so genannte Verlustleistung wirkt sich negativ auf die Kosten und die mögliche Betriebsdauer batteriebetriebener Geräte aus und hält mit den gestiegenen Anforderungen an Qualität und Mobilität moderner Informationstechnologien nicht Schritt. Neue Schaltungen und Architekturen sind deshalb notwendig, die jede Möglichkeit zur Leistungseinsparung nutzen.



Prozessoren im Hitzestau

Das Moore'sche Gesetz steht stellvertretend für den Fortschritt in der Mikroelektronik: Etwa alle drei Jahre vervierfacht sich die Anzahl der auf einem IC integrierten Bauelemente. Die so genannte CMOS-Technik ermöglicht diese Höchstintegration. CMOS-Bausteine (Complementary Metal Oxide Semiconductor oder komplementärer Metall-Oxid-Halbleiter) sind integrierte Schaltkreise, die ein komplementäres Paar von Feldeffekttransistoren oder FETs schalten oder verstärken elektrische Signale und verwenden dabei für den Stromtransport nur einen Ladungstyp – abhängig von der Bauart Elektronen oder Löcher.

Im Ruhezustand fließt dabei kein Strom in die Steuerelektrode, das Gate. Nur während des Schaltens fließt ein Strom in die Gate-Kapazität und verursacht so die dynamische Verlustleistung.

Die Taktfrequenz steht für die Anzahl der Arbeitsschritte in einem Prozessor pro Sekunde. Da moderne integrierte Schaltungen (zum Beispiel Prozessoren) bei immer höheren Taktfrequenzen arbeiten und zudem die Zahl der auf einem Chip integrierten schaltenden Elemente ständig zunimmt, steigen auch die dynamischen Verluste dramatisch. Schon heute wird ein Hochleistungsprozessor während des Betriebs so heiß, dass er mit einem Ventilator gekühlt werden muss. Wenn die rasante

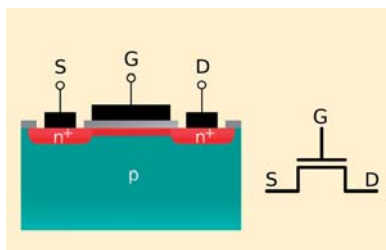


Bild 1:

Links: Querschnitt eines n-Kanal MOSFET mit ausgebildetem Kanal für eine Steuerungsspannung V_{GS} größer als die Einsatzspannung. Rechts: In der Digitaltechnik dafür verwendetes Symbol.

Die Anschlüsse sind:

S: Source (engl. für „Zufluss“, „Quelle“)

G: Gate (engl. für „Tor“, „Steuerelektrode“)

D: Drain (engl. für „Abfluss“, „Senke“)

(Bild: LTE)

Cooler Chips für heiße Elektronik

Entwicklung immer schnellerer Prozessoren unvermindert anhält, so die Firma Intel, wird die Oberfläche eines Prozessors in wenigen Jahren so heiß wie das Innere eines Kernreaktors und einige Jahre später so heiß wie die Oberfläche der Sonne. Normale Ventilatoren kommen gegen diese Hitze natürlich nicht mehr an, und deshalb suchen Wissenschaftler weltweit nach Methoden, um die Hitzeursache, die Verlustleistung, herabzusetzen.

Das Ziel: preiswert und nano

Noch kritischer als bei Hochleistungsprozessoren ist die Lage bei Chips für tragbare Geräte wie Mobiltelefone, MP3-Player oder Hörgeräte, weil die Verlustleistung die Standzeit der Batterien bestimmt.

Sollen in Zukunft überall in der Umgebung integrierte Sensoren und Prozessorelemente das Leben er-

leichtern (Stichwort: Ubiquitous Computing), dann werden ultra-coole Chips benötigt, die sehr klein und zugleich preisgünstig sein müssen.

Erschwerend kommt hinzu, dass beim Übergang zu nanoelektronischen Strukturgrößen unter 100 nm andere physikalische Gesetze in den Feldeffekttransistoren bedeutsam werden: Die Barriere, die bei ausgeschaltetem Transistor den Stromfluss zwischen den Anschlüssen an den Kanal (Source und Drain) verhindern soll, sinkt nämlich bei kurzer Kanallänge und es fließt ein erhöhter Unterschwellstrom durch den gesperrten Transistor. Hinzu kommen Tunneleffekte, das heißt, ein Strom kann durch den weniger als 2 nm dicken Gateisolator vom Gate in den Kanal fließen. Dadurch machen sich in CMOS neben den dynamischen Verlusten beträchtliche zusätzliche Ruheverluste bemerkbar. Abhilfe

schaffen zum Teil neue Materialien etwa für die Isolationsschicht, neue Formen von Transistorbauelementen, vor allem aber neue Schaltungen und Architekturen.

Stand-by für Prozessoren

Bisher reduzieren die Schaltungsentwickler dynamische Verluste, indem sie vor allem Schaltvorgänge vermeiden: durch effiziente Rechenalgorithmen, gute Programmierung und geschickte Auswahl der einzelnen Schaltungen. Dies reicht jedoch nicht mehr aus, denn es gilt, auch statische Verluste durch steigende Sperrströme zu minimieren.

Zusammen mit Infineon Technologies untersuchte der Lehrstuhl für Technische Elektronik (LTE) der TU München Strategien zur Verlustleistungseinsparung. Dabei erwies sich eine Maßnahme aus dem täglichen Leben als wirksamster Ansatz, nämlich das Abschalten von Schaltungsteilen, die nicht in Aktion sind, quasi eine Stand-by-Funktion für Prozessoren. Voraussetzung dafür sind An- und Abschalter, die mit auf dem Chip integriert werden.

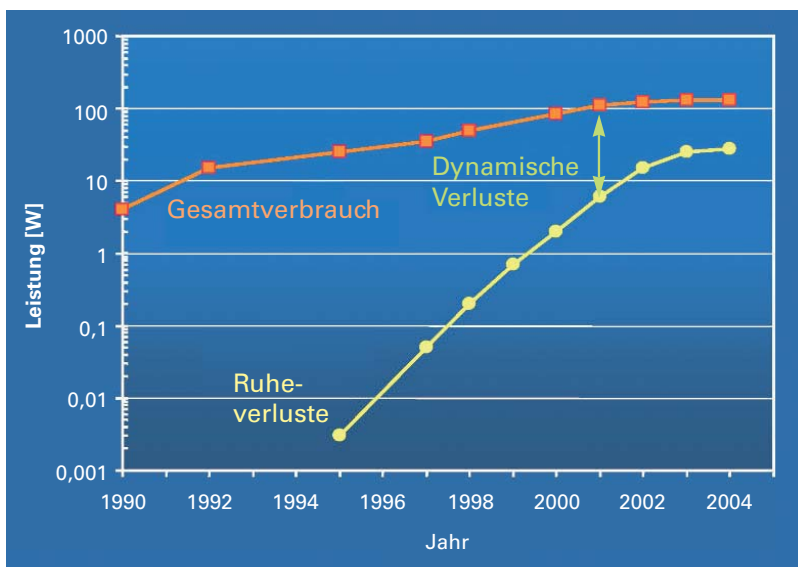


Bild 2:
Entwicklung des maximalen Gesamtverbrauchs von Prozessoren. Die Ruheverluste steigen dramatisch an. (Mit freundlicher Genehmigung von Intel Corp.)

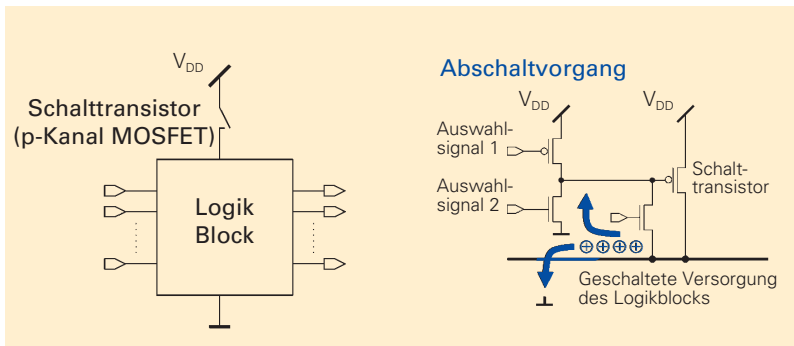


Bild 3: In CMOS-Chips mit Strukturgrößen von 100 nm und kleiner entstehen Ruheverluste, die ein Abschalten verhindern kann; „Charge Recycling“ beim An- und Abschalten verringert die Schaltverluste. (Bild: LTE)

Diese Schalter sind ebenfalls Feldeffekttransistoren. Da sie sehr klein sein müssen, haben sie einen merklichen Durchlasswiderstand, der im aktiven Betrieb einen Spannungsabfall gegenüber der von außen anliegenden Versorgungsspannung verursacht. Je kleiner der Durchlasswiderstand, desto höher ist auch der Sperrstrom durch einen Schalter.

Ein besonders Erfolg versprechender Ansatz ist das granulare Abschalten, das heißt das Abschalten kleiner Prozessor-Blöcke schon für kurze Zeit. Das An- und Abschalten verursacht aber zunächst einmal zusätzliche Verluste. Sollen diese den gewünschten Effekt, die Verlustleistung der Prozessoren zu verringern, nicht wieder zunichte machen, müssen ausgeklügelte Schaltungs- und Chiparchitekturstrategien den Zusatzaufwand wieder ausgleichen.

Dieser Ansatz ähnelt aber einer mathematischen Gleichung mit vielen Unbekannten, denn wie sich ein Schalter im ein- und ausgeschalteten

Zustand in Abhängigkeit von seiner Größe verhält und welche zusätzlichen Energieverluste beim Schalten auftreten, mussten die Wissenschaftler erst einmal herausfinden. Diese Faktoren sind die Grundlage, um zu berechnen, ab wann es sich energetisch überhaupt lohnt, Prozessoren abzuschalten.

Ganzheitlicher Ansatz

Da das Problem grundlegender Natur ist, entschieden sich die Wissenschaftler für eine theoretische Beschreibung, statt – wie üblich – Schaltungssimulationen am speziellen Produkt zu verwenden, die dann nicht auf andere Produkte übertragbar sind. Eine wichtige Zielgröße für das granulare Abschalten ist die minimale Abschaltzeit, das ist die Zeitdauer, ab der es sich lohnt abzuschalten, weil die im ausgeschalteten Zustand eingesparte Verlustleistung größer ist als die Leistung für das An- und Abschalten.

Aus der theoretischen Beschreibung entstanden nicht nur Entwurfs-

regeln für die Dimensionierung der Schalter, sondern auch eine Idee, wie die Schaltverluste reduziert werden können. Sitzt der Schalter zwischen der positiven Versorgungsspannungsleitung V_{DD} und dem abzuschaltenden Block, dann wird der Gate-Anschluss beim Abschalten des Schalttransistors aufgeladen, während sich die abgeschaltete Versorgungsleitung auf Grund von Leckströmen nach Masse entlädt. Beim Einschalten kehrt sich der Vorgang um. Wird nun während des Schaltvorgangs kurzzeitig das Gate des Schalttransistors mit der geschalteten Versorgungsleitung verbunden, dann fließt ein Teil der Ladung nicht nach Masse ab, sondern lädt das Gate des Transistors auf. Insgesamt spart ein solcher Schalter Strom und verringert die Verlustleistung.

Eine Teststruktur für das „Charge Recycling“ verkürzte die minimale Abschaltzeit bereits um 25 %. Außerdem gelang es, die Ansteuerung des Schalter-Gates zu optimieren und Zustände in einem abgeschalteten Block, die beim Einschalten wieder präsent sein sollen, verlustarm zu speichern.

Adiabatische Schaltungen sind effektiver

Die Verluste bei einem Schaltvorgang entstehen in einem klassischen CMOS-Gatter dadurch, dass für den Zustand der logischen Eins die Kapazität des Ausgangsknotens von der Batterie aufgeladen wird und beim Umschalten zur logischen Null die Ladung zum Masseknoten abfließt.

In so genannten adiabatischen Schaltungen zirkuliert Ladung periodisch zwischen der Schaltung und einer oszillierenden Versorgungsspannung. Während die Spannung ansteigt, werden alle Steuerelektroden aufgeladen, die den Zustand „eins“ annehmen sollen. Sobald die Versorgungsspannung zum Wert Null zurückkehrt, fließt die Ladung von den Knoten der Schaltung wieder zurück in den Versorgungsanschluss, sie geht also nicht nach Masse verloren. Mit idealen Bauelementen würde auf diese Weise keine Verlustleistung entstehen. Dieses Gedankenexperiment lässt sich aber nicht ohne weiteres in reale Schaltungen und Produkte übertragen. Bei hoher Schaltgeschwindigkeit machen sich Verluste in den Schaltern bemerkbar und bei niedrigen Frequenzen steigen die innerhalb eines Taktzyklus auftretenden Verluste durch Leckströme dramatisch an. Viele Schaltungen reagieren zudem empfindlich gegenüber Schwankungen in Bauelementeeigenschaften, Versorgungsspannung und Temperatur. Als komplexe Teststruktur diente eine Addierschaltung für zwei 8-Bit-Zahlen mit vier Versorgungstakten, die auf einem in der Industrie gefertigten Testchip beweisen sollte, dass die Schaltung für die Massenproduktion taugt. Zum einen zeigten die Messungen, wie in den vier benötigten Versorgungstaktleitungen die Energie periodisch zum Chip hin und dann wieder zurück fließt. Durch die Rückgewinnung ist die mittlere Verlustleistung über mehrere Taktzyklen hinweg sehr viel geringer als die

für einen Takt eingesetzte Energie. Zum anderen erwiesen sich die adiabatischen Schaltungen Gott sei Dank als genauso robust wie statische CMOS-Schaltungen.

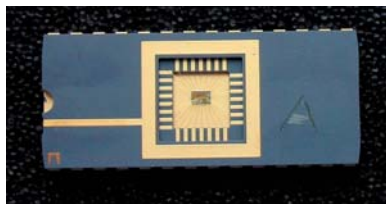


Bild 4: Integrierter Schaltkreis in 130 nm CMOS (Bild: LTE)

Wenn du es eilig hast, gehe langsam (chin. Sprichwort)

Das chinesische Sprichwort gilt besonders für adiabatische Schaltungen, deren Taktfrequenz hinter der technisch möglichen Schaltgeschwindigkeit zurückbleibt. Dennoch verschiebt sich auch der hier erreichbare Frequenzbereich immer weiter nach oben. Im Vergleich mit einer entsprechenden klassischen CMOS-Schaltung ist die Verlustleistung bei adiabatischen Schaltungen 5- bis 10-mal geringer, abhängig vom Schaltungstyp, der Frequenz und der Spannung. Neue Technologien, die mit Strukturgrößen unter 100 nm arbeiten, erreichen mittlerweile über 100 MHz mit adiabatischen Schaltungen. Damit wird diese Schaltungstechnik attraktiv für Aufgaben in der digitalen Signalverarbeitung.

Bei batteriegetriebenen Systemen muss ein hoch energieeffizienter Oszillator die getaktete Versorgungsspannung auf den Chip brin-

gen. Die wenigen bisher publizierten Lösungen erfüllen jedoch noch nicht die Anforderungen. Die Wissenschaftler an der TU München arbeiten deshalb an einem effektiven Oszillator. Viele Verbesserungsmöglichkeiten stecken in der Schaltungstechnik. Erste Ansätze für neue Filterstrukturen nutzen die 4 Versorgungstakte wie in einer Art Pipeline und steigern damit den Durchsatz bei der Signalverarbeitung. Getestet werden die neuen Strukturen unter anderem am Anwendungsbeispiel der Sendererkennung in Mobilfunkgeräten.

Adiabatische Schaltungen stehen für eine neue Philosophie bei der Systementwicklung. Neue CMOS-Technologien sollen nicht mehr ausschließlich die Geschwindigkeit (und damit die Verlustleistung) steigern, sondern gemäß dem Wahlspruch „Festina lente“ durch etwas gemächlicheres Arbeiten ein auch energetisch besseres Resultat erzielen.

Augen zu und durch

Der Feldeffekttransistor in integrierten Schaltungen wird bald nicht mehr das sein, was er einmal war. Nach 40 Jahren Siegeszug des planaren MOSFET entwickelt die Industrie neue Bauformen dieses Elements. Auch der Lehrstuhl für Technische Elektronik an der TU München arbeitet an einem neuen Feldeffektbauelement, dem so genannten Tunneltransistor und dessen Einsatz in integrierten Schaltungen. Dieser TFET ist ähnlich wie ein MOSFET aufgebaut, enthält aber

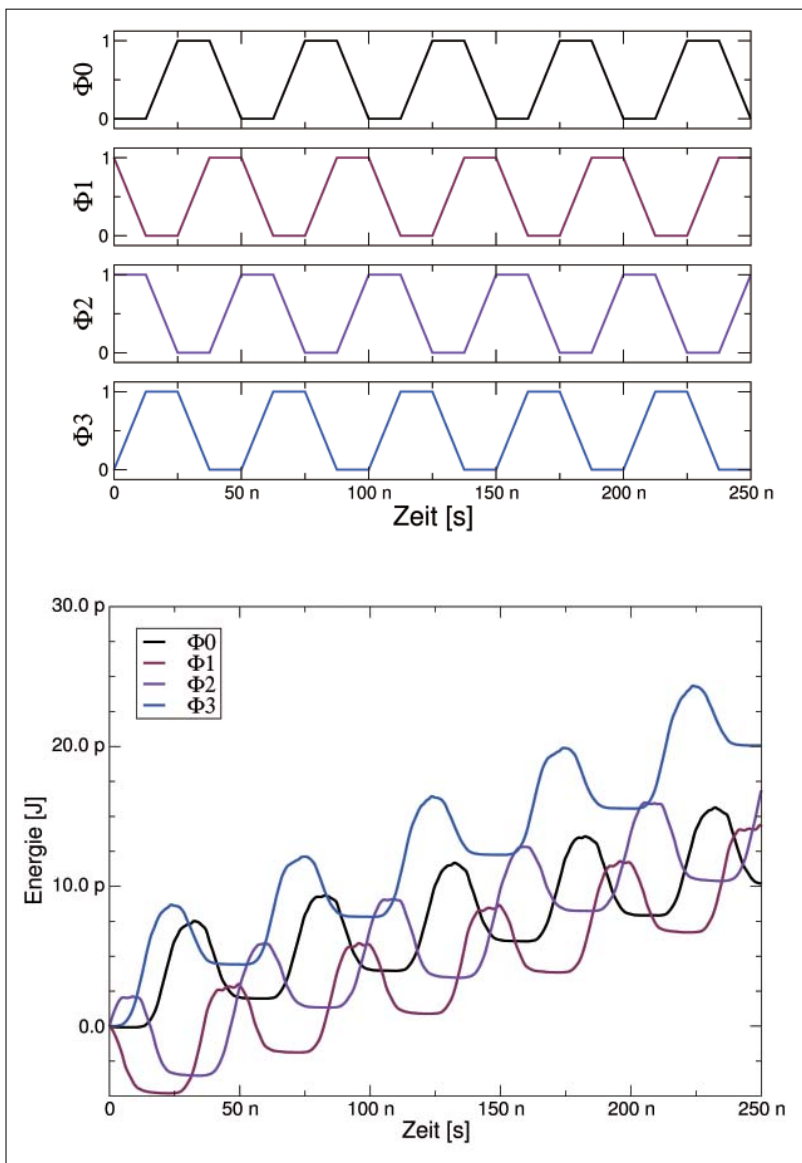


Bild 5:
Oben: Spannungsverlauf der vier Versorgungstakte $\Phi_0 - \Phi_3$. Unten: Energiezufuhr und -wiedergewinnung der Versorgungstakte. (Bild: LTE)

chens ab. Die winzige Größe der modernen elektronischen Bauelemente führt dazu, dass der Tunneleffekt immer öfter auftritt.

Tunneltransistoren gewinnen

Da dieser quantenmechanische Tunneleffekt sehr abrupt einsetzt, erwartet man von einem Tunneltransistor (TFET) wesentlich bessere Skalierungseigenschaften bis herab zu Kanallängen von 10 nm. In der Arbeitsgruppe von Prof. Walter Hansch am Lehrstuhl für Technische Elektronik gelang es weltweit erstmals, komplementäre Tunneltransistoren herzustellen, das heißt Transistoren mit Elektronen- und Löcher-leitendem Kanal. Im Forschungsverbund FORNEL (Bayerischer Forschungsverbund für Nanoelektronik) untersucht der Lehrstuhl die Verwendung der neuen Transistorstruktur für Analogschaltungen, die unter den Kurzkanaleigenschaften des MOSFET besonders leiden. Dabei entdeckten die Wissenschaftler erst vor kurzem eine Methode, um die Einsatzspannung des Transistors kontinuierlich einzustellen – und haben damit einen weiteren Freiheitsgrad für den Schaltungsentwurf geschaffen. Der Nutzen dieser Option wurde bereits an einem konventionell hergestellten Verstärker getestet. Optimiert für

nicht einfach einen gesteuerten Kanal, sondern eine gesteuerte Tunnelstrecke.

Nach den Gesetzen der klassischen Physik können Teilchen ohne Energiezufuhr keine Barrieren überwinden. Ein Fußball, der auf einer Seite einer Mauer liegt, wird ohne ausreichende „Energiezufuhr“ (zum Beispiel durch einen Tritt) niemals auf der anderen Seite der Mauer landen. Nach den Vorstellungen der klassischen Physik ist die Energie eines Teilchens exakt festgelegt, zum Beispiel durch seine Geschwindigkeit. Damit lässt sich genau vorher-sagen, ob ein Teilchen eine be-

stimmte Energiebarriere überwinden kann oder nicht. Anders bei atomaren Teilchen: Da lässt sich gemäß der Heisenbergschen Unschärferelation der Zustand nie exakt, sondern nur mit gewissen Wahrscheinlichkeiten bestimmen. Demnach gibt es aber auch eine, wenn auch kleine Wahrscheinlichkeit, dass sich das Teilchen doch auf der anderen Seite einer Barriere aufhält, die es aufgrund seiner Geschwindigkeit nicht überwinden könnte. Die Wahrscheinlichkeit für dieses „Durchtunneln“ hängt sehr stark von der Breite und Höhe der Barriere sowie der Masse beziehungsweise Energie des Teil-

Cooler Chips für heiße Elektronik

Prof. Dr. Doris Schmitt-Landsiedel

(geb. 1952) ist stellvertretende Sprecherin des Bayerischen Forschungsverbands für Nanoelektronik (FORNEL) und Mitglied des Wissenschaftsrats. Vor ihrem Ruf auf den Lehrstuhl für Technische Elektronik an der TU München arbeitete sie in der Zentralen Forschung und Entwicklung der Siemens AG in München im Bereich der Festkörperphysik und Mikroelektronik. Sie ist Erfinderin oder Miterfinderin von mehr als 50 Patenten. Ihre Forschungsschwerpunkte sind u.a. robuster Entwurf von verlustarmen CMOS-Schaltungen, Produktionstechnologien für die Silizium-Mikroelektronik, Ausfallmechanismen und Zuverlässigkeit von integrierten Schaltungen und Metallisierungssysteme für Sub-0,5µm-CMOS-ICs.

eine niedrige Versorgungsspannung und geringe Verlustleistung funktionierte die Schaltung durch den Einsatz von drei unterschiedlichen Einsatzspannungen bei einer hohen Bandbreite von 5 MHz bis herab zu 0,5 V Versorgungsspannung.

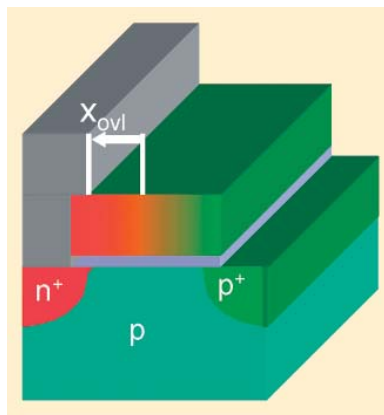


Bild 6: Tunneltransistor mit einstellbarer Implantationsmaske für die Justierung der Einsatzspannung. (Bild: LTE)

Cooler Chips sind angesichts der stetig steigenden Anforderungen an elektronische Geräte ein absolutes Muss. Neben der Schaltungsoptimierung entwickelt und erprobt die Wissenschaft neue Schaltungselemente und Funktionsweisen zusammen mit der Industrie. Ob sich eine Technologie im Massenmarkt durchsetzen wird oder mehrere für unterschiedliche Anwendungen, ist im Moment noch völlig offen. Gesichert ist nur das Bestreben, nicht nur auf die Geschwindigkeit, sondern vor allem energiesparend zu optimieren.

VOLLE LEISTUNG MIT KALTEN ELEKTRONEN

Märkte für Hochtemperatur-Supraleiter

Jochen Mannhart

Die Vision ist fast 100 Jahre alt: Der niederländischer Physiker Heike Kamerlingh Onnes entdeckte 1911 die Supraleitung und träumte von extrastarken Magneten und von Kabeln, die elektrischen Strom ohne Verluste über Hunderte von Kilometern transportieren. Seither schwankt die Geschichte der Supraleiter zwischen Euphorie und großer Enttäuschung. Allen Schwierigkeiten und auch Unkenrufen zum Trotz sind die Supraleiter jedoch nicht in der Versenkung verschwunden. Die Industrie hat die größten Materialprobleme überwunden und die Chancen, dass Supraleitung bald zum Alltag gehört, stehen gut.

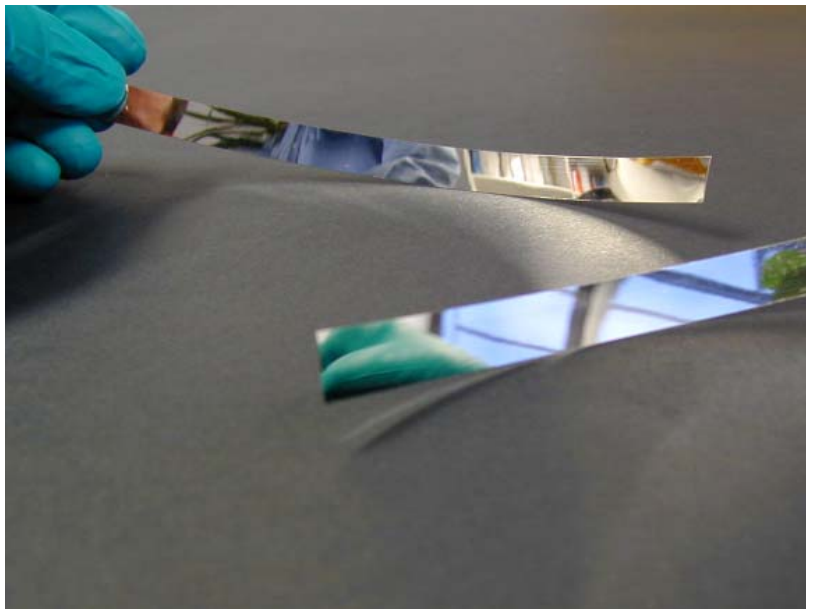


Foto: K. Wiedenmann

Ein Grund für die anhaltende Ernüchterung nach der Euphorie war, dass die Wissenschaftler es einfach nicht schafften, Supraleiter zu entwickeln, die bei „normalen“ Temperaturen funktionieren: Nb₃Ge hielt bis 1986 den „Rekord“ und wurde bei dürftigen 23 Kelvin (-250 °C) supraleitend. Onnes Vision zufolge müssten also hunderte Kilometer Kabel mit flüssigem Helium gekühlt werden, was technisch aufwändig und wirtschaftlich unvertretbar ist. Zudem brach die Supraleitung bereits bei schwachen Magnetfeldern zusammen. Metalllegierungen lösten in den 50er Jahren das Problem mit den Magnetfeldern und eröffneten damit erste technische Anwendungen für den Laborgebrauch: Drähte und Magnete. In großem Maßstab stecken sie

bereits in Magneten und Beschleunigerstrecken von Elementarteilchenbeschleunigern oder auch in Kernspintomografen, die feinste Details abbilden, ohne dabei den durchleuchteten Körper einer Strahlenbelastung auszusetzen. Dennoch wäre es aus Kostengründen schön, wenn man die Supraleiter nicht so rabiat kühlen müsste.

Die zweite Welle der Euphorie startete das IBM-Forschungslabor in Rüschlikon bei Zürich. Johann Georg Bednorz und Karl Alex Müller setzten auf eine neue Materialklasse, Oxide, die zunächst völlig ungeeignet erschienen, denn solche Keramiken leiten im Allgemeinen den elektrischen Strom überhaupt nicht. Die Beiden hatten trotzdem den richtigen Riecher: Lanthan-Barium-Kupferoxid (La_{1,85}Ba_{0,15}CuO₄) brachte einen ge-

Volle Leistung mit kalten Elektronen

waltigen Durchbruch und wurde bei 35 Kelvin (-238 °C) supraleitend. Eine neue Klasse von Supraleitern, die so genannten Hochtemperatur-Supraleiter (kurz HTS, High Temperature Superconductors) war geboren und eine fieberhafte Suche nach dem „gelobten Material“ aus Onnes Vision begann. Im Februar 1987 schien das bei Zimmertemperatur supraleitende Kabel noch näher gerückt: $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ (YBCO) benötigte mit einer Sprungtemperatur von 93 K (-180 °C) „nur“ noch flüssigen Stickstoff zur Kühlung. Die Sprungtemperatur T_c bezeichnet die Temperatur, bei der ein Material supraleitend wird. Stickstoff wird bei 77 K (-196 °C) flüssig, ist billig und technisch gut handhabbar. 1993 schraubte der „amtierende HTS-Weltmeister“ $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_8$ die Sprungtempera-

tur auf 133 K (-140 °C) hoch, unter Druck sogar auf 153 K (-120 °C). Dies war fantastisch, es folgte jedoch die Ernüchterung, als sich herausstellte, dass all diese Supraleiter, so wie sie hergestellt wurden, nur ganz geringe Ströme vertragen.

Kompliziert und eigenwillig

Keramische Supraleiter sind komplizierte und eigenwillige Materialien. Sie sind zwar bei recht hohen Temperaturen supraleitend und widerstehen im Prinzip auch extrem starken Magnetfeldern, sind aber spröde und lassen sich nicht einfach zu flexiblen Kabeln verarbeiten. Herkömmliche Herstellungsverfahren liefern Konglomerate aus vielen Körnchen, so dass der Strom von Körnchen zu Körnchen springen muss – leider schwächt dies die Supraleitung hochgradig.

Supraleitende Kabel

Um aus einem spröden Material wie einer Keramik flexible, robuste und kilometerlange Kabel herzustellen, greifen Materialwissenschaftler tief in die Trickkiste. In eine Matrix aus Silber oder einer Silberlegierung bauen sie viele feine Fäden aus dem Hoch-Tc-Material BSCCO-2223 ($\text{Bi}_{1,8}\text{Pb}_{0,3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$, $T_c=110$ K) ein. In einem mechanischen Deformationsprozess richten sich die BSCCO-Kristallite in der Silber-Matrix aus und bilden dabei großflächige Grenzflächen. Heute können diese HTS-Drähte bei 77 K Stromdichten von 150 A/mm² und mehr transportieren, dies ist etwa 100 mal so viel wie Kupfer tragen kann und reicht für die meisten Anwendungen absolut aus.

Eine zweite Strategie zur Erhöhung der Stromdichte nutzt flexible Metallstreifen statt runder Drähte. Die Kristallite der Supraleiter wachsen auf dieser Oberfläche epitaktisch, das heißt, alle Kristallite wachsen mit der gleichen Orientierung ihrer Kristallachsen. Dies löst elegant das Problem der schlechten Korngrenzen.

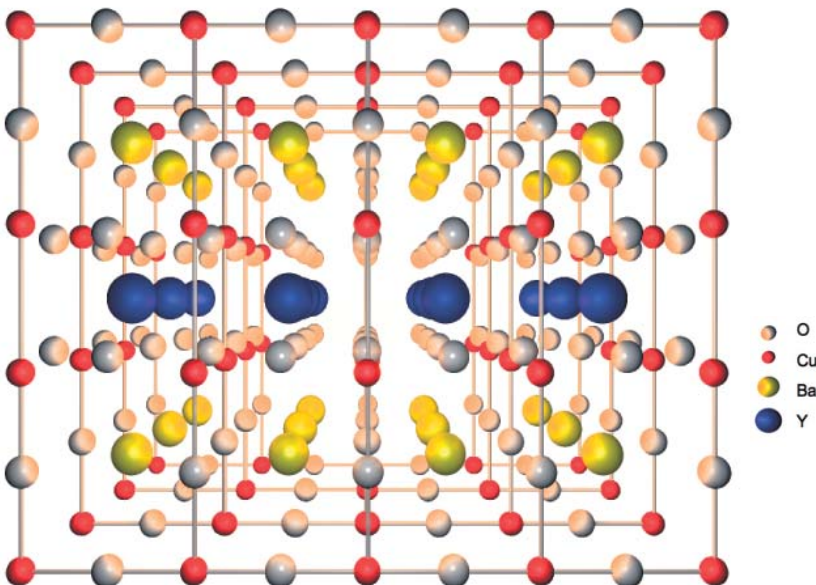


Bild 1: In der Kristallstruktur von $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ (YBCO) trennen Yttrium-Ionen jeweils zwei CuO_2 -Ebenen. Barium-Ionen wiederum trennen die CuO_2 -Ebenen von Kristallebenen mit CuO -Ketten.

(Grafik: G. Hammerl)



Das Verfahren ist vergleichsweise preiswert (man benötigt kein Silber), und wenn die großtechnische Herstellung dieser Bandsupraleiter die Herstellungskosten drückt, könnten sie sogar wirtschaftlicher sein als konventionelle Kupferkabel.

Supraleitende Schichten

Die höchsten Materialansprüche stellen dünne Schichten für Mikrowellenanwendungen bei der Signalverarbeitung im Mobilfunk. Jede Schwachstelle einer solchen Schicht verursacht Mikrowellen-Verluste und unakzeptables Rauschen im Handy. Hochwertige, defektfreie, epitaktische Schichten sind nötig. Der Prozess, durch den solche Schichten auf einem Substrat wachsen, funktioniert nur bei einer hohen Substrattemperatur (700-800 °C) und in einer Sauerstoff-Atmosphäre. Gleichzeitig ist aber ein Vakuum erforderlich, um die Ausgangsmaterialien für die Abscheidung in die Gasphase zu bringen – ein Widerspruch der Anforderungen. Die Quadratur des Kreises heißt „reaktives thermisches Koverdampfen“ und wurde an der Technischen Universität München entwickelt. Die Wissenschaftler montieren die Substrate auf eine rotierende Trägerplatte zwischen zwei Reaktionskammern, so dass das Substrat jeweils halb in beide Kammern ragt. Die eine Kammer ist beheizt und mit Sauerstoff geflutet. In der anderen Kammer befinden sich die Y-, Ba- und Cu-Verdampferquellen im Vakuum. Durch das Rotieren wird das Substrat in schneller Folge durch die beiden Kammern geschleust. Das Ergebnis:



Bild 2: Die HTS-Drähte der ersten Generation bestehen aus einem Komposit von Silber und Filamenten aus $\text{Bi}_{1,8}\text{Pb}_{0,3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ (BSCCO-2223). (Foto: American Superconductor Corp.)

Bei 1 GHz und 77 K ist der Oberflächenwiderstand mit etwa 2μ (Mikro Ohm) ungefähr zehntausendmal kleiner als der von Kupfer!

Lange Leitung ohne Widerstand

Die Energietechnik scheint derzeit der größte Markt für Hochtemperatur-Supraleiter zu sein. Allerdings erfordern Anwendungen in Kabeln, Motoren und Generatoren, Transformatoren und Synchronmotoren Drähte, die hunderte Meter lang sind.

Am weitesten fortgeschritten sind Übertragungs- und Verteilerkabel für Wechselstrom, die China, Dänemark, Japan, Mexiko und die USA erfolgreich getestet haben. In Kopenhagen versorgte in einem Test ein Stromnetz bereits 50 000 Haushalte über streckenweise supraleitende Kabel. Noch dieses Jahr soll ein ähnliches Netz auf Long Island soviel Leistung übertragen wie 300 000 New Yorker Haushalte benötigen: Das 138 kV-Kabel ist 610 m lang und hat eine Kapazität von 600 MW.

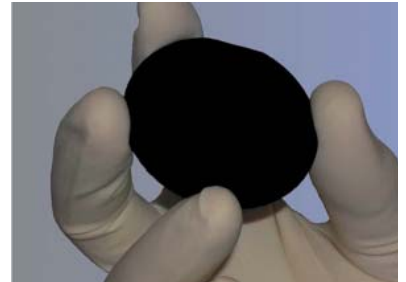


Bild 3: Im Mobilfunk werden epitaktisch gewachsene YBCO-Schichten hoher Qualität in Mikrowellen-Filtern eingesetzt. (Foto: Superconducting Technologies Inc.)

HTS-Kabel können effektive Stromdichten von mehr als 100 A/mm^2 – und damit hundertmal mehr als Kupferdrähte – transportieren. Trotz Kühlungsanlage und diverser Armierungen übertragen die supraleitenden Kabel das Zwei- bis Fünffache der Leistung eines herkömmlichen Kabels gleichen Querschnitts und heizen dabei ihre Umgebung nicht auf. Zudem sind die HTS-Kabel umweltfreundlich, denn im Gegensatz zu gewöhnlichen Kupferkabeln benötigen sie kein Öl als Kühlmittel. Damit besteht auch keine Gefahr mehr, dass bei Unfällen Öl aus dem Kabel austritt oder sich bei Bränden giftige Dioxine bilden. Die HTS-Kabel lassen sich in existierende Kabelschächte einbauen und eröffnen so Ballungsräumen mit ihren überfüllten, unterirdischen elektrischen Verkabelungen neue Ausbaumöglichkeiten.

Supraleitende Sicherungen

Das Stromnetz muss eine plötzliche Stromspitze verkraften können. Den unweigerlichen Kurzschluss verhindern dabei so genannte Strombe-

Volle Leistung mit kalten Elektronen



Bild 4: Ein aktuelles HTS-Kabel im Querschnitt: Die HTS-Drähte sind spiralförmig um jeweils einen von drei hohlen Kupferkernen gewickelt. Dieses Kabel ist 100 m lang. (Foto: Sumitomo Electric Industries.)

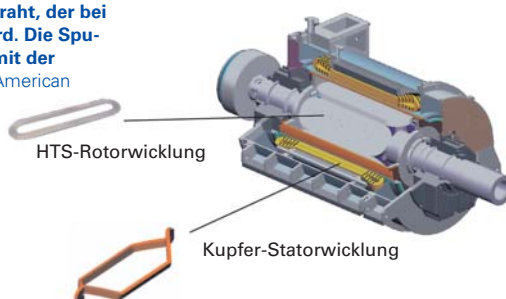
grenzer, die den Stromkreis innerhalb einiger Zehntelsekunden öffnen und die Stromspitze abfangen. Da Stromnetze aber immer mehr Stromquellen versorgen müssen, sind auch die Unterbrecher zunehmend überlastet. Eine Lösung bieten Strombegrenzer aus supraleitenden Materialien. Supraleiter schalten beim Überschreiten eines kritischen Stroms vom supraleitenden in den normalleitenden Zustand, in dem sie einen hohen Widerstand besitzen. Einige Unternehmen bauen und testen solche Strombegrenzer bereits. Bei Wechselstrom sind die Phasen von Strom und Spannung gegeneinander verschoben. Diese Phasenverschiebung verursacht eine so genannte Blindleistung, die die brauch-

bare Übertragungsleistung reduziert. Sind Spannung und Strom gleichphasig, verschwindet die Blindleistung. Die Energieversorger versuchen die Blindleistung so gut es geht im Netz zu unterdrücken, denn sie reduziert die Netzkapazität und verursacht unnötige Verluste. Entnehmen viele Verbraucher gleichzeitig Strom aus dem Netz, dann entsteht oder steigt eine bereits vorhandene Phasenverschiebung: Der Versorger muss zusätzlichen Strom ins Netz speisen, um dieselbe Leistung an den Verbraucher zu liefern. Die Verbraucher verhalten sich im Netz wie parallel geschaltete Ohmsche Widerstände; beim Verbraucher fällt die Spannung ab, das gesamte Elektrizitätsnetz wird instabil und schließlich bricht die Spannung zusammen. Ein solcher Zusammenbruch verursachte den Stromausfall am 14. August 2003 in den USA und in Kanada.

Leicht, kompakt und leistungsstark

Eine überraschende Entwicklung aus den Supraleitern ist der Synchronmotor zur dynamischen Regelung der Blindleistung in einem Wechselstrom-Hochspannungsnetz. Ein Synchronmotor ist eine rotierende Maschine, die dem Netz Ströme mit einstellbarer Phasenlage zur Verfügung stellt und damit die Phasenverschiebungen ausgleicht oder zumindest abschwächt. Synchronmotoren mit Spulen aus supraleitendem Material haben eine große Ausgangsblindleistung, einen hohen Wirkungsgrad, eine schnelle dynamische Reaktion über einen großen Dynamikbereich,

Bild 5: Generatoren und Motoren
HTS-Rotor und Kupfer-Statorspule in einem HTS-Motor oder einem HTS-Generator. Der Rotor wird durch Helium-Gas oder durch flüssiges Neon gekühlt. Die Spulen des Rotors bestehen aus einem HTS-Draht, der bei etwa 30 K und 2 T betrieben wird. Die Spulen des Stators sind elektrisch mit der Außenwelt verbunden. (Grafik: American Superconductor Corp.)





benötigen aber nur minimale Einschaltstromstöße und sind langfristig zuverlässig, weil die Betriebstemperatur der HTS-Spulen konstant ist.

Der weltweit erste HTS-Synchronmotor in den USA ist so kompakt gebaut, dass er in einen Lastwagenanhänger passt und deshalb nach Bedarf an beliebigen Verteilerstationen eingesetzt werden kann.

Einige Firmen haben bereits Prototypen von elektrischen Motoren und Generatoren mit Spulen aus Supraleitern präsentiert: 2005 stellte Siemens den ersten Generator mit 4 MW elektrischer Leistung vor. 49 000 PS bringt ein neuer Schiffsantrieb von American Superconductor und kommt dabei mit einem Fünftel des Gewichts seines konventionellen Pendantes aus. HTS-Rotorspulen erzeugen viel höhere Magnetfelder, so dass die Motoren sehr leicht und kompakt sind. Ein kleinerer Motor mit einer Leistung von 5 MW steht kurz vor der Markteinführung. Durch die Supraleiter arbeitet er so verlustarm, dass die Maschine mit Standardkühlern auskommt.

Gute Verbindung ohne Rauschen

Die Nachfrage nach mobiler Kommunikation steigt kontinuierlich und die Basisstationen müssen immer mehr Handybesitzer bedienen. Sie drohen deshalb zu überlasten. Die Kapazität der Basisstationen lässt sich durch supraleitende Frequenzfilter und gekühlte, rauscharme Vorverstärker erhöhen. Der HTS-Filter sitzt zwischen der Antenne der Basisstation und dem Empfänger, verstärkt das



Bild 6: Schutz vor Spannungsinstabilitäten im Hochspannungsnetz. Dieser Synchronmotor zur dynamischen Regelung der Blindleistung im Netz ist so kompakt, dass er in einen Lastwagenanhänger passt.
(Foto: American Superconductor Corp.)

Handysignal und extrahiert die enthaltene Information. Dabei selektiert der supraleitende Filter deutlich besser als der normalleitende aus Metall: Ein entsprechender Filter lässt

zum Beispiel nur Frequenzen zwischen 833 und 850 MHz durch und verhindert das unerwünschte Rauschen beim Telefonieren.

Der Filter besteht aus hochwertigen, dünnen YBCO-Schichten. Die YBCO-Kristallite wachsen epitaktisch auf einem 500 µm dicken Isolator und haben einen niedrigen Oberflächenwiderstand. Hochselektive Filter aus vielen gekoppelten elektronischen Resonatoren oder Schwingkreisen ermöglichen die niedrigen Verluste der HTS-Schichten. Der in Abbildung 8 gezeigte Filter umfasst zehn gekoppelte 850-MHz-Resonatoren von jeweils 5,6 cm Länge. Durch das Falten der Mikrostreifen-Resonatoren ist der Filter trotzdem sehr

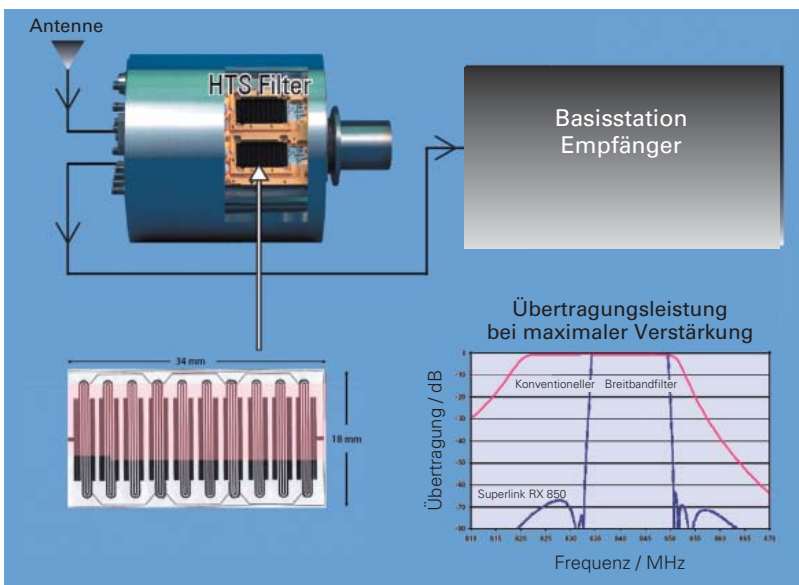


Bild 7: HTS-Filter für den Mobilfunk
a) Die HTS-Filter (schwarz) sind zwischen die Antenne und die Basisstationen geschaltet. b) Dieser Filter verwendet zehn gefaltete und schwach miteinander gekoppelte HTS-Streifenleitungen. c) Der Vergleich der Durchlasscharakteristika des HTS-Filters und eines gewöhnlichen, metallischen Filters zeigt die deutlich besseren Selektionseigenschaften des HTS-Filters. (Grafik: Superconducting Technologies Inc.)

Prof. Dr. Jochen Mannhart (geb. 1960) leitet den Lehrstuhl für Experimentalphysik VI an der Universität Augsburg und ist Forschungsgruppenleiter im Bayerischen Forschungsvorhaben Multiskalendesign Oxidischer Funktionsmaterialien (FOROXID). Er interessiert sich für Grundlagenforschung, die direkt positive Auswirkungen auf den Alltag haben kann, wie die Suche nach neuen, spannenden Materialien, die Verbesserung von Hochtemperatur-Supraleitern oder die Nanowissenschaft.

Dieser Artikel ist eine überarbeitete und aktualisierte Version des Beitrags von Alex Malozemoff, Jochen Mannhart, Doug Scalapino: „Hochtemperatur-Supraleiter in der Technik: 20 Jahre Hochtemperatur-Supraleitung“, Physik in unserer Zeit, 4 (2006) 162-169, Wiley-VCH GmbH & Co KG a.A., www.phiu.z.de, DOI: 10.1002/piuz.200601103

Der Autor bedankt sich für die Zusammenarbeit mit A. Malozemoff und D. Scalapino, sowie für Unterstützung durch G. Hammerl, T. Kopp, N. Hackenberger, P. Komarek, K. Ohmatsu, W. Prusseit, M. Ross, C.W. Schneider, K. Tsukada, K. Wiedenmann und W. Zoske. Die Arbeit wurde vom BMBF über das VDI (13N6918), von der DFG (SFB484) und der Bayerischen Forschungsförderung (FOROXID) gefördert.

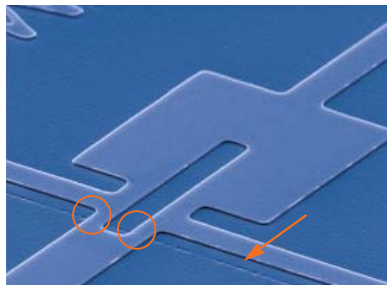


Bild 8: Dieses mit dem Rasterelektronen-Mikroskop abgebildete SQUID besteht aus einer strukturierten YBCO-Schicht auf einem SrTiO₃-Bikristall. In der unteren Hälfte des Bildes ist die 24°-Korngrenze (Pfeil) zu erkennen, von der die beiden Josephson-Kontakte des SQUIDs (Kreise) gebildet werden. (Foto: C. W. Schneider, K. Wiedenmann.)

kompakt. Die notwendige Kühlung ist zwar aufwändig, erlaubt aber den Einsatz von rauscharmen Halbleitervorverstärkern, die mitgekühlt werden und dadurch das Signalniveau anheben und gleichzeitig das Rauschen reduzieren. Die USA setzen bereits 4000 HTS-Filter in Mobilfunk-Basisstationen ein.

Winzige Magnetfelder im Visier

So genannte SQUIDs (Superconducting QUantum Interference Devices oder Supraleitende Quanteninterferometer) sind im Labor schon lange bekannt und SQUIDs aus gewöhnlichen Supraleitern werden auch schon mit Erfolg kommerziell eingesetzt. Nun gibt es auch leistungsstarke SQUIDs aus Hochtemperatur-Supraleitern. SQUIDs sind empfindliche Sensoren, die sehr präzise extrem kleine Magnetfelder messen. Sie bestehen aus einem supraleitenden Ring, der an mindestens einer Stelle durch einen hauch-

dünnen Isolator unterbrochen ist, durch den die supraleitenden Elektronen aber hindurchtunneln können (Josephson-Kontakte).

SQUIDs können zum Beispiel die Magnetfelder des Herzmuskels messen und geben so den Kardiologen Hinweise auf bestehende Erkrankungen. SQUID-basierte Sensoren sind die Grundlage für außerordentlich leistungsfähige Magnetfeldmikroskope für Untersuchungen von Biomagnetismus, zerstörungsfreie Materialprüfung und die Magnetometrie. Die Australier bauen SQUIDs in Magnetometer ein, die von einem Flugzeug aus anhand magnetischer Anomalien Erzlagerstätten erkennen.

Zwischen der Entdeckung der Hochtemperatur-Supraleiter und den ersten kommerziellen Anwendungen sind zwanzig Jahre vergangen. Auch die Entwicklung von Lichtleitern oder III-V-Halbleitern, sogar des Internets, dauerte ähnlich lang. Der Weg eines neuen Werkstoffs vom Labor in ein Produkt ist geprägt vom Durchhaltevermögen und der Zusammenarbeit von Wissenschaftlern unterschiedlichster Fachrichtungen und Industrieunternehmen. Immer wieder galten die Supraleiter als Beispiel für „Forschung im Elfenbeinturm“ mit aussichtsloser Kommerzialisierung. Diese Zeiten sind vorbei: Heute erschließen sich die Hochtemperatur-Supraleiter Märkte und neue technische Anwendungen.

LANGES LEBEN FÜR WERKZEUGE



Murat Arbak und Kay Wagner

Globalisierung und Öffnung der Märkte in Osteuropa und Südostasien setzen den Maschinenbau und da vor allem den Werkzeugbau gewaltig unter Druck. Die Werkzeuge von morgen müssen nicht nur flexibel einzusetzen sein, sondern dabei auch noch höchst präzise arbeiten. Sie sollen ohne Qualitätseinbuße über viele Produktzyklen und lange Zeiträume hinweg ihren Dienst zuverlässig und preiswert in der Herstellung sowie im Unterhalt verrichten. Lange Stillstandzeiten der Produktionsstraßen, weil die Maschinen aufwändig an ein neues Produkt angepasst werden müssen, treiben Unternehmen bereits heute ins Wettbewerbsabseits. Neue und ganzheitliche Technologie- und Maschinenkonzepte für den Werkzeug- und Formenbau sollen die Wettbewerbsfähigkeit der heimischen Unternehmen sichern; viele Bereiche, wie Auslegung und Konstruktion, Herstellung und Qualitätssicherung, müssen sich deshalb verzahnen.

Kalt in Form gebracht

Bei der Produktion von Massenartikeln wie Schrauben, Hülsen oder Münzen setzt sich das so genannte Kaltmassivumformungsverfahren zunehmend durch. „Kalt“ bedeutet, dass die Umformung bei Raumtemperatur durchgeführt wird, „massiv“ bezeichnet die Form des Ausgangswerkstoffes, nämlich ein voluminöses Bauteil und nicht etwa ein Blech. Der Rohling sitzt dabei in der Presse zwischen dem Pressstempel (Dorn oder Pfaffe beim Prägen) und einer Matrize (Pressbuchse). Das Verfahren liefert – verglichen mit Pressen unter Wärmezufuhr (Warmumformung oder Schmieden) – stabilere und präzisere Werkstücke. Der eingesetzte Druck verformt die Matrix, dabei geht das Kristallgitter von einer geordneten Struktur in eine ungeordnete mit versetzten Gitterebenen über. Mit diesem Umbau ist eine Verfestigung des Materials verbunden, das auf diese Weise härter wird. Die Kaltmassivumformung ist einerseits preiswerter als das heiße Pendant, weil keine zusätzliche Ener-

gie zum Erhitzen des Werkstücks und oft auch die Nachbearbeitung anfällt, andererseits sind die Kosten für Kaltmassivumformwerkzeuge höher, da deren Oberflächengüte (poliert) höher ist und die Werkstoffe (z.B. PM-Stähle) teurer sind. Gegenüber so genannten spanabhebenden Verfahren ist die Kaltmassivumformung auch schneller und benötigt weniger Material. Beim „Zerspanen“ wird die gewünschte Form aus einem Rohling wie beim Bildhauer oder Drechseln herausgearbeitet, so dass „die Späne fliegen“.

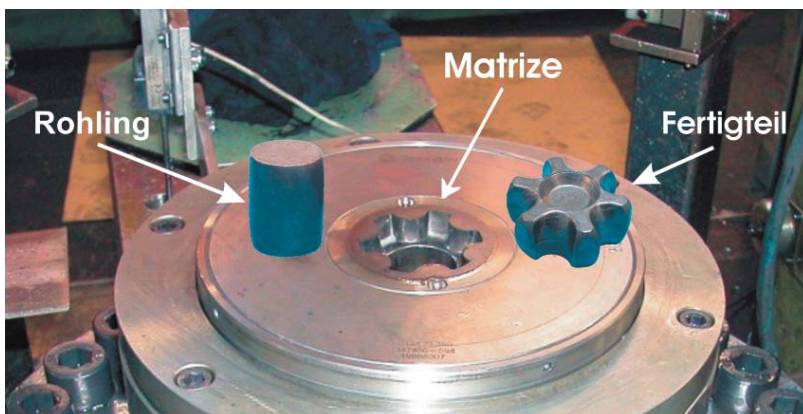
Auch wenn die wirtschaftlichen Vorteile der Kaltmassivumformung auf der Hand liegen: Vor der Massenproduktion verlangen die Pressen erst einmal hohe Investitionskosten. Jede Maßnahme, die dazu führt, dass die Werkzeuge länger im Einsatz sind, senkt die Kosten und erhöht die Wettbewerbsfähigkeit.

Werkzeuge aus Keramik

Schäden an der Werkzeugoberfläche durch Kontakt mit dem Rohling und Ermüdungsrisse im Werkzeugmaterial sind die Hauptursachen, wenn das Werkzeug ausfällt. Ermüdung entsteht durch die zyklische Werkzeugbeanspruchung. Hochfeste Werkstoffe wie hochwertiger Stahl, Hartmetall und Keramik reagieren außerdem sehr empfindlich auf

Kugelnabe für die Kaltmassivumformung: in der Mitte die Matrize, links der Rohling und rechts das Fertigteil. Mit diesem Werkzeug können 30 Teile pro Minute kaltfließgepresst werden.

(Foto: ThyssenKrupp Presta AG)



Langes Leben für Werkzeuge

Zugspannungen. Umformvorgänge mit langen Gleitwegen und hoher Reibung verschleissen die Oberfläche des Werkzeugs, so dass es schnell versagt.

Keramik ist sehr hart, hoch verschleiß- und druckfest, sie dehnt sich unter Wärme kaum aus und bietet sich durch ihre hohe Steifigkeit als Werkzeugwerkstoff geradezu an, wenn gleichzeitig die Werkzeugstandzeit, die Oberflächenqualität und Formgenauigkeit der Werkstücke optimiert werden sollen. Keramische Werkzeugeinsätze sind sowohl mechanisch wie thermisch hoch belastbar und verfügen über sehr gute tribologische Eigenschaften (das bedeutet hier geringe Reibung). Demgegenüber stehen die Nachteile: niedrige Zug- und Biegefestigkeit, Sprödigkeit und die hohen Bearbeitungskosten der Keramiken (vgl. Tabelle 1).



Bild 1: Umformstufen bei der Herstellung von Schrauben

	Werkzeugstahl (1.2379)	Keramik (Si_3N_4)
E-Modul (GPa)	210	310
Härte (HV)	600 ... 800	1600 ... 1800
Druckfestigkeit (MPa)	2500 ... 3000	> 3000
thermische Ausdehnung ($\times 10^{-6}\text{K}^{-1}$)	11	3,4
Bruchzähigkeit ($\text{N}/\text{mm}^{3/2}$)	480 (bei 62 HRC)	95 ... 300

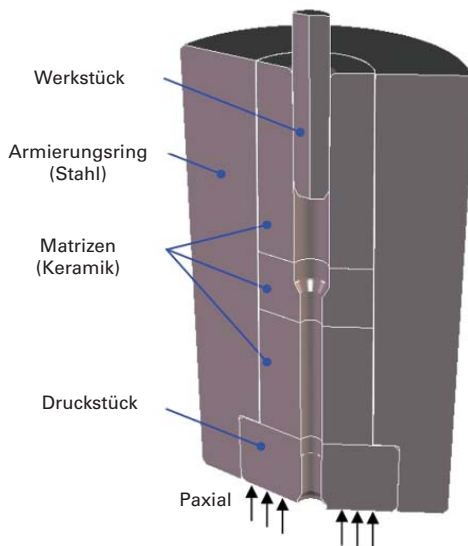


Bild 2: Keramikgerecht ausgelegtes Werkzeug der zweiten Stufe

Gepresst, nicht gedreht: Schraubenherstellung

Zusammen mit dem Industriepartner SSF-Verbindungssteile GmbH (Nürnberg) entwickelte der Lehrstuhl für Fertigungstechnologie an der Universität Erlangen-Nürnberg ein Werkzeug für die zweite Umformstufe der Schraubenherstellung (Bild 1) aus Siliziumnitrid Si_3N_4 , einer technischen Keramik. Die Schraube entsteht durch Fließpressen, das heißt, dass der Rohling unter hohem Druck anfängt zu fließen.

Vor dem konkreten Werkzeugbau steht die Simulation am Computer, um Zeit und Kosten zu sparen. Das mit Hilfe der Finite-Elemente-Simulation (FE-Simulation) optimierte Werkzeug besteht aus einem Armierungsring, drei Keramikmatrizen sowie einem Druckstück (Bild 2). Damit die Keramik beim Umformen keinen Zug- und Biegespannungen ausgesetzt ist, unter denen sie brechen könnte, wurde das Werkzeug so ausgelegt, dass alle Spannungen sowohl radial als auch axial bei maximaler Prozesslast im zulässigen Druckbereich der

Keramik liegen. Diese Teilung vermeidet eine Spannungskonzentration an der Fließpressschulter in Axialrichtung (entlang der Pressachse). Zusätzlich erzeugt das Druckstück eine axiale Vorspannung und eliminiert dadurch Zugspannungen in der Fließpressschulter, durch die die Keramikmatrize versagen könnte. Das gewählte Übermaß (die Differenz zwischen Außendurchmesser der Matrize und Innendurchmesser des Armierungsrings) von 0,6 % vermeidet Zugspannungen in Umfangsrichtung (radial).

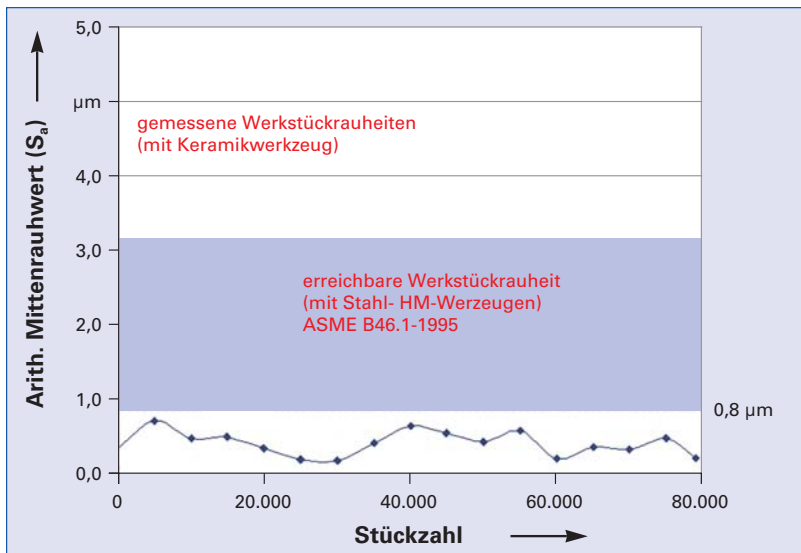
Kaltgepresst ist spiegelblank

Kaltfließgepresste Werkstücke haben im Allgemeinen eine glatte Oberfläche, sind also von hoher Oberflächengüte. Dabei ist die Rauheit in der Regel umso geringer, je größer die vorausgegangene Umformung war. Der Mittenrauhwert bezeichnet die durchschnittliche Abweichung von der Mittellinie des Werkstückkörpers in μm ($1 \mu\text{m}$ entspricht 10^{-6}m). Die üblichen Werte

Tabelle 1: Gegenüberstellung der mechanischen Werkstoffkennwerte

Langes Leben für Werkzeuge

Bild 3: Verbesserung der Oberflächenqualität durch Einsatz von Keramikwerkzeugen.



für den arithmetischen Mittenrauherwert S_a liegen bei konventionellen Prozessen zwischen $0,8 \mu\text{m}$ und $3,2 \mu\text{m}$ (gemäß Richtlinie ASME B46.1-1995). Keramikmatrizen verbessern die Oberflächengüte der Werkstücke deutlich: Die S_a -Werte lagen während der gesamten Produktion (ca. 80 000 Teile) zwischen $0,184 \mu\text{m}$ und $0,702 \mu\text{m}$ (Bild 3).

Durch ihre hohe Widerstandsfähigkeit gegen Verformung, die niedrige Wärmeausdehnung sowie die hohe Verschleißbeständigkeit liefern Keramikmatrizen präziser gefertigte Werkstücke als herkömmliche Werkzeugmaterialien. Die bislang erreichte Genauigkeit (zwischen Grundtoleranzgraden IT11 und IT14) konnte auf IT6 (Streuung des Werkstückdurchmessers (4,40 mm): $< 8 \mu\text{m}$) gesteigert werden.

Lokaler Ansatz mit globaler Wirkung

Die Formänderung von Werkstücken findet zunächst im elastischen Bereich statt und ist ab der „Fließspan-

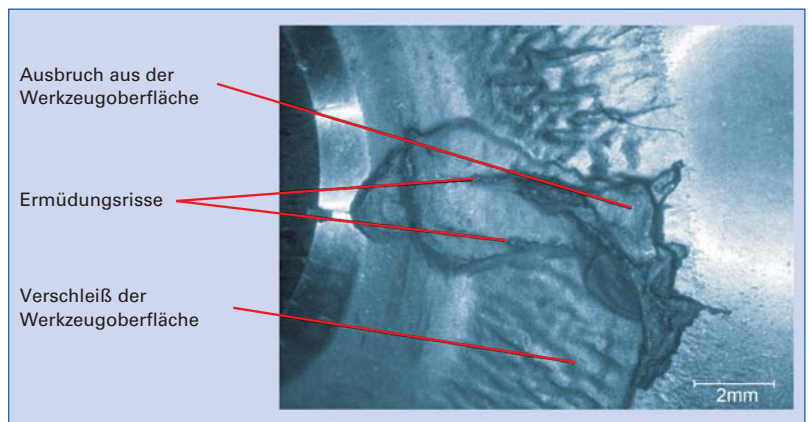
Bild 4: Ermüdungsrisse und Ausbrüche aus der Werkzeugoberfläche in Kombination mit Verschleiß an einem Werkzeugeinsatz zum Kaltfließpressen von Wälzlagerkugellohlingen.

nung“ nicht mehr umkehrbar; entsprechend hoch sind die notwendigen Presskräfte. Diese Kräfte erzeugen große Spannungen, was die Werkzeuge zur Kaltmassivumformung hoch belastet und Werkzeugverschleiß wie Kosten in die Höhe treibt. Ein Ziel der Forschung ist es also, die Lebensdauer der Werkzeuge durch verbesserte Technik zu verlängern und die Wirtschaftlichkeit der Anlage zu steigern.

Kontaktnormalspannungen von mehreren 1 000 MPa ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{s}^2) = 1 \text{ N}/\text{m}^2$, ein Pascal ist also der Druck, den eine Kraft von einem Newton auf eine Fläche von einem Quadratmeter ausübt) auf Werkzeugoberflächen sind keine Seltenheit und verursachen Verschleiß und Ermüdung. Während des Umformvorgangs wird das

Werkzeug immer wieder gedehnt und bildet Ermüdungsrisse, die zu Ausbrüchen aus der Werkzeugoberfläche und damit zum Ausfall des Werkzeugs führen. Bild 4 zeigt einen Ermüdungsriss an einem Werkzeug zum Kaltfließpressen von Wälzlagerkugellohlingen. Je abgenutzter das Werkzeug ist, umso unpräziser und rauer sind natürlich auch die Produkte, die es produziert.

Höchstbeanspruchte Werkzeuge der Kaltmassivumformung verschleßen sehr früh und fallen deshalb eventuell entsprechend früh aus. Eine Möglichkeit, die Lebensdauer eines so hoch beanspruchten Werkzeugs zu verlängern, ist, die Werkzeugoberfläche mit Hilfe von Oberflächenstrukturierung, Laserstrahlwärmebehandlung sowie Glatt-



Langes Leben für Werkzeuge

M. Sc. Murat Arbak (Jahrgang 1977) ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Fertigungstechnologie (LFT) an der Universität Erlangen-Nürnberg und im Bayerischen Forschungsverbund Flexible Werkzeugsysteme, FORWERKZEUG. Dort beschäftigt ihn die technische Keramik als Werkzeugwerkstoff in der Kaltmassivumformung.

Dipl.-Ing. Kay Wagner (Jahrgang 1976) promoviert ebenfalls am Lehrstuhl für Fertigungstechnologie (LFT) und arbeitet im Bayerischen Forschungsverbund Flexible Werkzeugsysteme, FORWERKZEUG. Sein Forschungsthema sind beanspruchungsangepasste Umformwerkzeuge durch lokal optimierte Werkzeugoberflächen.

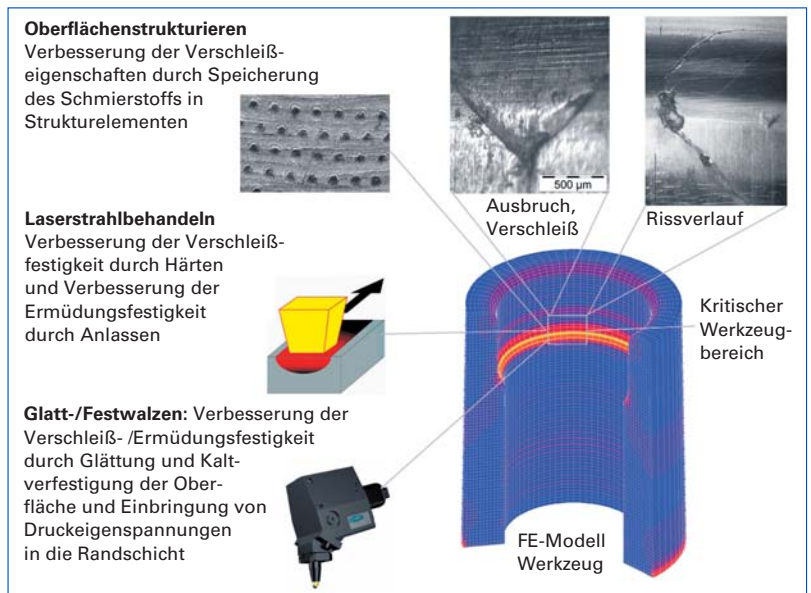
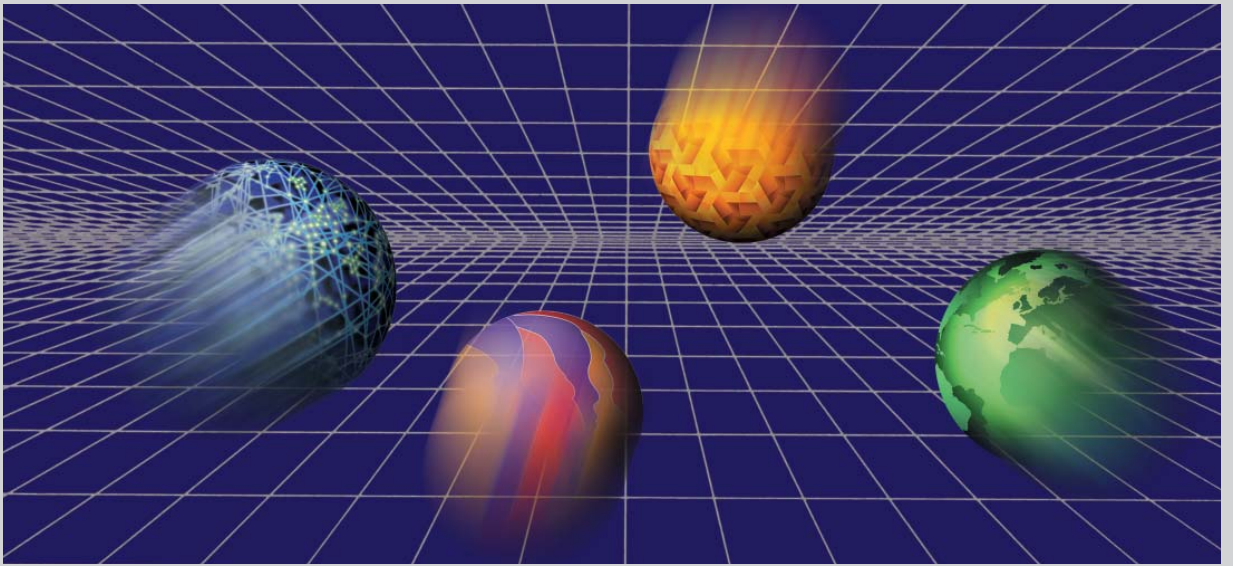


Bild 5: Maßnahmen zur lokalen Erhöhung der Werkzeugbeanspruchbarkeit (links), Schadensbilder an einer Fließpressschulter zur Herstellung von Rohlingen für PKW-Getriebe-Wellen (oben rechts).

beziehungsweise Festwalzen zu verbessern und an die Beanspruchung während des Umformprozesses anzupassen. Hierbei wird die Finite-Elemente-Simulation genutzt, um die kritischen Bereiche auf der Werkzeugoberfläche zu ermitteln. Mit Hilfe der Simulationsergebnisse kann festgelegt werden, an welchen Stellen die Werkzeugoberflächen behandelt werden (Bild 5).

Dazu arbeiten Unternehmen aus der umformtechnischen Industrie mit spezialisierten Betrieben der Oberflächenbehandlung und den Wissenschaftlern am Lehrstuhl für Fertigungstechnologie (Universität Erlangen-Nürnberg) zusammen. Derzeit testen die Umformer oberflächenbehandelte Werkzeugeinsätze in der Fertigung und geben die gewonnenen Kenntnisse über das Einsatzverhalten und die Lebensdauer der Werkzeuge an die Wissenschaftler zurück. Diese entwickeln bedarfsangepasste Verfahren, die sie lokal unterschiedlich und flexibel einsetzen können. Denkbar ist sogar eine Kombination unterschiedlicher Oberflächenbehandlungsmethoden, wie beispielsweise Laserstrahlwärmebehandlung mit Laserstrahlstruk-

turierung. Die ersten Untersuchungsergebnisse oberflächenbehandelter Umformwerkzeuge sind viel versprechend: Durch Laserstrahlstrukturierung verringerte sich der Verschleiß an Fließpressstempeln deutlich. Die Stempel konnten durch die Mikrostrukturierung auf der Oberfläche über 30 % länger im Einsatz bleiben. Besonders durchschlagenden Effekt hat die Mikrostrukturierung an den Stellen zwischen Werkstück und Werkzeug, an der große Relativbewegungen zwischen Werkstück und Werkzeug herrschen. Diese Oberflächenbehandlung verbessert die tribologischen Eigenschaften entscheidend und verringert so den Verschleiß, was schließlich die Lebensdauer der Stempel erhöht. Jetzt gilt es, die Parameter der Oberflächenbehandlung für die Anforderungen der Kaltmassivumformung zu optimieren. Die neuen Ergebnisse fließen in eine Richtlinie, die Konstrukteuren in den Betrieben zeigt, wie sie beanspruchungsangepasste, lokale Oberflächenbehandlung erfolgreich für ihren Werkzeugbau einsetzen können.



DIE FORSCHUNGS- VERBÜNDE DER ABAYFOR

VON DER VERBUNDFORSCHUNG ZUM SPIN-OFF

Christian W. Scheiner, Peter Mertens und Kai-Ingo Voigt

Der Standort Bayern zählt innerhalb Deutschlands und Europas zu den wirtschaftsstärksten Regionen. Im Zuge der Globalisierung und des technischen Fortschritts sieht er sich dennoch mit Herausforderungen konfrontiert. Zwar genießt der Freistaat als so genannter Hightech- und Dienstleistungsstandort einen international hervorragenden Ruf, gleichzeitig gilt er – wie die gesamte Bundesrepublik Deutschland – als Hochlohnland. Um diesen Nachteil zu kompensieren, muss der technologische Vorsprung gegenüber anderen Ländern gehalten und sogar ausgebaut werden. Die Medizintechnik, die Biotechnologie, die Mikroelektronik, die Telekommunikation und forschungsintensive Industriegüter zählen nicht nur zu den Spitzentechnologien, sie glänzten in den vergangenen Jahren auch mit den höchsten Wachstumsraten. Ein wichtiges Instrument, um die Spitzenposition zu erreichen beziehungsweise zu verteidigen, ist die Förderung von F&E. Die Forschungsverbände nehmen dabei eine Schlüsselrolle in der angewandten Forschung und eine Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Unternehmen ein.

Die in diesen Verbänden gewonnenen Erkenntnisse fließen oft den Partnerunternehmen zu, um deren Wettbewerbsfähigkeit zu stärken, sie bilden aber auch die Basis für neue, innovative Unternehmensgründungen, die Forschungsergebnisse in die kommerzielle Nutzung überführen und Arbeitsplätze schaffen. Mittlerweile hat sich der englische Begriff „Spin-off“ für eine Ausgründung aus der Hochschule selbst im Duden etabliert. Es soll zum Ausdruck bringen, dass junge Unternehmen aus der Hochschule „herausgeschleudert“ werden.

Welchen Einfluss die Forschung im Verbund und die staatlichen Rahmenbedingungen auf die Gründungsaktivität ausüben, untersuchten die Autoren in einer Studie über die Spin-offs der Forschungsverbände in der Arbeitsgemeinschaft Bayerischer Forschungsverbände (abayfor). Sie befragten dabei insgesamt 25 Spin-offs aus 18 Forschungsverbänden.

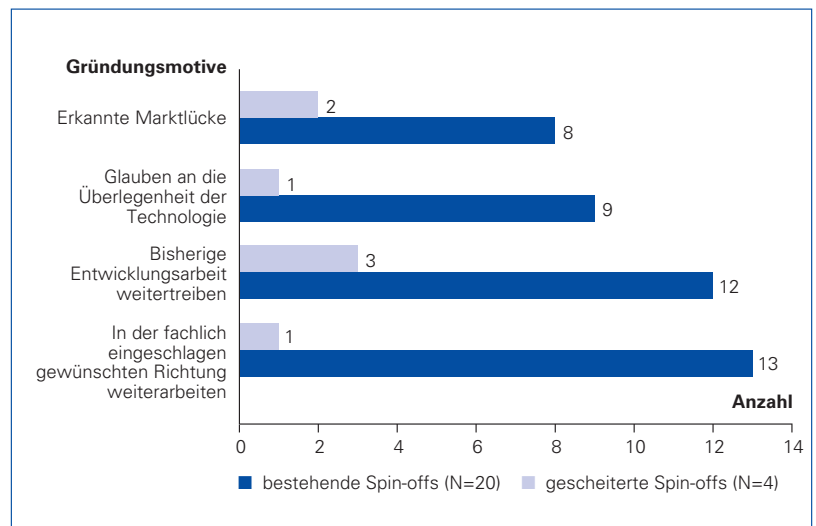
25 Spin-offs und 400 Arbeitsplätze

Von den 25 Unternehmen sind noch 20 in Gründerhand. Vier Unternehmen traten aus dem Markt aus, eines wurde erfolgreich verkauft. Insgesamt beschäftigten die Unternehmen im Dezember 2004 zusammen mehr als 400 Mitarbeiter, im Durchschnitt jeweils 20. Die Schwerpunkte der Gründungen liegen in den Hightech-Sektoren Informations- und Kommunikationstechnologie sowie „Life Science“. Ein Zusammenhang zwischen Erfolg und Scheitern der Spin-offs und der Branchenzugehörigkeit war im Rahmen dieser Untersuchung nicht nachweisbar.

Die Forschungsverbände weisen eine überraschend stabile Gründungsquote über den Betrachtungszeitraum von 1993 bis 2005 hinweg auf: In jedem Jahr entstand durchschnittlich mindestens ein Spin-off. Die Jahre 1999 bis 2001 verzeichneten drei beziehungsweise fünf neu



Abbildung 1:
Gründungsmotive
bei bestehenden
und gescheiterten Spin-offs
(absolute Werte, Mehrfach-
nennungen möglich)



gegründete Unternehmen aus den Forschungsverbänden. Eine Ursache für die verstärkte Gründungsaktivität liegt sicherlich in der damaligen Aktienmarkt-Euphorie.

Bis auf ein Unternehmen wählten alle Spin-offs den Standort Bayern. Dabei spielen vor allem drei Faktoren eine entscheidende Rolle: Die „Nähe zu Forschungszentren“ als wichtigstes Kriterium, aber auch die „Nähe zu wichtigen Kunden“ sowie „Heimat, Business- und Personalnetzwerk“. Diese Ergebnisse decken sich im Wesentlichen mit den Erkenntnissen der empirischen Standortfaktorenforschung.

Die „Stolpersteine“ für den Erfolg der Unternehmensgründung sind das Gründungsmotiv, Art und Menge betriebswirtschaftlichen Wissens sowie die Anzahl der Mitarbeiter bei der Gründung. Dies bestätigen auch vergleichbare Untersuchungen (zum Bei-

spiel Egel et al. „Spin-off-Gründungen aus der öffentlichen Forschung in Deutschland 2003“).

Ein kritischer Faktor ist die häufig stark vernachlässigte Marktorientierung. Oft ist nicht die erkannte Marktlücke die Grundlage der Gründungsentscheidung, sondern der Glaube an die eigene Technologie, gepaart mit dem Wunsch, die bisherige Entwicklungsarbeit weitertreiben zu können sowie in der fachlich gewünschten Richtung weiterzuarbeiten (vgl. Abb. 1).

Besonders kritisch wirken sich mangelnde betriebswirtschaftliche Kenntnisse auf die Unternehmensgründung und den Unternehmensaufbau aus. Keines der gescheiterten Spin-offs hatte auf betriebswirtschaftliches Wissen zurückgegriffen, das über obligatorische Vorlesungen und Übungen während des Studiums, durch freiwillig besuchte Veranstal-

tungen, durch kompakte BWL-Kurse für Gründer oder durch berufsbegleitende Weiterbildung durchaus verfügbar gewesen wäre.

Auch gründeten die gescheiterten Spin-offs ihre Unternehmen mit einer durchschnittlich größeren Anzahl an Mitarbeitern und nahmen damit höhere Kosten, eine stärkere Liquiditätsbelastung und einen höheren Organisationsaufwand in Kauf. Sie wurden deshalb schneller zahlungsunfähig und konnten auf Marktveränderungen weniger flexibel reagieren als kleinere Teams.

Förderung von Spin-offs

Die Gründer stehen vor einer Vielzahl von Herausforderungen, die sie freilich auch zuweilen überschätzen. Die Lehrstühle, Forschungsverbände und zentrale Hochschuleinrichtungen können viel dazu beitragen, diese Hemmnisse zu mildern, indem sie

Von der Verbundforschung zum Spin-off

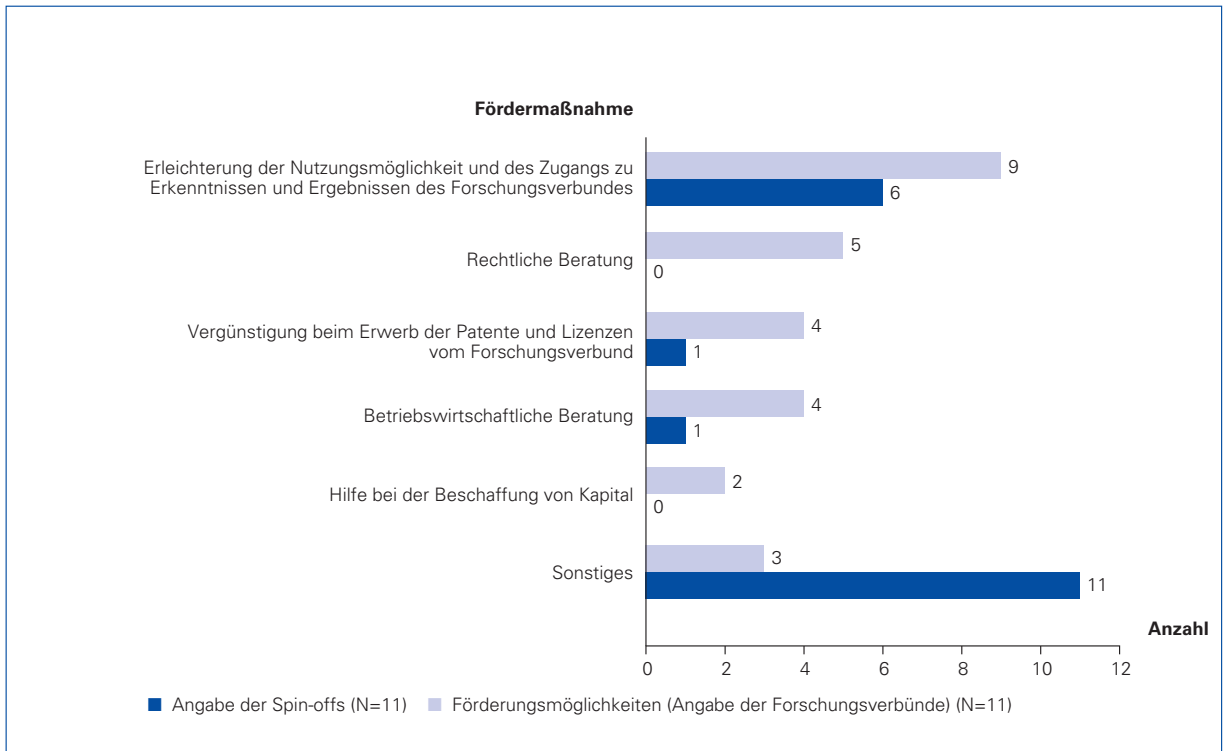


Abbildung 2: Förderangebot der Forschungsverbünde aus Sicht der Forschungsverbünde und Spin-offs.

die entstandenen Spin-offs unterstützen und fördern. Diese Förderung kann Hilfe bei der Beschaffung von Kapital, betriebswirtschaftliche und rechtliche Beratung, Nutzungsmöglichkeit von Geräten und Wissen oder auch die (kostengünstige) Überlassung von Patenten, Lizenzen und Produkten umfassen.

Die Forschungsverbünde lassen eine hohe Bereitschaft erkennen, die Unternehmensgründungen im Rahmen ihrer Möglichkeiten und ihres Know-hows zu unterstützen: Die „Erleichterung der Nutzungsmöglichkeiten und des Zugangs zu Erkenntnissen und Ergebnissen des Forschungsverbundes“ ist deshalb die wichtigste Förderleistung. Aufgrund begrenzter personeller und finanzieller Ressourcen sind die For-

schungsverbünde nicht in der Lage, den Spin-offs andere Hilfen anzubieten (vgl. Abb. 2).

Um die oben erwähnten Schwachstellen zu kompensieren, bestünde einmal die Möglichkeit, eine entsprechende Beratungsinstitution bei abayfor aufzubauen. Diese wäre unabhängig vom Bestehen einzelner Forschungsverbünde. Dagegen spricht, dass es schon etablierte und erfolgreiche Stellen in Bayern gibt. Hierzu zählen Bayern Patent, die Berater, welche Business-Plan-Wettbewerbe begleiten (z. B. von Netzwerk Nordbayern, Munich Network), das Business-Angel-Netzwerk, Hochsprung und FLÜGGE. Freilich ist es für Gründer wiederum schwer, diese Instanzen überhaupt aufzufinden. abayfor verfügt über beachtliches

Wissen über die in Frage kommenden Stellen. Die auf dieser Grundlage angebotenen Vermittlungsdienste könnten noch stärker in Anspruch genommen werden.

Vor und während der ersten Unternehmensphase hat sich das Bayerische Förderprogramm zum leichteren Übergang in eine Gründerexistenz (FLÜGGE) des Staatsministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kunst bewährt. Es fördert Unternehmensgründungen aus der Hochschule, indem junge Gründer – seien es Hochschulabsolventen oder -mitarbeiter – parallel zum Aufbau des Unternehmens für ein bis zwei Jahre halbtags an der Hochschule arbeiten und dadurch ihren Lebensunterhalt sichern. Vor einer Förderung prüft die FLÜGGE-Kommission, mehrheitlich



Unternehmer, die Gründer und das Unternehmenskonzept. Die Gutachter geben Empfehlungen für Verbesserungen und für die Förderung der Konzepte. Praxiserfahrene Experten unterstützen die Gründer als Mentoren („Coaches“) bei den unterschiedlichen Herausforderungen, vor allem bei der Unternehmensfinanzierung, der Kundenakquisition und beim Unternehmensaufbau. FLÜGGE erlaubt ihnen, die Hard- und Software der Hochschule (bis zur erfolgten Gründung kostenfrei) zu nutzen, und vermittelt sie gegebenenfalls an gründungsunterstützende Einrichtungen weiter. Nicht nur in dieser, sondern auch in einer Studie von abayfor zu Nanotechnologie-Gründungen beschrieben die Gründer das Programm durch das unbürokratische und schnelle Antragsverfahren, die gute Beratung und das angemessene Berichtswesen als hervorragende Hilfe. Nach acht Jahren FLÜGGE und 89 geförderten Vorhaben kann sich die Bilanz des Programms (Juli 2006) sehen lassen: Nach Erhebungen vom Projekträger von FLÜGGE, Christoph Zinser, behaupten sich über 75 % der gegründeten Unternehmen am Markt, zwei Unternehmen sind mittlerweile an der Börse notiert und über 700 Arbeitsplätze sind entstanden.

Dipl.-Kfm. Christian W. Scheiner (Jahrgang 1978) ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Industriebetriebslehre an der Universität Erlangen-Nürnberg. Seine Arbeit „Bewertung von Spin-Offs aus Forschungsverbänden am Beispiel der „Arbeitsgemeinschaft der Bayerischen Forschungsverbände (abayfor)“ ist die Grundlage dieses Beitrags. Seine Forschungsinteressen sind Unternehmensgründung & Entrepreneurship und das Technologie- und Innovationsmanagement.

Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Peter Mertens (Jahrgang 1937) leitete den Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Wirtschaftsinformatik I an der Universität in Erlangen-Nürnberg. Die Forschungsverbände kennt er aus zahlreichen Funktionen: als Sprecher des Forschungsverbundes Wirtschaftsinformatik (FORWIN), als Forschungsgruppenleiter des Bayerischen Forschungszentrums für Wissensbasierte Systeme (FORWISS) und des Bayerischen Forschungsverbundes für Situierung, Individualisierung und Personalisierung in der Mensch-Maschine-Interaktion (FORSIP) sowie als langjähriges Vorstandsmitglied von abayfor. Er hat mehrere Spin-off-Unternehmen aus den Forschungsverbänden und seinem Lehrstuhl beim Schritt in den Markt begleitet und ist Mitglied der FLÜGGE-Auswahlkommission.

Prof. Dr. Kai-Ingo Voigt (Jahrgang 1960) ist Inhaber des Lehrstuhls für Industriebetriebslehre und Leiter des Studienbereichs „Unternehmensgründung und Entrepreneurship“ an der Universität Erlangen-Nürnberg sowie Visiting Professor der Tongji Universität, Shanghai. Außerdem ist er Forschungsgruppenleiter beim Bayerischen Forschungsverbund Supra-adaptive Logistiksysteme (FORLOG). Er verfügt über langjährige Erfahrung als Berater von Industrie- und Start-up-

Unternehmen. Prof. Dr. Voigt hat sich auf die Gebiete Technologie- und Innovationsmanagement, technologieorientierte Neugründungen sowie Corporate Entrepreneurship spezialisiert.

Kontakte

Die Forschungsverbände der abayfor

BayFORREST

Bayerischer Forschungsverbund Abfallforschung
und Reststoffverwertung
TU München
Lehrstuhl für Technologie biogener Rohstoffe
Petersgasse 18
94315 Straubing
Tel (09421) 18 71-01
Fax (09421) 18 71-11
Internet www.abayfor.de/bayforrest

FORBIAS

Forschungsverbund Bioanaloge
Sensomotorische Assistenz
TU München
Arcisstraße 21
80333 München
Tel (089) 2 89-2 37 33
Fax (089) 2 89-2 35 55
Internet www.abayfor.de/forbias
www.forbias.de

FORINGEN

Bayerischer Forschungsverbund Infektogenomik
Max von Pettenkofer-Institut
Pettenkoferstraße 9a
80336 München
Tel (089) 51 60-52 01
Fax (089) 51 60-52 02
Internet www.abayfor.de/foringen

FORFLOW

Bayerischer Forschungsverbund für Prozess-
und Workflow-Unterstützung zur Planung und
Steuerung der Abläufe in der Produktentwicklung
Universität Erlangen-Nürnberg
Martensstraße 9
91058 Erlangen
Tel (09131) 85-2 79 86
Fax (09131) 85-2 79 88
Internet www.abayfor.de/forflow

FORLOG

Bayerischer Forschungsverbund
Supra-Adaptive Logistiksysteme
TU München
Boltzmannstr. 15
85748 Garching
Tel (089) 2 89-1 59 14
Fax (089) 2 89-1 59 22
Internet www.abayfor.de/forlog

FORMAT

Bayerischer Forschungsverbund
Materialwissenschaften
TU München
Arcisstraße 21
80333 München
Tel (089) 2 89-2 54 81
Fax (089) 2 89-2 25 33
Internet www.abayfor.de/format
www.werkstoffe.de

FORNEL

Bayerischer Forschungsverbund
für Nanoelektronik
Universität Erlangen-Nürnberg
Cauerstr. 6
91058 Erlangen
Tel (09131) 7 61-1 00
Fax (09131) 7 61-1 02
Internet www.abayfor.de/fornel
www.fornel.de

FORNEUROCELL

Bayerischer Forschungsverbund Adulte Neurale
Stammzellen
Universität Regensburg
Universitätsstraße 84
93053 Regensburg
Tel (0941) 9 41-30 01
Fax (0941) 9 41-30 05
Internet www.abayfor.de/forneurocell
www.forneurocell.de

FOROST III

Forschungsverbund Ost- und Südosteuropa
LMU München
Ludwigstraße 25
80539 München
Tel (089) 21 80-23 48
Fax (089) 21 80-35 07
Internet www.abayfor.de/forost
www.forost.de

FOROXID

Bayerischer Forschungsverbund Multiskalende-
sign Oxidischer Funktionsmaterialien
Universität Augsburg
Universitätsstraße 1
86135 Augsburg
Tel (0821) 5 98-34 00
Fax (0821) 5 98-34 25
Internet www.abayfor.de/foroxid

FORPRION

Bayerischer Forschungsverbund Prionen
LMU München
Zentrum für Neuropathologie und Prionforschung
Feodor-Lynen-Straße 23
81377 München
Tel (089) 21 80-7 80 41
Fax (089) 21 80-7 80 37
Internet www.abayfor.de/forprion

FORSHIP II

Bayerischer Forschungsverbund für Situierung,
Individualisierung und Personalisierung in der
Mensch-Maschine-Interaktion
Universität Augsburg
Universitätsstraße 14
86159 Augsburg
Tel (0821) 5 98-21 34
Fax (0821) 5 98-22 74
Internet www.abayfor.de/forsip
www.forsip.de

FORTTRANS

Bayerischer Forschungsverbund
Transnationale Netzwerke
Universität Bayreuth
Universitätsstraße 30
95440 Bayreuth
Tel (0921) 55-29 52
Fax (0921) 55-29 54
Internet www.abayfor.de/fortrans
www.fortrans.net

FORWERKZEUG

Bayerischer Forschungsverbund für flexible
Werkzeugsysteme
TU München
Boltzmannstraße 15
85748 Garching
Tel (089) 2 89-1 55 01
Fax (089) 2 89-1 55 55
Internet www.abayfor.de/forwerkzeug

FORWISS

Bayerisches Forschungszentrum
für Wissensbasierte Systeme
TU München
Institut für Informatik
Boltzmannstraße 3
85748 Garching
Tel (089) 2 89-1 77 54
Fax (089) 2 89-1 77 57
Internet www.abayfor.de/forwiss
www.forwiss.de

KW 21

Forschungsinitiative
Kraftwerke des 21. Jahrhunderts
Kontakt Bayern:
abayfor c/o TU München
Arcisstr. 21
80333 München
Tel (089) 2 89-2 25 06
Fax (089) 2 89-2 25 89

Kontakt Baden-Württemberg:
Deutsches Luft- und Raumfahrtzentrum
Institut für Verbrennungstechnik
Pffaffenwaldring 38-40
70569 Stuttgart

Tel (0711) 68 62-3 97
Fax (0711) 68 62-5 78
Internet www.abayfor.de/kw21

Assoziierte Mitglieder:

FORAREA
Kompetenznetzwerk für
interkulturelle Kommunikation e.V.
Universität Erlangen-Nürnberg
Kochstraße 4/4
91054 Erlangen
Tel (09131) 85-2 20 11
Fax (09131) 85-2 20 13
Internet www.abayfor.de/forarea
www.forarea.de

Bayerisches Laserzentrum gGmbH
Konrad-Zuse-Straße 4-6
91052 Erlangen
Tel (09131) 9 77 90-13
Fax (09131) 9 77 90-11
Internet www.blz.org

Fördermittelgeber aus Bayern für Forschungsverbände:

Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft,
Forschung und Kunst

Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft,
Infrastruktur, Verkehr und Technologie

Bayerisches Staatsministerium
für Landwirtschaft und Forsten

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt,
Gesundheit und Verbraucherschutz

Bayerische Forschungstiftung

Impressum

Alle Beiträge geben grundsätzlich die Meinung
des Autors wieder, nicht die des Herausgebers.

Herausgeber ©:

abayfor, Arbeitsgemeinschaft der Bayerischen
Forschungsverbände
Arcisstraße 21
80333 München
Tel (089) 2 89-2 25 87
Fax (089) 2 89-2 25 89
E-Mail abayfor@abayfor.de
Internet www.abayfor.de
Copyright 2006 abayfor

Redaktion:

Dr. Ute Berger, abayfor (verantw.)
Christine Kortenbruck, abayfor (verantw.)

Erscheinungshinweis:

„Zukunft im Brennpunkt“ erscheint einmal pro Jahr

1. Band Juni 2002 (ISBN 3 98 10 219-0-8)
2. Band Juli 2003 (ISBN 3 98 10 219-1-6)
3. Band November 2004 (ISBN 3 98 10 219-2-4)
4. Band November 2005 (ISBN 3 98 10 219-3-2)
5. Band November 2006
ISBN-10: ISBN 3 98 10 219-4-0
ISBN-13: ISBN 978 398 10 219-4-0

Layout:

Hans Gärtner Kommunikation, 82515 Wolfratshausen

Druck:

Bentrup Druckdienste, Bielefeld



Wir danken dem Bayerischen Staatsministerium für
Wissenschaft, Forschung und Kunst herzlich für die
großzügige Unterstützung.